

# Perfil de Riesgo de Desastres por Sequía: El Salvador, Guatemala y Honduras

División de Medio Ambiente,  
Desarrollo Rural y Gestión de  
Riesgo de Desastres

Banco Interamericano de Desarrollo

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN-01888

Julio 2019

# Perfil de Riesgo de Desastres por Sequía: El Salvador, Guatemala y Honduras

Banco Interamericano de Desarrollo



## Catalogación en la fuente proporcionada por la

### Biblioteca Felipe Herrera del

### Banco Interamericano de Desarrollo

Perfil de riesgo de desastres por sequía: El Salvador, Guatemala y Honduras / Banco Interamericano de Desarrollo.

p. cm. — (Nota técnica del BID; 1888)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Droughts-Risk assessment-El Salvador. 2. Droughts-Risk assessment-Guatemala. 3. Droughts-Risk assessment-Honduras. 4. Drought relief-El Salvador. 5. Drought relief-Guatemala. 6. Drought relief-Honduras. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y

Administración de Riesgos por Desastres. II. Serie.

IDB-TN-1888

Código JEL: Q54

Palabras claves: Gestión integrada de zonas costeras; Gestión de los ecosistemas costeros; Cambio Climático; Gestión del Riesgo de Desastres; Países de América Latina y el Caribe.

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2019] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Información de Contacto: Tsuneki Hori ([Tsunekih@iadb.org](mailto:Tsunekih@iadb.org))

**Este documento fue preparado por:**

**Especialistas del Banco Interamericano de Desarrollo:** Hori Tsuneki y Gines Suarez Vazquez, Especialistas en Gestión del Riesgo de Desastres.

**Consultores Externos:**

**Dirección y Coordinación de Grupos de Trabajo Técnico:** Omar Darío Cardona A. (Dirección General del Proyecto); Gabriel Andrés Bernal G. (Dirección científica INGENIAR); Anibal Perez. (Asesor modelación amenazas INGENIAR)

**Equipo de trabajo:** Alex Horia Barbat B. (Dirección vulnerabilidad CIMNE); Martha Liliana Carreño T. (Dirección exposición CIMNE).

**Especialistas y Asesores – Grupos de Trabajo:** César Augusto Velásquez V. (Especialista INGENIAR); Alonso Brenes. (Especialista INGENIAR); Claudia Villegas (Especialista INGENIAR); Diana González (Especialista INGENIAR); David Rincón (Especialista INGENIAR); David Rincón (Especialista INGENIAR); Mabel Cristina Marulanda F. (Especialista CIMNE); María Alejandra Escovar (Especialista INGENIAR); John Fredy Molina (Especialista INGENIAR); Paula Marulanda (Especialista INGENIAR); Sthefania Grajales (Especialista INGENIAR).

Coordinación en campo – Consultores locales: Osmar Velasco, Gerencia local y soporte (GUA).

**Agradecimiento a las instituciones participantes:** Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC).

**El Salvador:** Ministerio De Agricultura y Ganadería (MAG); Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA); Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA); Universidad De El Salvador (UES); Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica del Riesgo. Ministerio de Obras Públicas (DACGER); Escuela Nacional De Agricultura Roberto Quinonez (ENA); Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Alvarez Córdova" (CENTA); Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); Protección Civil El Salvador.

**Guatemala:** Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED); Ministerio De Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Universidad San Carlos de Guatemala (USAC); Universidad San Pablo; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH); Instituto Geográfico Nacional (IGN); Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN); Universidad Rafael Landívar (URL).

**Honduras:** Comisión Permanente de Contingencias de Honduras (COPECO); Secretaria de Agricultura Y Ganadería (SAG); Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) – UNAH; Secretaria De Energía, Recursos Naturales, Ambiente Y Minas (SERNA); Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Universidad Zamorano; Instituto Nacional de Estadística (INE); Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal (ICF).

El desarrollo y publicación de este documento fue financiado a través de la Cooperación Técnica Regional RG-T2759, financiado por el Fondo Fiduciario Multidonantes para la Prevención de Desastres.

## TABLA DE CONTENIDO

---

<b>ABREVIACIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1 SEQUÍA .....	16
1.2 EL CORREDOR SECO DE CENTROAMÉRICA.....	17
<b>2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR SEQUÍA .....</b>	<b>19</b>
2.1 COMPONENTES DEL ANÁLISIS DEL RIESGO.....	20
2.1.1 AMENAZA .....	20
2.1.2 ELEMENTOS EXPUESTOS.....	20
2.1.3 REPRESENTACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	20
2.2 ENFOQUE PROBABILISTA EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	21
2.2.1 CURVA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS .....	22
2.3 MÉTRICAS DE RIESGO .....	26
2.3.1 LA PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (PAE) .....	26
2.3.2 LA PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML).....	27
2.3.3 LA PROBABILIDAD DE QUIEBRA (P <sub>Q</sub> ) .....	27
2.3.4 OTRAS MÉTRICAS DEL RIESGO.....	27
2.4 IMPACTO DE LOS DESASTRES EN EL SECTOR AGRÍCOLA .....	28
2.4.1 DAÑOS VS. PÉRDIDAS .....	28
2.5 ALCANCE DE LA METODOLOGÍA.....	31
2.6 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	32
2.6.1 PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML) .....	32
2.6.2 PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS EN UN AÑO.....	33
2.6.3 PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS EN EL PRÓXIMO EVENTO DE SEQUÍA.....	34
2.6.4 PÉRDIDA ANUAL ESPERADA (PAE).....	34
2.7 DROUGHT PRO.....	35
<b>3 MODELACIÓN PROBABILISTA DE LA AMENAZA POR SEQUÍA .....</b>	<b>37</b>
3.1 INFORMACIÓN CLIMÁTICA .....	38
3.1.1 INFORMACIÓN DE AGENCIAS NACIONALES.....	38
3.1.2 OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN .....	45
3.1.3 BASE DE DATOS DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA.....	50
3.2 GENERACIÓN ESTOCÁSTICA DE SERIES CLIMÁTICAS FUTURAS .....	61
3.2.1 GENERACIÓN DE SERIES ALEATORIAS .....	61
3.2.2 CORRELACIÓN DE SERIES.....	64
3.2.3 RELACIÓN SERIES ESTOCÁSTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA .....	64
3.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA .....	69
3.3.1 PARÁMETROS CLIMÁTICOS .....	69
3.3.2 RESULTADOS EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA .....	74
3.4 INDICADORES .....	79
3.4.1 INDICADORES DE SEQUÍA A UTILIZAR .....	80
3.4.2 UMBRALES DE SEQUÍA.....	81
3.4.3 CÁLCULO SOBRE INDICADORES DE SEQUÍA.....	81

3.4.4	DEFINICIÓN DE EVENTOS REGIONALES DE SEQUÍA.....	83
3.4.5	SELECCIÓN DEL INDICADOR DE SEQUÍA .....	85
3.4.6	INDICADOR SPEI PARA SERIE PARÁMETROS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS .....	89
3.4.7	INDICADOR SPEI PARA SERIE PARÁMETROS CLIMÁTICOS ESTOCÁSTICOS.....	91
<b>3.5</b>	<b>CURVAS Y MAPAS DE AMENAZA POR SEQUÍA.....</b>	<b>95</b>
3.5.1	MAPAS DE AMENAZA POR ESCENARIO .....	96
3.5.2	MAPAS DE AMENAZA INTEGRADA .....	97
3.5.3	CURVAS DE AMENAZA .....	109
<b>3.6</b>	<b>EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AMENAZA POR SEQUÍA .....</b>	<b>110</b>
3.6.1	DISPERSIÓN DE LOS MODELOS GLOBALES DE CIRCULACIÓN.....	111
3.6.2	SELECCIÓN DEL MODELO GLOBAL DE CIRCULACIÓN.....	115
3.6.3	AJUSTE DE SERIES SIMULADAS A PREDICCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	121
3.6.4	MAPAS DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS INCLUYENDO CAMBO CLIMÁTICO.....	123
3.6.5	AMENAZA DE SEQUÍA INCLUYENDO CAMBIO CLIMÁTICO .....	131
3.6.6	MAPAS DE AMENAZA INTEGRADA INCLUYENDO CAMBO CLIMÁTICO.....	134
3.6.7	CURVAS DE AMENAZA .....	141
<b>4</b>	<b>EXPOSICIÓN DE CULTIVOS.....</b>	<b>143</b>
<b>4.1</b>	<b>METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA EXPOSICIÓN DE CULTIVOS .....</b>	<b>143</b>
4.1.1	INFORMACIÓN BASE .....	144
4.1.2	DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS.....	144
4.1.3	EL SALVADOR.....	145
4.1.4	GUATEMALA .....	168
4.1.5	HONDURAS .....	198
4.1.6	RESUMEN CULTIVOS PARA LOS TRES PAÍSES .....	220
<b>4.2</b>	<b>ESTACIONALIDAD DE CULTIVOS .....</b>	<b>221</b>
4.2.1	CULTIVOS TRANSITORIOS.....	222
4.2.2	CULTIVOS PERMANENTES .....	231
<b>4.3</b>	<b>RENDIMIENTOS .....</b>	<b>232</b>
<b>4.4</b>	<b>AVALÚOS.....</b>	<b>236</b>
<b>5</b>	<b>VULNERABILIDAD DE CULTIVOS A LA SEQUÍA.....</b>	<b>239</b>
<b>5.1</b>	<b>RENDIMIENTO COMO FUNCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA .....</b>	<b>239</b>
5.1.1	CLIMA .....	241
5.1.2	CULTIVO.....	241
5.1.3	SUELO .....	243
5.1.4	MANEJO.....	244
<b>5.2</b>	<b>LA DINÁMICA DE LA RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL ESTRÉS HÍDRICO.....</b>	<b>244</b>
<b>5.3</b>	<b>INFORMACIÓN DE ENTRADA AL MODELO DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>248</b>
5.3.1	CLIMA: SERIES METEOROLÓGICAS DIARIAS.....	248
5.3.2	CULTIVOS: PARÁMETROS AGRONÓMICOS.....	251
5.3.3	SUELO: CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	264
<b>6</b>	<b>EVALUACIÓN PROSPECTIVA DE RIESGO POR SEQUÍA EN EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS .....</b>	<b>287</b>
<b>6.1</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO FÍSICO PARA LA REGIÓN DEL TRIÁNGULO NORTE DE CENTRO AMÉRICA. 289</b>	
<b>6.2</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO FÍSICO PARA EL SALVADOR .....</b>	<b>291</b>
6.2.1	PÉRDIDAS POR TIPO DE CULTIVO .....	293

6.2.2	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL	294
6.2.3	RESULTADOS DE RIESGO POR SEQUÍA DESAGREGADOS POR DEPARTAMENTO .....	298
6.2.4	IMPACTO DEL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL .....	300
<b>6.3</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO FÍSICO PARA GUATEMALA.....</b>	<b>302</b>
6.3.1	PÉRDIDAS POR TIPO DE CULTIVO .....	304
6.3.2	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL	305
6.3.3	RESULTADOS DE RIESGO DESAGREGADOS POR DEPARTAMENTO .....	309
6.3.4	IMPACTO DEL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL .....	311
<b>6.4</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO FÍSICO PARA HONDURAS .....</b>	<b>313</b>
6.4.1	PÉRDIDAS POR TIPO DE CULTIVO .....	315
6.4.2	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL	316
6.4.3	RESULTADOS DE RIESGO DESAGREGADOS POR DEPARTAMENTO .....	320
6.4.4	IMPACTO DEL RIESGO POR SEQUÍA EN EL SECTOR AGRÍCOLA NACIONAL .....	323
<b>7</b>	<b><u>EVALUACIÓN RETROSPECTIVA DEL RIESGO.....</u></b>	<b><u>327</u></b>
7.1	ENFOQUE PROBABILISTA EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	327
7.1.1	ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EXCEDENCIA .....	328
<b>7.2</b>	<b>COSTO DE LOS DESASTRES.....</b>	<b>330</b>
7.2.1	METODOLOGÍAS PARA ESTIMAR COSTOS DE LOS DESASTRES .....	331
<b>7.3</b>	<b>CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LA SEQUÍA .....</b>	<b>332</b>
7.3.1	EVENTOS DE SEQUÍA REPORTADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	333
7.3.2	AFECCIONES POR PAÍS, ASOCIADAS A SEQUÍA.....	333
<b>7.4</b>	<b>CURVA DE EXCEDENCIA EMPÍRICA PARA EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS.....</b>	<b>336</b>
7.4.1	EL SALVADOR.....	338
7.4.2	GUATEMALA .....	342
7.4.3	HONDURAS .....	345
7.4.4	COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	350
<b>8</b>	<b><u>CURVA HÍBRIDA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS .....</u></b>	<b><u>351</u></b>
8.1	CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE PÉRDIDAS HISTÓRICA .....	351
8.2	CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE PÉRDIDAS SIMULADA .....	352
8.3	RESULTADOS DE LA CURVA DE PÉRDIDAS HÍBRIDA .....	353
<b>9</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>356</u></b>
	<b><u>REFERENCIAS.....</u></b>	<b><u>359</u></b>
	<b><u>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</u></b>	<b><u>372</u></b>
	<b><u>ABREVIACIONES .....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b>A. 1</b>	<b><u>DIVISIÓN POLÍTICA DE LOS TRES PAÍSES .....</u></b>	<b><u>375</u></b>
<b>A. 2</b>	<b><u>EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA.....</u></b>	<b><u>377</u></b>
A. 2.1	MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH .....	377
A. 2.2	PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS .....	378

A. 2.2.1	PRESIÓN ATMOSFÉRICA $P$ .....	378
A. 2.2.2	CONSTANTE PSICROMÉTRICA $\gamma$ .....	378
<b>A. 2.3</b>	<b>TEMPERATURA DEL AIRE .....</b>	<b>378</b>
<b>A. 2.4</b>	<b>HUMEDAD DEL AIRE .....</b>	<b>378</b>
A. 2.4.1	PRESIÓN MEDIA DE VAPOR DE LA SATURACIÓN $e_s$ .....	378
A. 2.4.2	PENDIENTE DE LA CURVA DE PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR $\Delta$ .....	379
A. 2.4.3	PRESIÓN REAL DE VAPOR $e_a$ .....	379
<b>A. 2.5</b>	<b>RADIACIÓN .....</b>	<b>380</b>
A. 2.5.1	RADIACIÓN EXTRATERRESTRE .....	381
A. 2.5.2	DURACIÓN MÁXIMA DE LA INSOLACIÓN (N) .....	381
A. 2.5.3	RADIACIÓN SOLAR O DE ONDA CORTA .....	381
A. 2.5.4	RADIACIÓN NETA DE ONDA LARGA .....	382
A. 2.5.5	RADIACIÓN NETA .....	383
<b>A. 2.6</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO .....</b>	<b>384</b>
<b>A. 2.7</b>	<b>VARIABLES CLIMÁTICAS A PARTIR DE BASE DE DATOS UNIVERSIDAD DE PRINCETON .....</b>	<b>384</b>
<b>A. 2.8</b>	<b>EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA .....</b>	<b>385</b>
<b>A. 3</b>	<b>INDICADORES DE SEQUÍA .....</b>	<b>386</b>
A. 3.1	RDI .....	386
A. 3.2	SPEI .....	386
<b>A. 4</b>	<b>MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO .....</b>	<b>388</b>
<b>A. 5</b>	<b>INTERPOLACIÓN ESPACIAL MEDIANTE EL MÉTODO KRIGING .....</b>	<b>394</b>
<b>A. 6</b>	<b>INSUMOS PARA LA MODELACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS .....</b>	<b>396</b>
A. 6.1	ZONAS DE MEDIOS DE VIDA .....	396
A. 6.2	ESTADÍSTICAS NACIONALES DE FAO .....	399
A. 6.3	ENCUESTAS NACIONALES AGROPECUARIAS .....	400
A. 6.4	INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR ENTIDADES LOCALES .....	404
A. 6.5	CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR AGRÍCOLA AL PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB) .....	407
A. 6.6	METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL AVALÚO DE LOS CULTIVOS .....	409
<b>A. 7</b>	<b>CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA .....</b>	<b>414</b>
A. 7.1	CONCENTRACIONES DE CO <sub>2</sub> [PPM] MEDIDAS ENTRE 1980 Y 2017 (DLUGOKENCKY & TANS, 2018) .....	414
A. 7.2	PROYECCIÓN DE CONCENTRACIONES DE CO <sub>2</sub> [PPM] SEGÚN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL IPCC .....	414
<b>A. 8</b>	<b>PARÁMETROS DE CULTIVOS PARA MÓDULO DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>416</b>
A. 8.1	PARÁMETROS QUE DEFINEN EL MODELO DE AQUACROP .....	416
A. 8.2	PARÁMETROS CONSERVATIVOS DE CULTIVOS CONSIDERADOS EN ESTE ESTUDIO .....	417
A. 8.3	PARÁMETROS ESPECÍFICOS SEGÚN TIPO DE CULTIVO .....	418
A. 8.3.1	ARROZ .....	418
A. 8.3.2	CAFÉ .....	419
A. 8.3.3	CAÑA .....	420
A. 8.3.4	CÍTRICOS .....	421
A. 8.3.5	FRÍJOL .....	423

A. 8.3.6	MAÍZ .....	424
A. 8.3.7	MANGO .....	425
A. 8.3.8	MELÓN.....	427
A. 8.3.9	PALMA .....	428
A. 8.3.10	PAPA .....	429
A. 8.3.11	PIÑA .....	431
A. 8.3.12	PLÁTANO/BANANO.....	432
A. 8.3.13	SANDIA .....	433
A. 8.3.14	SORGO .....	434
A. 8.3.15	TOMATE .....	436
<b>A. 9</b>	<b><u>ESTIMACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO POR SEQUÍA .....</u></b>	<b>438</b>
A. 9.1	MARCO TEÓRICO EL ENFOQUE HOLÍSTICO.....	439
A. 9.2	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	440
A. 9.3	EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO PARA EL SALVADOR .....	442
A. 9.4	EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO PARA GUATEMALA.....	454
A. 9.5	EVALUACIÓN HOLÍSTICA DEL RIESGO PARA HONDURAS.....	466
<b>A. 10</b>	<b><u>CONDICIONES ESTRUCTURALES CONDICIONANTES EN EL REGISTRO DE IMPACTOS POR DESASTRES.....</u></b>	<b>479</b>
A. 10.1	CALIDAD DE LOS DATOS .....	479
A. 10.2	CANTIDAD DE DATOS .....	479
A. 10.3	COMPARABILIDAD Y AGREGACIÓN DE LOS DATOS .....	479
A. 10.4	CONDICIONES ESTRUCTURALES CONDICIONANTES EN EL REGISTRO DE IMPACTOS POR SEQUÍA 480	
A. 10.4.1	VAGUEDAD CONCEPTUAL .....	480
A. 10.4.2	DIVERSIDAD DEL PORTAFOLIO AGROPECUARIO .....	481
A. 10.4.3	PARTICULARIDADES DE LA MANIFESTACIÓN DE LAS SEQUÍAS .....	482
A. 10.4.4	DÉFICITS EN CONDICIONES DE “NORMALIDAD” .....	483
<b>A. 11</b>	<b><u>RESULTADOS DE RIESGO POR CULTIVO .....</u></b>	<b>485</b>
A. 11.1	EL SALVADOR.....	485
A. 11.2	GUATEMALA .....	500
A. 11.3	HONDURAS .....	516
<b>A. 12</b>	<b><u>ARCHIVOS DIGITALES DE SOPORTE DE SEQUÍA .....</u></b>	<b>535</b>

## ABREVIACIONES

ACF:	Fundación Acción Internacional Contra El Hambre
AIC:	Criterio de Información de Akaike
AMHON:	Asociación de Municipios de Honduras
BANDESAI:	Banco de Desarrollo de El Salvador.
BANGUAT:	Banco de Guatemala
BCR:	Banco Central de Reserva de El Salvador
BIC:	Criterio Bayesiano de Información
CA:	Centro América
CCAD:	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CENTA:	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal de El Salvador
CEP:	Curva de Excedencia de Pérdidas
CHIRPS:	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
CIPF:	Unidad de Monitoreo Forestal del Centro de Información y Patrimonio Forestal de Honduras
COOPI:	Cooperazione Internazionale
CV:	Coeficiente de variación
DGEA:	Dirección General de Economía Agropecuaria de El Salvador
DICTA:	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria de Honduras
DIGEGR:	Dirección de información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos de Guatemala
EDI:	Effective Drought Index
ENA:	Encuesta Nacional Agropecuaria
ENOS:	El Niño-Oscilación del Sur
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEWS NET:	Famine Early Warning Systems Network
GCM:	<i>Global circulation model</i> o modelo de circulación global
ICF:	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras
ICTA:	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas de Guatemala
INE:	Instituto Nacional de Estadística en Honduras y El Salvador
INSIVUMEH:	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala
IPCC:	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador
MAGA:	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala



MARN:	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador
MINEC:	Ministerio de Economía de El Salvador
NCEI:	<i>National Centers for Environmental Information</i> o Centro Nacional de Información Climática de Estados Unidos
OMM:	Organización Meteorológica Mundial
PAE:	Pérdida Anual Esperada
PDSI:	<i>Palmer Drought Severity Index</i>
PIB:	Producto Interno Bruto
PIBA:	Producto Interno Bruto Agropecuario
PML:	Pérdida Máxima Probable o <i>Probable Maximum Loss</i>
PPAE:	Pérdida de Producción Anual Esperada
PREVDA:	Programa Regional para la Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental
RCP:	<i>Representative Concentration Pathways</i> o forcings antropogénicos
RDI:	<i>Reconnaissance Drought Index</i>
SAG:	Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras
SAN:	Seguridad alimentaria y nutricional
SCS:	Soil Conservation Service
SEN:	Sistema Estadístico Nacional de Guatemala
SESAN:	Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Guatemala
SIG:	Sistema de información geográfica
SIMA:	Sistema de información de mercados de productos agrícolas
SMNH:	Servicio Meteorológico Nacional de Honduras
SPEI:	<i>Standardized Precipitation Evapotranspiration Index</i>
SPI:	<i>Standardized Precipitation Index</i>
Ton:	Toneladas Métricas
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNISDR:	Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres
UPEG:	Unidad de Planeación y Evaluación de la Gestión de Honduras
USAID:	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USD:	Dólar estadounidense
VIGEA:	Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental de El Salvador
WFP:	World Food Programme
ZMV:	Zonas de Medios de Vida

## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta los resultados del *Perfil de Riesgo de Desastre por Sequía* para el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras, los tres países de la región del Triángulo Norte en Centroamérica (El Salvador, Guatemala y Honduras), que están dentro del Corredor Seco Centroamericano. El documento presenta los aspectos más relevantes de la metodología y resultados obtenidos en lo que se refiere a la evaluación probabilista de la amenaza por sequía, a la construcción de la base de elementos expuestos del sector agrícola y el modelo de vulnerabilidad de cultivos. En un mayor nivel de detalle se presenta la evaluación retrospectiva del riesgo de desastres y cálculo de la curva empírica de excedencia de pérdidas por país.

### ***Sequía como fenómeno amenazante***

Las sequías agrícolas ocurren cuando el contenido de agua del suelo no satisface la demanda de agua de los cultivos, hay un aumento de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta. Así, los escenarios considerados para la definición de la amenaza consisten en eventos de condiciones continuas y simultáneas de déficit de precipitación y alta temperatura. Para este estudio, el componente de amenaza para la evaluación probabilista del riesgo por sequías agrícolas se define como un conjunto de escenarios estocásticos, colectivamente exhaustivos y mutuamente excluyentes. Estos escenarios describen la distribución espacial, la frecuencia de ocurrencia y la aleatoriedad de la intensidad de las sequías en la región de interés. Los escenarios de sequía se derivan de la simulación estocástica de las condiciones meteorológicas (simulación de las series de lluvias y temperaturas), después de lo cual la identificación de las sequías se realiza mediante índices. Los resultados de la modelación de la amenaza se presentan en formato de mapas de amenaza por escenario, y curvas y mapas de amenaza integrada para toda la región estudio de El Triángulo del Norte y por país.

La amenaza por sequía que incluye cambio climático para el Triángulo del Norte considera las variaciones de clima según predicciones del modelo MPI-ESM-MR en su corrida 1 (Run 1) para los RCP 2.6, 4.5 y 8.5; son 3 escenarios de análisis. Según los resultados obtenidos, se puede concluir que las predicciones del modelo de circulación global MPI-ESM-MR derivan en sequías de mayor duración y similar severidad para un leve incremento de eventos de sequía. Sin embargo, es importante anotar que incluso sin los efectos del cambio climático, la evaluación de amenaza por sequía indica que se pueden presentar eventos de una alta gravedad que tiene impactos directos en el sector de la agricultura.

### ***Cultivos como elementos expuestos al impacto de la sequía***

En este estudio se evalúa el riesgo por sequía en el sector agrícola, por lo que los elementos expuestos son cultivos. El modelo de exposición de cultivos tiene como objetivo conformar una base de elementos expuestos en el área donde se estima el riesgo de sequía. Toda la información base fue tomada de fuentes oficiales y que en su mayoría es publicada en censos y encuestas nacionales agrícolas. La selección de los productos para cada país se hizo a partir del nivel de detalle de la información que se tenía disponible, además de considerar los cultivos más importantes y representativos de la economía de cada país, tanto en términos de subsistencia como producción con fines comerciales. Este modelo se enfoca en la escala nacional, por lo que no es posible diferenciar de forma directa áreas cultivadas para subsistencia o explotación agroindustrial.

### ***Vulnerabilidad de los cultivos en función de su respuesta a condiciones de estrés hídrico***

El modelo de vulnerabilidad de este estudio sigue la metodología de cálculo de rendimiento de productos agrícolas propuesta por la FAO. En el marco de este estudio, la vulnerabilidad se define en términos de la pérdida de rendimiento que sufre el cultivo durante un período prolongado de escasez de agua. Dado que se aplica un modelo agronómico de respuesta de cultivos, no se

emplearán curvas o funciones de vulnerabilidad. La complejidad de la metodología seleccionada para el modelo de vulnerabilidad de cultivos a la sequía representa la complejidad de este fenómeno como evento amenazante, y su interacción con sistemas naturales y sociales.

### ***Estimación de pérdidas de producción en el sector agrícola por efecto de las sequías***

Desde un enfoque probabilista, se estimó el riesgo por sequía para el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras en términos de la Pérdida Anual Esperada y Pérdida Máxima Probable junto con otras métricas de riesgo complementarias. Dentro del marco de este estudio, se considera que los efectos de la sequía en la agricultura se reflejan en disminución en la producción y no en daños de activos del stock agropecuario (destrucción o daños en infraestructura, maquinaria, herramientas o equipos). Es decir, la gravedad de los eventos de sequía se evalúa en términos de la diferencia entre la producción óptima y la real alcanzada bajo condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas. Incluso, las pérdidas en producción derivan en impactos directos hacia los productores, generando pérdidas económicas que afectan la cadena completa de producción y comercialización de productos.

En el contexto global, según el informe de los impactos de los desastres en el sector agrícola publicada por la FAO (2017), la agricultura absorbe de forma desproporcionada los impactos de las sequías, concentrando el 83%<sup>1</sup> de los daños y pérdidas causados por esta amenaza en todos los sectores. Según evaluaciones hechas a partir de reportes de pérdidas y daños por desastres a nivel global, se estima que la pérdida de producción, relativo a la producción potencial, debido a desastres asociados a fenómenos naturales es de 3.5%<sup>2</sup> para Centro América. Incluso, se estima que en zonas donde la ocurrencia de sequías es frecuente, en promedio las pérdidas en la producción agrícola están entre 3 y 4%, que pueden llegar hasta 10 o 20%<sup>3</sup> en algunos países africanos, para los eventos ocurridos entre 2005 y 2010.

La estimación de riesgo por sequía se hizo para diferentes escenarios de clima, incluyendo el clima actual (a partir del clima normal del periodo 1981-2010) y haciendo uso de proyecciones de un modelo de circulación global incluido en el AR5 del IPPC. De la evaluación hecha para el clima actual en los países de la Región Norte de Centro América, se puede concluir que Honduras es el país que presenta mayor riesgo, con una PAE de 5.66%, seguido de El Salvador con una PAE de 3.77% y por último Guatemala con 3.52%. Para escenarios que incluyen proyecciones de cambio climático, para los tres países resultan en una reducción de la PAE para el escenario de RCP 2.6 mientras que la PAE aumenta para el escenario de RCP8.5, que implica menores precipitaciones y mayores temperaturas en toda la región. Es importante notar que, en este caso, los valores de PAE se están normalizando bajo valores de producción anuales (valor expuesto de los cultivos), asociados con la temporalidad de los cultivos, y no sobre el stock de capital o el capital producido por un país. Esto muestra como los fenómenos de sequía afectan principalmente a la producción agrícola, que debe atenderse de forma prioritaria al ser valores anuales.

---

<sup>1</sup> Ver Página 16 de FAO, 2017.

<sup>2</sup> Ver Figura 2 en Página 26 de FAO, 2017.

<sup>3</sup> Ver Página 33 en FAO, 2017.

Comparación del valor de pérdida anual esperada del portafolio de cultivos completo para los tres países, bajo diferentes escenarios de clima.

Escenario de clima	El Salvador		Guatemala		Honduras	
	PAE	%	PAE	%	PAE	%
	USD Millones		USD Millones		USD Millones	
Clima Base	36.9	3.8%	196.1	3.5%	140.1	5.7%
RCP 2.6	32.2	3.3%	158.2	2.8%	107.4	4.3%
RCP 4.5	36.4	3.7%	207.1	3.7%	161.4	6.5%
RCP8.5	52.7	5.4%	337.4	6.1%	245.1	9.9%

También se pueden analizar los resultados de riesgo en términos de su impacto en la economía nacional. La siguiente tabla muestra los resultados de pérdida anual esperada relativa al valor del PIB nacional para 2017, reportado por el Banco Mundial. Estos indicadores muestran el efecto de las pérdidas derivadas por sequía en la economía nacional.

Comparación del valor del valor expuesto, y PAE con respecto al PIB nacional para los tres países, bajo diferentes escenarios de clima.

		El Salvador	Guatemala	Honduras
Valor expuesto [USD Millones]		980	5,574	2,477
PIB Nacional 2017 (WB) [USD Millones]		24,805	75,620	22,979
Relación VE/PIB [%]		3.9%	7.4%	10.8%
PAE/PIB2017 [%]	Clima Base	0.15%	0.26%	0.61%
	RCP 2.6	0.13%	0.21%	0.47%
	RCP 4.5	0.15%	0.27%	0.70%
	RCP 8.5	0.21%	0.45%	1.07%

Es importante anotar que incluso sin los efectos del cambio climático, la evaluación de amenaza y riesgo por sequía indica que se pueden presentar eventos de una alta gravedad que tiene impactos directos en el sector de la agricultura, generando altas pérdidas anuales esperadas y pérdidas máximas probables en el sector agrícola.

### **Uso de los resultados de la evaluación probabilista de riesgo por sequía**

Esta es la primera vez que en la región se realiza una evaluación prospectiva del riesgo por sequía y se evalúan sus impactos en el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras. Estos resultados son el insumo para desarrollar iniciativas que busquen mitigar los efectos de la sequía, y haciendo uso de mejores prácticas agrícolas, reducir las pérdidas probables económicas y en producción que tienen un impacto considerable en la economía nacional y en términos de seguridad alimentaria.

Dada la complejidad de la sequía como fenómeno peligroso y de las interacciones entre los sistemas socio-ecológicos durante estos eventos, el avance en riesgo por sequías es muy poco a nivel mundial. Sin embargo, al cuantificar el riesgo y sus componentes de amenaza, exposición y vulnerabilidad, se brindan herramientas para la toma de decisiones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad social en el momento en que ocurre una sequía.

Algunos ejemplos de aplicación de los resultados del modelo probabilista de riesgo son:

- Planificación del territorio con el uso de mapas de amenaza integrada: *¿dónde y qué sembrar para reducir las pérdidas esperadas? ¿Dónde establecer nuevos proyectos agro-industriales? ¿En qué zonas del país incentivar el uso de semillas resistentes a sequia?*
- Inversión en proyectos de infraestructura: *¿qué distritos de riego priorizar?*
- Seguros agrícolas para la transferencia del riesgo: *¿Cuál es la prima pura de riesgo?*
- Análisis costo-beneficio de estrategias de manejo de cultivos (como distritos de riego, construcción de reservorios, uso de fertilizantes, rotación de cultivos).
- Medidas de adaptación a variabilidad climática.

Estas aplicaciones se pueden desarrollar a escala local, subnacional o nacional por iniciativas públicas y/o privadas. Este no es un modelo de pretenda pronosticar sequias, por lo que no es posible su uso como sistema de alerta temprana.

## 1 INTRODUCCIÓN

---

Una de las actividades fundamentales de la gestión del riesgo de desastres a nivel de país es la evaluación del riesgo catastrófico, o de eventos extremos, para lo cual es necesario aplicar metodologías confiables que permitan una adecuada estimación y cuantificación del potencial de pérdidas en un tiempo de exposición determinado. No obstante, aunque se han desarrollado a nivel internacional diversas metodologías para la evaluación detallada del riesgo para diferentes tipos de amenazas naturales, pocas metodologías permiten realizar un análisis a nivel país por dos razones principales: primero, la falta de información detallada que impide la conformación de bases de datos robustas para describir la exposición y, segundo, la falta de metodologías que permitan modelar de manera integrada las amenazas, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo que se deriva de su respectiva convolución.

Para alcanzar, entonces, el objetivo general de identificar y cuantificar el riesgo catastrófico de un país, es necesario utilizar un método que permita tener en cuenta las amenazas naturales en forma integral, que incluya de la manera más completa, y en lo posible detallada, la exposición de los bienes expuestos –teniendo en cuenta sus principales características–, que permita tener en cuenta la vulnerabilidad específica de cada elemento y que, finalmente, permita la evaluación del riesgo mediante un proceso de cálculo probabilista apropiado que tenga en cuenta las incertidumbres propias e inherentes a este tipo de evaluaciones, así como las inevitables limitaciones en la información disponible.

Este informe presenta la metodología y resultados obtenidos para los tres países de la región del Triángulo del Norte en Centroamérica (El Salvador, Guatemala y Honduras), que están dentro del Corredor Seco Centroamericano, en lo que se refiere a la evaluación del riesgo de desastres y cálculo de la curva híbrida de excedencia de pérdidas por país.

### 1.1 Sequía

La sequía es una amenaza de desarrollo lento, con impactos nulos sobre edificaciones o infraestructura, pero muy elevados para las actividades agropecuarias, así como para la población expuesta. La afectación de la población adquiere diferentes manifestaciones sectoriales y territoriales. Además de la que se realza con mayor frecuencia (la reducción en la disponibilidad de agua para consumo doméstico y sus consecuentes impactos en materia de higiene y alimentación), las afectaciones pueden manifestarse mediante la interrupción en el suministro eléctrico, en países en donde existe una dependencia de fuentes de energía hidroeléctrica; interrupciones en el funcionamiento de actividades industriales que requieren altos volúmenes de agua; o afectaciones en el transporte en territorios donde la población utiliza rutas fluviales. Los impactos de la sequía dependen no sólo de la magnitud del evento natural, sino también de la vulnerabilidad de la sociedad en el momento en que ocurre la sequía. Es bien sabido que la pobreza y la segregación social son factores que agravan las condiciones de vulnerabilidad de los asentamientos humanos expuestos a peligros naturales y que los desastres perpetúan la pobreza y contribuyen al subdesarrollo de dichos asentamientos, lo que vuelve a favorecer la vulnerabilidad, en un, aparentemente, interminable círculo vicioso. Este concepto se aplica también a las sequías, con la diferencia que esta amenaza no causa pérdidas sobre el ambiente construido (edificaciones e infraestructura en general), sino que ocasiona una degradación a los medios de subsistencia de la población expuesta (principalmente agua y cultivos), aumentando las condiciones de inseguridad y, en consecuencia, aumentando el riesgo a niveles que pueden exceder los impuestos por eventos catastróficos (Hagman, 1984 en Donald A Wilhite, 1993).

La sequía en Centroamérica afecta principalmente al sector agrícola, y de manera menos intensa al sistema de recarga de las fuentes de agua. Esto indica que, en el contexto centroamericano, las

sequías meteorológicas recurrentes son, en general, suficientemente intensas como para transformarse en sequías agrícolas.

## **1.2 El Corredor Seco de Centroamérica**

El Corredor Seco Centroamericano define un grupo de ecosistemas existentes en la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica. Esta región comprende una franja que cubre las partes bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central premontana de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Debido a sus condiciones predominantemente secas, esta zona es particularmente propensa a experimentar sequías periódicas y de variable intensidad, las cuales generan situaciones de estrés ambiental y productivo en los niveles regional, nacional y local.

A diferencia del resto del mundo, en Centroamérica la sequía se entiende de una forma un tanto diferente ya que esta es cíclica y depende estrechamente del periodo "Niño" del ENOS. Esta sequía está más relacionada con una distribución anómala de precipitación dentro del periodo lluvioso que en una disminución de la precipitación anual total, por lo que cuando se presenta una sequía, la precipitación total anual permanece cerca al promedio histórico. El promedio anual de precipitación en el Corredor Seco está entre los 800 – 2,000 mm, dentro del cual existen unas áreas a forma de pequeños "islotos" en la parte central de Honduras y Guatemala donde se presentan las menores precipitaciones (800 - 1,000mm), los cuales se ven rodeados concéntricamente por franjas en donde la precipitación va aumentando gradualmente. En eventos de sequía, las lluvias en la vertiente del Pacífico inician más temprano (abril o mayo) y se comportan ligeramente por encima de lo usual, luego en junio se reducen, manteniéndose en julio y agosto por debajo del promedio, y finalmente el periodo lluvioso se suspende más temprano (mediados de octubre). Estas variaciones, especialmente en junio-agosto y octubre, tiene un fuerte impacto en la agricultura ya que en el primer caso se afecta la finalización de la cosecha de primera y el inicio de la siembra de la postrema, y en el segundo caso interrumpe el ciclo de los cultivos de postrema (Van der Zee, van der Zee, Mayrat, Poveda, & Picado, 2012). Es debido a estas condiciones que las sequías meteorológicas en Centroamérica derivan comúnmente en sequías agrícolas, pero no sequías hidrológicas.

Van der Zee et al. (2012) presenta un mapa del grado de sequía para el Corredor Seco Centroamericano (ver Figura 1-1), en donde se zonifica el Corredor según tres distintos grados de sequía – Severa, Alta y Baja – cuyo resultado es bastante acertado en cuanto a las anomalías en la producción agrícola de las que se tiene información. Este mapa fue obtenido de realizar la combinación de tres mapas: el mapa de meses secos, el mapa de precipitación media multianual de cada país y el mapa de Zonas de Vida de Holdridge. Este último incluye factores como elevación, evapotranspiración, biotemperatura y provincia de humedad, los cuales se relacionan con el desarrollo de los tipos de vegetación y la vida; es en realidad la cobertura actual clasificada con el sistema de la UNESCO modificada para Centroamérica (Van der Zee et al., 2012).

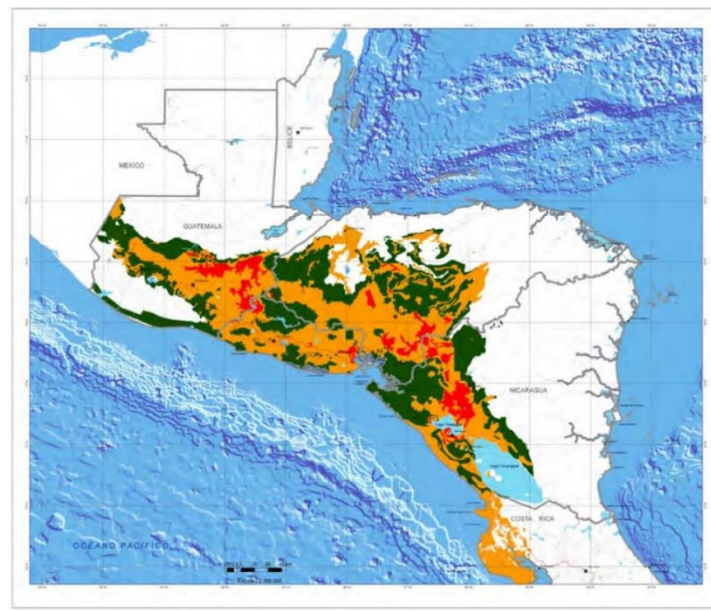


Figura 1-1. Grados de sequía en el Corredor Seco (Verde: Baja; Amarillo: Alta; Rojo: Severa)  
(Tomado de Van der Zee et al., 2012)

El grado *Severo* de sequía corresponde a una precipitación baja (800 – 1,200 mm/año), más de 6 meses secos y una evapotranspiración alta (promedio mayor a 200 mm/mes). El grado *Alto* corresponde a precipitación media (1,200 – 1,600 mm/año), 4 a 6 meses secos y evapotranspiración media (~130 mm/mes). El grado *Bajo* corresponde a precipitación alta (1,600 – 2,000 mm/año), 4 a 6 meses secos y evapotranspiración baja (promedio menor a 100 mm/mes). Del área total del Corredor Seco, un 7.5% se clasifica en zonas de sequía severa, un 50.5% en zonas de sequía alta y un 42% en zonas de sequía baja. El Salvador es el país con menor área con efectos severos de sequía (4% - 25 municipios), mientras que Guatemala es el país con mayor área con efectos severos de sequía (11.8% - 54 municipios), y Honduras es el país con mayor área con efectos bajos de sequía (41.7% - 76 municipios) (Van der Zee et al., 2012).

En Centroamérica, especialmente desde la década del 2000, la sequía cobró relevancia dentro del contexto regional de riesgo de desastre. Principalmente asociada con impactos en el sector agropecuario, los cuales guardan una estrecha relación con las condiciones de seguridad alimentaria y nutricional (SAN) y pobreza de una cantidad significativa de familias, este fenómeno hidrometeorológico se está mostrando en una complejidad hasta hace poco conocida.



## 2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR SEQUÍA

La gestión del riesgo comprende todo el conjunto de acciones que pueden ser ejecutadas con el fin de reducir el impacto negativo de los desastres en el marco del desarrollo. El primer paso para una correcta gestión del riesgo es identificarlo y cuantificarlo. Ahora bien, para conocer el riesgo deben conocerse sus componentes: la amenaza, los elementos expuestos y su vulnerabilidad. La amenaza se refiere a la ocurrencia de un fenómeno natural, en este caso las sequías, y la severidad con que impacta una región específica. Los elementos expuestos son el conjunto de bienes o activos que se encuentran expuestos a la amenaza y pueden llegar a sufrir daños que deriven en pérdidas económicas o afectación a la población. Por último, la vulnerabilidad es esa medida de susceptibilidad a sufrir daño que tienen los elementos expuestos, tras la manifestación de la amenaza en su ubicación. La evaluación del riesgo resulta entonces de la combinación de sus tres componentes. Este procedimiento se resume en la Figura 2-1.

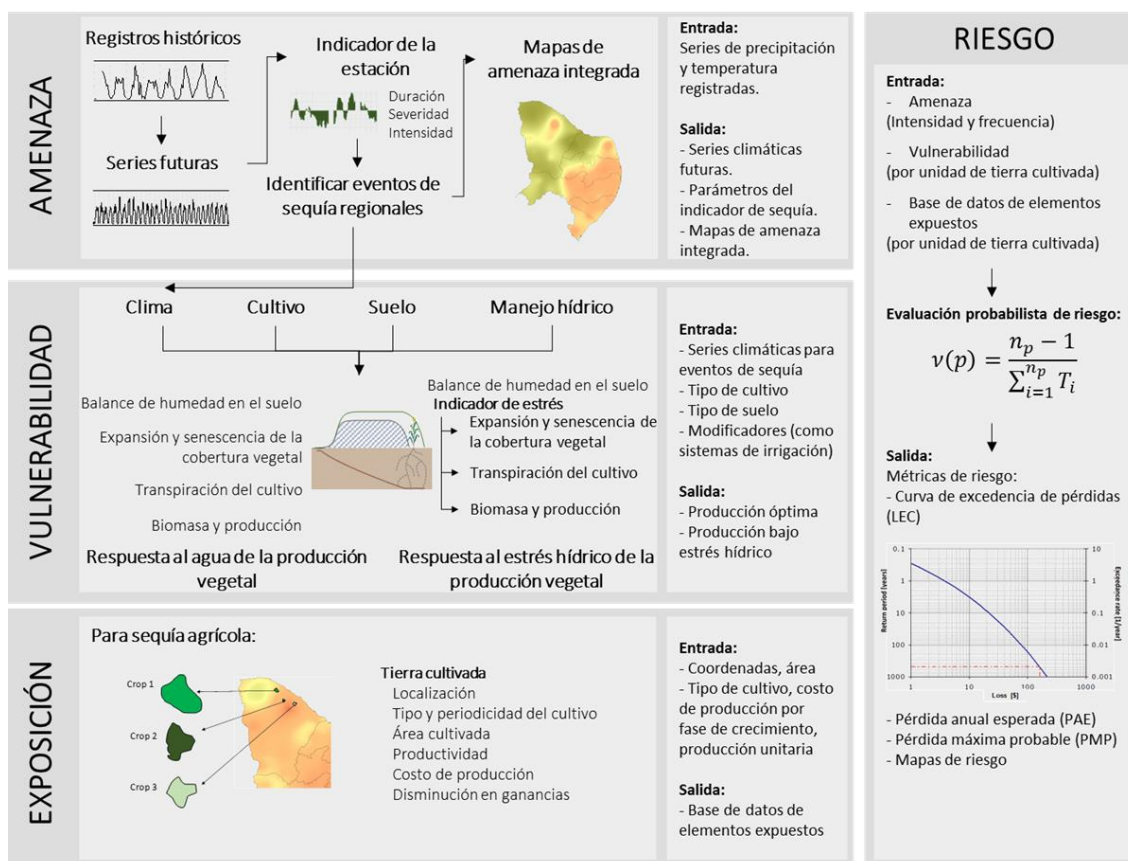


Figura 2-1. Esquema de modelo de evaluación probabilista de riesgo por sequía

La identificación del riesgo por sequía en la región norte de Centro América se hizo siguiendo la metodología de análisis probabilista que tiene como objetivo estimar la distribución de probabilidad de la pérdida que puede presentarse en un conjunto de elementos expuestos, tras la ocurrencia de un fenómeno natural. La modelación probabilista permite entonces realizar pronósticos sobre los niveles futuros de pérdida, considerando la amenaza propia de la región de estudio y la incertidumbre en su estimación, así como la vulnerabilidad inherente de los elementos expuestos y su incertidumbre.

## **2.1 Componentes del análisis del riesgo**

### **2.1.1 Amenaza**

En términos generales, la amenaza se representa por medio de una colección de escenarios, generados de manera estocástica, los cuales representan de manera integral, y en términos de probabilidad, la amenaza de una región. Cada escenario tiene asociada una frecuencia de ocurrencia y contiene la distribución espacial de parámetros que permiten construir la distribución de probabilidad de las intensidades producidas por su ocurrencia. La razón por la cual debe representarse la amenaza como una colección de escenarios está relacionada directamente con la evaluación del riesgo, dado que esta representación permite aplicar la metodología probabilista de análisis de riesgo de manera directa, y permite incluir de manera racional las incertidumbres asociadas a la amenaza.

Para el caso de la sequía, la amenaza se calcula a partir de la identificación de eventos regionales con condiciones simultáneas de déficit hídrico y altas temperaturas, que se derivan de la generación estocástica de series de clima. La sequía, para esta metodología, se describe a partir de su severidad, duración e intensidad; tanto en escalas temporales como espaciales. La descripción de la amenaza como componente del análisis de riesgo se presenta en detalle en la Sección 3 de este informe.

### **2.1.2 Elementos expuestos**

Los elementos expuestos, que son el conjunto de bienes o activos susceptibles de sufrir daños y producir pérdidas, dada la ocurrencia de los escenarios que definen la amenaza. Estos elementos se caracterizan por su ubicación geográfica, su valor de reposición y tipo. Los elementos expuestos son fundamentales dentro del análisis de riesgo, debido a que comprenden los objetos sobre los cuales se evalúan las pérdidas, es decir, son la fuente de las pérdidas potenciales debido al hecho de estar expuestos a una amenaza y ser susceptibles de sufrir un daño.

Toda la información sobre la definición de los elementos expuestos en la evaluación probabilista del riesgo por sequía se presenta en la Sección 4 de este informe. En este caso, la evaluación de riesgo por sequía se hace con énfasis en el sector agrícola de los tres países de estudio, por lo que los elementos expuestos son cultivos susceptibles a eventos de déficit hídrico. Los cultivos incluidos en el estudio se limitan a condiciones de secano que son aquellos que no cuentan con irrigación.

### **2.1.3 Representación de la vulnerabilidad para la evaluación del riesgo**

La vulnerabilidad puede entenderse como las características del elemento expuesto para resistir el impacto derivado de la ocurrencia de un evento peligroso. Estas características determinan el grado en el cual la integridad elemento queda en riesgo por cuenta del evento peligroso. En el caso de la evaluación de riesgo por sequía, el componente de vulnerabilidad está conformado por la metodología de respuesta de los cultivos a la disponibilidad de agua, aplicada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y publicada en el Artículo 66 de la unidad de Drenaje e Irrigación (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012b). El resultado del módulo de vulnerabilidad cuantifica las diferencias entre el rendimiento óptimo alcanzado por la planta sin restricciones de agua y el rendimiento real logrado bajo condiciones de estrés hídrico.

La vulnerabilidad es una característica intrínseca de los elementos expuestos y que caracteriza el comportamiento de los elementos expuestos (cultivos) durante la ocurrencia de un evento peligroso (sequía). Para la metodología aplicada en este estudio, no se considera la definición de vulnerabilidad mediante curvas en las que la pérdida en el elemento expuesto es función de la intensidad de amenaza que ocurra en su ubicación. Por el contrario, la metodología de vulnerabilidad de respuesta de los cultivos al agua (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012a), está asociada a reducciones en el rendimiento del cultivo según el uso de parámetros específicos por especie que

definen los procesos físicos, químicos y biológicos que interactúan en el modelo de desarrollo de la planta y sus interacciones con los sistemas de atmósfera y suelo.

Información detallada sobre la representación de la vulnerabilidad para la evaluación del riesgo se presenta en la Sección 5 de este informe.

## 2.2 Enfoque probabilista en la evaluación del riesgo

En este trabajo, el objetivo de la evaluación probabilista del riesgo es evaluar las pérdidas potenciales para el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras debido a la ocurrencia natural de condiciones de sequía, considerando exposición y vulnerabilidad de cultivos no irrigados. Este enfoque permite identificar áreas geográficas y tierras cultivadas en riesgo. El riesgo se modela en términos de pérdida económica, definida como una variable aleatoria que incorpora la incertidumbre presente en los componentes de amenaza, vulnerabilidad y exposición del modelo.

La teoría actuarial del riesgo provee el marco conceptual necesario para abordar el problema en términos de probabilidad. Esta teoría permite modelar la ocurrencia de desastres y pérdidas causadas en el tiempo. Por supuesto, se considera (como es natural) que la ocurrencia de desastres no está determinada (no es determinista) en el tiempo, sino que se puede modelar con un proceso de Poisson. Un proceso de Poisson es un tipo de proceso estocástico que marca la ocurrencia de eventos en el tiempo de manera totalmente aleatoria. Los eventos, dentro de este contexto, se refieren a la ocurrencia de las pérdidas, independientemente de su origen. Es esto por lo que la teoría de riesgo es aplicable a cualquier fenómeno natural. La Figura 7-1 muestra una ilustración del proceso de Poisson.

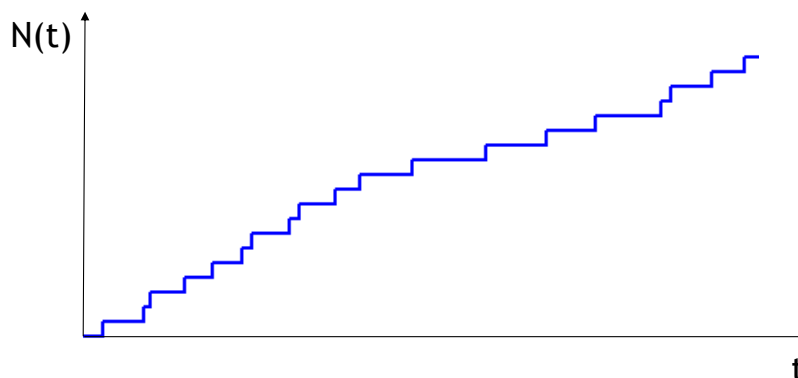


Figura 2-2. Ilustración de un proceso de Poisson

En un proceso de Poisson, se estudian dos variables aleatorias: el tiempo ( $t$ , variable independiente) y el número de eventos ocurridos en determinado tiempo ( $N(t)$ , variable dependiente). Como se ilustra en la Figura 7-1, los momentos de ocurrencia de los eventos se producen de manera totalmente estocástica, por lo cual se tienen en realidad infinitas posibilidades de desarrollo de un mismo proceso de Poisson. El parámetro principal del proceso de Poisson es su intensidad (o tasa)  $\lambda$ . El resultado del proceso es una colección de variables aleatorias con las siguientes características:

- Las variables aleatorias  $N(t)$ , es decir el número de ocurrencias en determinado tiempo, se distribuyen **Poisson** con parámetro  $\lambda t$
- Si  $T_k$  es el tiempo transcurrido entre el evento  $k-1$  y el evento  $k$ , entonces  $T_k$  es una variable aleatoria con distribución **exponencial** y parámetro  $\lambda$ .
- Si  $S_n$  es el tiempo transcurrido entre el evento inicio y el evento  $n$ , entonces  $S_n$  es una variable aleatoria con distribución **gamma** y parámetros  $n$  y  $\lambda$ .

El proceso de Poisson se configura entonces en términos de un único parámetro. Dentro de la evaluación del riesgo, este parámetro es la tasa de excedencia de pérdidas. Esto significa que, si se quiere modelar el riesgo de que se presenten en el futuro eventos que superan una pérdida  $p$ , entonces debe calcularse su tasa de excedencia  $v(p)$  como función de la probabilidad de que cualquiera de todos los escenarios de amenaza factibles de ocurrir en el territorio, supere  $p$ .

Sin embargo, la estimación de las tasas de excedencia  $v(p)$  no puede limitarse a un único valor de  $p$ . Es esto por lo cual se calcula la Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP), la cual indica precisamente el valor de  $v(p)$  para cualquier  $p$  (desde 0 hasta el valor expuesto total). Esto significa que la CEP contiene los parámetros  $\lambda$  apropiados para definir el proceso estocástico de ocurrencia, en el tiempo, de pérdidas iguales o superiores a  $p$ , para cualquier valor económico de  $p$ . La CEP provee entonces una cuantificación exhaustiva del problema de riesgo, en términos de probabilidad.

A partir de la CEP se pueden calcular gran cantidad de métricas probabilistas, que ayudan a una completa comprensión del problema de riesgo a nivel nacional. Entre estas cabe resaltar la *Pérdida Anual Esperada* y la *Pérdida Máxima Probable*:

- a) *Pérdida Anual Esperada* (PAE): se trata del valor esperado de la pérdida anual. Es una cantidad importante puesto que indica, por ejemplo, que, si el proceso de ocurrencia de pérdidas fuera estacionario de aquí a la eternidad, su costo equivaldría a haber pagado la PAE anualmente. Por tanto, en un sistema simple de seguro, la pérdida anual esperada sería la prima pura de riesgo.
- b) *Pérdida Máxima Probable* (PML por las iniciales en inglés de *Probable Maximum Loss*): se trata de una pérdida que ocurre poco frecuentemente, es decir, que está asociada a un periodo de retorno muy largo (o, alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja). No existen estándares universalmente aceptados para definir qué quiere decir “poco frecuentemente”. De hecho, la elección de un periodo de retorno u otro para tomar cierta decisión depende de la aversión al riesgo de quien la está tomando. En la industria aseguradora, por ejemplo, los periodos de retorno utilizados para definir la PML varían entre 200 y al menos 1500 años.

Las tasas de excedencia pueden estimarse a partir de la información histórica contenida en una base de datos de desastres (evaluación retrospectiva o empírica) o por medio de un modelo de riesgo (evaluación prospectiva o analítica). Para este proyecto se desarrollarán los cálculos de la curva de excedencia siguiendo ambos enfoques.

### 2.2.1 Curva de excedencia de pérdidas

Al realizar la evaluación de riesgo por escenarios, los eventos de sequía valorados se organizan en una gráfica de pérdida vs. tiempo, como se muestra en la Figura 2-3. Al establecer una pérdida económica  $p$ , se puede identificar en la gráfica todos los eventos cuyas pérdidas exceden  $p$ . Los tiempos entre eventos ( $T_1, T_2, \dots, T_{1n}$ ) también se estiman a partir de la Figura 2-3 y se usan para estimar el parámetro  $\lambda$  de una distribución exponencial, la cual corresponde a la distribución de probabilidad del tiempo entre eventos de un proceso de Poisson. Además, este parámetro de la distribución exponencial tiene la particularidad de ser el mismo  $\lambda$  que define el proceso de Poisson completamente (i.e. es la misma tasa de excedencia,  $\lambda = v(p)$ ). Para el caso de la evaluación prospectiva del riesgo por sequía, la ventana de tiempo considerada para calcular  $\lambda$  es igual al número de simulaciones estocásticas de las series climáticas, y en este caso es de 1,000 años equivalentes.

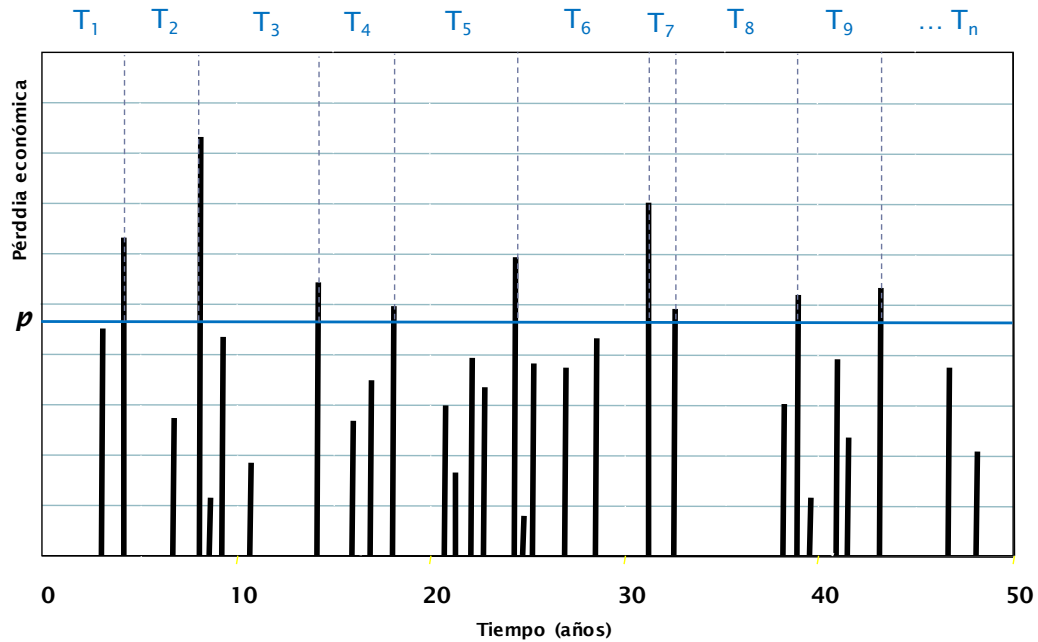


Figura 2-3. Pérdidas por evento en una ventana amplia de tiempo

La tasa de excedencia poblacional ( $\Lambda$ ) es estimada mediante la tasa de excedencia empírica ( $\hat{\Lambda}$ ) de la siguiente manera:

$$\hat{\Lambda} = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad 2-1$$

En donde  $n$  es el número de eventos que superan la pérdida  $p$  y  $T_i$  son los tiempos observados. Este estimador cumple con los cuatro criterios estadísticos de calidad de la estimación de parámetros de distribuciones de probabilidad: es no sesgado, de varianza mínima, consistente y suficiente. Ahora bien, es posible demostrar que el estimador  $\hat{\Lambda}$  sigue una distribución de probabilidad *Gamma inversa* con parámetros  $n$  y  $(n-1)\hat{\Lambda}$ , a partir de lo cual se puede determinar su coeficiente de variación (CV) como:

$$CV = \frac{1}{\sqrt{n-2}} \quad 2-2$$

El coeficiente de variación indica la relación entre la desviación estándar y la media de una variable aleatoria. Como se indica en la Ecuación 2-2, CV disminuye a medida que el número de datos ( $n$ ) aumenta. La Ecuación 2-2 es una fórmula estándar, aplicable a cualquier problema de estimación del riesgo por eventos, en donde el CV de la tasa de excedencia varía con el tamaño de la muestra como se indica en la Figura 7-3.

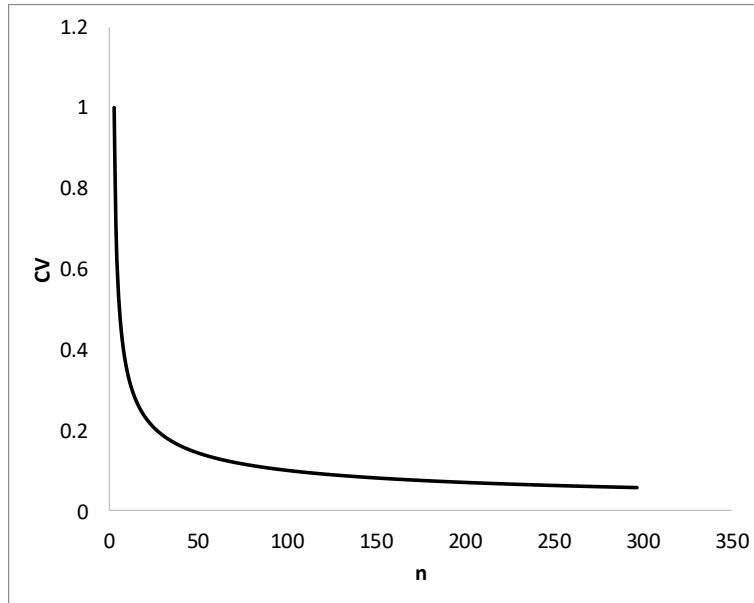


Figura 2-4. Variación del coeficiente de variación de la tasa de excedencia con el tamaño de la muestra.

El CV crece rápidamente a medida que  $n$  disminuye. Esto quiere decir que, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas grandes (eventos catastróficos) a partir de pocos eventos modelados, para los cuales se contará con un valor pequeño de  $n$  (es decir, pocos eventos que exceden esa pérdida dentro del conjunto de escenarios de sequía), la dispersión de la estimación (i.e. su desviación estándar) es muy grande en comparación a la estimación misma, lo cual implica una mayor incertidumbre. Por el contrario, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas con un mayor número de eventos modelados,  $n$  será necesariamente un número más grande y, en consecuencia, la dispersión de la tasa disminuye a valores incluso despreciables en la práctica. Esto es por lo que, para que el resultado sea estadísticamente suficiente se debe hacer uso de un gran número de años simulados dentro de los cuales se pueda identificar un número considerable de eventos de sequía.

Es así como el riesgo se define por medio de la curva de excedencia de pérdidas (ver Figura 2-5), la cual establece el número de veces en un año en las que un valor de pérdida se verá excedido. Esta cantidad se conoce como la *tasa anual de excedencia*, la cual es un valor único y específico para cada cuantía de pérdida, e incorpora el aporte de todos los posibles escenarios de sequía contenidos en la evaluación de la amenaza. Como se mencionó anteriormente, la tasa de excedencia es igual al parámetro  $\lambda$  que define la ocurrencia en el tiempo de los eventos de pérdida, es decir:

$$\nu(p) = \frac{n_p - 1}{\sum_{i=1}^{n_p} T_i} \quad 2-3$$

en donde  $p$  es la pérdida económica,  $\nu(p)$  es su tasa anual de excedencia,  $n_p$  es el número total de eventos en los cuales se supera  $p$  y  $T_i$  es el tiempo  $i$  entre eventos que superan  $p$ . El periodo de retorno  $Tr(p)$  se calcula como el inverso de la tasa de excedencia  $\nu(p)$ .

$$Tr = \frac{1}{\nu(p)} \quad 2-4$$

El periodo de retorno es el valor esperado del tiempo entre eventos. Es decir, corresponde al periodo de tiempo promedio para el cual, considerando una ventana temporal de observación

suficientemente amplia, se verá igualada o excedida una pérdida dada, y se muestra en el eje vertical de la derecha de la curva ejemplo mostrada en la Figura 2-5.

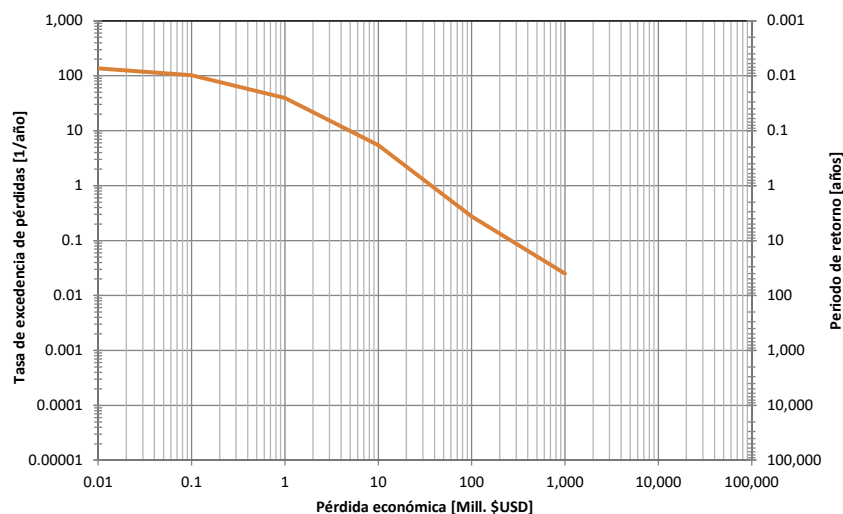


Figura 2-5. Ejemplo de curva de excedencia de pérdidas. El eje vertical muestra la tasa de excedencia (izquierda) y su valor inverso o periodo de retorno (derecha). El eje horizontal muestra la pérdida asociada.

El cálculo de la Ecuación 2-3 corresponde a la estimación de la tasa de excedencia de las cuantías de pérdida que ocurren en todos los activos expuestos (unidades de tierra cultivada) para todos los eventos potencialmente nocivos incluidos en el modelo de amenaza (el conjunto de escenarios estocásticos de sequía regional previamente identificados). La pérdida para un escenario de sequía se determina mediante la suma de las pérdidas causadas en las unidades individuales cultivadas.

En la evaluación retrospectiva del riesgo, la curva de excedencia de pérdidas se calcula directamente de los datos disponibles. Estos datos corresponden a estimaciones del costo de los desastres ocurridos en el pasado (la estimación del costo asociado a desastres pasados se trata en la siguiente sección). Más detalles sobre la estimación de la curva de excedencia de pérdidas para la evaluación retrospectiva se presentan en la Sección 7 de este informe.

Para la evaluación prospectiva del riesgo de sequía, la pérdida  $p$  en la Ecuación 2-3 se debe a la reducción en los ingresos de producción (lucro cesante) de cultivos debido a la reducción en el rendimiento de cada unidad de tierra cultivada, en donde se conocen el tipo de suelo, tipo de cultivo, su estacionalidad y su valor económico de reposición. La pérdida económica en una unidad cultivada, para un escenario específico, se calcula como:

$$P_i = A \cdot PV \cdot (Y_x - Y_i) \quad 2-5$$

en donde  $P_i$  es la pérdida económica para el escenario  $i$ ,  $A$  es el área de la unidad de tierra cultivada,  $PV$  es la valoración económica del cultivo,  $Y_x$  es el rendimiento máximo (calculado bajo condiciones óptimas) y  $Y_i$  es el rendimiento para el escenario  $i$  bajo condiciones de déficit hídrico.

Como se muestra en la Figura 2-6, la evaluación probabilista prospectiva del riesgo de sequía se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Para cada evento de sequía, se determina la pérdida en todas y cada una de las unidades cultivadas, considerando tipo de suelo, tipo de cultivo, estacionalidad y fase fenológica.

2. Se calcula la pérdida causada por todo el evento de sequía, como la suma de las pérdidas individuales causadas en las unidades cultivadas.
3. Una vez se conocen las pérdidas de todos los escenarios de sequía, se calculan las tasas de excedencia según la Ecuación 2-3.

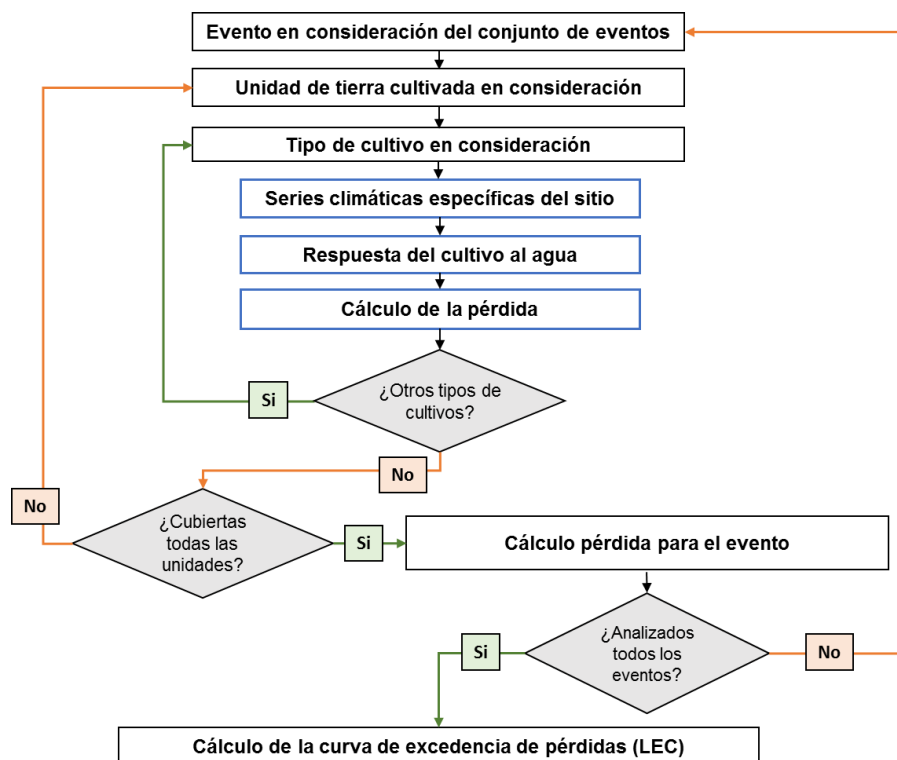


Figura 2-6. Diagrama de flujo para la metodología de evaluación de riesgo por sequía

## 2.3 Métricas de riesgo

A partir de la curva de excedencia de pérdidas es posible obtener diversas métricas del riesgo, las cuales son útiles para diferentes fines dentro de la toma de decisiones y la gestión del riesgo. Estas métricas pretenden proporcionar una representación integral del riesgo, por lo general condensada en uno o unos pocos números, en lugar de proporcionar todo el conjunto de las pérdidas por escenarios o la curva de excedencia de pérdidas completa.

### 2.3.1 La pérdida anual esperada (PAE)

La PAE corresponde al valor esperado de la pérdida anual. Indica el valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras. En un esquema simple de seguro, la PAE sería la prima pura anual justa. Se calcula como a partir del conjunto de eventos como:

$$PAE = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{T} \quad 2-6$$

Es decir, se trata del valor esperado de las pérdidas anuales. La PAE se puede obtener también como el área bajo la curva de excelencia de pérdidas. La pérdida anual esperada es un indicador importante dado que integra en un único valor el efecto, en términos de pérdida, de la ocurrencia de los escenarios de amenaza sobre los elementos expuestos vulnerables. Se considera como el indicador más robusto de riesgo, no solo por su capacidad de resumir el proceso de generación de pérdidas en un solo número, sino por ser relativamente insensible a la incertidumbre.



### 2.3.2 La pérdida máxima probable (PML)

Se denota PML por sus siglas en inglés (Probable Maximum Loss). Corresponde a una pérdida que ocurre poco frecuentemente, es decir, que está asociada a un periodo de retorno grande. Como se indicó anteriormente, el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia de pérdidas. En realidad, la PML es una curva que relaciona las pérdidas a su correspondiente periodo de retorno. No obstante, es práctica común definir la PML como un único valor. La selección del periodo de retorno de la PML depende exclusivamente de la aversión al riesgo del tomador de decisiones. Por ejemplo, en la industria aseguradora el periodo de retorno de la PML se toma usualmente entre 200 y 1500 años. Este estudio presenta como resultado la curva de pérdida máxima probable (PML) para un amplio rango de periodos de retorno, así como el valor de la PML para 20, 50, 100 y 200 años. La selección del periodo de retorno la hace el tomador de decisión, según el objetivo de la evaluación. No existe un estándar aceptado mundialmente.

### 2.3.3 La probabilidad de quiebra ( $P_Q$ )

Asumiendo que el proceso de ocurrencia de las pérdidas en el tiempo sigue un proceso de Poisson, es posible determinar la probabilidad de alcanzar o exceder un nivel de pérdida dado, en un periodo de exposición particular,

$$\Pr(P > p) = 1 - e^{-v(p) \cdot T} \quad 2-7$$

en donde  $\Pr(P > p)_T$  es la probabilidad de excedencia de la pérdida  $p$ , en el lapso de tiempo  $T$  (dado en años). Si la pérdida  $p$  corresponde a la PML, entonces el término  $\Pr(P > p)_T$  se conoce como la *probabilidad de quiebra* ( $P_Q$ ), la cual no es más que la probabilidad de exceder la PML en un lapso de tiempo  $T$ .

### 2.3.4 Otras métricas del riesgo

Como se mencionó anteriormente, la curva de excedencia de pérdidas contiene toda la información necesaria para caracterizar de manera rigurosa la ocurrencia de pérdidas. Es posible determinar directamente de  $\square(p)$  otras métricas del riesgo que pueden ser relevantes para la toma de decisiones. Aquí se presentan algunos ejemplos.

La función de densidad de probabilidad de la pérdida durante el próximo evento, o un evento tomado al azar, se obtiene como,

$$f(p) = -\frac{1}{v(0)} \cdot \frac{dv(p)}{dp} \quad 2-8$$

La probabilidad de exceder un nivel de pérdida particular tras la ocurrencia del próximo evento, o un evento tomado al azar, se puede calcular como,

$$\Pr(P > p) = \frac{v(p)}{v(0)} \quad 2-9$$

La función de densidad de probabilidad del tiempo hasta la ocurrencia del próximo evento ( $t$ ) es exponencial y se define como,

$$f(t) = v(p) \cdot e^{-v(p) \cdot t} \quad 2-10$$

El número de eventos ( $N$ ) que ocurrirán en un lapso de tiempo  $T$ , que igualan o exceden la pérdida  $p$ , se distribuye Poisson, por lo cual la probabilidad que ese número sea igual a  $n$  es,

$$\Pr(N = n) = \frac{v(p) \cdot T \cdot e^{-v(p) \cdot T}}{n!} \quad 2-11$$

## 2.4 Impacto de los desastres en el sector agrícola

La agricultura es particularmente vulnerable a los desastres asociados a amenazas naturales, por su alta dependencia en las condiciones climáticas. Los desastres impactan al sector agrícola más allá del corto plazo, en especial los desastres asociados a eventos de sequía cuya fecha de inicio, duración y fecha de resolución no son fácilmente determinables. Los efectos de los desastres en la agricultura son principalmente pérdidas en las cosechas y destrucción de su infraestructura, como los invernaderos o sistemas de riego. Cuando la amenaza es la sequía, se espera que no se tengan impactos en la infraestructura, pero sí en los valores de producción.

Una de las grandes limitaciones para cuantificar el impacto de la sequía en el sector agrícola es la falta de información sobre estos eventos. Esto se debe a que los registros de pérdidas y daños por los desastres no se toman en forma sistemática lo que impide hacer análisis estadísticos y comparaciones confiables. Entonces, las bases de datos no cuentan con información relevante para entender el efecto de las sequías a diferentes escalas (nacional, regional o global) ni su evolución en el tiempo.

Con esto en mente, el presente proyecto de evaluación probabilista de riesgo por sequía en El Salvador, Guatemala y Honduras adopta la metodología de *Los impactos de desastres y crisis en la agricultura y la seguridad alimentaria* propuesta por la FAO (2017) disponible para consulta en <http://www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf>. Esta metodología está enfocada en la implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, y junto con la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres (UNISDR) buscan dar respuesta a la necesidad de un indicador global de pérdida económica en la agricultura causado por desastres. Esta metodología busca atender el *Objetivo de Desarrollo Sostenible 1.5*<sup>4</sup>: Fomentar la resiliencia de las personas que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y reducir su exposición y vulnerabilidad a fenómenos extremos relacionados con el clima; así como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030<sup>5</sup> *Meta C-2*: Reducir las pérdidas económicas directas ocasionadas por los desastres en el sector agrícola.

El objetivo de la FAO (2017) es desarrollar una metodología estándar, aplicable a nivel mundial, por lo que este proyecto es una oportunidad para adoptar esta metodología en El Salvador, Guatemala y Honduras. El alcance de la metodología de evaluación de impactos considera los subsectores agrícolas, pecuario, silvicultura, acuicultura y pesca. Para el presente proyecto, se evalúan los impactos por eventos de sequía únicamente en el subsector agrícola.

### 2.4.1 Daños vs. pérdidas

En términos generales, la cuantificación del impacto de los desastres en el sector agrícola hace una diferencia importante entre los conceptos de daño y pérdida:

- Daño: es la destrucción parcial o total de los activos físicos e infraestructura en áreas afectadas por desastres. Se expresa en términos de los costos de reemplazo o reparación. En el sector agrícola, el daño incluye impactos a cultivos permanentes, maquinaria, sistemas de irrigación, refugios de ganado, entre otros.
- Pérdida: se refiere a los cambios en los flujos económicos derivados de un desastre. En el sector agrícola, las pérdidas incluyen la disminución de ingresos asociado a reducción del rendimiento de la cosecha, disminución de ingresos asociados a reducción en la producción de derivados pecuarios. También se puede considerar el momento después de ocurrido el desastre en el que el incremento de los costos de los insumos, mayores costos

---

<sup>4</sup> Para más información sobre la Agenda 2030 y los ODS, ver PNUD 2018 o visitar: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

<sup>5</sup> Para más información sobre el marco de Sendai, ver UNISDR 2016 o visitar: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeforriskdisaster.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeforriskdisaster.pdf)

operacionales, gastos más altos en imprevistos significan menores ganancias de la actividad agrícola general.

La Figura 2-7 muestra la diferencia que hace la FAO (2017) en términos de daño y pérdida para la producción y los activos en el sector agrícola. En cuanto a la producción, el daño corresponde a los impactos de los desastres a insumos y producción almacenada, así como impactos en cultivos permanentes; mientras que, para la pérdida, los impactos se ven reflejados en la variación de los ingresos al productor asociado con disminuciones en los rendimientos de la cosecha. Por otro lado, para los activos los daños están asociados a impactos en maquinaria, equipo y herramienta y no se consideran pérdidas, al no asociar cambios en flujos económicos a los activos. La medición se hace a partir de avalúos y costos de reparación/reemplazo estimados en condiciones anteriores al evento y diferencias en ingresos percibidos entre cosecha óptima y cosecha en condición de desastre. La metodología también puede incluir los costos temporales que deben incurrir los productores para mantener las actividades agrícolas durante o luego de la ocurrencia de un desastre.

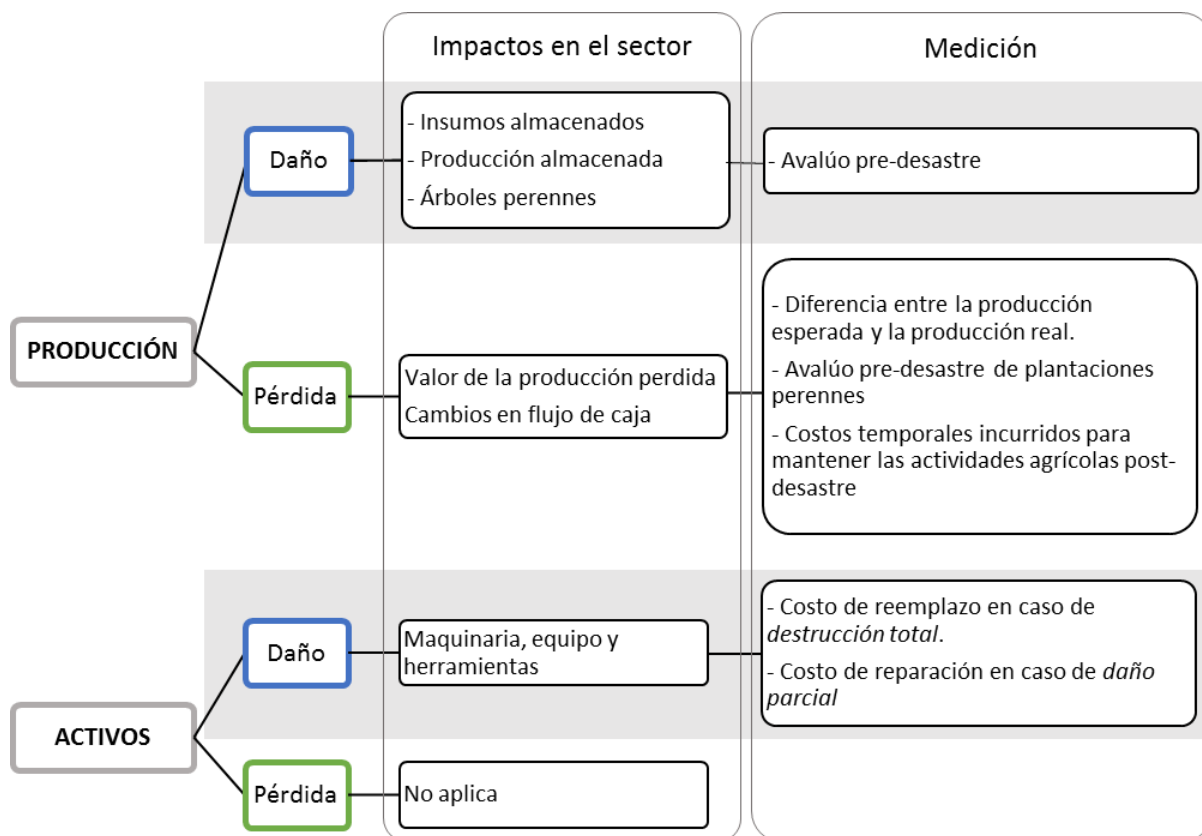


Figura 2-7. Diferencias entre pérdidas y daños en el sector agrícola (Elaboración propia a partir de FAO, 2017)

El caso específico de los impactos de la sequía en la producción de cultivos se muestra en la Figura 2-8. En este caso, no se consideran daños o pérdidas para los activos de los productores, considerando que la amenaza por déficit hídrico no representa destrucción parcial o total de maquinaria, equipo, herramientas o infraestructura. Para la producción, se consideran los impactos tanto para cultivos transitorios como para cultivos permanentes. El daño en la producción no se consideran afectaciones a la cosecha e insumos almacenados; sin embargo, se puede estimar el costo de reposición de los árboles en etapa productiva muertos por estrés hídrico. Las pérdidas en la producción están asociados a diferencias entre la cosecha óptima ( $Y_x$ ) y la cosecha alcanzada

bajo condiciones de estrés hídrico ( $Y_i$ ), que a su vez se pueden medir como la diferencia entre los ingresos potenciales en condiciones óptimas ( $\$x$ ) versus los ingresos reales alcanzados bajo condiciones de sequía ( $\$i$ ). Las pérdidas de producción también incluyen la destrucción total de cultivos transitorios o permanentes y los costos para la recuperación post-desastre.

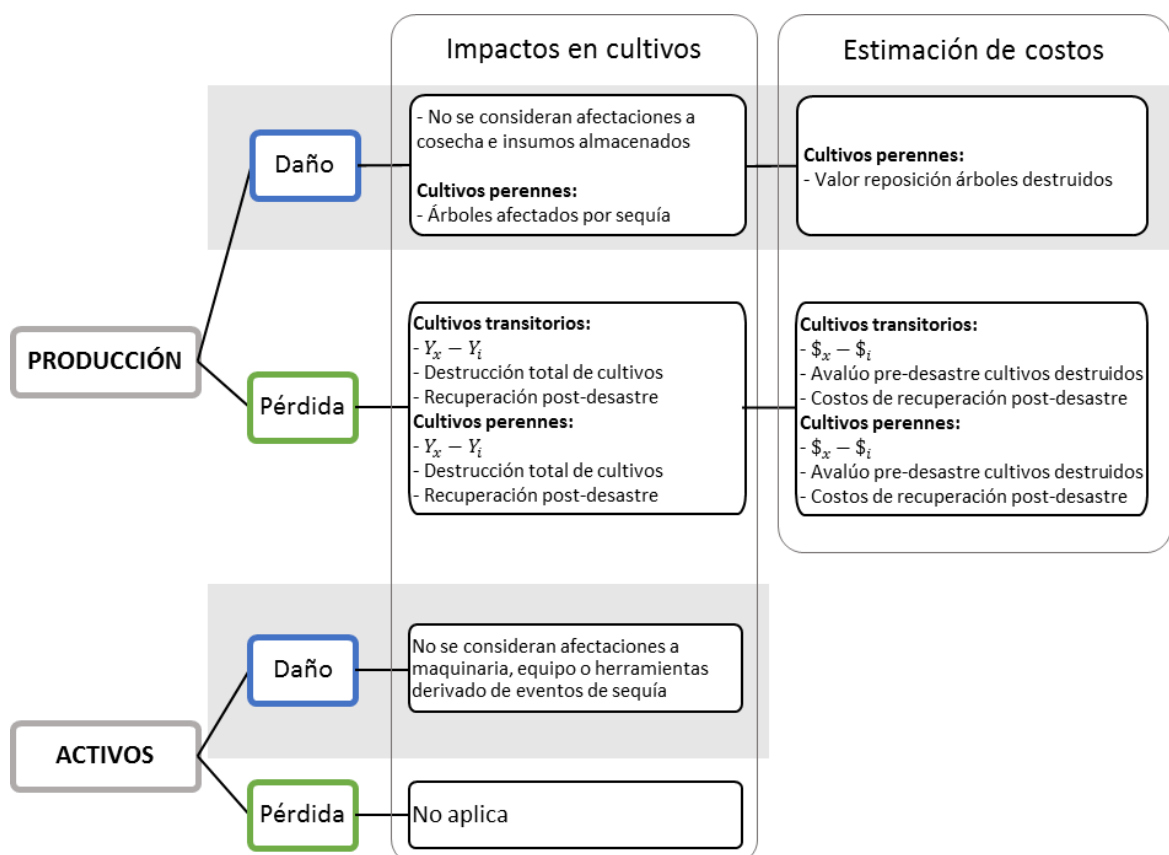


Figura 2-8. Diferencias entre pérdidas y daños en el sector agrícola para desastres asociados con sequía aplicadas en este estudio. (Elaboración propia a partir de FAO, 2017).

Dado el alcance del proyecto de evaluación probabilista del riesgo por sequía en El Salvador, Guatemala y Honduras, así como la disponibilidad de información, el presente estudio se limita a estimar las pérdidas en la producción asociadas con diferencias entre la cosecha óptima ( $Y_x$ ) y la cosecha alcanzada bajo condiciones de estrés hídrico ( $Y_i$ ). La estimación de estas pérdidas se hace con referencia a los precios de producción por producto, reportados en cada país por instituciones oficiales. Para ampliar la implementación de la metodología de estimación de impactos por desastres, se requiere información local sobre valores de reposición de árboles destruidos, avalúos pre-desastre para cultivos y costos de recuperación asumidos por el productor.

Es importante mencionar que esta metodología debe hacer suposiciones y definir límites para su interpretación, ya que la producción del sector agrícola está sujeta a variaciones anuales producto de múltiples circunstancias que no necesariamente se relacionan con la ocurrencia de eventos amenazantes, como lo son las variaciones en el mercado, cambios en la demanda, la variabilidad normal del clima o brotes de enfermedades. La FAO hace las siguientes consideraciones que se deben aplicar en este estudio:

- El uso de la producción esperada implica que la cosecha resultante es producto de las condiciones impuestas por la sequía, y ninguno de los factores que no está relacionado con la sequía (mercado, enfermedades, oferta/demanda) tiene un efecto significativo.
- El impacto de los desastres en la producción se asume por completo en el mismo año en el que el evento ocurre, y no se considera la acumulación de impactos para eventos que ocurran en años sucesivos.

En conclusión, la metodología de evaluación de impactos desarrollada por la FAO ofrece una base para fortalecer las instituciones nacionales y sus capacidades para monitorear y registrar información relacionada a daños y pérdidas causadas por desastres (FAO, 2017, p. 120). Al adoptarla en el presente estudio se busca apoyar la implementación de esta metodología en El Salvador, Guatemala y Honduras.

## **2.5 Alcance de la metodología**

La metodología de evaluación de riesgo de sequías pretende evaluar las pérdidas con respecto a la producción potencial de cultivos expuestos. Esto es lo mismo que evaluar la disminución en el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de estrés hídrico, aplicando la metodología de dinámica de respuesta de las plantas a la disponibilidad de agua. Esta metodología no considera cualquier otro efecto adverso de las sequías sobre sectores diferentes al agrícola. Al definir el alcance de la metodología a la estimación de pérdidas en el sector agrícola, ésta no considera pérdidas o afectaciones de vidas humanas. Incluso, este estudio no considera efectos sobre la disponibilidad de agua para suministro de agua potable, generación de energía o dinámicas del agua subterránea.

Otras consideraciones sobre el alcance de la metodología de evaluación probabilista de riesgo por sequía son:

- La metodología de amenaza por sequía contempla en su alcance la generación estocástica de series de precipitación y temperatura (proceso estadístico de simulación del clima a partir de registros históricos). La modelación de otras variables climáticas (humedad, radiación, velocidad del viento) implica el uso de modelos complejos de circulación atmosférica e interacción de sistemas terrestres, que no está dentro del alcance de este estudio.
- El efecto del cambio climático se considera únicamente para las proyecciones de precipitación y temperatura. Los modelos de circulación global siempre brindan proyecciones de estas dos variables, y en pocos casos brindan información sobre otros parámetros climáticos (humedad, radiación, velocidad del viento) al ser parámetros complejos que responden a interacciones físicas y químicas de los modelos acoplados de atmósfera-oceano-superficie terrestre-hielo oceánico.
- En la creación del modelo de exposición, la selección de los productos para cada país se hizo a partir del nivel de detalle de la información que se tenía disponible, además de considerar los cultivos más importantes y representativos de la economía de cada país, tanto en términos de subsistencia como producción con fines comerciales. Sin embargo, por restricciones del modelo de vulnerabilidad, al no contar con parámetros calibrados para algunos productos, estos no se pueden incluir en su totalidad en la evaluación del riesgo. Los productos no incluidos en el estudio son el cardamomo y el hule, que tienen una alta importancia económica en Guatemala y la piña que es un producto de alta producción en toda la región.
- Este modelo se enfoca en la escala nacional, por lo que no es posible diferenciar de forma directa áreas cultivadas para subsistencia o explotación agroindustrial.
- La base de datos de cultivos generada en este estudio también incluye las prácticas agrícolas típicas de la región. El modelo de exposición incluye detalles como las épocas de siembra de primera y postrera (ajustando las áreas de cultivo en cada caso) y la siembra asociada de productos (por ejemplo, siembra de maíz y frijol en la misma área). Estos

modelos no consideran la rotación de cultivos. En el caso de cultivos permanentes, se considera que están en etapa productiva, es decir, los árboles ya completaron su crecimiento vegetativo.

- El modelo de vulnerabilidad de este estudio sigue la metodología de cálculo de rendimiento de productos agrícolas propuesta por la FAO (Steduto et al., 2012a). En el marco de este estudio, la vulnerabilidad se define en términos de la pérdida de rendimiento que sufre el cultivo durante un período prolongado de escasez de agua. Dado que se aplica un modelo agronómico de respuesta de cultivos, no se emplearán curvas o funciones de vulnerabilidad.
- La estimación de impactos económicos para el sector agrícola se limita a la estimación de pérdidas asociadas a la diferencia entre la cosecha óptima y la alcanzada bajo condiciones de estrés hídrico, evaluadas según costos de producción. No se consideran pérdidas asociadas con disminución en la calidad del producto, que puede implicar un menor precio de venta. Las pérdidas se suponen que son producto del evento amenazante y no considera factores externos como variaciones del mercado, brotes de enfermedades, entre otros.
- La metodología hace uso de rendimientos de producción (total de cosecha producida en toneladas por unidad de área en hectáreas) para las condiciones locales. Estos rendimientos, obtenidos de fuentes oficiales, son rendimientos de referencia que permiten verificar los resultados de rendimiento obtenidos con el modelo para estimar las pérdidas. Sin embargo, cabe resaltar que dichos rendimientos se asumen estáticos en el modelo dado que no se tienen en cuenta las mejores prácticas agrícolas que en un futuro puedan adoptarse y que resulten en un incremento del rendimiento de los cultivos.

## **2.6 Interpretación de los resultados**

A continuación, se hace una breve explicación de la correcta interpretación y lectura de los resultados obtenidos en la evaluación de riesgo por sequía.

### **2.6.1 Pérdida máxima probable (PML)**

El principal resultado de este estudio es la curva de pérdidas máximas probables, o curva de PML (Probable Maximum Loss). Esta curva indica la relación entre las pérdidas y un periodo de retorno (de la pérdida y no del evento amenazante). De esta curva se pueden definir valores de pérdida probable para ciertos periodos de retorno (por ejemplo 20, 50, 100 y 200 años). La selección del periodo de retorno de la PML depende exclusivamente de la aversión al riesgo del tomador de decisiones.

La siguiente gráfica (Figura 2-9) es un ejemplo de la curva de PML, en donde a partir de un período de retorno seleccionado en el eje horizontal, que en este caso corresponde a 100 años, se puede determinar el valor de la pérdida reportada en el eje vertical, lo que indica que esta pérdida ocurrirá una vez en promedio cada 100 años.

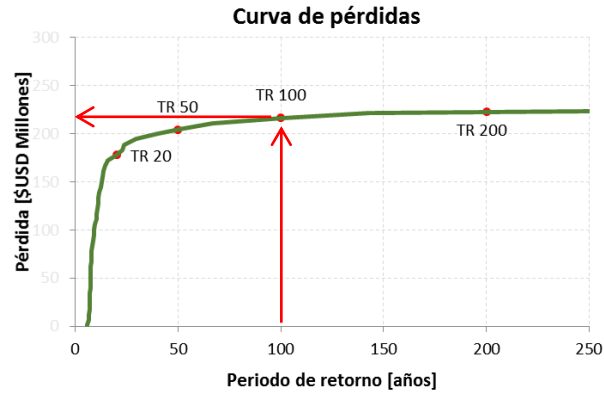


Figura 2-9. Ejemplo de curva de PML

Para una acertada comunicación de los resultados de riesgo, se prefiere presentar como resultado la curva de *pérdida vs. periodo de retorno* sobre la curva de *pérdida vs. tasa de excedencia* llamada curva de excedencia de pérdidas, porque se considera que es más claro entender el significado del periodo de retorno de un valor de pérdida de, por ejemplo, 200 años, al de una tasa de excedencia correspondiente de 0.005 (considerando que el periodo de retorno es el inverso de la tasa de excedencia).

### 2.6.2 Probabilidad de excedencia de pérdidas en un año

Esta curva indica cuál es la probabilidad de exceder un cierto valor de pérdida en un intervalo de tiempo, determinado como la vida útil. Considerando que los cultivos típicamente tienen una ventana de exposición de un año, al ser cultivos transitorios que se reemplazan anualmente o en el caso de los cultivos permanentes para los cuales se considera un periodo de producción anual, esta curva indica la probabilidad de superar un cierto nivel de pérdida en el próximo año.

La Figura 2-10 es un ejemplo de probabilidad de excedencia del valor de la pérdida en el año inmediatamente siguiente, en donde a partir de un valor de pérdida seleccionado en el eje horizontal, que en este caso corresponde a \$100 millones de dólares, se puede determinar la probabilidad de que ese valor sea superado en el próximo año reportada en el eje vertical, lo que indica que hay una probabilidad del 10% de que en el siguiente año se supere una pérdida de \$100 millones de dólares.

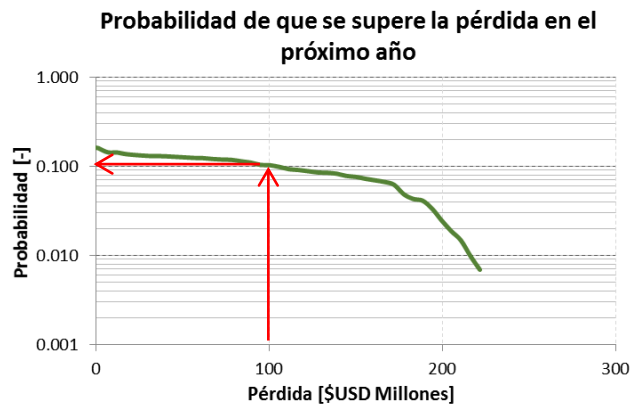


Figura 2-10. Ejemplo de curva de probabilidad de excedencia de pérdidas en un año

### 2.6.3 Probabilidad de excedencia de pérdidas en el próximo evento de sequía

Esta curva indica cuál es la probabilidad de exceder un cierto valor de pérdida tras la ocurrencia del próximo evento de sequía, o de un evento tomado al azar. Es diferente a la curva anterior, que indica la probabilidad de superar una cierta pérdida el siguiente año, porque esta curva no considera el tiempo entre eventos amenazantes. Por el contrario, considera la probabilidad de que las pérdidas asociadas a un evento superen un cierto valor, comparado con las pérdidas de cada sequía dentro del conjunto total de eventos simulados.

La gráfica presentada en la Figura 2-11 es un ejemplo de probabilidad de excedencia del valor de la pérdida en un siguiente evento de sequía, en donde a partir de un valor de pérdida seleccionado en el eje horizontal, que en este caso corresponde a \$100 millones de dólares, se puede determinar la probabilidad de que ese valor sea mayor en el próximo evento reportada en el eje vertical, lo que indica que hay una probabilidad del 60% de que en el siguiente evento de sequía se supere esta pérdida de \$100 millones de dólares.

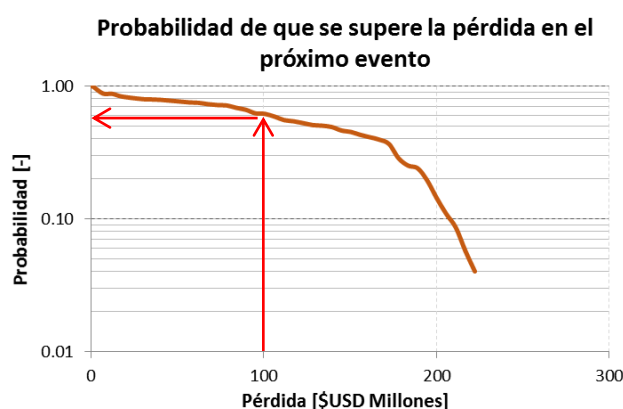


Figura 2-11. Ejemplo de curva de probabilidad de excedencia de pérdida en el próximo evento

### 2.6.4 Pérdida anual esperada (PAE)

Como ya se mencionó, la PAE se considera como el indicador más robusto de riesgo debido a que determina la esperanza matemática de las pérdidas anuales y es poco sensible a la incertidumbre. Este valor representa la también llamada prima pura de riesgo en el sector de los seguros y es la anualización de todas las pérdidas que se tendrán a futuro, y por lo tanto equivaldría al valor que se tendría que pagar cada año para cubrir dichas pérdidas.

El análisis de los resultados de riesgo por sequía para los cultivos evaluados incluye la comparación de pérdidas anuales esperadas, en términos totales y relativos al valor expuesto, para cada uno de los escenarios de cambio climático modelados como se muestra en la siguiente gráfica de ejemplo. Esta comparación es útil para evaluar el efecto que tiene el cambio en precipitación, en términos de incrementos o disminución de lluvias, y de temperatura, en términos de aumento de la temperatura del aire, en el riesgo para los cultivos expuestos. Se puede observar que la condición actual (simulación base) reporta el menor valor relativo que se pierde cada año a causa de eventos de sequía.



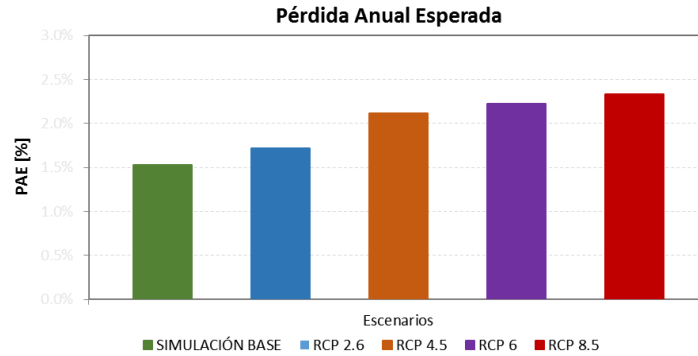


Figura 2-12. Ejemplo de PAE para los diferentes escenarios climáticos modelados

## 2.7 Drought Pro

Drought Pro (Bernal, G., Rincón, D., Cardona, O.D. 2018) es un software desarrollado por el grupo consultor, cuyo objetivo es la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por sequía. Permite estimar las pérdidas en los cultivos expuestos a eventos de sequía, haciendo uso de modelos de vulnerabilidad que relacionan el déficit de agua disponible para el cultivo con su crecimiento y producción de cosecha. En la Figura 2-13 se observa una ventana ejemplo del programa Drought Pro para la evaluación del riesgo por sequía en cultivos. Drought Pro permite almacenar, editar y actualizar la información de amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo. Este software es una plataforma independiente, desarrollada con herramientas de programación avanzadas.

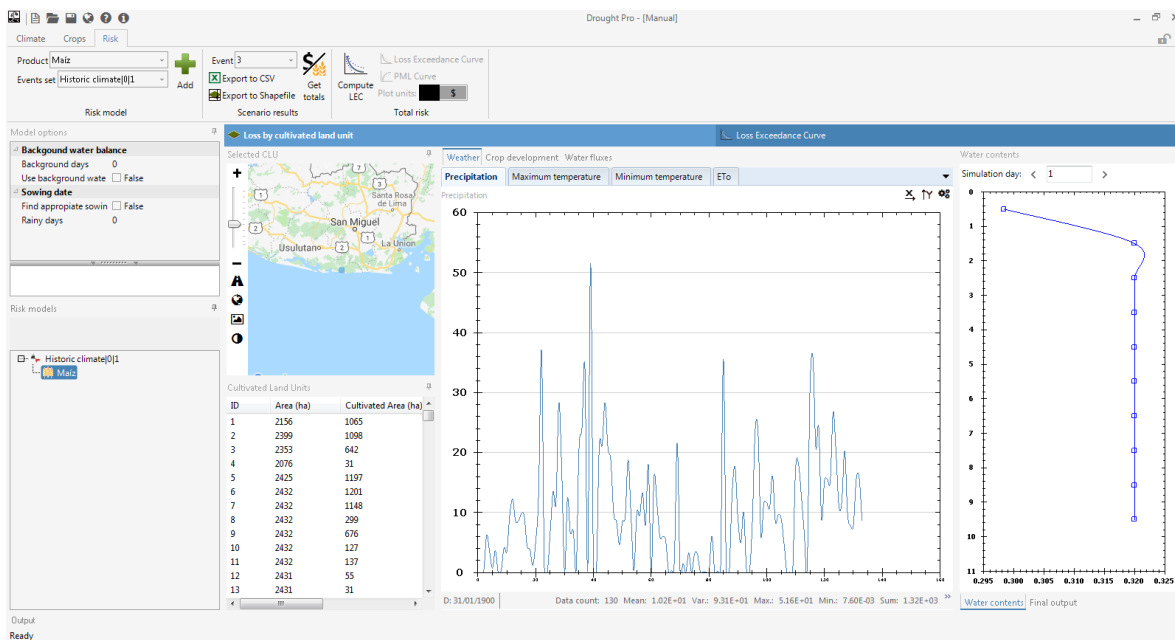


Figura 2-13. Software Drought Pro para estimación de pérdidas en producción agrícola por sequía.

Drought Pro integra los módulos de amenaza con los módulos de exposición y vulnerabilidad para hacer una estimación de riesgo, que se presenta en términos de pérdidas económicas o de producción, para el sector agrícola. Para calcular el riesgo por sequía en el sector agrícola en primer lugar, se modela la amenaza a partir de los registros históricos de precipitación y temperatura, con el fin de generar series futuras correlacionadas de parámetros climáticos e identificar condiciones de sequía a muy largo plazo. Posteriormente, se ingresa la base de datos de elementos expuestos con

datos sobre ubicación, características de los cultivos (parámetros propios, tipo y estacionalidad), área, productividad y costo de producción de cada unidad de tierra cultivada. Luego, la vulnerabilidad de los cultivos se define a partir de parámetros fenológicos y físicos que representan el desarrollo de los cultivos y permiten estimar la diferencia entre la producción óptima de rendimiento (si no hay límites para agua y nutrientes) y producción bajo déficit hídrico. Por último, el riesgo de sequía agrícola se modela en términos de pérdidas económicas derivadas de la pérdida de rendimiento debido a la escasez de agua. El riesgo se expresa en términos de la curva de excedencia de pérdidas, la pérdida anual esperada y las pérdidas máximas probables; métricas de riesgo que son útiles para los procesos de toma de decisiones.

Drought Pro calcula para múltiples escenarios de clima y cultivos las principales métricas de riesgo de forma simultánea. Se obtienen entonces resultados tanto para el portafolio completo de cultivos, como desagregado por producto. Las actividades de transferencia de conocimiento se enfocan en capacitar a los interesados en la modelación probabilista de riesgo por sequía, en el uso de todos los módulos implementados en Drought Pro.

***Drought Pro es un sistema realizado por INGENIAR para llevar a cabo estudios especializados de riesgo por sequía con un enfoque probabilista compatible con los demás módulos de la plataforma CAPRA-NG de INGENIAR (Next Generation). Este programa (Bernal et. al., 2018) es de propiedad de INGENIAR. ©INGENIAR CAD/CAE Ltda. 2018. Su uso puede ser facilitado y acordado con sus autores, con fines académicos y no comerciales.***

### 3 MODELACIÓN PROBABILISTA DE LA AMENAZA POR SEQUÍA

Las sequías agrícolas ocurren cuando el contenido de agua del suelo no satisface la demanda de agua de los cultivos, hay un aumento de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta. Así, los escenarios considerados para la definición de la amenaza consisten en eventos de condiciones continuas y simultáneas de déficit de precipitación y alta temperatura. Para este estudio, el componente de amenaza para la evaluación probabilista del riesgo por sequías agrícolas se define como un conjunto de escenarios estocásticos, colectivamente exhaustivos y mutuamente excluyentes. Estos escenarios describen la distribución espacial, la frecuencia de ocurrencia y la aleatoriedad de la intensidad de las sequías en la región de interés. Los escenarios de sequía se derivan de la simulación estocástica de las condiciones meteorológicas (simulación de las series de lluvias y temperaturas), después de lo cual la identificación de las sequías se realiza mediante índices. En este documento se presenta el resultado detallado de la modelación de la amenaza de sequía para El Salvador, Guatemala y Honduras, siguiendo la metodología propuesta por el consultor que se muestra de forma esquemática en la Figura 3-1.

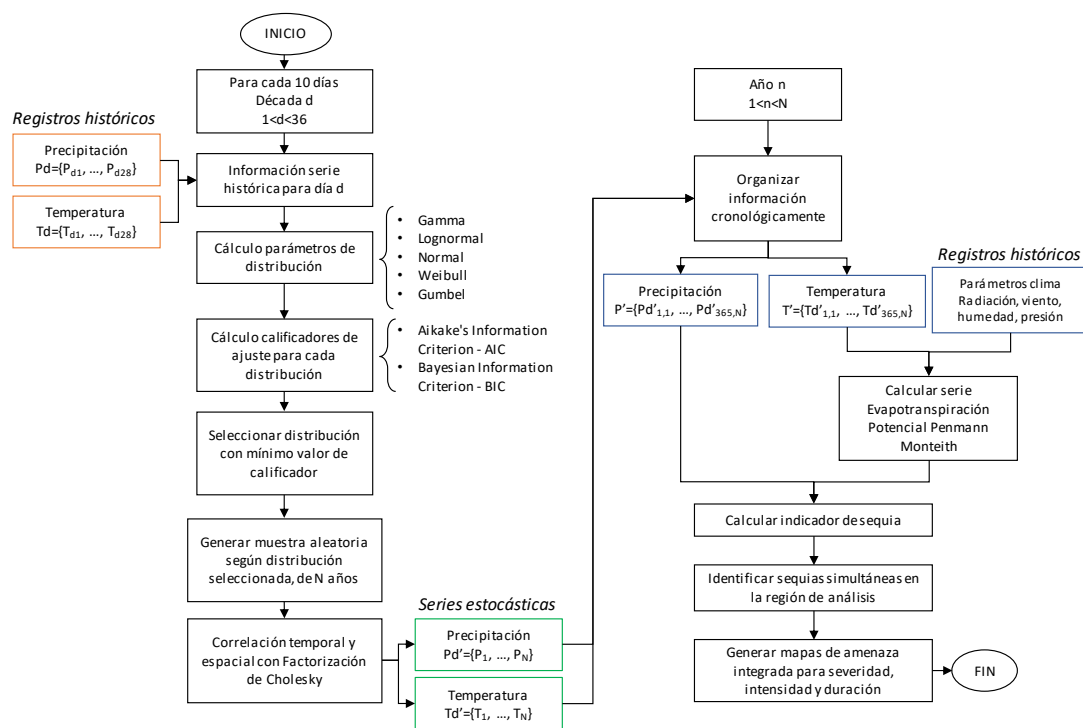


Figura 3-1. Esquema de metodología de estimación de la amenaza por sequía

El paso preliminar en la generación de eventos de amenaza de sequía es la definición de la accesibilidad a los registros de datos climáticos históricos, para verificar qué parámetros meteorológicos están disponibles y qué índices de sequía pueden ser considerados en la metodología (Ver Sección 3.1). Después de una evaluación de la calidad de los registros meteorológicos, se generan series estocásticas de parámetros climáticos ajustando una distribución de probabilidad para cada día del año y para cada estación en el área bajo estudio. Las series aleatorias resultantes se ajustan entonces mediante una correlación temporal y espacial (Ver Sección 3.2). Posteriormente, se calcula la evapotranspiración potencial (Ver Sección 3.3) que es insumo para calcular los índices de sequía para cada estación (Ver Sección 3.4), durante todo el período de simulación, e identificar los episodios de sequía que ocurren simultáneamente en la región. Finalmente, se realiza una interpolación espacial para cada uno de los eventos de sequía identificados, lo que da lugar a escenarios de sequía que cubren el área de estudio completa y no

sólo las estaciones. Con un gran número de eventos regionales de sequía, los mapas de amenaza integrada se pueden calcular con un enfoque de evaluación probabilista (Ver Sección 3.5). Los resultados del modelo de amenaza por sequía se presentan tanto para la zona del Triángulo del Norte en conjunto, como para cada país por separado (Guatemala, El Salvador y Honduras).

Finalmente, la misma metodología se aplica para evaluar el efecto del cambio climático en la severidad y duración de las sequías probables sobre el territorio del Triángulo del Norte. En la Sección 3.6 se explica en detalle la selección del modelo de circulación global que se utiliza como insumo al modelo, además de los efectos que tiene la proyección del cambio en la temperatura y en la precipitación del modelo escogido en la amenaza por sequía.

### **3.1 Información climática**

La metodología, implementada en este estudio, utiliza datos climáticos históricos de la región de interés, principalmente la acumulación diaria de precipitación y mediciones de temperatura máxima, mínima y media. Se prefiere el uso de datos observados en estaciones dado que son mediciones directas y usualmente tienen periodos de registro largos (en comparación con los registros de radar o de satélite). Sin embargo, la metodología propuesta permite también el uso de datos recopilados por teledetección, los cuales son útiles principalmente en caso de que no se puedan obtener registros históricos de las estaciones, para complementar valores faltantes, ante la existencia de datos de baja calidad o la ausencia de estaciones operativas.

Los datos climáticos históricos deben obtenerse para el período de registro más largo posible y el mayor número de estaciones disponibles en el área de interés. Primero, las estaciones con pocos años de observación son retiradas de la base de datos, verificando que la ubicación de las estaciones restantes está distribuida uniformemente. Posteriormente, se evalúa la consistencia de los registros eliminando valores extremos. Las observaciones de precipitación y temperatura resultantes se usan para generar series climáticas correlacionadas para estimar eventos de sequía que aún no han ocurrido.

Para el estudio de las sequías en El Salvador, Guatemala y Honduras se consultaron tanto agencias climáticas nacionales, como bases de datos internacionales, para complementar la información primaria de registros históricos de precipitación y temperatura.

#### **3.1.1 Información de agencias nacionales**

A continuación, se presenta un resumen de la información suministrada por agencias nacionales para realizar la evaluación de la amenaza por sequía. Es importante notar que para adelantar esta evaluación se requiere de registros diarios de precipitación y temperatura, información que sólo fue suministrada por El Salvador.

##### **3.1.1.1 El Salvador**

El Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN es la agencia encargada de realizar el monitoreo de las condiciones atmosféricas y climáticas en El Salvador. Esta agencia administra la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas, que está compuesta por 5 estaciones sinópticas, 27 estaciones climatológicas y 72 estaciones pluviométricas (SNET, n.d.).

Por intermedio de la Coordinación Área de Clima y Agrometeorología se recibió<sup>6</sup> información de registros históricos de precipitación total diaria, y temperatura diaria media, mínima y máxima para 15 estaciones en el país. La localización de estas 15 estaciones se muestra en la Figura 3-2. Para

---

<sup>6</sup> Esta información se recibió el día 24 de octubre de 2017.

cada estación se hizo un análisis de calidad de los datos, que incluye un análisis visual de las series de registros desde el 1ro de enero de 1981 al 31 de diciembre de 2016. Como un ejemplo, la Figura 3-2 muestra la información para la Estación del Aeropuerto de Ilopango. En esta imagen se puede ver que hay información faltante para valores de temperatura alrededor de los años 1988 y 2002. A pesar de que la información recibida del MARN es de muy buena calidad, y hay metodologías para completar la información faltante (que no es mucha), como se ve más adelante, los otros países (Guatemala y Honduras) no aportaron la misma información. Entonces, para mantener la homogeneidad en la información de entrada a los modelos, los registros históricos suministrados por el MARN no son utilizados directamente en el modelo pero se usan como variables comparativas para asegurar que la información de entrada se ajusta a los registros medidos en el territorio salvadoreño.

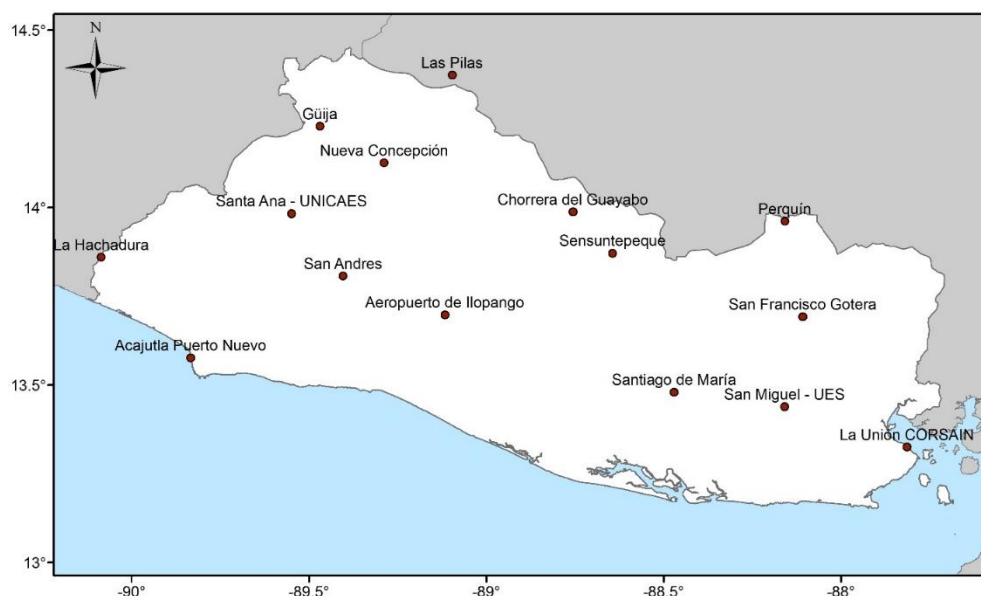


Figura 3-2. Localización estaciones meteorológicas en El Salvador. (Fuente: MARN)

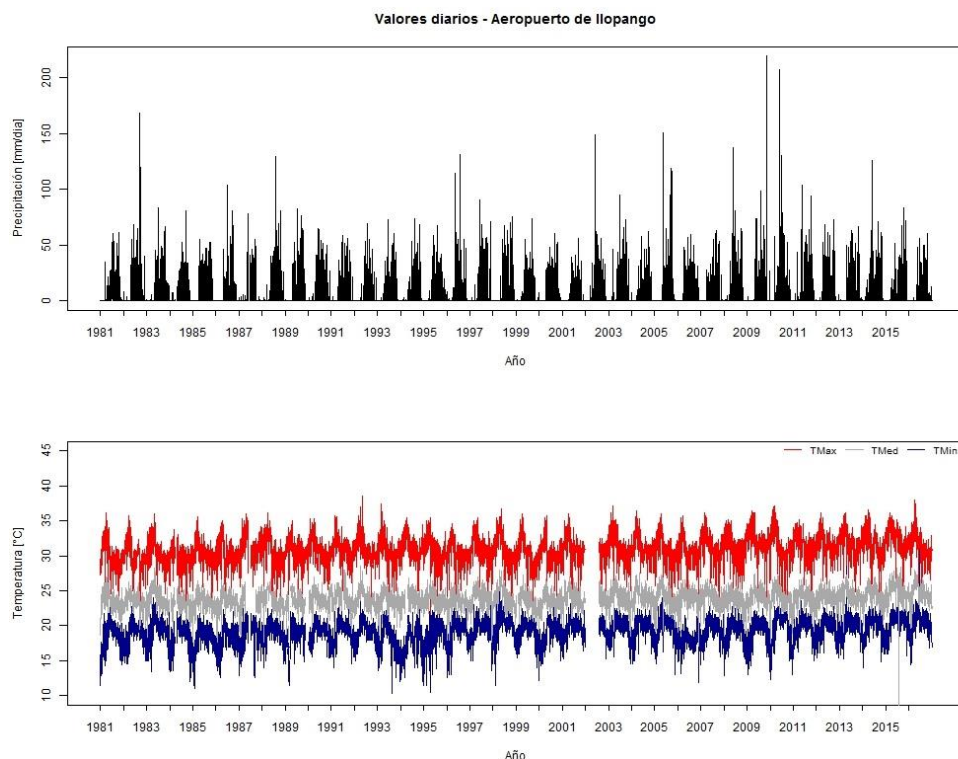


Figura 3-3. Registros de precipitación total diaria (arriba) y temperatura (abajo) para la estación del Aeropuerto de Ilopango.

También se recibió información del clima normal (medias multianuales de los parámetros climáticos) para el periodo 1981-2010 para 25 estaciones del país. La Figura 3-4 muestra los valores normales de precipitación en distribución espacial y series de valores mensuales. En cuanto a la precipitación mensual, se puede ver que el regimen de lluvias en El Salvador es unimodal, con una temporada seca marcada entre los meses de diciembre a febrero y una temporada de lluvias hacia mitad de año, con picos en los meses de junio y septiembre, pero con el efecto de la canícula (disminución de lluvias) en los meses de julio y agosto.

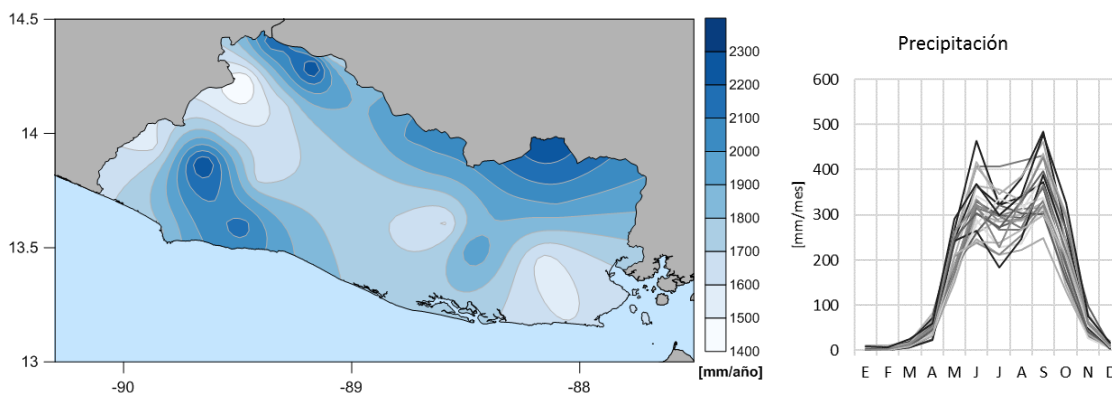


Figura 3-4. Mapa de precipitación total anual (izquierda) y serie de precipitación total mensual (derecha) según medias normales 1981-2010 de 25 estaciones en El Salvador.

En cuanto a la temperatura, los valores máximos se concentran hacia el este del país, en límites con el Golfo de Fonseca. Los valores mínimos de temperatura se concentran en la cordillera Apaneca-Illamatepec, donde se ubican los puntos de mayor altitud del país. Según el promedio multianual, la

temperatura media anual en El Salvador está entre 16°C y 30°C, la temperatura máxima anual está entre 21°C y 36°C y la temperatura mínima anual está entre 12°C y 25°C. Los mapas de distribución espacial de las temperaturas y las series mensuales se presentan en la Figura 3-5, la Figura 3-6 y la Figura 3-7, para temperatura media, máxima y mínima respectivamente.

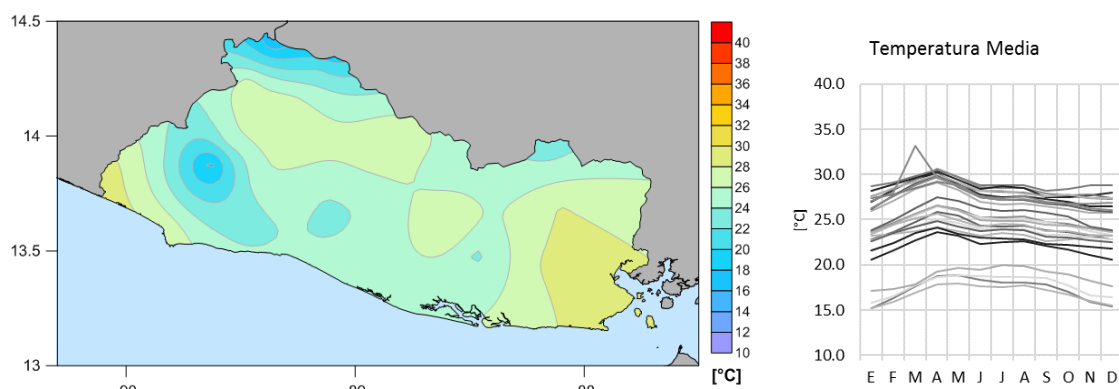


Figura 3-5. Mapa de temperatura media anual (izquierda) y serie de temperatura media mensual (derecha) según medias normales 1981-2010 de 25 estaciones en El Salvador.

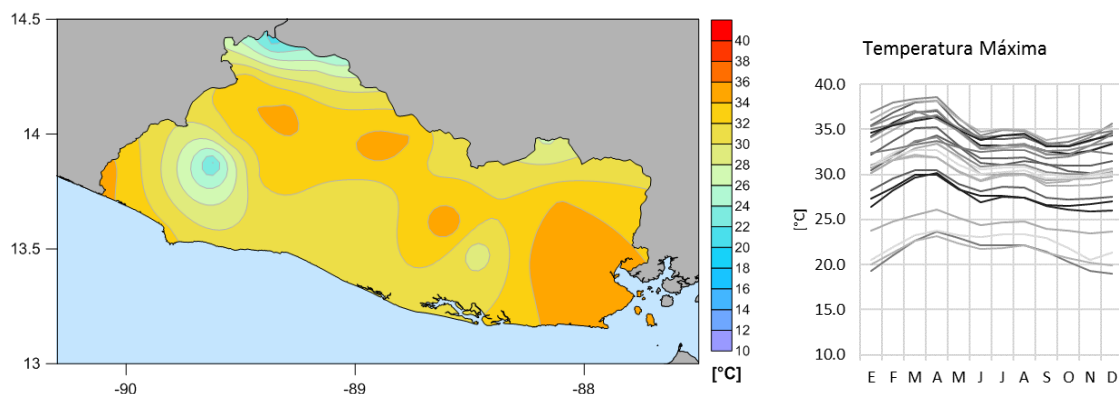


Figura 3-6. Mapa de temperatura máxima anual (izquierda) y serie de temperatura máxima mensual (derecha) según medias normales 1981-2010 de 25 estaciones en El Salvador.

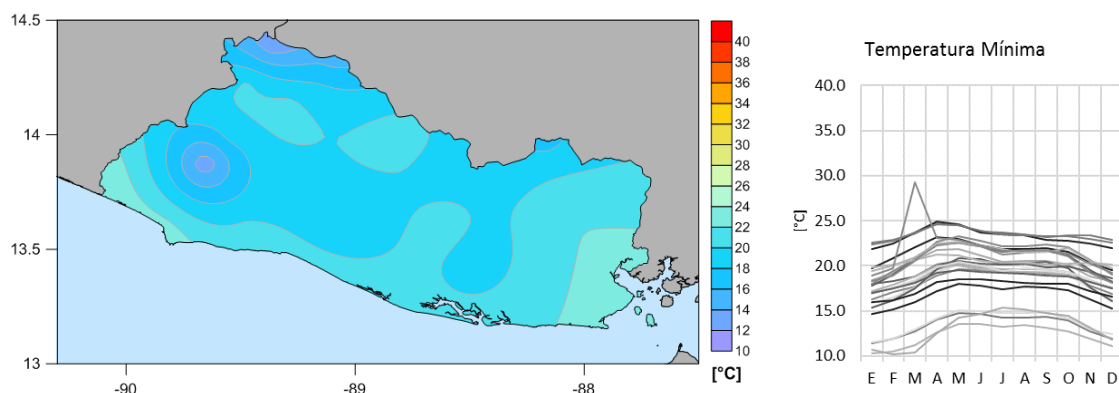


Figura 3-7. Mapa de temperatura mínima anual (izquierda) y serie de temperatura mínima mensual (derecha) según medias normales 1981-2010 de 25 estaciones en El Salvador.

### 3.1.1.2 Guatemala

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es la agencia encargada de la administración de la información meteorológica para Guatemala. Esta agencia, que hace parte del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, ha creado la Red Hidromet para la administración de la información de registros históricos de las estaciones meteorológicas. La red cuenta con 10 estaciones sinópticas, 22 climatológicas y 30 estaciones hidrológicas. Los registros históricos de estas estaciones se pueden obtener de la base de datos del INSIVUMEH; sin embargo, no fue posible la consulta por internet.

Por intermedio del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala se recibió<sup>7</sup> de ubicación de estaciones meteorológicas instaladas en el país. El mapa de localización y las estaciones con código se muestra en la siguiente figura.

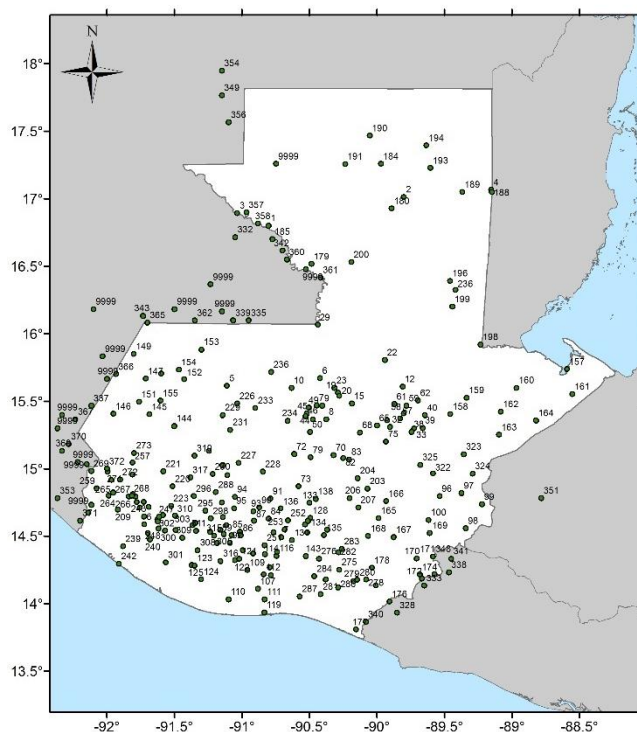


Figura 3-8. Localización estaciones meteorológicas en Guatemala.

También se recibió información de promedios anuales históricos de precipitación total diaria, temperatura diaria (media, máxima y mínima), evapotranspiración media anual y brillo solar en formato shape. A partir de esta información se generaron los mapas de distribución espacial de los parámetros que se muestran a continuación.

<sup>7</sup> Esta información se recibió el día 11 de diciembre de 2017.



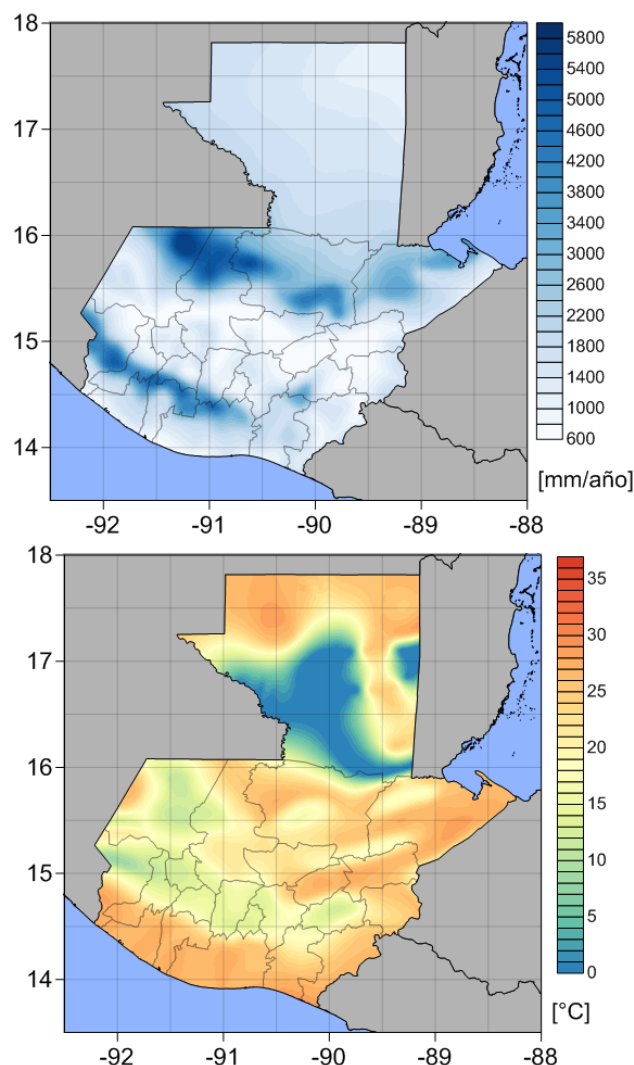


Figura 3-9. Mapa de media de precipitación total anual (izquierda) y temperatura media (derecha) en Guatemala. Generado a partir de información suministrada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (Recibida en diciembre de 2017).

La Figura 3-9 muestra los mapas de valores medios de precipitación anual y temperatura media para Guatemala. Al analizar estos mapas, se puede ver como hay inconsistencias en los valores de la temperatura media, que en la zona norte del país parece no tener suficiente información por lo que la temperatura media tiende hacia valores de cero. Estas inconsistencias pueden surgir por falta de estaciones en campo que registren datos climáticos diarios, o por la falta de calidad en la toma de datos. Aunque se cuente con este tipo de información, no es posible realizar la evaluación de amenaza por sequía con base en ésta porque no se cuenta con información diaria en multiples puntos del país.

### 3.1.1.3 Honduras

El Servicio Meteorológico Nacional de Honduras (SMNH) es la agencia encargada de la administración de la información meteorológica del país. La red cuenta con 14 estaciones meteorológicas (Ver Figura 3-10). En 2014 se inició la instalación de 46 estaciones meteorológicas nuevas (PNUD, 2014), que a la fecha no contarían con la información necesaria para el análisis del presente estudio.

Por intermedio del Instituto Nacional de Estadística (INE) de Honduras se recibió<sup>8</sup> información de promedios anuales históricos del periodo 2009-2013 de precipitación total diaria, temperatura diaria (máxima y mínima), velocidad del viento y humedad relativa del aire, calculados a partir de registros mensuales también disponibles. La información fue generada por SOPTRAVI (Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda), Dirección General de Aeronáutica Civil, Servicio Meteorológico Nacional. A partir de esta información se generaron los mapas de distribución espacial de los parámetros que se muestran a continuación. La información de la temperatura media anual no está disponible y el periodo de tiempo registrado no es suficiente para tener un análisis estadístico robusto. Además no se cuenta con información de registros diarios disponibles.

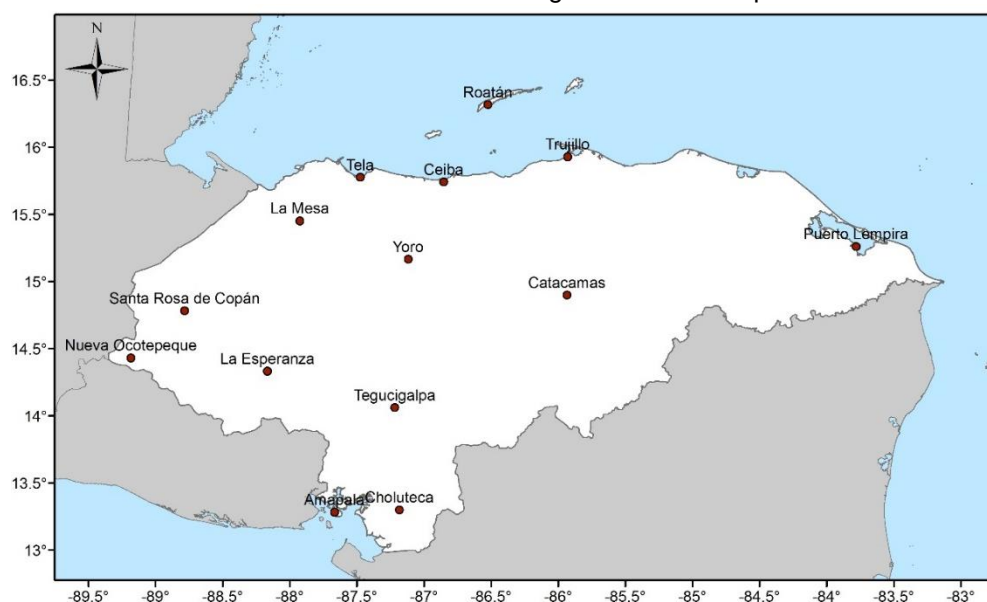


Figura 3-10. Localización estaciones meteorológicas en Honduras.

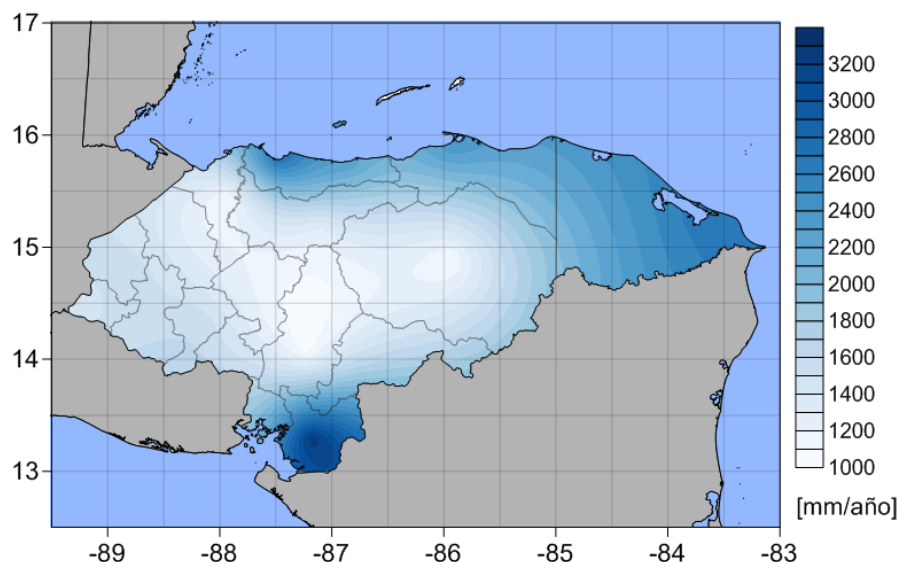


Figura 3-11. Precipitación media anual en Honduras.

<sup>8</sup> Esta información se recibió el día 18 de diciembre de 2017.

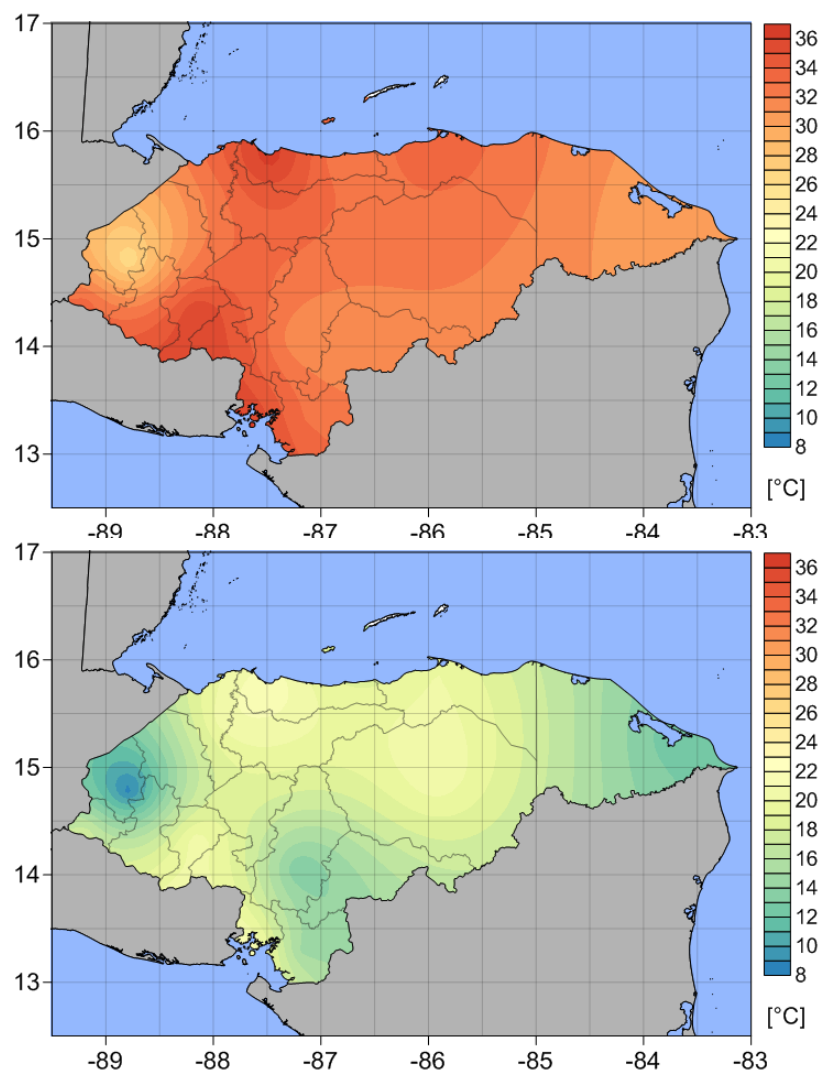


Figura 3-12. Temperatura máxima (arriba) y temperatura mínima (abajo) media en Honduras.

### 3.1.2 Otras fuentes de información

Para evitar el uso de registros históricos de precipitación y temperatura incompletos y de baja calidad, y sin información suministrada para Guatemala y Honduras, este estudio consulta bases de datos globales para obtener información de precipitación total diaria y temperatura media, máxima y mínima diaria. Los datasets que se consultan en este estudio se presentan a continuación.

#### 3.1.2.1 Información del Centro Nacional de Información Ambiental de Estados Unidos

La base de datos del Centro Nacional de Información Climática de Estados Unidos (National Centers for Environmental Information (NCEI) en inglés) cuenta con información de 9,000 estaciones reportadas por 195 países pertenecientes a la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Entre los parámetros disponibles se encuentran valores diarios de precipitación total, temperatura (máxima, media y mínima), presión atmosférica, visibilidad, velocidad y dirección del viento entre otras<sup>9</sup>. Esta base de datos reporta 8 estaciones hidrometeorológicas en El Salvador, 14 en Guatemala y 21 en Honduras, que se muestran en la Figura 3-13. Hay que tener en cuenta que la

<sup>9</sup> Disponible en: <http://www7.NCEI.noaa.gov/CDO/cdo>.

información disponible en esta base de datos depende de los reportes que hagan los países a la OMM, por lo que puede haber información faltante. Los puntos rojos de la siguiente imagen muestran las estaciones con poca información.

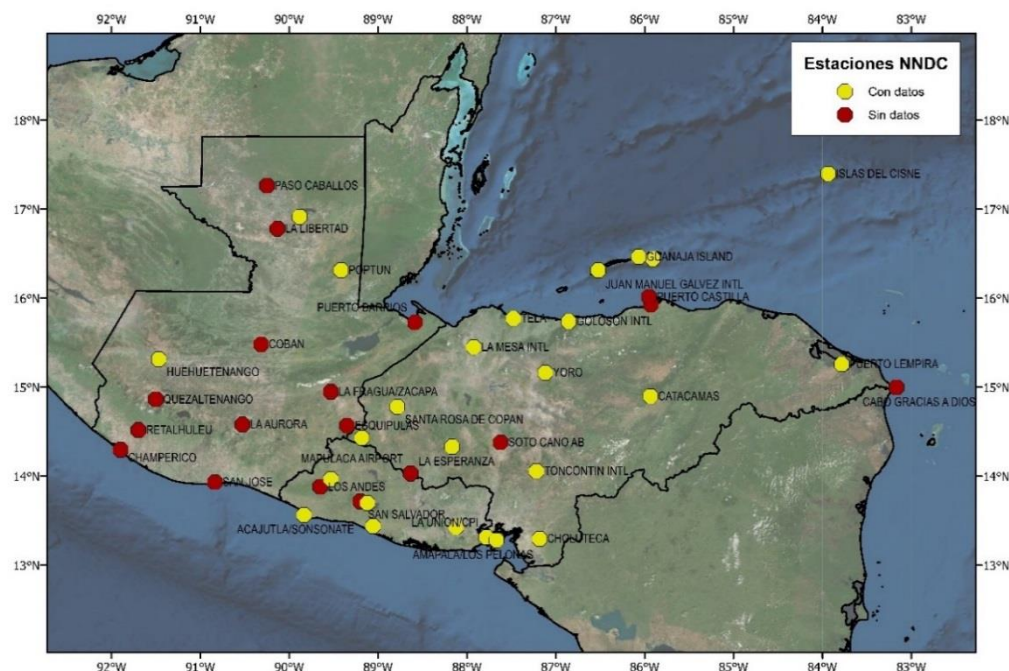


Figura 3-13. Mapa de localización estaciones del Triángulo del Norte disponibles en NCEI

La Figura 3-14, Figura 3-15 y la Figura 3-16, para El Salvador, Guatemala y Honduras respectivamente, muestran la fracción, en porcentaje, del número de datos disponibles por estación en la base de datos de NDCD del periodo entre el primero de enero de 1980 y el 31 de diciembre de 2010. Para el caso de El Salvador, se encuentran 8 estaciones disponibles, sólo una de éstas con más del 80% de información. En el caso de Guatemala, de 14 estaciones sólo tres tienen información que no supera el 40% del total de datos. Para Honduras solo tres estaciones tienen más del 80% de los datos de las 21 estaciones en la base de datos NCEI.

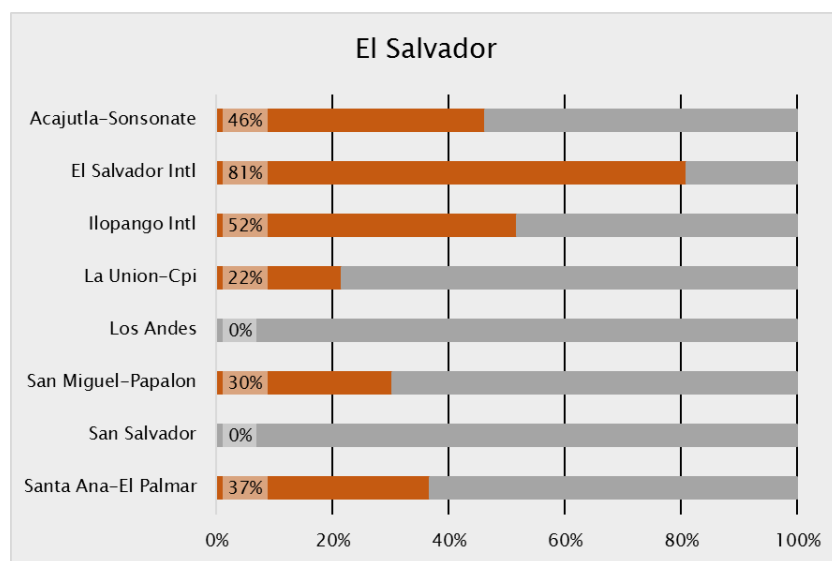


Figura 3-14. Porcentaje de valores completos de estaciones de El Salvador disponibles en NCEI

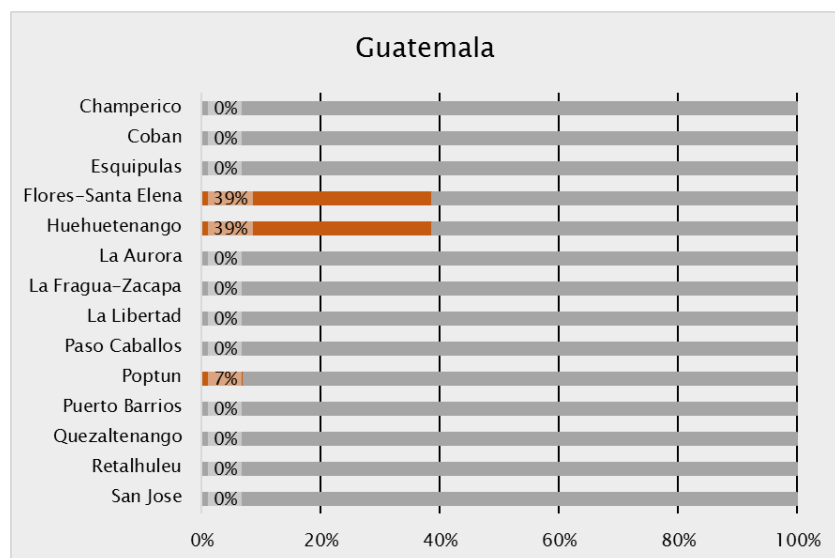


Figura 3-15. Porcentaje de valores completos de estaciones de Guatemala disponibles en NCEI

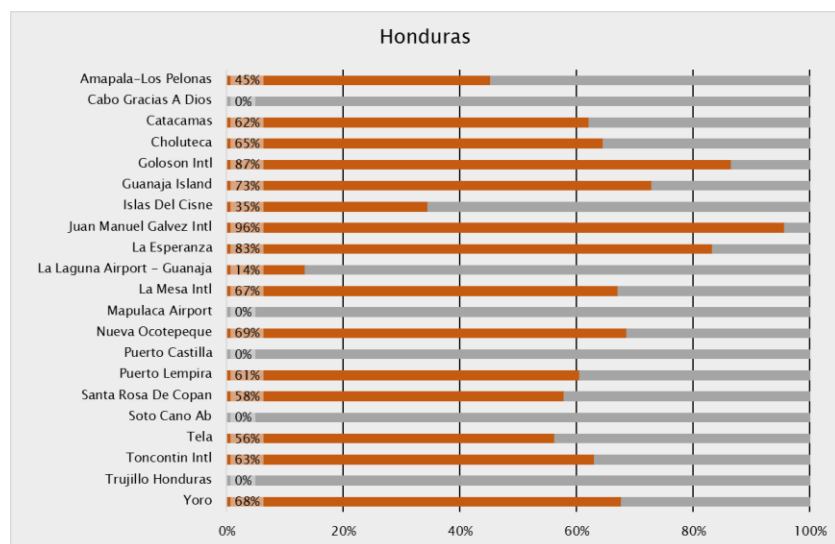


Figura 3-16. Porcentaje de valores completos de estaciones de Honduras disponibles en NCEI

### 3.1.2.2 CHIRPS

La base de datos CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) cuenta con información global (50°S-50°N para todas las longitudes) de más de 30 años de registros de precipitación iniciando en el año 1981 (Funk et al., 2015). Esta base de datos incorpora información satelital (medida en resolución de 0.5°) con información de estaciones para generar series de tiempo para el análisis de tendencias y el monitoreo de sequías estacionales. La información global diaria en la versión 2.0 se puede descargar gratis de <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0>.

Para este estudio se utilizó la información en formato raster (archivos de extensión tiff) y de resolución 0.5°x0.5°, la mejor disponible a la fecha<sup>10</sup>. En la Figura 3-17 se muestra el registro de precipitación total diaria para diferentes fechas en la zona de estudio, en las que se muestra la localización e

<sup>10</sup> Fecha de consulta febrero de 2017.

intensidad de la lluvia diaria. Entonces, se cuenta con información en la totalidad de área de estudio, completa para 30 años en la ventana de tiempo entre 1981 a 2010.

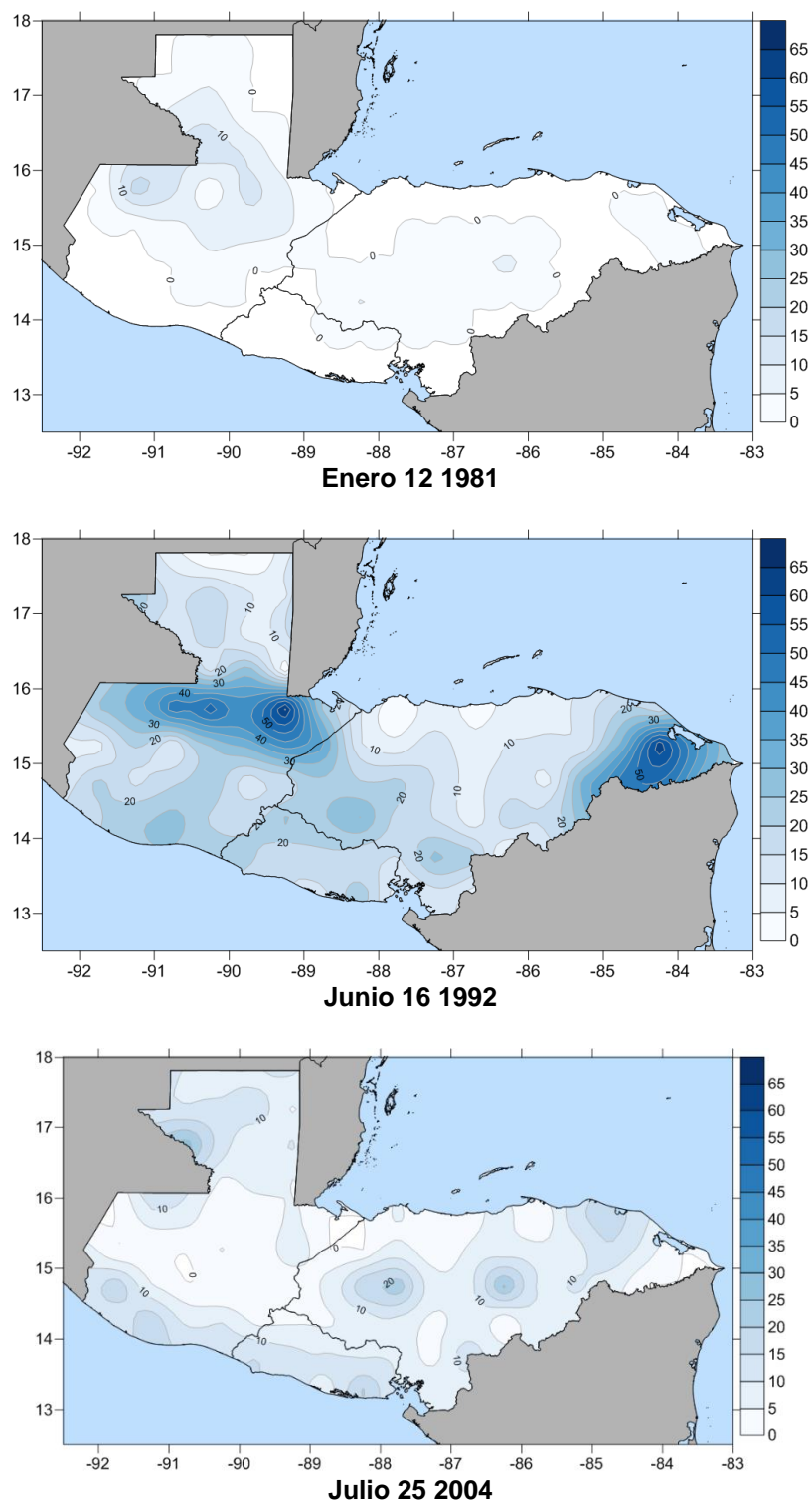
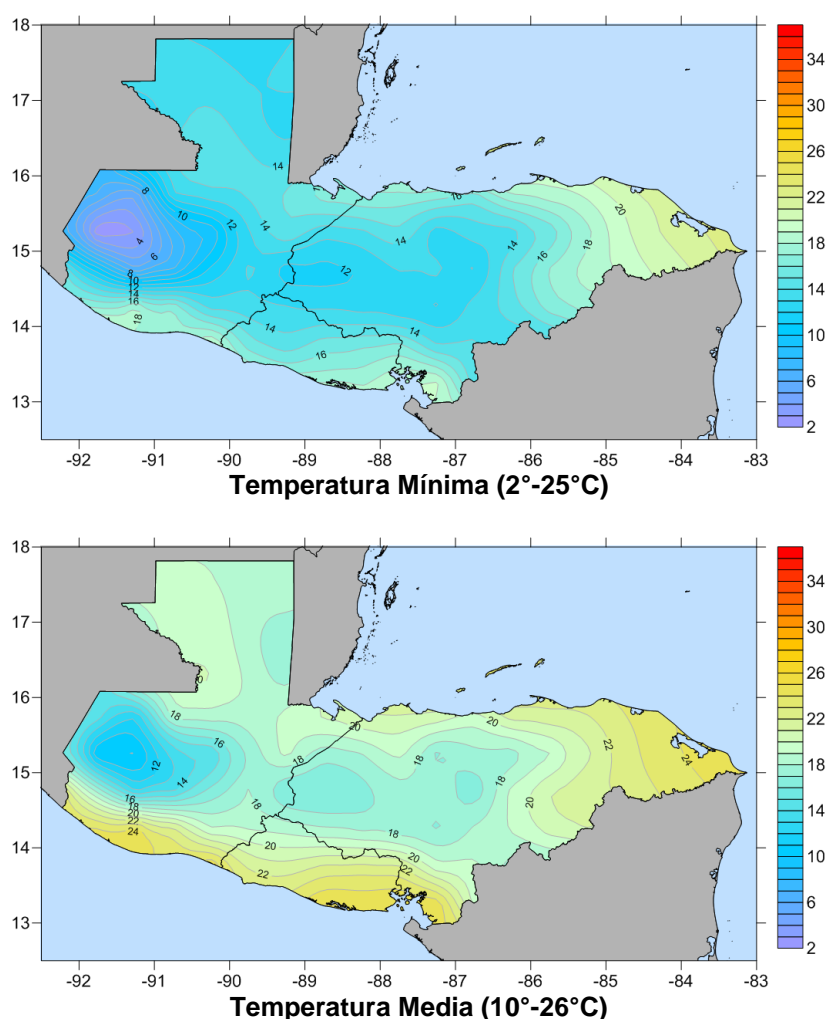


Figura 3-17. Registros de precipitación total diaria [mm/día] para fechas seleccionadas en el área de estudio.

### 3.1.2.3 Universidad de Princeton

El Grupo de Investigación de Hidrología Terrestre de la Universidad de Princeton generó un dataset meteorológico global para la modelación en la superficie terrestre. Esta base de datos provee información meteorológica (que incluye precipitación y temperatura) cercana a la superficie resultado de reanálisis de observaciones en el periodo 1901-2012 (para la Versión 2), en mallas de resolución de 1°, 0.5° y 0.25°. La información global diaria en la versión 2.0 se puede descargar gratis de <http://hydrology.princeton.edu/data.pgf.php>. La información disponible está en formato NetCDF (archivos de extensión nc) y para este estudio se utilizaron las mallas de resolución 0.5°x0.5°, para comparar con el dataset de CHIRPS.

En la Figura 3-18 se muestra en el mapa del área de estudio, el registro temperatura media, máxima y mínima para el 1ro de enero de 1981. Este es un ejemplo de un día, pero muestra que se cuenta con información en la totalidad de área de estudio, completa para 30 años en la ventana de tiempo entre 1981 a 2010.





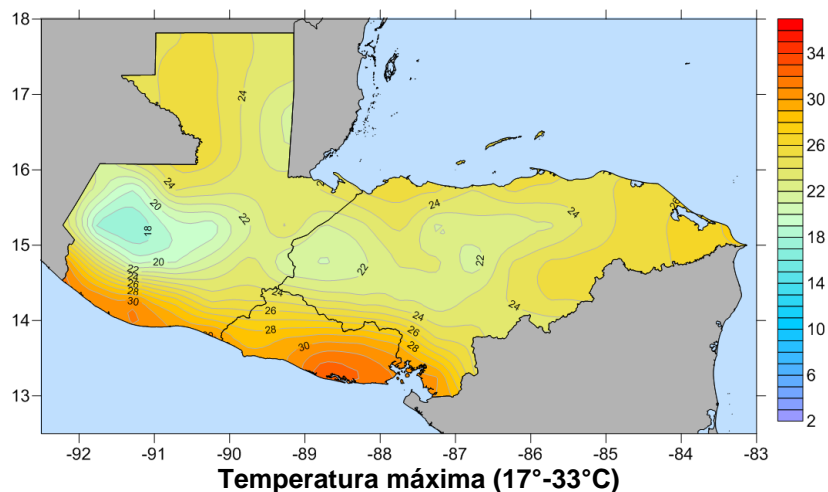


Figura 3-18. Registros de dataset Princeton de temperatura media, máxima y mínima para la misma fecha en el área de estudio.

Otra ventaja de la base de datos desarrollada por la Universidad de Princeton es que incluye múltiples parámetros climáticos, registrados en la misma resolución espacial y temporal. Los parámetros disponibles son precipitación, temperatura (media, mínima y máxima), radiación de onda corta y de onda larga, humedad específica, presión de aire en la superficie y velocidad del viento, que son ajustadas a los cambios de elevación. Estas variables son útiles para el cálculo de la evapotranspiración, que es un parámetro importante para la modelación de sequías y de la vulnerabilidad de los cultivos.

### 3.1.3 Base de datos de Información Climática

Como se mostró en la sección anterior, la disponibilidad y acceso a la información climática de las agencias nacionales son limitados para este estudio, en especial de Guatemala y Honduras. Por esta razón, la base de datos de registros climáticos utilizada en este estudio se generó a partir de información climática procesada por agencias internacionales como las bases de datos CHIRPS y de la Universidad de Princeton. Las ventajas de utilizar este tipo de base de datos incluyen que la información está completa en las dimensiones temporales y espaciales necesarias, son bases de datos usadas ampliamente por científicos a nivel mundial para el análisis del clima y de sequías, y se cuenta con múltiples parámetros climáticos para el cálculo de la evapotranspiración.

En la Figura 3-19 se muestra la malla de puntos que compone la base de datos de información climática. En cada uno de los puntos de la malla se tiene información de precipitación total diaria de CHIRPS y temperatura (media, mínima y máxima), radiación solar (de onda corta y de onda larga), velocidad de viento, presión atmosférica y humedad específica del dataset de la Universidad de Princeton.



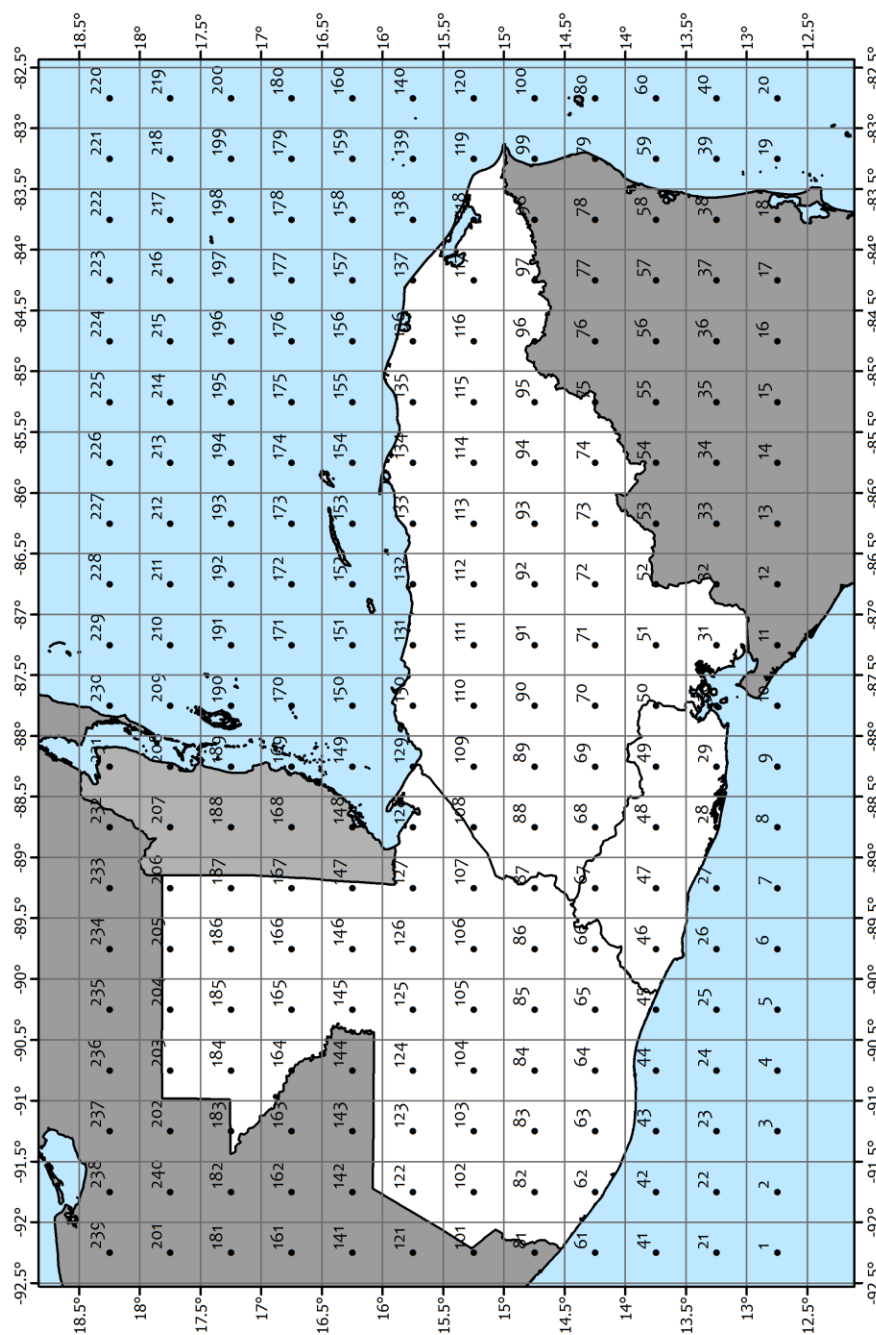


Figura 3-19. Malla de análisis 0.5°x0.5° para países del Triángulo del Norte: El Salvador, Guatemala y Honduras (girado).

La ventana de tiempo seleccionada fue entre los años 1981 y 2010. Hay dos criterios principales para explicar que la ventana de tiempo de la información de parámetros de clima (precipitación y temperatura) sea entre 1981 y 2010. Primero, el dataset de CHIRPS inicia su registro en 1981, no publica valores de precipitación para una fecha anterior. Segundo, el rango de 30 años de 1981 a 2010 es considerado como una venta válida para evaluar valores climatológicos normales y “La nueva regla técnica sobre el Cálculo de las normales climatológicas reglamentarias” aprobada por el

Congreso Meteorológico Mundial<sup>11</sup> implica que todos los países van a empezar a utilizar el período 1981-2010 para sus análisis de clima local.

### 3.1.3.1 Precipitación

A partir de la información de la base de datos de CHIRPS, los valores medios de precipitación acumulada anual sobre los países del Triángulo del Norte están entre 900 y 3300 mm para el periodo de 1981-2010. Los valores mínimos se localizan en la zona central de Guatemala y Honduras (Zona del Corredor Seco), y los máximos hacia el noreste de Honduras y el norte de Guatemala, como se muestra en la Figura 3-20. Este mapa de precipitación media anual se comparó con el mapa del Atlas Centroamericano (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) & Programa Regional para la Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental (PREVDA), 2011), que permitió verificar las zonas de mayor precipitación que coinciden en los dos mapas.

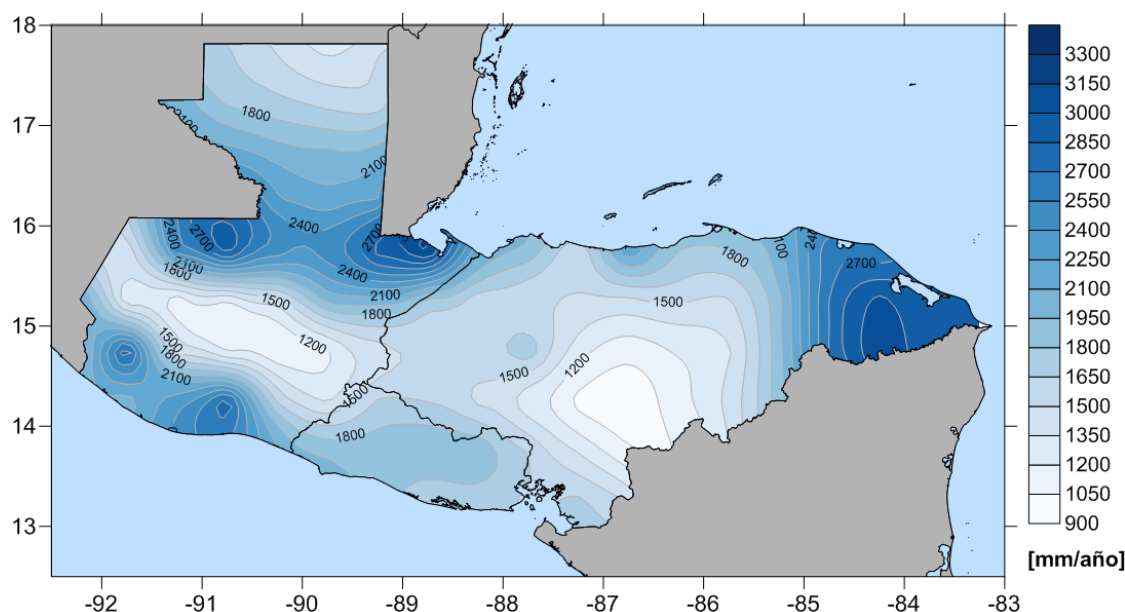


Figura 3-20. Mapa de precipitación acumulada anual (1981-2010) según base de datos CHIRPS

La Figura 3-21 muestra la comparación entre la media mensual y anual de las series de CHIRPS en el punto 47 y la serie registrada en la estación Aeropuerto Ilopango de El Salvador. En estos gráficos se puede ver como en términos de media multianual, la serie registrada en CHIRPS se ajusta al régimen anual de lluvias (izquierda), aunque la media de CHIRPS está por encima de la media registrada en los meses de mayo, junio y octubre, este dataset reconoce el efecto de la canícula de mitad de año que se vive en la región. Sin embargo, las medias anuales muestran que en general CHIRPS está por encima de los valores registrados en la estación en tierra (derecha).

<sup>11</sup> Para más información ver <https://public.wmo.int/es/media/news/nuevo-enfoque-de-dos-niveles-para-las-%E2%80%9Cnormales-climatol%C3%B3gicas%E2%80%9D>

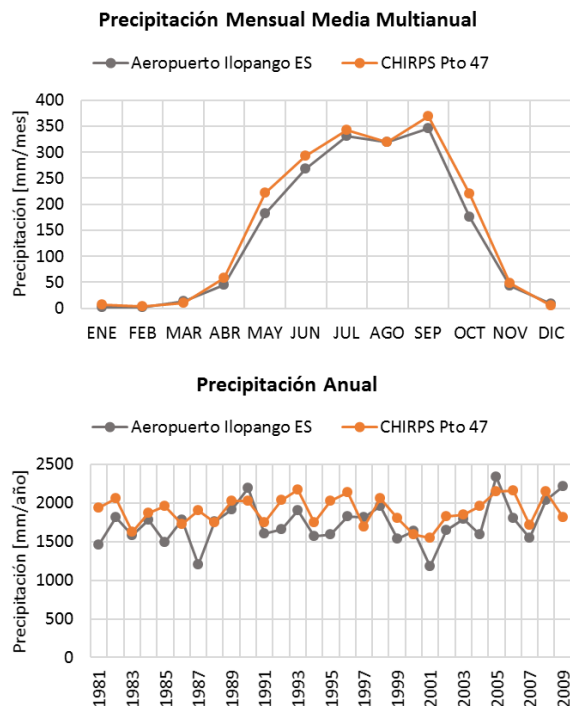


Figura 3-21. Mapa de precipitación acumulada anual (1981-2010) según base de datos CHIRPS

En la Figura 3-22 se muestra, para cada mes del año, la precipitación acumulada mensual registrada en la base de datos CHIRPS. En general, los países del Triángulo del Norte presentan un régimen unimodal con el pico de lluvias hacia mediados del año entre los meses de junio y septiembre (época de tormentas tropicales en el Atlántico), y la época seca de enero a abril. En el diagrama de cajas también se puede ver el efecto de la canícula con la disminución de las lluvias en el mes de julio.

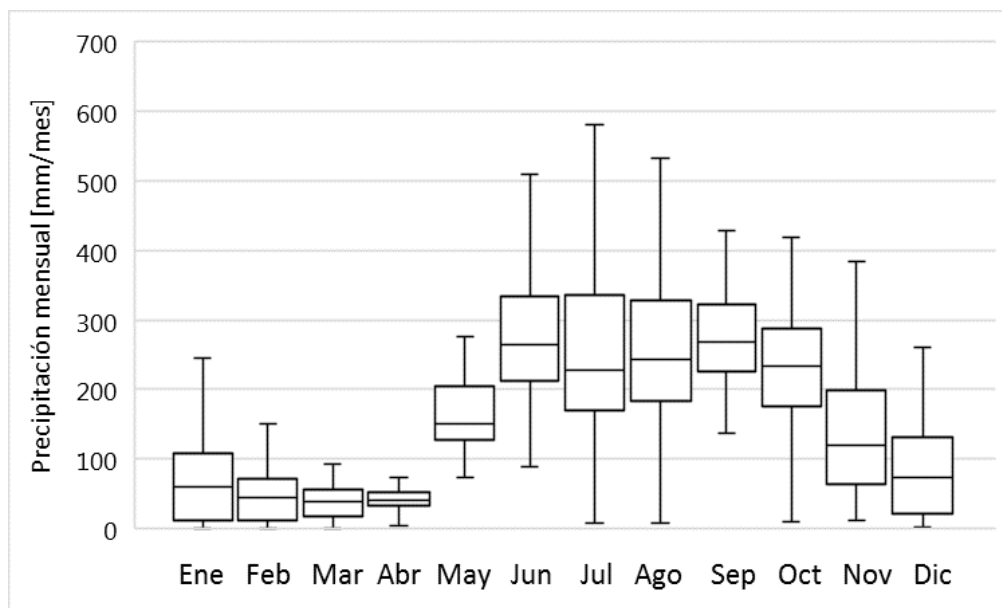
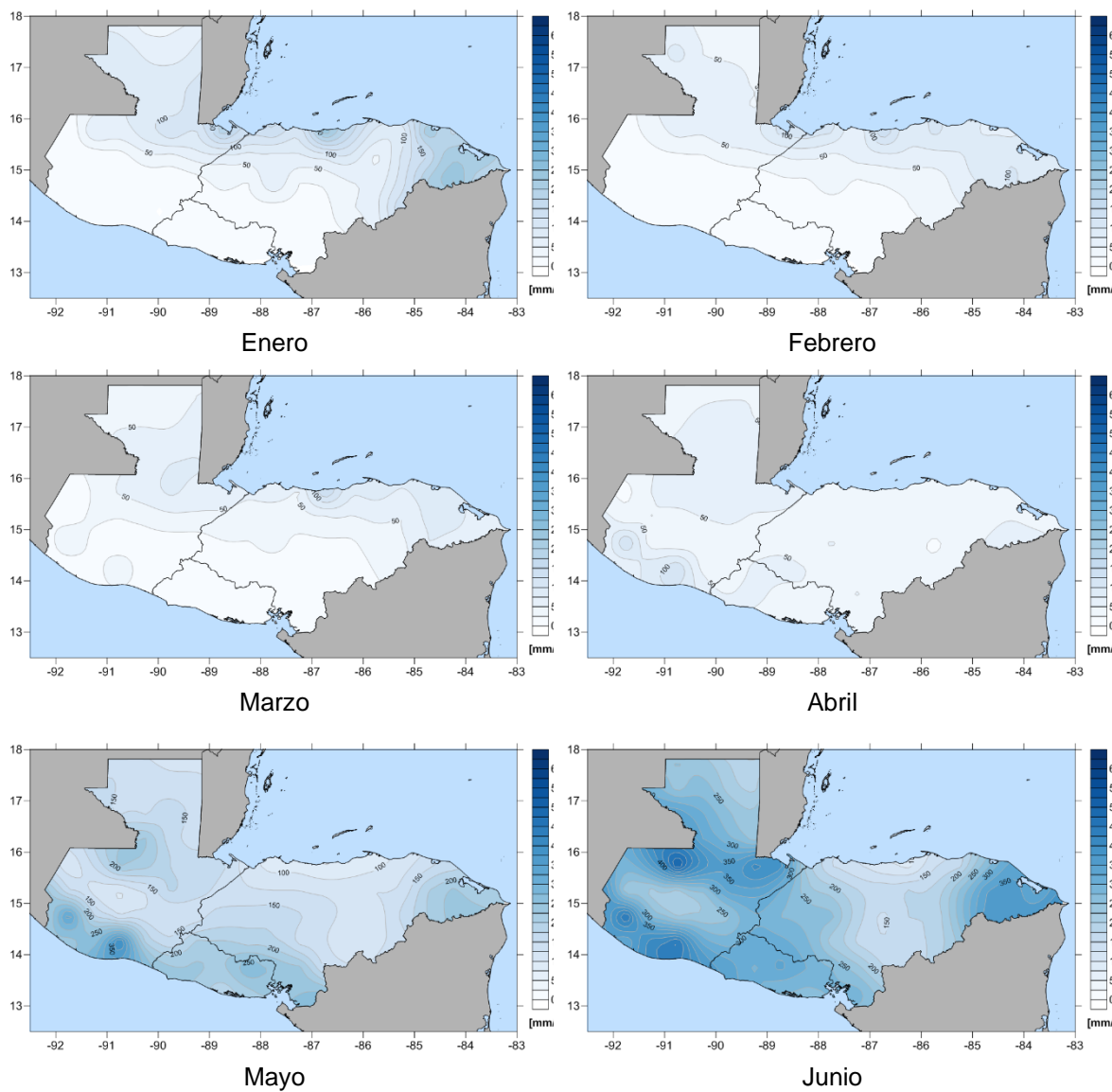


Figura 3-22. Diagrama de cajas de valores de precipitación mensual en (1981-2010) según base de datos CHIRPS

Los mapas de la Figura 3-23 muestran la distribución espacial de la media multianual mensual de precipitación, para los tres países de estudio: El Salvador, Guatemala y Honduras. Para los meses secos, de enero a marzo y diciembre, se puede ver como El Salvador y regiones del sur de Guatemala y Honduras no presentan precipitaciones y regiones más al norte presentan lluvias que apenas superan los 50 mm por mes. Por el contrario, en los meses de junio a agosto la precipitación mensual en estas áreas supera los 400 mm. Estos mapas también permiten identificar la zona de menor precipitación hacia lo que se conoce como el Corredor Seco Centroamericano. Esta variabilidad climática, de periodos recurrentes de sequía seguido con meses de excesos de lluvias que pueden desencadenar inundaciones, hace que el área sea interesante para el estudio de riesgos.



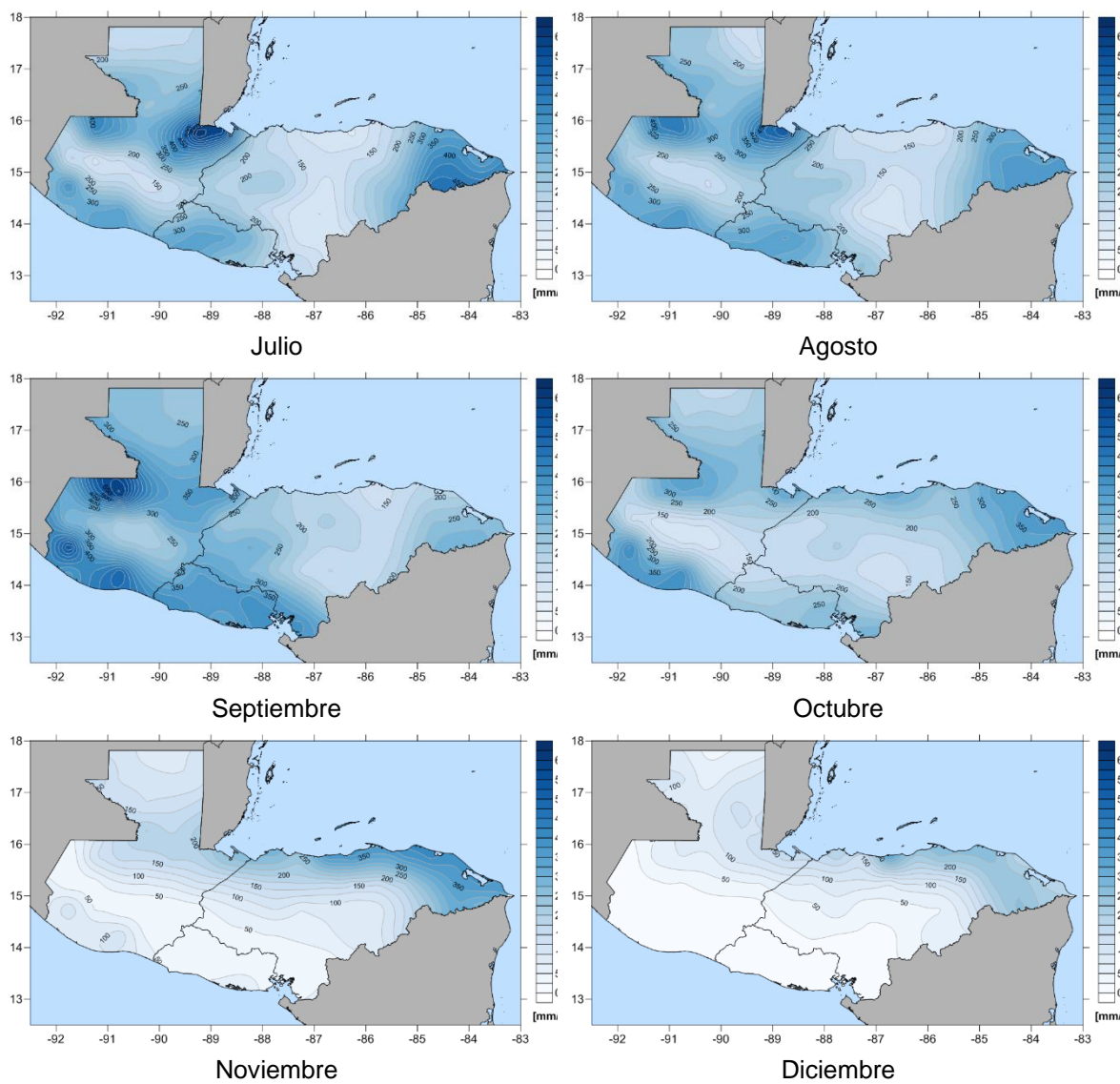


Figura 3-23. Mapas de precipitación media mensual (1981-2010) según base de datos CHIRPS

### 3.1.3.2 Temperatura

La temperatura media anual en la región de estudio (El Salvador, Guatemala y Honduras), según los registros de la base de datos de la Universidad de Princeton, oscila entre 5°C y 28°C. La temperatura media es menor en la zona montañosa (mayores elevaciones) que se localiza de forma paralela a la costa pacífica desde Guatemala hasta Honduras. Las zonas más cálidas se localizan cerca a las costas, pacífica y atlántica, con temperaturas medias por encima de los 25°C. En la Figura 3-24 se muestra el mapa de temperatura media anual para los tres países. De acuerdo con estos mapas, la zona de mayores temperaturas se ubica cerca del Golfo de Fonseca, en El Salvador.

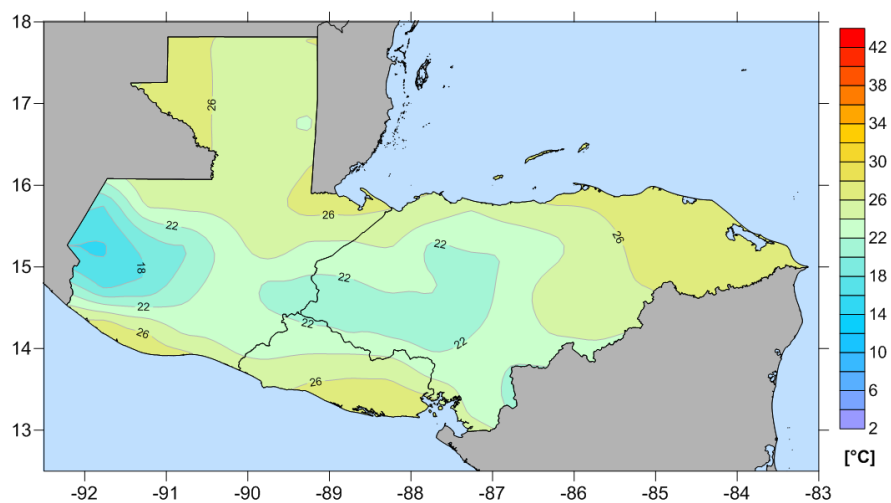


Figura 3-24. Mapa de temperatura media anual (1981-2010) según base de datos de la Universidad de Princeton

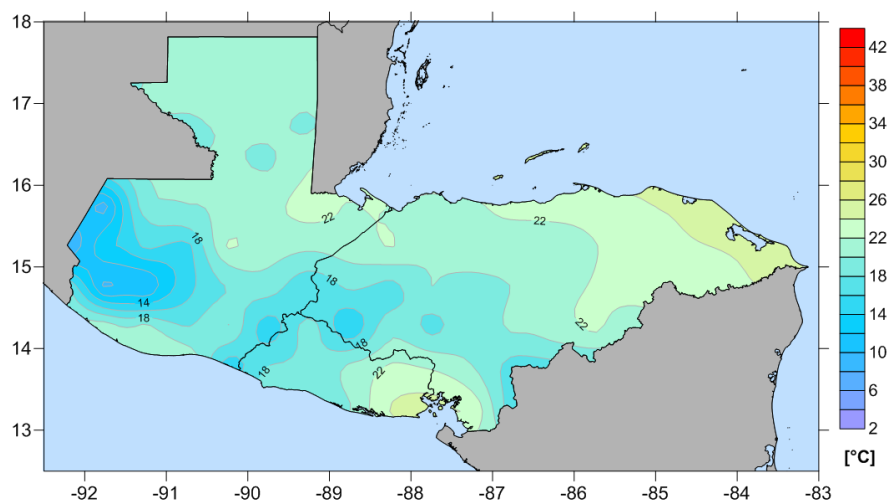
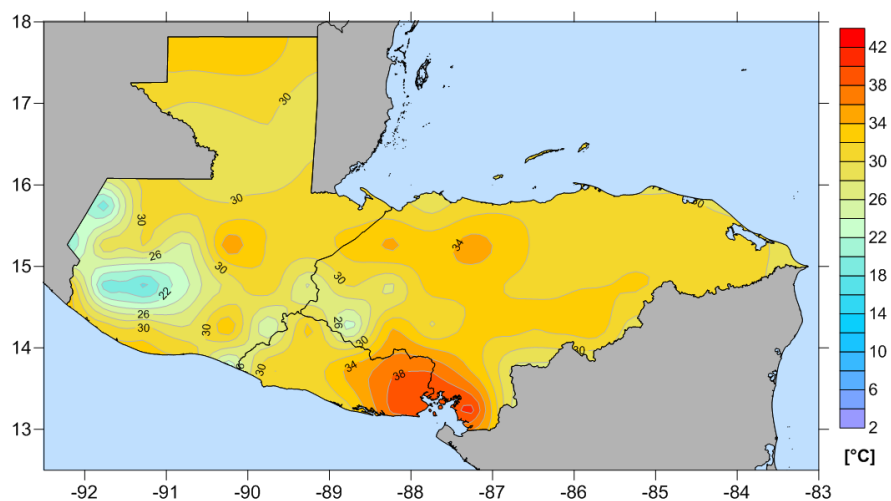


Figura 3-25. Mapa de temperatura máxima anual (arriba) y mínima anual (abajo) (1981-2010) según base de datos de la Universidad de Princeton

Luego de realizar una revisión de los valores reportados por agencias nacionales de cada país, se pudo ver que los valores de temperatura reportados en la base de datos de la Universidad de Princeton no se ajustan a los reportados por cada país. Se encontraron diferencias hasta de 5°C en algunos puntos de la malla de análisis, como se puede ver en el mapa de la Figura 3-26. Las mayores diferencias se centraron en Honduras; para este caso en el centro del país los valores reportados por la Universidad de Princeton se acercaban a 23°C mientras que los reportados por el país superan 25°C. Por esta razón, se procedió a ajustar los valores medio de la base de datos de Princeton, verificando para cada punto de la malla de análisis el valor medio reportado por el país y el valor medio calculado para el periodo 1981-2010 de la base de datos. Las diferencias se sumaron a los valores diarios de la base de datos, ajustando la media global. En la Figura 3-27 se muestran los mapas de temperatura media, máxima y mínima mensual incluyendo el valor de la corrección.

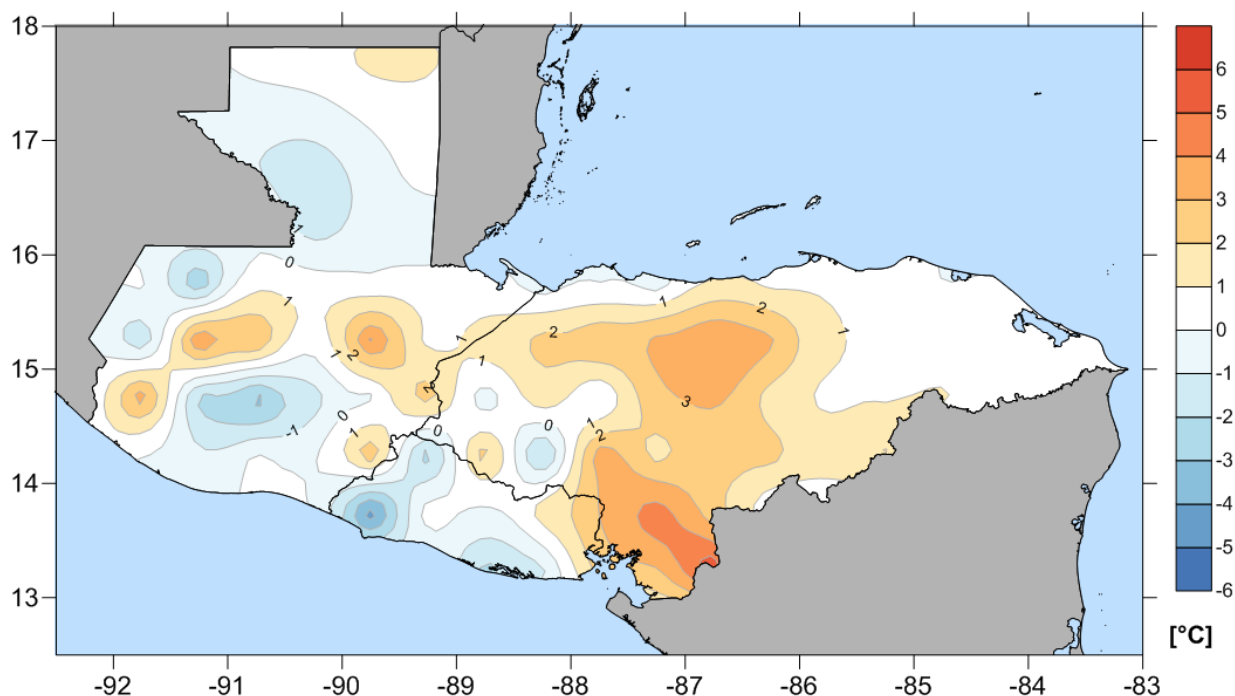


Figura 3-26. Mapa de corrección del valor medio de temperatura

Luego de aplicar las correcciones, que se hacen para cada día en cada punto de la malla de análisis para los tres países, se obtienen los mapas de temperatura media, mínima y máxima de la Figura 3-27. Entonces, para el modelo de amenaza por sequía se utilizan series corregidas de temperatura y no las series directas del dataset de la Universidad de Princeton. En estos mapas se puede ver que los puntos más calientes de la región se ubican hacia el noreste de Honduras, y el Golfo de Fonseca en El Salvador (Sureste). También es muy claro que las zonas montañosas, en especial en Guatemala, son los sitios más fríos de la región de análisis.

Sobre la variación temporal de la temperatura, en la Figura 3-28 se muestran los mapas de temperatura mes a mes. La temporada fría se presenta entre diciembre y febrero, mientras que las mayores temperaturas se presentan en abril, mayo y junio, justo antes de iniciar la temporada de lluvias. En términos generales, los cambios en temperatura durante el año no son significativos, la diferencia es cercana a los 4°C entre los meses de enero y mayo.



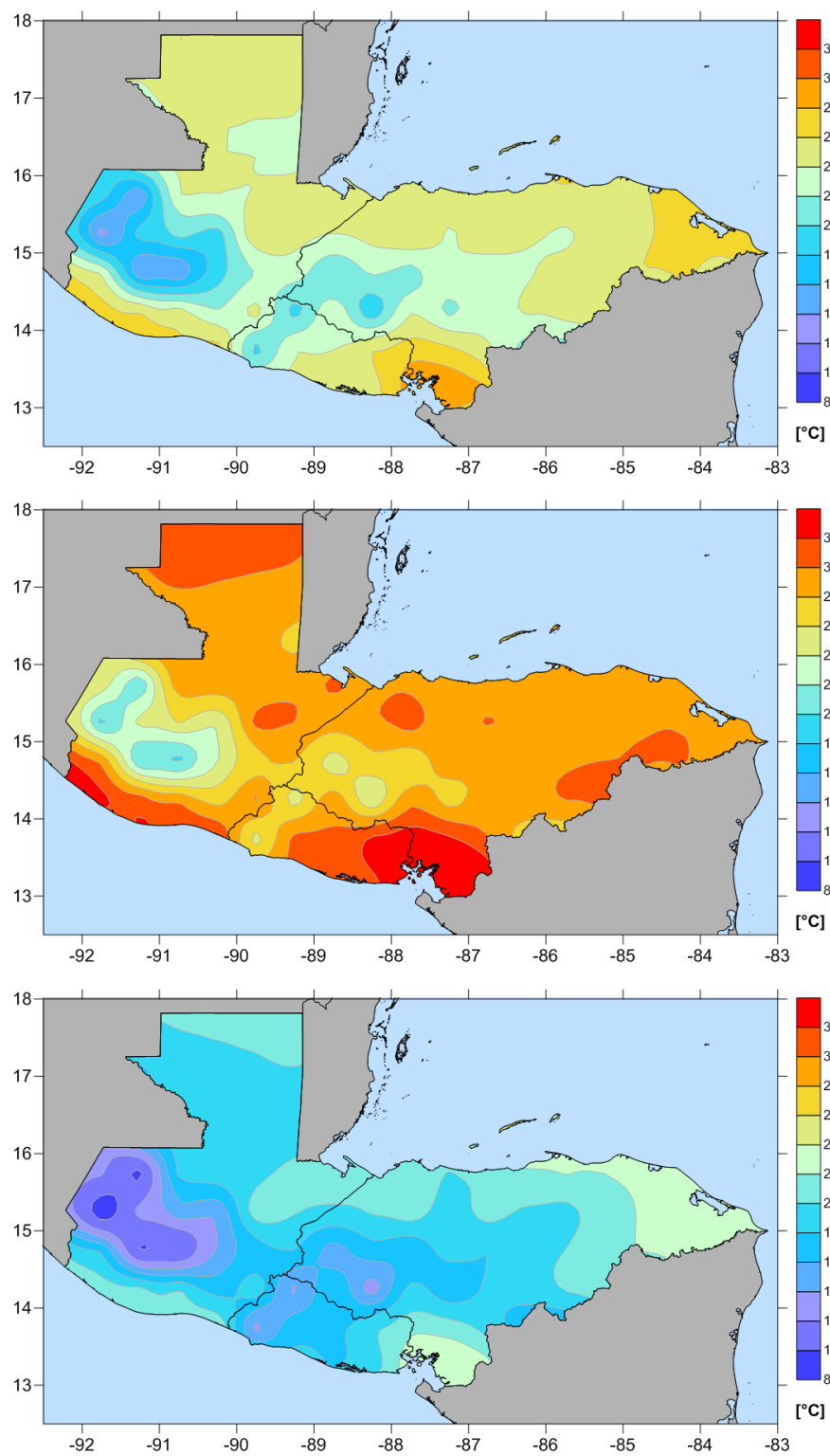
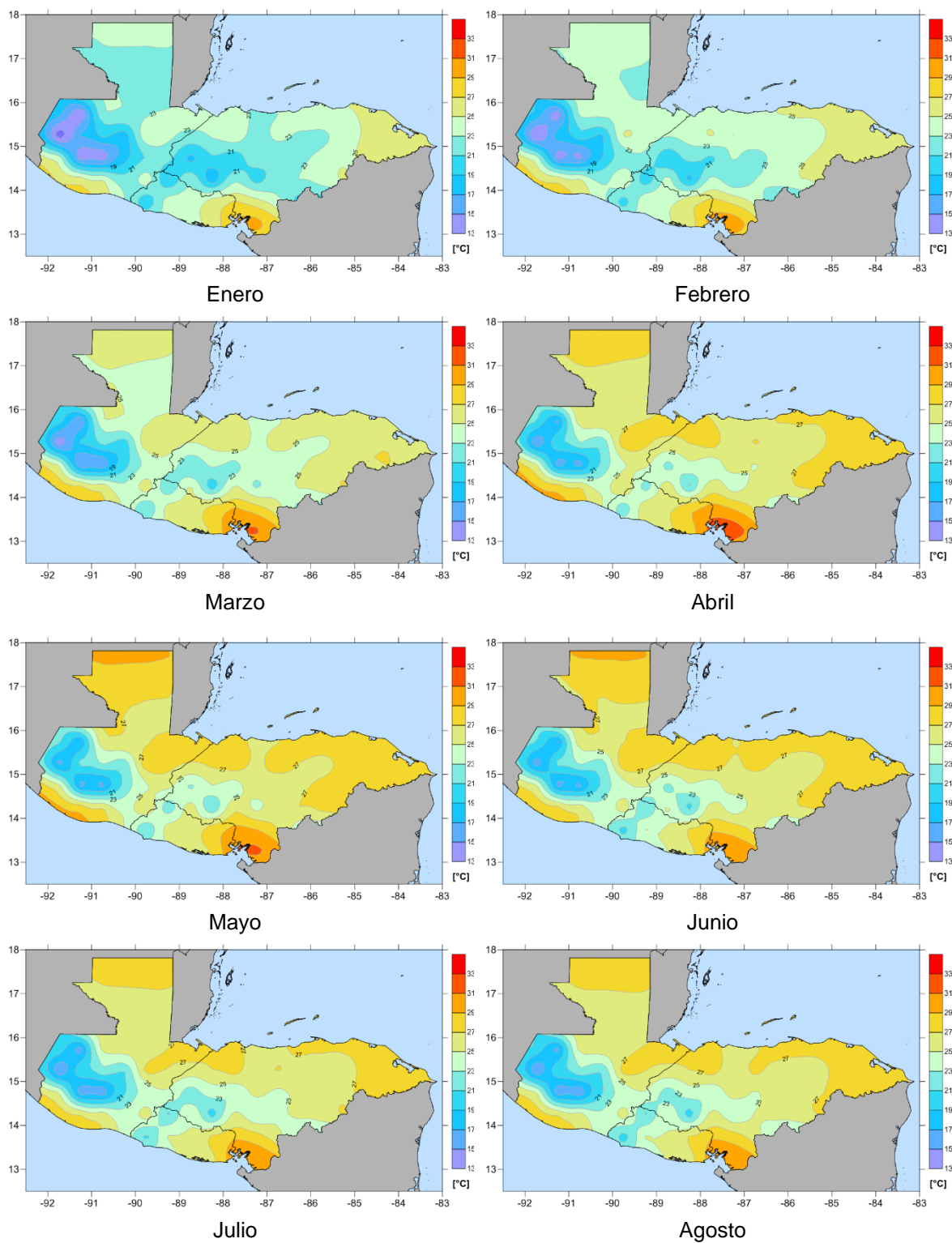


Figura 3-27. Mapa de temperatura media anual (arriba), máxima anual (centro) y mínima anual (abajo) (1981-2010) con corrección de la media.





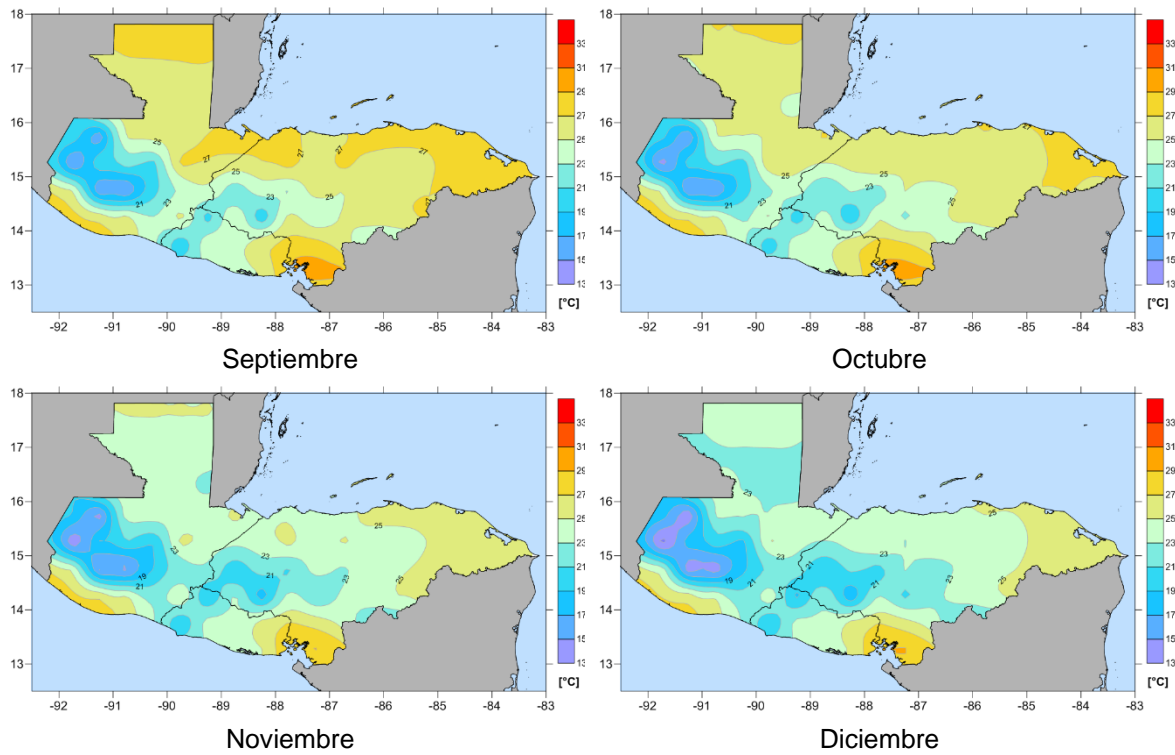


Figura 3-28. Mapas de temperatura media mensual (1981-2010) según base de datos de la Universidad de Princeton

A partir de esta información de precipitación y temperatura para los países del Triángulo del Norte, se generó la base de datos de información climática de entrada para el modelo de sequía. La base de datos tiene información diaria de precipitación total, temperatura media, temperatura máxima y mínima, desde 1981 a 2010 en 148 puntos o estaciones en tierra sobre una malla que cubre la totalidad del territorio de estudio.

### **3.2 Generación estocástica de series climáticas futuras**

La metodología propuesta utiliza distribuciones paramétricas de probabilidad para definir conjuntos de datos climáticos históricos y estimar la probabilidad de ocurrencia de un determinado valor de precipitación o temperatura fuera del rango de observaciones históricas. La metodología toma cada día o grupo de 10 días del año hidrológico en un análisis separado, y encuentra la distribución de probabilidad que se ajusta mejor a los registros históricos. Posteriormente, se generan números aleatorios para la precipitación diaria y la temperatura para un determinado número de años de simulación, usando los parámetros de las distribuciones seleccionadas. Estas series generadas aleatoriamente se correlacionan en el tiempo y en el espacio para representar las condiciones climáticas de la región de análisis. A continuación, se explica en detalle la metodología y se muestran los resultados para la región comprendida entre El Salvador, Guatemala y Honduras.

#### **3.2.1 Generación de series aleatorias**

El primer paso es seleccionar las funciones de distribución de probabilidad que pueden ser aplicadas a la modelación de cada variable. Se consideran distribuciones normalmente empleadas en ciencias atmosféricas como son Gamma, Lognormal, Normal, Weibull o Gumbel, entre otras. Posteriormente, para cada día del año, los parámetros de las distribuciones seleccionadas se estiman mediante el método de los momentos o de máxima verosimilitud.

El ajuste de las distribuciones de probabilidad se evalúa usando métodos cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos incluyen herramientas gráficas para discernir subjetivamente la bondad del ajuste. Se utiliza la superposición de la distribución paramétrica ajustada y el histograma de datos, gráficos cuantil-cuantil, gráficos de distribución acumulativa empírica y teórica (CDF), y gráficos de probabilidad-probabilidad o comparaciones de probabilidad acumulativa. La selección cualitativa se realiza con el Criterio de Información de Akaike (AIC, Akaike 1974) o el Criterio Bayesiano de Información (BIC, Schwarz 1978), que miden la calidad relativa de los modelos de distribución para un conjunto dado de datos. Está claro que los criterios AIC y BIC no dan ninguna indicación sobre la calidad del modelo, sino que es una comparación entre la bondad de ajuste de cada modelo y su complejidad en términos de un valor de penalización que aumenta con el número creciente de parámetros ajustados (Banimahd & Khalili, 2013).

Numerosas alternativas de distribuciones de probabilidad se ponen a prueba para cada día del año hidrológico y cada variable climática. Un ejemplo de las gráficas para definir la selección cualitativa de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta se muestra en la Figura 3-29, tanto para la temperatura media diaria (izquierda) como para la precipitación total diaria (derecha). El número de datos empíricos de cada gráfica es 300, que en este caso corresponden a 30 años de periodo de registro histórico por 10 días de datos diarios en el acumulado decadal.

Luego de definir la distribución de probabilidad más apropiada para la precipitación y la temperatura (media, máxima y mínima), para cada uno de los 365 días del año o grupo de 10 días consecutivos (decadales), se generan números aleatorios para un determinado número de años de simulación (del orden de 1,000 años o más). Así, se producen series aleatorias de datos climáticos para cada una de las estaciones en el área de estudio.

La distribución de probabilidad para el mes 4 y decadal 3 escogida es: GUMBEL

La distribución de probabilidad para el mes 4 y decadal 3 escogida es: LNORM

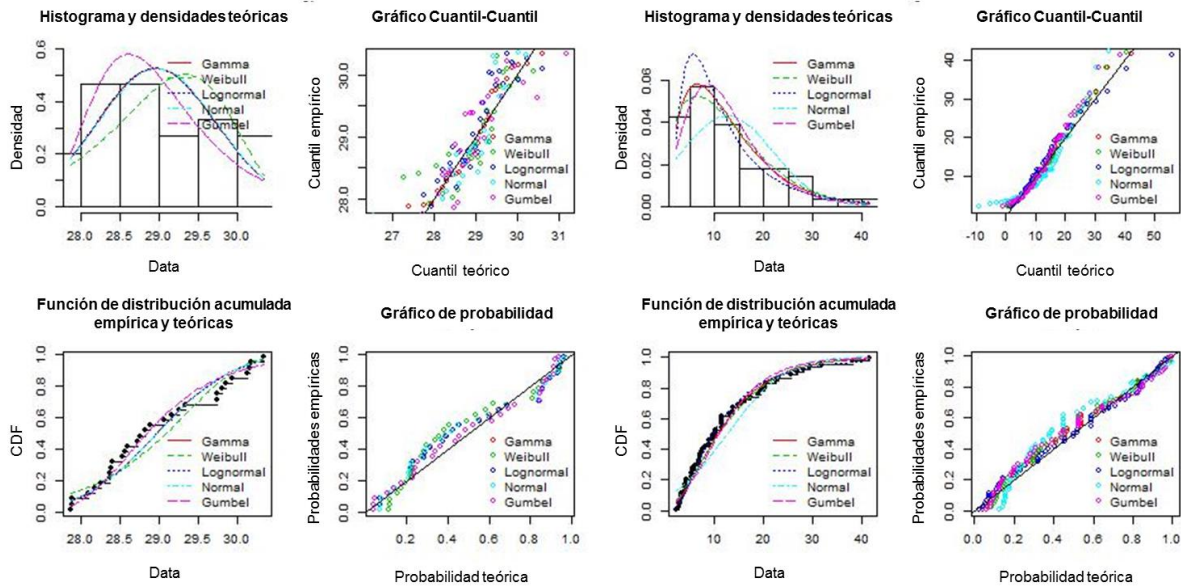


Figura 3-29. Ajuste de distribuciones de probabilidad para registros históricos del tercer decadal de abril para un punto de la malla de análisis: Temperatura media (izquierda) y precipitación total diaria (derecha).

En cuanto a los resultados del ajuste de las distribuciones de probabilidad<sup>12</sup> a las series de variables climáticas se puede ver que para el caso de la precipitación la distribución que mayor número de veces se ajusta a los registros decadales en todas las estaciones es la log-normal, para el caso de la temperatura la distribución que mejor se ajusta en la mayoría de los casos es la normal, seguida por la Weibull y la lognormal. Es importante anotar que las distribuciones de probabilidad no varían significativamente por estación, pero si se presenta una variación en el tiempo. Por ejemplo, para el caso de la temperatura, las épocas de temperaturas más altas (abril y mayo) tienden a ajustarse a distribuciones tipo Gumbel. Para el caso de la precipitación, aunque en todas las épocas del año predomina el ajuste de la distribución lognormal, en épocas secas se presentan mayores casos de ajuste de la distribución Weibull.

Para evaluar el ajuste de las distribuciones de probabilidad se utilizó la prueba de ajuste con los coeficientes de Anderson-Darling (no está definida para distribuciones Pearson Tipo III o Logísticas) y Kolmogorov-Smirnov. Para definir si la muestra sigue una cierta distribución, se comparó el valor de significancia p-value con un nivel de 0.05, que implica que la probabilidad de concluir que los datos no siguen una distribución de probabilidad definida, cuando si siguen esa distribución, es del 5%. Al obtener valores de p-value por encima del nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula ni concluir que los datos no se ajustan a la distribución considerada.

### 3.2.1.1 Series de precipitación

Como caso particular, para la generación estocástica de series de precipitación se debe considerar el efecto de los días de no lluvia para el ajuste de la función de distribución de probabilidad. En especial con temporadas extensas sin lluvia, como se vio en la sección anterior en la que durante diciembre, enero y febrero hay zonas en el Triángulo del Norte sin lluvias durante todo el periodo.

<sup>12</sup> Se pueden consultar los resultados del ajuste de la distribución para cada variable para cada estación en los documentos disponibles en el link: [https://1drv.ms/f/s!AqMZbV1LfkWnHdcdCGN\\_iGhN-UBXwA](https://1drv.ms/f/s!AqMZbV1LfkWnHdcdCGN_iGhN-UBXwA)

En la Figura 3-30 se presenta el histograma de valores de precipitación diaria para 1) un día de temporada seca 2) un día de temporada de lluvias, registrados dentro del periodo 1981-2010. Se puede ver como para la temporada seca más del 95% de los datos se concentran en el valor 0, mientras que para la temporada de lluvias los días secos son menos del 30% pero se presentan eventos con lluvia diaria por encima de 40mm. Esto implica que en el momento de la selección de una distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los valores de precipitación, se pueden tener inconvenientes cuando la mayoría de los valores son iguales a cero, lo que deriva en un mal ajuste de probabilidades. Por esta razón, para días en temporada seca se hace un procedimiento adicional para el ajuste de la distribución de probabilidad.

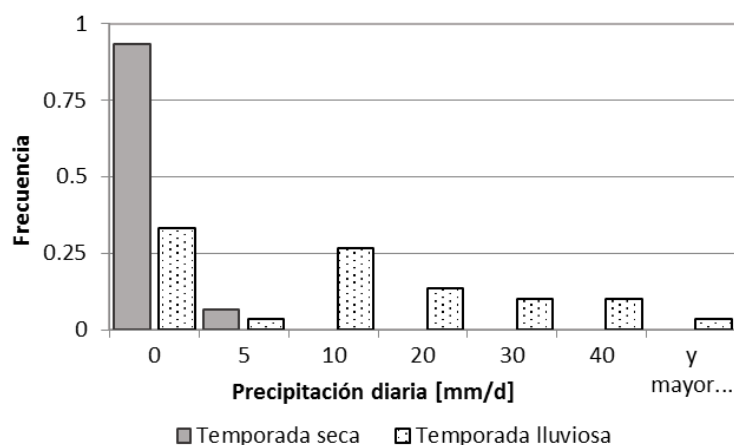


Figura 3-30. Histograma para valores de precipitación registrados en día de temporada seca y un día en temporada de lluvias.

La Figura 3-31 muestra las funciones de densidad de probabilidad y de probabilidad acumulada para el caso en que el número de días secos en la muestra sea muy alto. En ese caso, se divide la función de densidad de probabilidad en dos partes 1) cuando la precipitación es igual a cero ( $P_0$ ) 2) cuando la precipitación es mayor a cero ( $1-P_0$ ). La probabilidad de que ocurra un día seco se define como:

$$P_0 = \frac{n}{N} = \frac{\# \text{ días secos}}{\# \text{ días en la muestra}} \quad \text{Ec. 3-1}$$

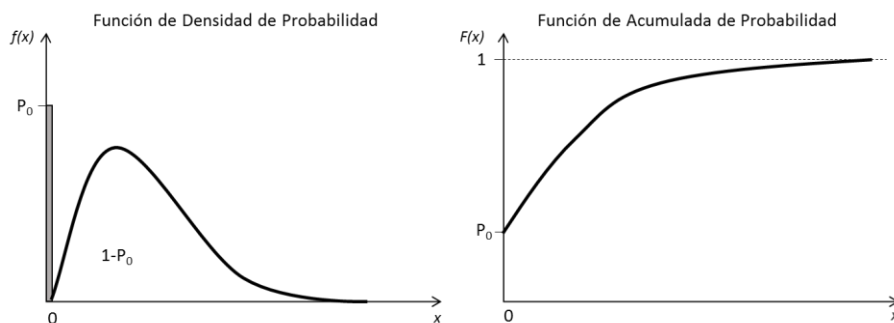


Figura 3-31. Funciones de densidad de probabilidad y probabilidad acumulada teniendo en cuenta  $p=0$

Al seguir este procedimiento, se obtienen series de precipitación que mantienen la relación histórica de días de no lluvia con respecto al total de días, según la temporada del régimen de lluvias. Si se

utiliza la función de densidad de probabilidad sin hacer este ajuste, no se obtienen días secos en las series aleatorias.

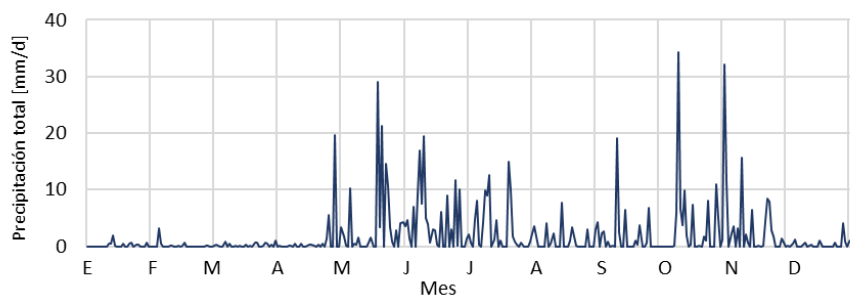
### 3.2.2 Correlación de series

Enseguida, con el fin de incluir la correlación existente entre valores de precipitación y temperatura en periodos de tiempo sucesivos, se calcula la matriz de autocorrelación para cada una de las series aleatorias generadas. La autocorrelación temporal indica la correlación de una variable con sus valores pasados y futuros (Wilks, 2006). La correlación espacial representa la aparición de datos simultáneos en múltiples estaciones del área de estudio, utilizando la matriz de autocorrelación espacial entre valores de las diferentes estaciones de registro.

Las series de números aleatorios correlacionados son más suaves que las series aleatorias, ya que los valores adyacentes (en escalas temporales y espaciales) tienden a ser más parecidos que en series independientes. De esta manera, se evitan cambios abruptos en los valores de precipitación y temperatura para días consecutivos.

### 3.2.3 Relación series estocásticas de precipitación y temperatura

Para el caso de los países del Triángulo del Norte, se generaron series estocásticas de precipitación y temperatura para 1,000 años equivalentes. Vale la pena destacar que estos 1,000 años no corresponden a un pronóstico, son valores aleatorios que han sido correlacionados para que se ajusten y representen el clima del área de estudio y brinden más información (comparado con la poca información histórica) sobre posibles eventos de sequía, que no se han presentado aún. Estas series modeladas son el insumo principal para la evaluación de riesgo probabilista de sequías, de las cuales se puede obtener un mayor número de eventos estocásticos para modelar la amenaza. Estos eventos cumplen con las condiciones de ser mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos. La Figura 3-32 muestra un resumen de las series sintéticas de precipitación y temperatura, simuladas mediante el procedimiento descrito anteriormente, para una estación de la malla de análisis del Triángulo del Norte (Longitud: -86.25, Latitud: 13.25). Se muestran los resultados diarios de un año para precipitación total (arriba) y temperatura máxima, mínima y media (abajo).



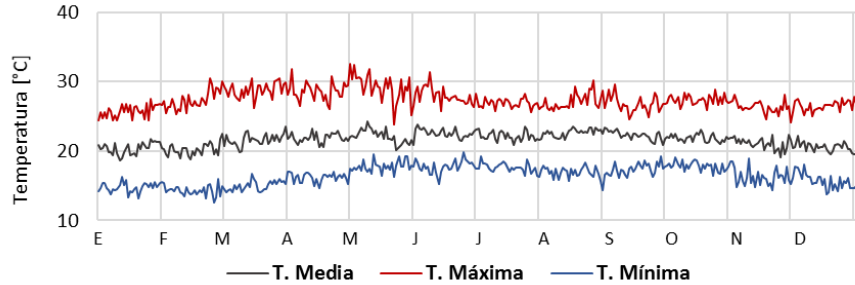


Figura 3-32. Series sintéticas de un año de simulación para una estación seleccionada en malla de análisis de Triángulo del Norte.

En la Figura 3-33 se muestra el ajuste del promedio diario multianual de los parámetros de precipitación (superior) y de temperatura media (inferior) de las series históricas del periodo 1981 al 2010 y de la serie sintética simulada aleatoriamente, para el mismo punto de análisis. Se puede ver cómo la metodología propuesta resulta en series sintéticas con un buen ajuste a los datos históricos, lo que indica que la serie aleatoria conserva adecuadamente las características promedio del clima de la zona.

En la serie de valores medios diarios de temperatura promedio (gráfica inferior) se ven una serie de saltos entre valores (1ro de mayo o 1ro de noviembre) que indican cambios abruptos de temperatura entre un mes y otro. Estos pueden ser comportamientos propios de la base de datos de la Universidad de Princeton que resultan del re-análisis de información que hacen para publicar los registros históricos. El modelo probabilista para la generación de series sintéticas de temperatura es capaz de reproducir estos cambios luego de aplicar los procedimientos de correlación temporal y espacial de las series sintéticas.

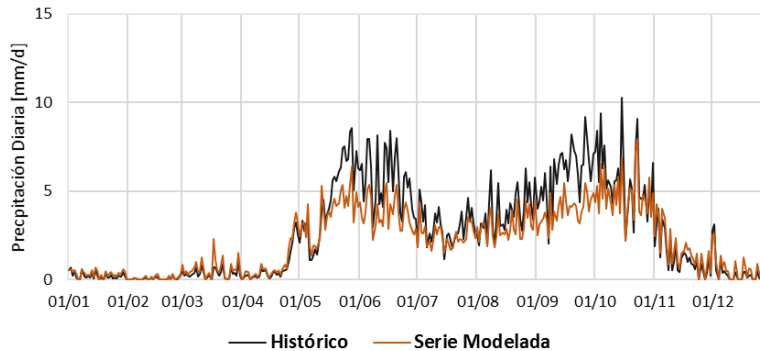




Figura 3-33. Promedio diario multianual de precipitación (arriba) y de temperatura media (abajo) para serie histórica (1981-2010) y serie sintética (1000 años de simulación).

Una de las ventajas de la metodología de generación estocástica de series climáticas es la obtención de valores atípicos extremos, que hacen referencia a valores de precipitación por encima de los máximos de los registros históricos, y valores de temperatura por fuera del rango medio registrado en estaciones. Esto quiere decir que las series modeladas incluyen valores de precipitación y temperatura que no se han presentado, pero pueden ocurrir con una baja probabilidad, en el futuro. Los diagramas de cajas de la Figura 3-34 muestran los valores atípicos para un punto de análisis en el Triángulo del Norte. Para el caso de la temperatura, las cajas que reflejan la mediana, y los percentiles 25 y 75, el ajuste de los registros históricos y las series simuladas es preciso, con valores extremos en el caso de los registros simulados. Por otro lado, para el caso de la precipitación, la mediana de los registros de precipitación está por encima de la mediana de los valores simulados, pero con un rango más amplio para valores mínimo y máximos. En este ejemplo, la máxima precipitación anual registrada en el periodo 1981-2010 fue 1,460 mm/año (para el año 1988); sólo 51 de 1,000 años simulados superan este valor alcanzando un máximo de 2,560 mm/año. Esto refleja que los valores extremos se tienen en cuenta en el análisis aun cuando probabilidad de ocurrencia es muy baja (50/1000) y justifica la condición de que los eventos de amenaza derivados de series estocásticas sean colectivamente exhaustivos.

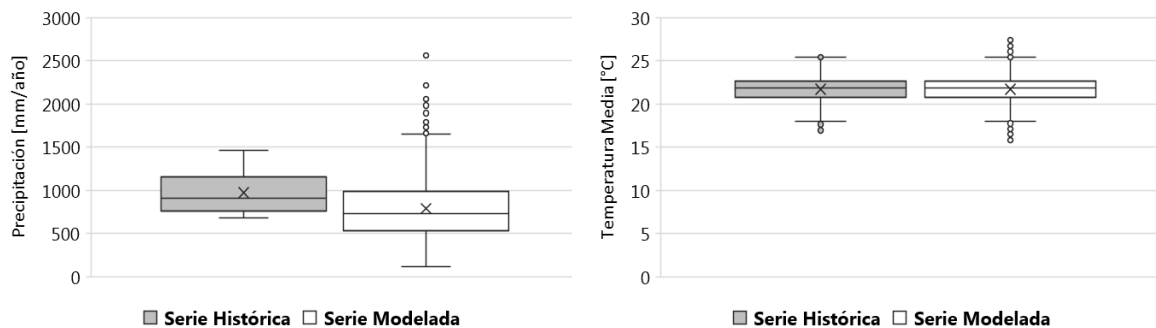


Figura 3-34. Diagramas de caja para promedio anual de precipitación (izquierda) y de temperatura media (derecha) para serie histórica (1981-2010) y serie sintética (1000 años de simulación).

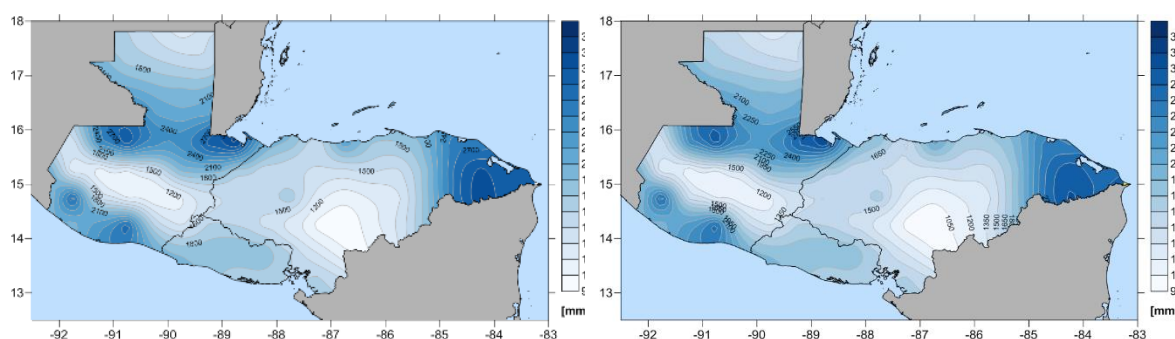
Los resultados globales de la simulación de series de precipitación y temperatura se muestran en la Figura 3-35. Estos mapas muestran los valores medios multianuales para la precipitación anual y temperatura media, mínima y máxima. Los mapas están representados en la misma escala de color, lo que permite una fácil comparación visual de los resultados. Para todos los casos, se puede ver como se conservan los valores medios en toda el área de estudio, con resultados sobresalientes para la precipitación y la temperatura. Los valores de precipitación de las series simuladas siguen la



distribución espacial de la precipitación total anual de los registros históricos, los valores máximos y mínimos de precipitación se localizan en las mismas regiones (norte de Guatemala, este de Honduras) y en ambos casos se puede reconocer la zona del corredor seco centroamericano.

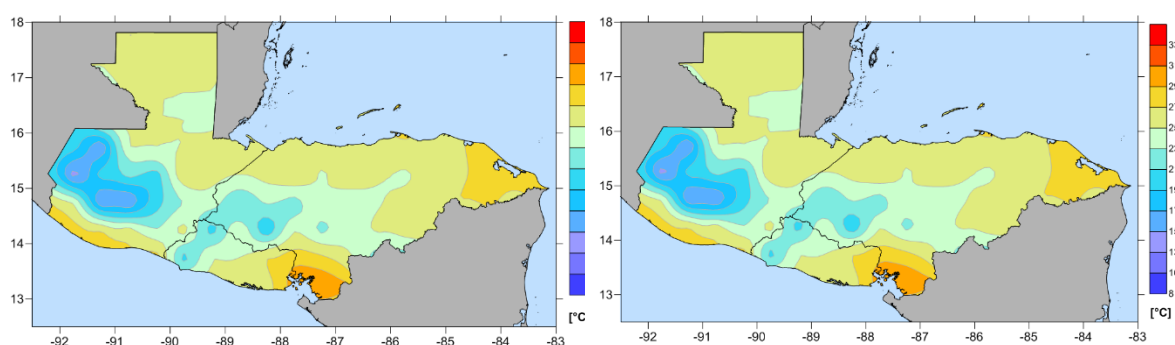
Con respecto a la temperatura, también se obtuvieron ajustes precisos de la distribución espacial para los casos de la temperatura media, máxima y mínima. El ajuste espacial de los resultados mantiene el comportamiento medio de la temperatura en la zona de estudio. Las temperaturas bajas se presentan en el área montañosa de Guatemala y las máximas temperaturas se presentan en el Golfo de Fonseca en El Salvador. Los mapas muestran como en términos de valores medios anuales de temperatura, el uso del modelo de generación estocástica de series simuladas replica el clima registrado en la historia de una forma muy precisa. Esto quiere decir que las simulaciones que se utilizan para la generación estocástica de eventos de sequía representan la media normal del clima histórico; sin embargo, el modelo genera condiciones extremas de temperatura (valores por encima de los máximos registrados) que no se han presentado aún.

Con la verificación de estos resultados, se procede a calcular la evapotranspiración y los indicadores de sequía.



Precipitación Registros 1981-2010

Precipitación Simulada



Temperatura Media Registros 1981-2010

Temperatura Media Simulada

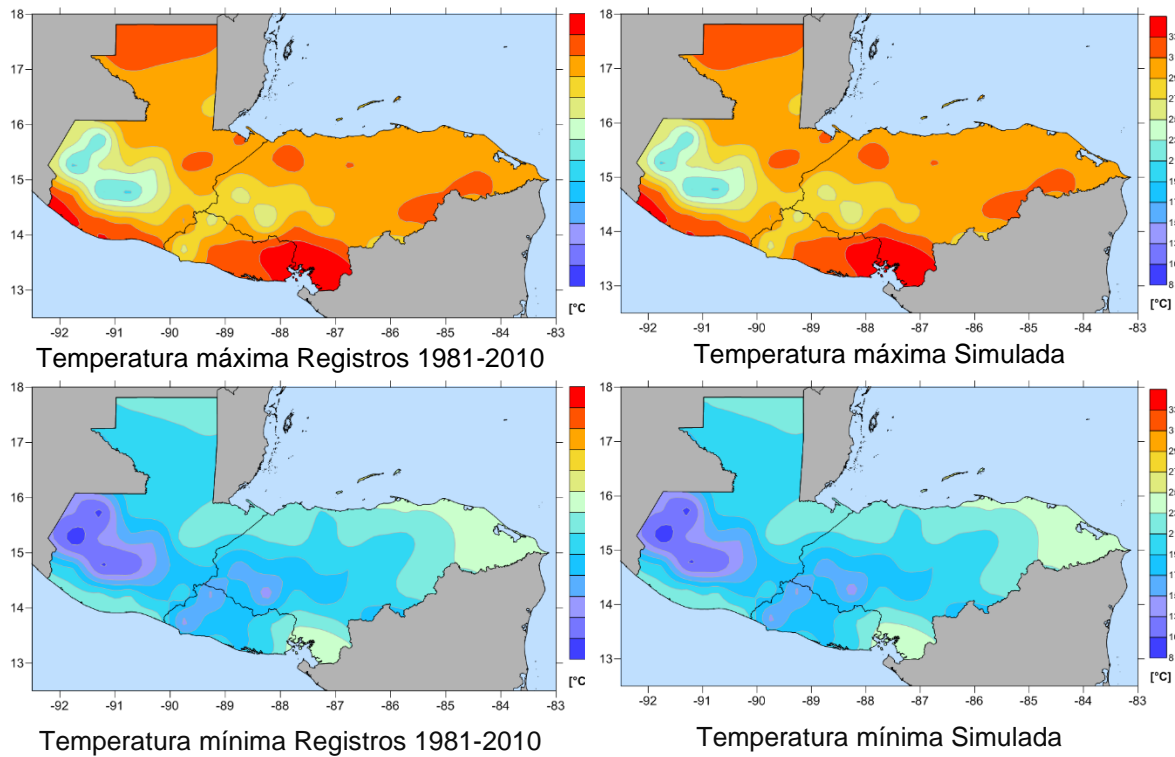


Figura 3-35. Mapas de valores medios multianuales para precipitación, temperatura media, máxima y mínima de registros históricos (izquierda) y series modeladas (derecha).

### 3.3 Evapotranspiración de referencia

El cálculo de los indicadores de sequía propuestos requiere del cálculo previo de la evapotranspiración de referencia, para evaluar las condiciones atmosféricas que definen si se presenta un exceso de agua en la atmósfera (baja evapotranspiración) o un déficit (alta evapotranspiración y poca lluvia). La evapotranspiración de referencia se estima siguiendo el Manual *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements* (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998), que es considerado el método estándar y es el más recomendado.

La evapotranspiración de referencia es el potencial de evaporación de la atmósfera; se calcula en una superficie vegetal uniforme sin restricciones hídricas. La superficie de referencia es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23 (Allen et al., 1998); es independiente del tipo de cultivo, de su desarrollo o de su manejo. Al no tener restricciones en el contenido de agua, las características del suelo tampoco influyen en su resultado. Estas condiciones permiten comparar los resultados en diferentes localizaciones o estaciones para evaluar las condiciones evaporativas de la atmósfera ya que el ETo únicamente varía según las condiciones climáticas presentes.

Es importante señalar que la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) es diferente a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) y a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ). La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) considera características particulares según el tipo de cultivo que se esté evaluando (resistencia del cultivo, albedo, anatomía de las hojas, características de los estomas, propiedades aerodinámicas, entre otros). Por otro lado, la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ) considera cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes a condiciones óptimas de suelo y agua, presencia de enfermedades o fertilización que implican cambios en el rendimiento de la cosecha.

El método de Penman-Monteith (Ver Ec. 3-2) para el cálculo de la evapotranspiración de referencia permite cuantificar los procesos de evaporación (vaporización de agua desde una superficie: suelo, vegetación húmeda) y transpiración (vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales), que ocurren simultáneamente. Los parámetros necesarios para el cálculo son el brillo solar, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, el flujo de vapor y la resistencia aerodinámica.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{Ec. 3-2}$$

en donde  $R_n$  es la radiación neta,  $G$  es el flujo de calor del suelo,  $\gamma$  es la constante psicrométrica,  $T$  es la temperatura promedio diaria,  $u_2$  es la velocidad del viento (a 2m de la superficie),  $(e_s - e_a)$  representa el déficit de presión de vapor y  $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor. La aplicación de la metodología de Penman-Monteith implica la recopilación de información meteorológica que puede no estar disponible en todos los casos. Los parámetros meteorológicos faltantes se establecen a partir de criterio de expertos, información meteorológica general de la región y las reglas de cálculo recomendadas por la FAO (Raes, 2009). La metodología detallada para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se presenta en el Anexo A. 2.

#### 3.3.1 Parámetros climáticos

El cálculo de la evapotranspiración de referencia puede ser complejo porque involucra numerosos parámetros climáticos que son difíciles de obtener en bases de datos de registros históricos. Variables como la humedad del aire, la radiación, la presión atmosférica y la velocidad del viento no se suelen medir en todas las estaciones de monitoreo, por lo que la cantidad y calidad de registros

es muy baja. Como se mencionó en la Sección 3.1.2.3, la Universidad de Princeton publicó una base de datos de información climática (Sheffield, Goteti, & Wood, 2006) que es utilizada como fuente de información para este estudio. La información disponible está en formato NetCDF (archivos de extensión nc) y para este estudio se utilizaron las mallas de resolución  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . A continuación, se presenta un resumen de la información disponible de parámetros climáticos útiles para el cálculo de la evapotranspiración de referencia disponibles en esta base de datos.

### 3.3.1.1 Radiación

En la Figura 3-36 y la Figura 3-37 se muestra un resumen de la información de radiación que se utiliza en este estudio para calcular la serie de evapotranspiración para el Triángulo del Norte, obtenida de la base de datos de la Universidad de Princeton. En las figuras se puede ver el mapa de distribución espacial de las variables para la media multianual y la variación en el tiempo, equivalente a un año dividido en grupos de 10 días o decadales, de la misma variable.

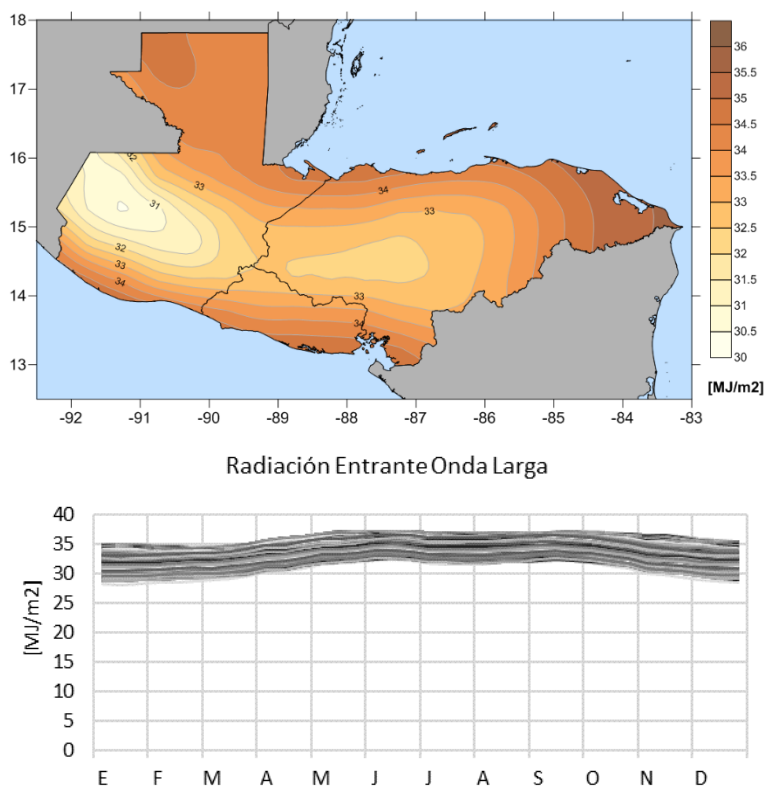


Figura 3-36. Mapa de radiación entrante de onda larga media anual (arriba) y variación de la media decadal (abajo) para 148 estaciones en Triángulo del Norte.

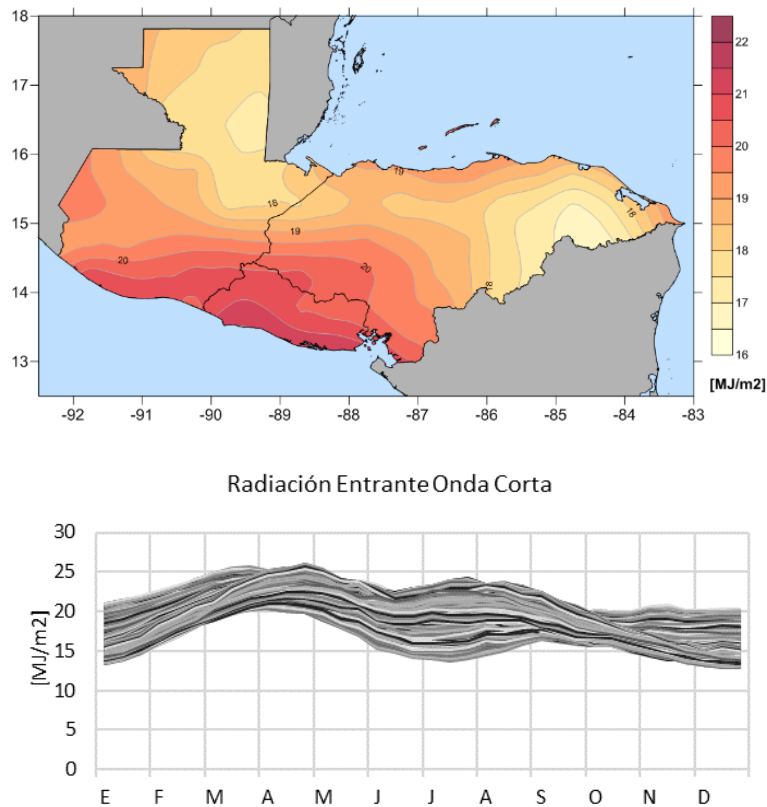


Figura 3-37. Mapa de radiación entrante de onda corta media anual (arriba) y variación de la media decadal (abajo) para 148 estaciones en Triángulo del Norte.

En el caso de la radiación de onda larga, la mayor radiación se presenta en zonas de baja elevación y se mantiene constante durante el año. Por otro lado, la radiación de onda corta presenta los valores más altos en latitudes más bajas, con máximos en el mes de abril y disminuye en la época de lluvias hacia mitad de año. Las unidades de radiación de la base de datos son watts por metro cuadrado [ $W/m^2$ ], que se transforman a mega julios por metro cuadrado [ $MJ/m^2$ ] para el uso de la ecuación de Penmann-Monteith.

### 3.3.1.2 Presión atmosférica

En la Figura 3-38 se muestra el mapa de distribución espacial de la media multianual de la presión atmosférica y a la derecha se ve la variación en el tiempo, dividida en grupos de 10 días o decadales, de la misma variable. La presión atmosférica varía con la elevación de la superficie, por esta razón los valores medios de presión atmosférica son menores en la zona montañosa de Guatemala (Sierra Madre y Cuchumatanes). La presión atmosférica no tiene variación importante durante las estaciones del año, como se ve en la gráfica que presenta el valor de presión atmosférica por decadal para todas las estaciones consideradas en el análisis.

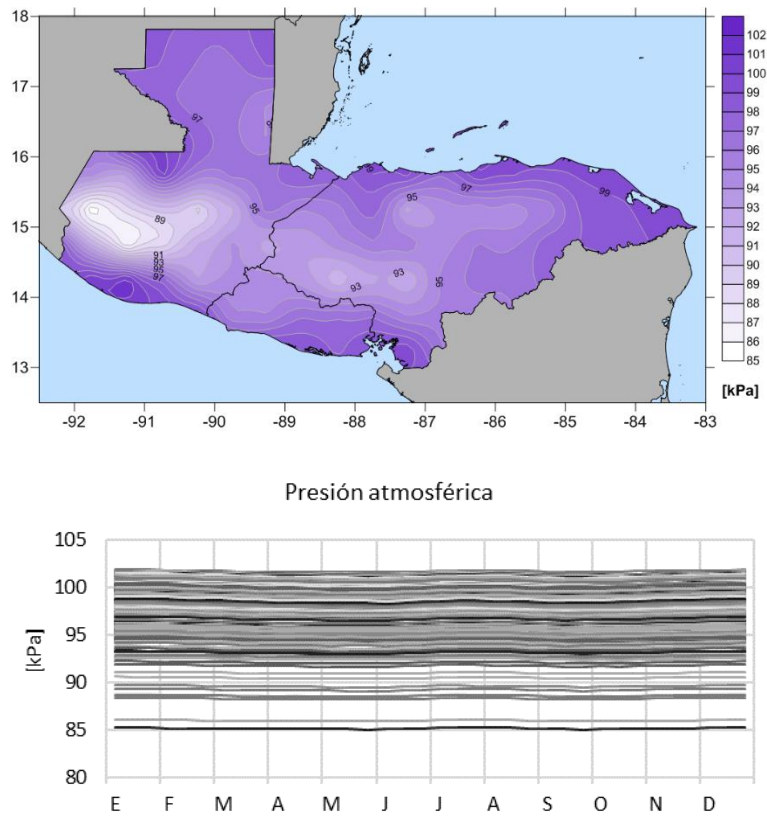


Figura 3-38. Mapa de presión atmosférica media anual (arriba) y variación de la media decadal (abajo) para 148 estaciones en Triángulo del Norte.

### 3.3.1.3 Humedad específica

En la Figura 3-39 se muestra el mapa de distribución espacial de la media multianual de humedad específica y la variación en el tiempo, dividida en grupos de 10 días o decadales, de la misma variable. La humedad específica relaciona la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco, en este caso se presenta gramos de vapor de agua con relación a gramos de aire seco. Con temperaturas más altas (baja elevaciones o en los meses de verano de julio a octubre) se puede contener mayor cantidad de vapor de agua en el aire que comparado con las temperaturas bajas (altas elevaciones o meses menos calurosos como enero y diciembre).

La ecuación de Penmann-Monteith para el cálculo de la evapotranspiración de referencia incluye el valor de humedad relativa, que no es el mismo que la humedad específica que reporta la base de datos consultada. La humedad relativa es la cantidad de humedad que posee una masa de aire con relación a la humedad máxima que podría contener sin que se produzca condensación. Entonces, para calcular la humedad relativa se debe tener en cuenta las condiciones de temperatura y presión atmosférica, que definen qué tanta humedad puede contener el aire. En el Anexo A. 2 se explica en detalle cómo se hace este cálculo.

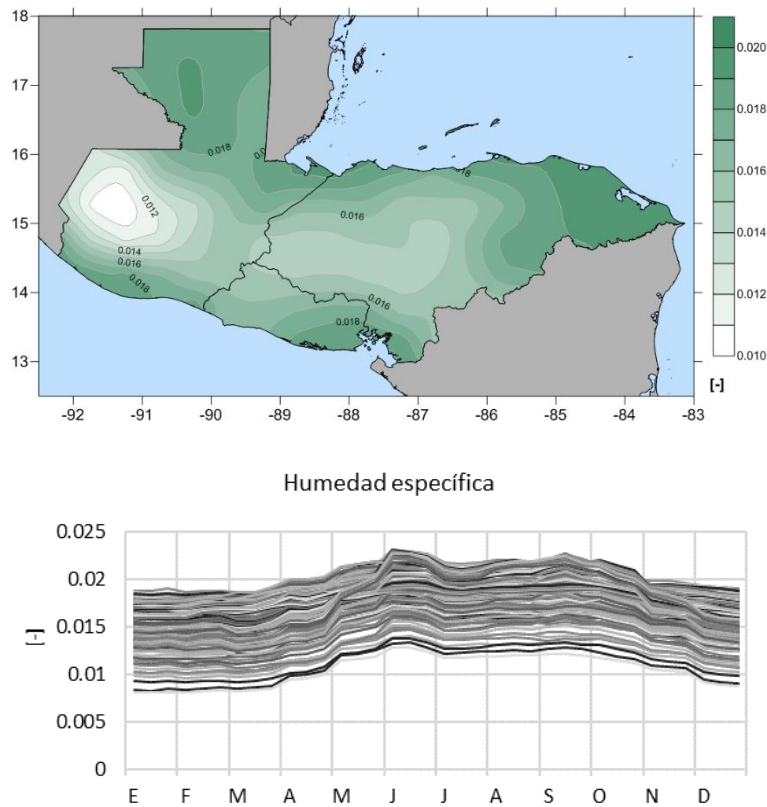


Figura 3-39. Mapa de humedad específica media anual (arriba) y variación de la media decadal (abajo) para 148 estaciones en Triángulo del Norte.

#### 3.3.1.4 Velocidad del viento

En la Figura 3-40 se muestra el mapa de distribución espacial de la media multianual de la velocidad del viento y la variación en el tiempo, dividida en grupos de 10 días o decadales, a partir de la información del dataset de la Universidad de Princeton. En el mapa se puede observar como los valores de velocidad de viento son mayores en las zonas costeras de los tres países, con un gradiente descendente hacia el interior del continente. La variación temporal de la velocidad de viento es poca, con valores más altos registrados en la temporada de invierno (diciembre-enero).

Es interesante registrar que el rango de velocidades de viento entre los 240 puntos de la malla de análisis varía desde 1 m/s hasta superar 7 m/s. Estas condiciones de alta variabilidad se deben tener en cuenta para el cálculo de la evapotranspiración, reemplazando el uso de valores por defecto que pueden subestimar las condiciones en la zona de estudio.

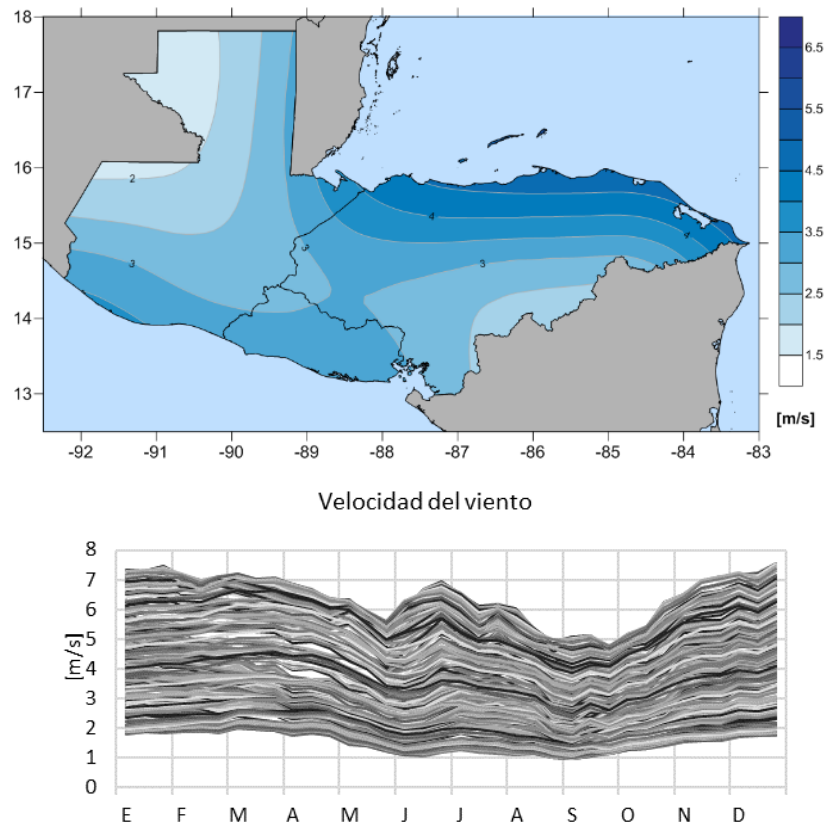


Figura 3-40. Mapa de velocidad del viento media anual y variación de la media decadal para 148 estaciones en Triángulo del Norte.

### 3.3.2 Resultados evapotranspiración de referencia

Siguiendo la metodología detallada para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Ver Anexo A. 2) se estimaron las series de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) para la información histórica entre los años 1981 y 2010 y para la información resultado de la modelación estocástica de temperatura, equivalente a 1,000 años de simulaciones. En la Figura 3-41 se presenta la variación mensual de la media de serie de evapotranspiración de referencia para los registros históricos (izquierda) y para la serie simulada (derecha). Los resultados muestran que la metodología aplicada mantiene la media normal del clima histórico en las series simulados.



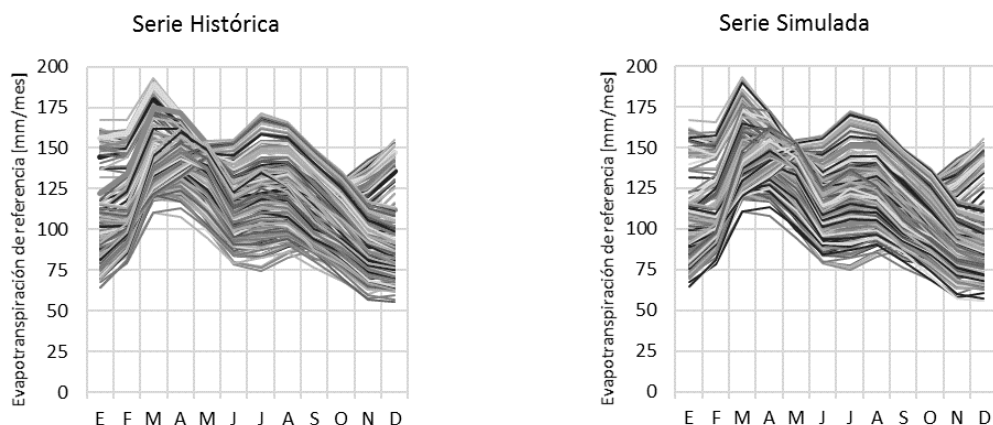


Figura 3-41. Variación de la media decadal de la evapotranspiración de referencia para registros históricos (izquierda) y para serie simulada (derecha) para 148 puntos de análisis en el Triángulo del Norte.

Los mapas de la Figura 3-42 y de la Figura 3-43 permiten comparar, en términos de distribución espacial, los resultados de las series de evapotranspiración de referencia históricas y simuladas, respectivamente. Al igual que en la gráfica anterior, se puede ver que las condiciones históricas de evapotranspiración de referencia se mantienen en la serie simulada. Es decir, la generación de clima estocástico aplicado en el modelo de sequía mantiene las condiciones normales del clima. Los mapas de la Figura 3-44 y de la Figura 3-45 muestran el ajuste preciso entre los valores medios mensuales históricos y simulados, respectivamente.

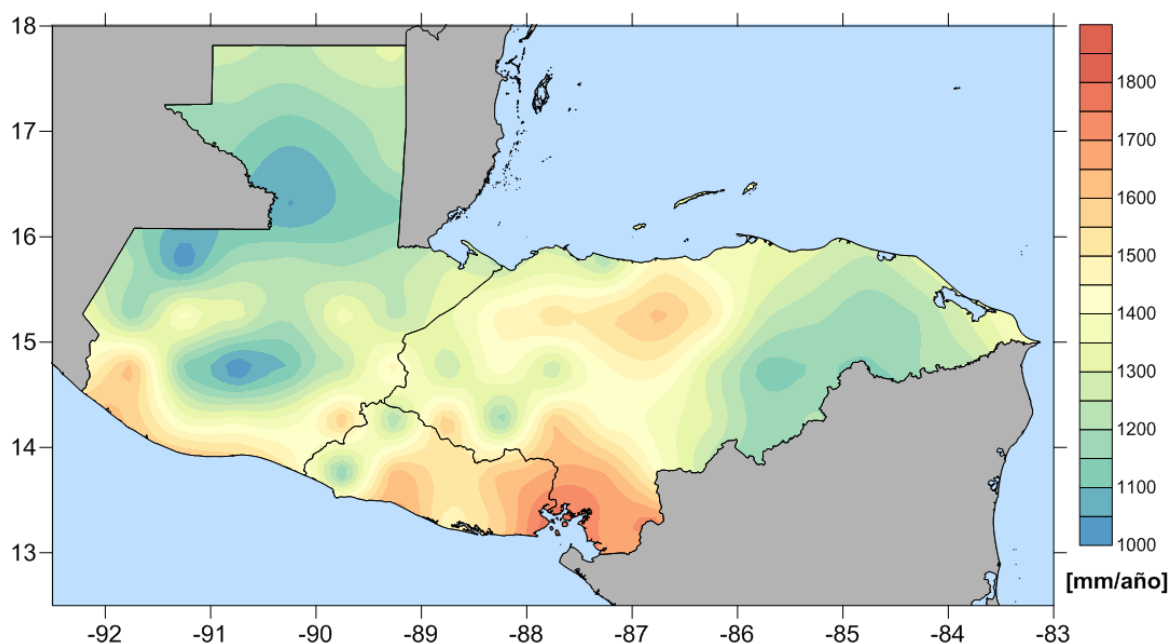


Figura 3-42. Mapas de evapotranspiración media anual (1981-2010) aplicando ecuación Penmann-Montetih

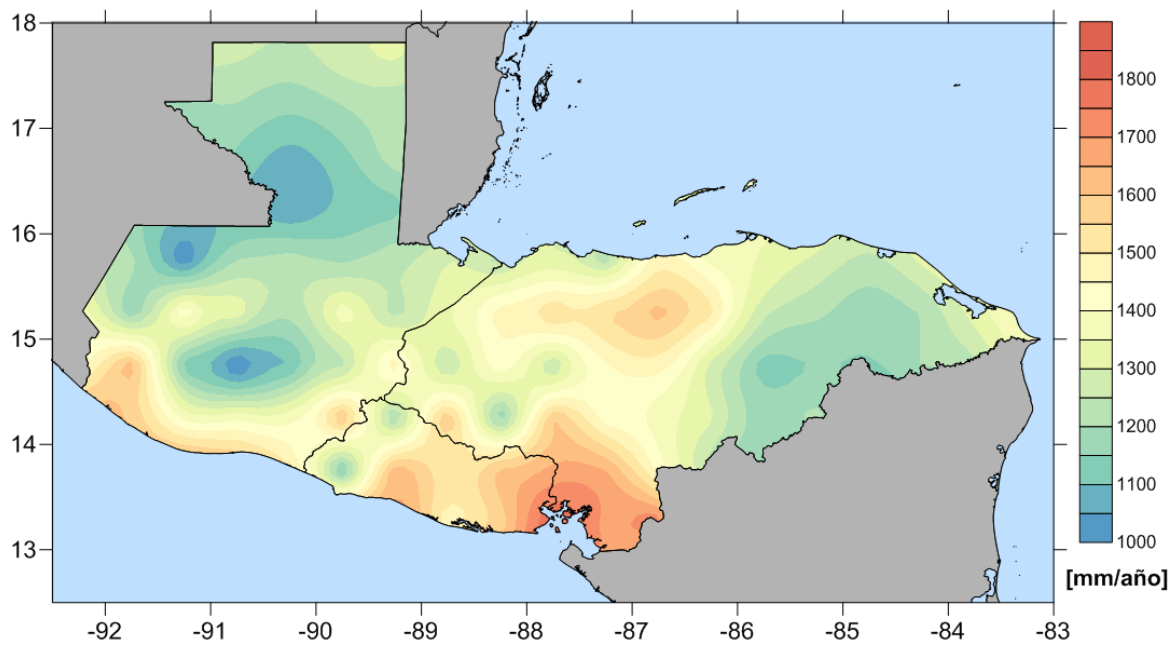
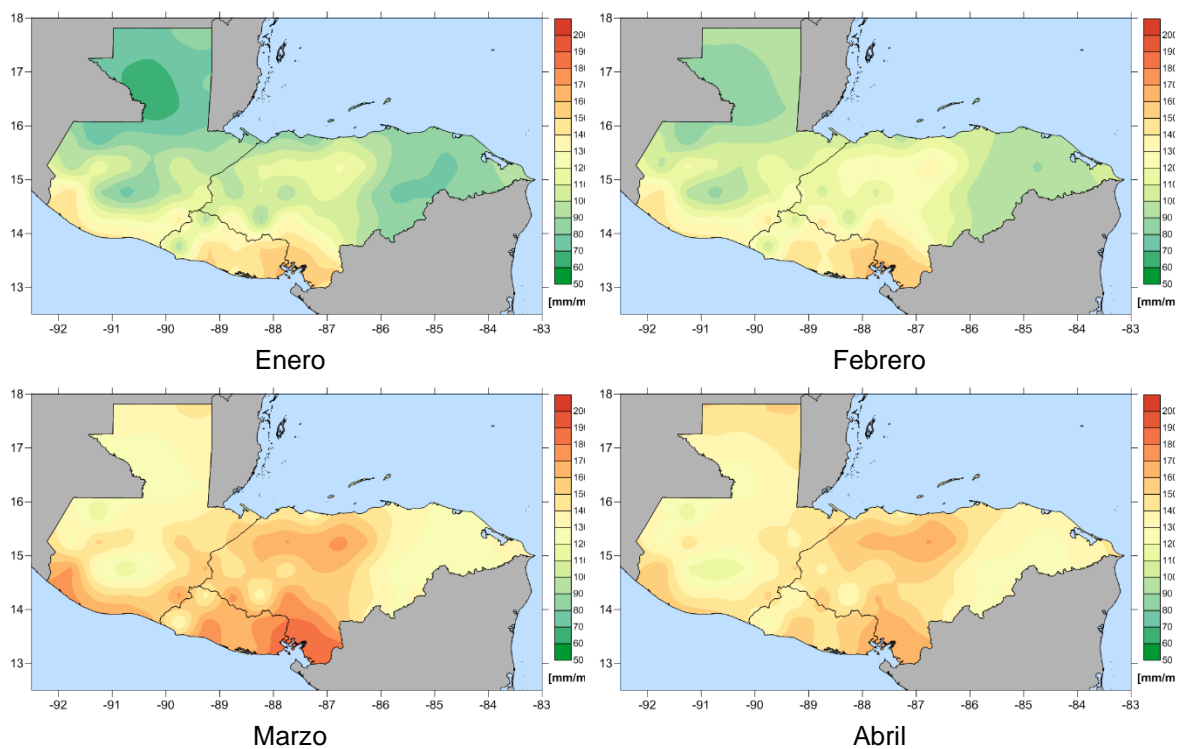


Figura 3-43. Mapas de evapotranspiración media anual serie simulada aplicando ecuación Penmann-Montetih

### 3.3.2.1 Evapotranspiración histórica



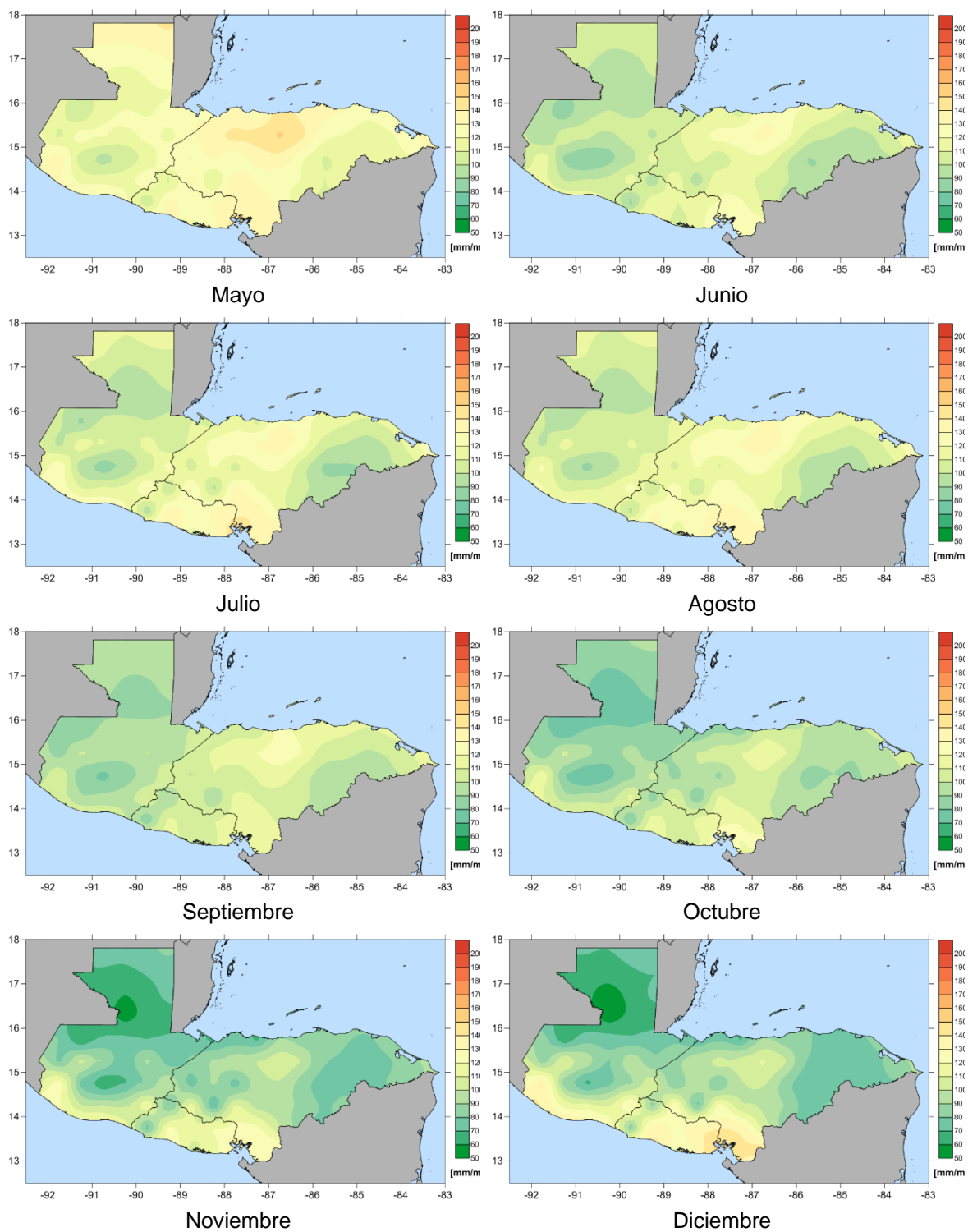
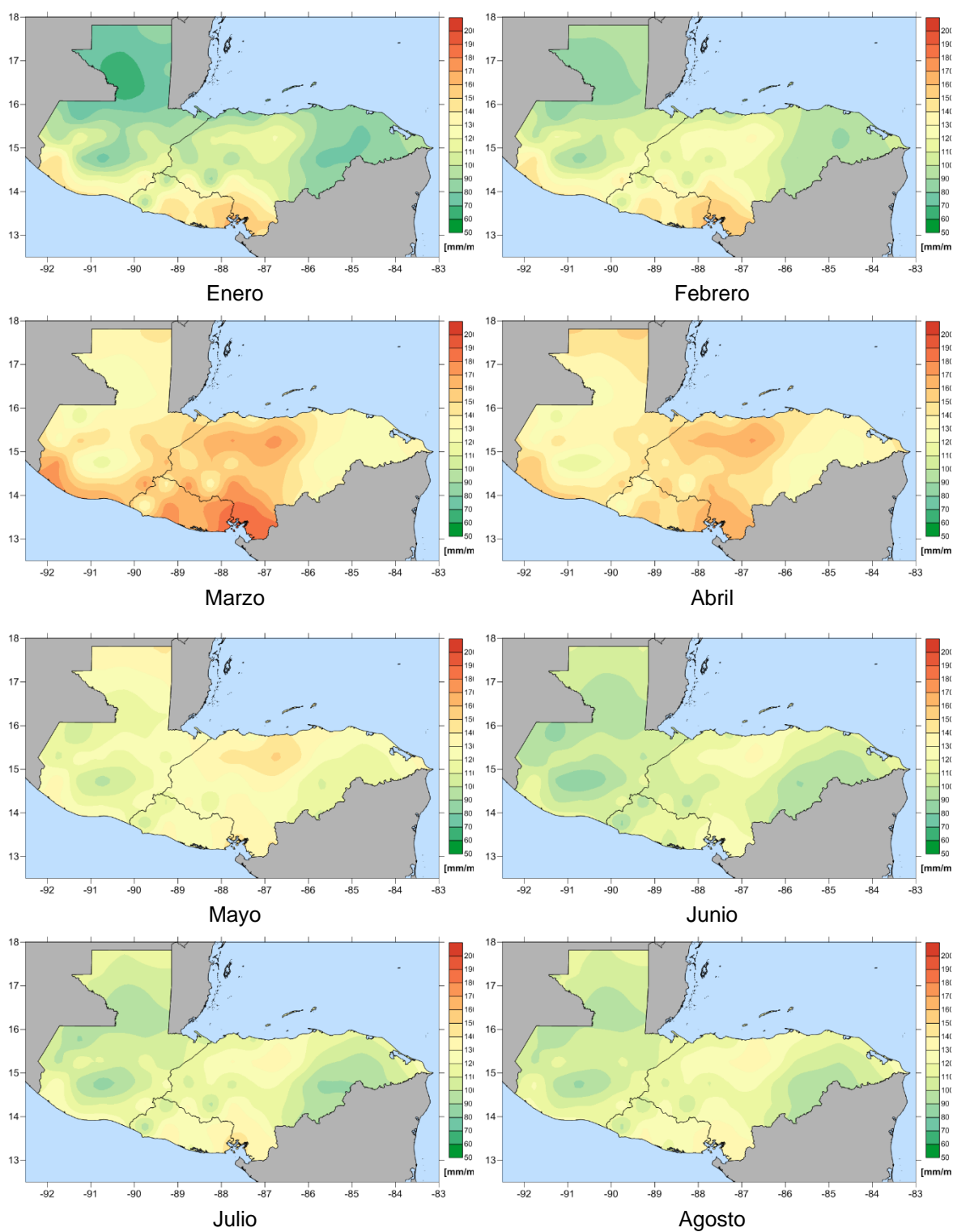


Figura 3-44. Mapas de evapotranspiración media mensual (1981-2010) aplicando ecuación Penmann-Montetih.

### 3.3.2.2 Evapotranspiración simulada



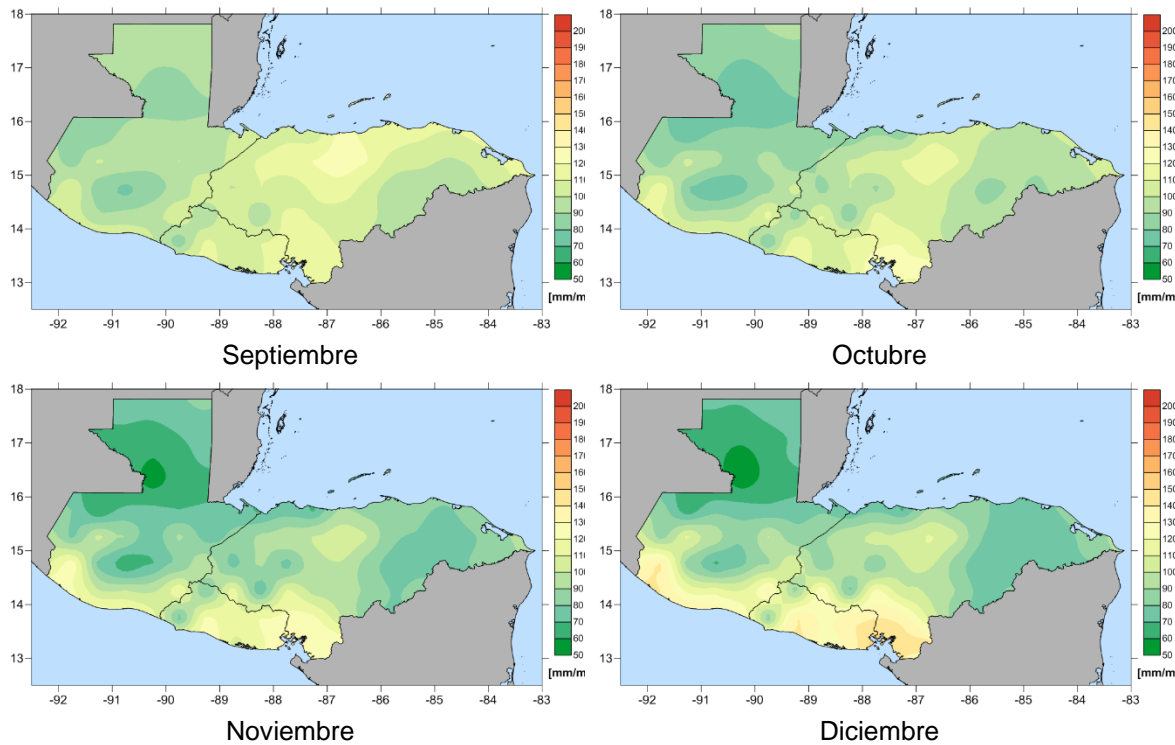


Figura 3-45. Mapas de evapotranspiración media mensual para series simuladas aplicando ecuación Penmann-Montetih.

### 3.4 Indicadores

Los indicadores son ampliamente utilizados para identificar las sequías, al detectar condiciones de precipitación por debajo de la precipitación media y condiciones simultáneas de temperatura por encima de las temperaturas promedio. Los indicadores pueden definir la *duración* y la *severidad* de los eventos de sequía. Las fechas de inicio y terminación establecen el período de duración en el que un indicador de sequía está continuamente por debajo de un nivel crítico predefinido (a menor valor del indicador, más intensa la sequía). La severidad de una sequía denota la deficiencia acumulativa de un parámetro de sequía por debajo de un umbral entre las fechas de iniciación y terminación. La relación entre severidad y duración es la *intensidad* de la sequía (Mishra y Singh, 2010). Estos conceptos se muestran de forma esquemática en la Figura 3-46. Cada evento de sequía está compuesto por la siguiente información:

- *Severidad*: corresponde al área bajo la curva del evento, es decir, el valor acumulado del indicador durante el evento.
- *Duración*: es el tiempo que dura el evento.
- *Intensidad*: se calcula como la severidad dividida por la duración. Es una medida unitaria de la magnitud del evento.

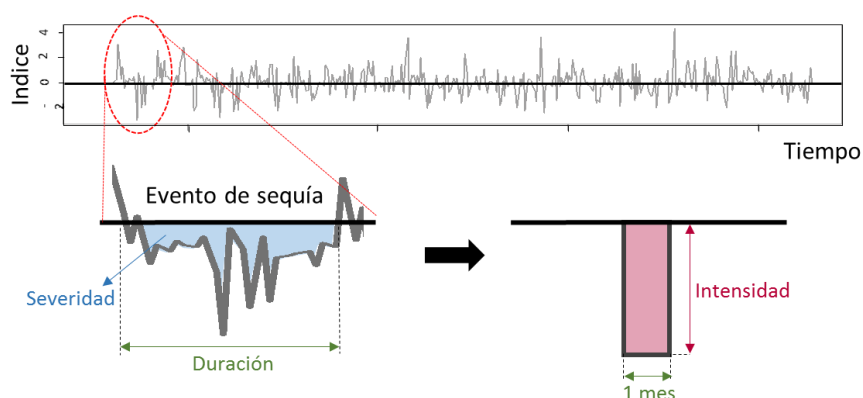


Figura 3-46. Esquema de indicadores de sequía y conceptos de severidad, duración e intensidad del evento.

### 3.4.1 Indicadores de sequía a utilizar

Dependiendo del tipo de sequía a evaluar, se pueden incluir diferentes parámetros en el cálculo de los índices. Las sequías meteorológicas están condicionadas a la deficiencia de precipitación en términos de cantidad, intensidad y tiempo de precipitación, y al aumento de la evaporación y transpiración a causa de altas temperaturas, vientos fuertes, baja humedad relativa, intenso sol y menor nubosidad. Las sequías agrícolas están condicionadas por la deficiencia de agua en el suelo en términos de estrés hídrico para las plantas, y la reducción en la biomasa y el rendimiento. Las sequías hidrológicas están determinadas por la reducción en caudales de ríos y quebradas, almacenamiento reducido de los embalses y reducción de los humedales. La sequía socioeconómica se presenta cuando la oferta de algún bien económico disminuye por los efectos de la disminución de disponibilidad de agua, y se asocia a fallas en los sistemas de recursos hídricos. Esta clasificación de sequías, como sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica fue definida por primera vez por Wilhite y Glantz (1985).

Según Jayanthi (2014), los indicadores de sequía agrícola deben integrar las variables pluviométricas y de temperatura, junto con la evapotranspiración para el monitoreo efectivo de los cultivos de secano, pastos y pastizales. Banimahd y Khalili (2013) compararon los índices de sequía agrícola más utilizados, como el Palmer Drought Severity Index (PDSI-Palmer 1965), el Standardized Precipitation Index (SPI-McKee et al., 1993), el Effective Drought Index (EDI-Byun y Wilhite 1996), el Reconnaissance Drought Index (RDI-Tsakiris et al., 2007) y el Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010). Sus resultados mostraron que la SPEI y la RDI detectaron de manera más apropiada las severidades de sequía máximas, enfatizando el importante papel de la evapotranspiración. Estos resultados son consistentes con el trabajo de Tsakiris et al. (2007), en donde se demuestra que la sola precipitación no correlaciona satisfactoriamente con la producción de rendimiento en cultivos, sino que se requiere la incorporación de la evapotranspiración de referencia (que depende directamente de la temperatura), para describir apropiadamente la ocurrencia de las sequías. Para este modelo, se propone emplear el RDI y el SPEI, los cuales incorporan la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima en su cálculo. El procedimiento de cálculo de estos indicadores se presenta en el Anexo A. 3.

Este estudio no incluye el uso de indicadores que tienen en cuenta parámetros propios del suelo o del cultivo para definir un evento de sequía, como el Indicador de Palmer. Esto se debe a que en el módulo de amenaza del modelo probabilista de sequía se evalúan las condiciones de tiempo (precipitación y temperatura) únicamente, para clasificar los eventos de sequía independientes de sus posibles efectos en elementos socioeconómicos. De esta forma se puede evaluar la amenaza

independiente de la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Es en el módulo de vulnerabilidad que se incluyen los parámetros propios del suelo y cultivos existentes en cada unidad de tierra cultivada dentro del área de análisis.

### 3.4.2 Umbrales de sequía

Los indicadores estandarizados de sequía, como el RDI y el SPEI, pueden compararse entre sí en dimensiones espaciales y temporales. La severidad de la sequía caracterizada aplicando estos indicadores, se puede clasificar de acuerdo con lo presentado en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Clasificación de sequías de acuerdo con el valor de indicadores estandarizados.

Clase de sequía	Valor del Indicador
No ocurre sequía	Mayor a 0
Leve	Entre -1 y 0
Moderada	Entre -1.5 y -1
Severa	Menor a -1.5

Nótese que, en todos los casos, los indicadores reflejan condiciones de sequía cuando sus valores son negativos, siendo las sequías más severas las asociadas a valores más negativos. Es conveniente evaluar los escenarios de sequía con más de un indicador, ya que ninguno de ellos puede aplicarse universalmente debido a la complejidad de esta amenaza y a las condiciones particulares de las diversas zonas climáticas (Tsakiris, Pangalou y Vangelis, 2007). Los indicadores se calculan para cada serie (histórica o simulada) en cada uno de los puntos de la malla de análisis. La Figura 3-47 muestra un ejemplo del cálculo del indicador de sequía para tres años de la serie histórica e indica la línea del umbral para definir sequías desde los eventos leves (umbral=-1). En este ejemplo, se presenta una sequía de 6 meses entre finales de 1987 y principios de 1988 y otra menos grave entre mayo y julio (3 meses) del año 1989.

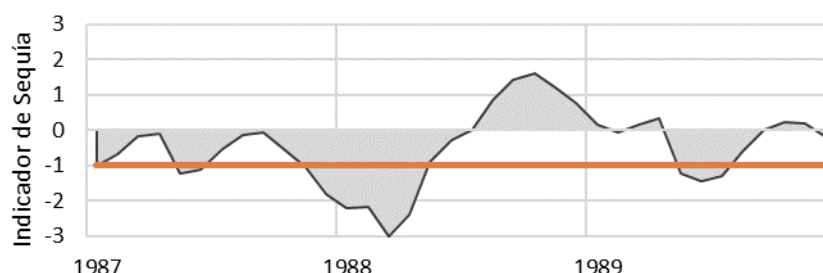


Figura 3-47. Series de indicador de sequía para 3 meses con umbral=-1.

### 3.4.3 Cálculo sobre indicadores de sequía

Con las series históricas (1981-2010) de precipitación obtenidas de la base de datos de CHIRPS (Ver Sección 3.1.3.1) y la serie de evapotranspiración de referencia calculada a partir de información de variables climáticas de la base de datos de la Universidad de Princeton (Ver Sección 3.1.3.2 y Anexo A. 2), se procedió a calcular el valor de los indicadores RDI y SPEI, siguiendo el procedimiento descrito en el Anexo A. 3. Las series para RDI se muestran en la Figura 3-48 y las series para SPEI se muestran en la Figura 3-49, cada una calculada para escalas de 3, 6 y 12 meses para un único punto de la malla de análisis.

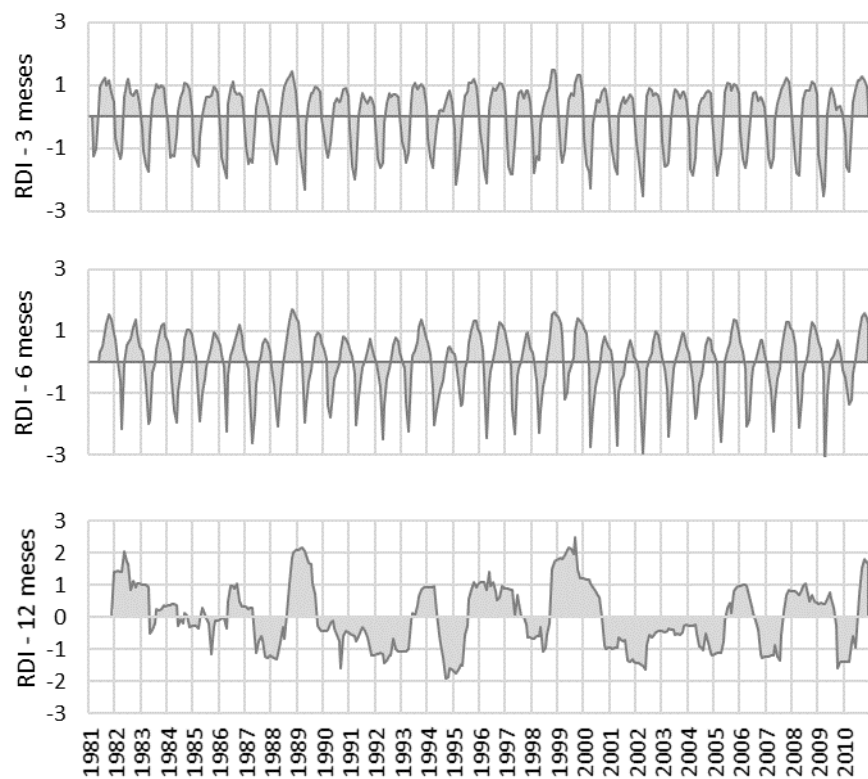


Figura 3-48. Series de indicador de RDI para 3 meses (arriba), 6 meses (medio) y 12 meses (abajo).



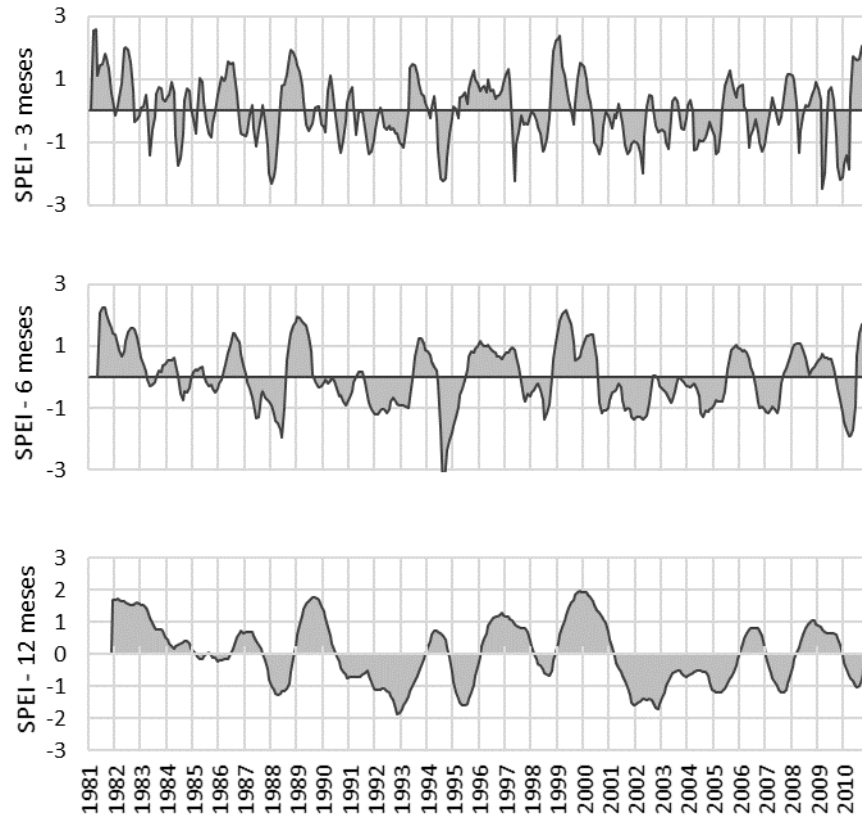


Figura 3-49. Series de indicador de SPEI para 3 meses (arriba), 6 meses (medio) y 12 meses (abajo).

Estas series muestran cómo la escala temporal tiene un efecto en los eventos de sequía que superan cierto umbral. Las series de indicador de menor escala, 3 meses, identifican sequías de menor duración cuyos efectos se pueden ver en sistemas de respuesta acelerada como los cultivos. De otro lado, las series del indicador de mayor escala temporal, 12 meses, identifican sequías de mayor duración cuyos efectos se pueden ver en sistemas de respuesta más lenta, como almacenamiento de agua en reservorios o agua subterránea. Dependiendo del tipo de sequía del análisis, se debe seleccionar la escala de tiempo del indicador de sequía. En el caso del presente estudio, al evaluar el efecto de eventos de sequía en el sector agrícola, se prefieren los indicadores de menor escala temporal.

#### 3.4.4 Definición de eventos regionales de sequía

El siguiente paso es identificar los eventos de sequía que ocurren simultáneamente en varias estaciones de la región de estudio. Para cada mes, se identifican las estaciones con un valor de indicador por debajo del umbral definido para la evaluación (por ejemplo, -1, para detectar sequías moderadas y severas). Si el número total de estaciones con valores por debajo del umbral es mayor que un cierto porcentaje (por ejemplo, 50%), entonces se identifica una sequía regional. Con cálculos consecutivos para todos los años de simulación, se pueden detectar múltiples sequías regionales, con su valor asociado de duración, severidad e intensidad en cada estación. Cada una de las sequías regionales es un escenario de sequía individual, con una frecuencia anual de ocurrencia igual a  $1/N$ , en donde  $N$  es el número total de años de simulación. La Figura 3-50 muestra esquemáticamente cómo se identifican las sequías regionales, de acuerdo con los criterios de selección definidos por un valor umbral de indicador y un número mínimo de estaciones que satisfacen dicha condición. Este

procedimiento puede aplicarse para toda la región de estudio, o para subregiones definidas por otros criterios, como zonas climáticas, zonas productivas, entidades territoriales, etcétera.

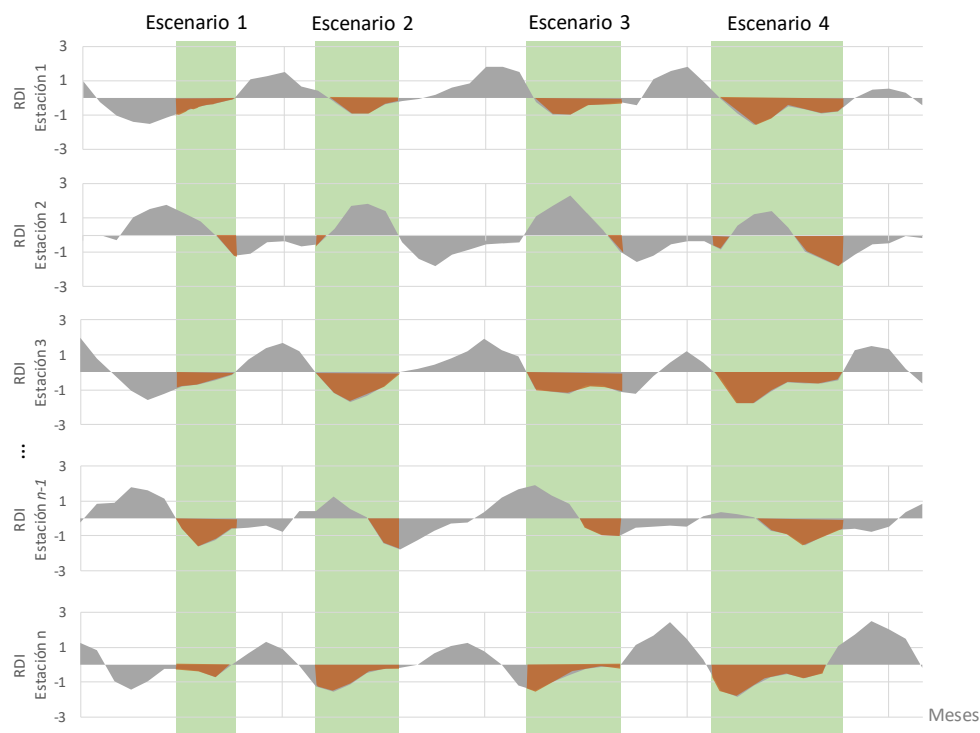


Figura 3-50. Identificación de sequías regionales sobre las series de tiempo de todas las estaciones del área de estudio.

A partir de estos criterios se procedió a identificar los eventos de sequía en la serie de registros históricos (1981-2010) que ocurren simultáneamente en El Salvador, Guatemala y Honduras en al menos 49 estaciones (es una tercera parte de las estaciones de la malla de análisis), con un valor de indicador menor a -1. Se hizo la identificación automática de eventos regionales para los indicadores RDI y SPEI para tres escalas temporales: 3, 6 y 12 meses. El número de eventos identificados por indicador y escala temporal se muestra en la Tabla 3-2. Por ejemplo, para el caso de 3 meses, el indicador RDI identificó 30 eventos mientras que el indicador SPEI identificó 16; que no son exactamente los mismos eventos, difieren en duración y fecha de inicio.

Tabla 3-2. Número de eventos de sequía regional por indicador y por escala temporal.

	3 meses	6 meses	12 meses
<b>RDI</b>	30	29	11
<b>SPEI</b>	16	14	9

Con el fin de apreciar las diferencias de calificación de los dos indicadores utilizados en el análisis, RDI y SPEI, se hizo una comparación de los eventos regionales que identificó cada uno. La Figura 3-51 muestra el número de eventos regionales identificado por cada indicador, para cada escala temporal de análisis. Para escalas de 3 meses se identifica un mayor número de eventos de menor duración, mientras que escalas de 12 meses del indicar identifica menor número de eventos y en el caso del SPEI identifica eventos de larga duración, hasta 12 meses consecutivos de sequía. Para el RDI los eventos se concentran en su mayoría en duraciones menores a 4 meses, para el SPEI la distribución de duraciones es homogénea. Estos resultados muestran un comportamiento muy diferente entre los indicadores y sus escalas temporales de cálculo.

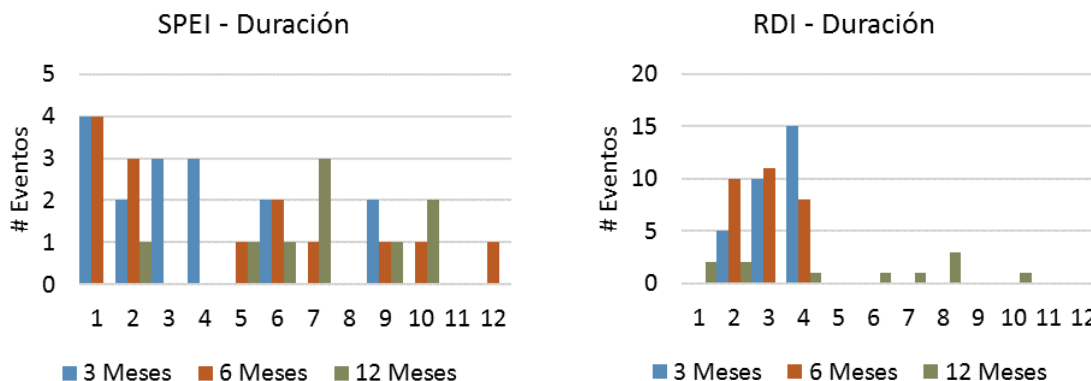


Figura 3-51. Número de eventos de sequía regional según duración [meses] para indicador SPEI (izquierda) y RDI (derecha).

La Figura 3-52 muestra otro parámetro de comparación entre indicadores: el mes de inicio de los eventos regionales. Este parámetro es útil para identificar la ocurrencia de sequías en el tiempo y asociar los eventos regionales con las estaciones climáticas. Para el caso del Triángulo del Norte, el RDI para 3 y 6 meses identifica sequías que inician entre febrero y abril, que coincide con la temporada seca y calurosa del año. Por el contrario, el SPEI tiene la capacidad de identificar sequías tanto en julio a agosto y noviembre, temporadas menos secas.

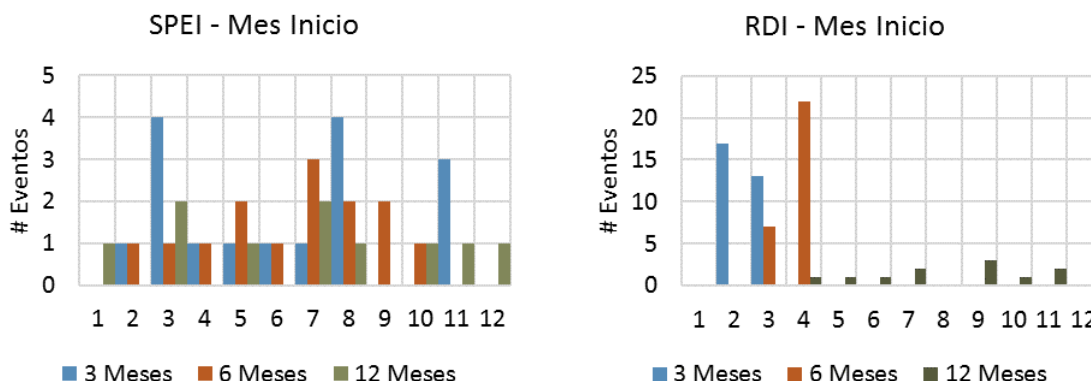


Figura 3-52. Número de eventos de sequía regional según fecha de inicio del evento para indicador SPEI (izquierda) y RDI (derecha).

Los resultados que aquí se presentan muestran cómo dos indicadores de sequía, RDI y SPEI que incluyen variables de precipitación y evapotranspiración potencial, brindan resultados muy diferentes cuando se calculan para una misma serie histórica. Como se mencionó antes, no hay un indicador que se ajuste a las condiciones globales, por lo que se debe seleccionar el indicador que mejor se ajuste a las condiciones del territorio en estudio.

### 3.4.5 Selección del indicador de sequía

La selección del indicador más apropiado depende de la adaptación de cada parámetro ( $\alpha$  en el caso de RDI y  $D$  para SPEI) a sus funciones de probabilidad teóricas (log-normal para RDI y log-logística

de 3 parámetros para SPEI), así como el ajuste de los indicadores mismos a una distribución de probabilidad Normal Estándar, condición que debe cumplirse como consecuencia de la estandarización.

La escala de tiempo también puede definir la selección del indicador apropiado. Las escalas de tiempo cortas se relacionan principalmente con el contenido de agua en el suelo y los flujos superficiales, las escalas de tiempo medias están relacionadas con los almacenamientos de embalses y las escalas de tiempo largo están relacionadas con las variaciones en el almacenamiento de agua subterránea (Vicente-Serrano, Beguería & López-Moreno, 2010). Por lo tanto, las escalas de tiempo corto (3 a 6 meses) pueden describir mejor las sequías agrícolas, mientras que las escalas a largo plazo (de 12 a 24 meses) pueden describir mejor las sequías hidrológicas. Por ejemplo, para el estudio de caso de Banimahd y Khalili (2013), las severidades de sequía máxima en una escala de tiempo anual fueron detectadas por SPEI, mientras que las severidades de sequía de las escalas temporales de 3 y 6 meses fueron detectadas por RDI. La metodología propuesta puede adaptarse a diferentes escalas de tiempo para seleccionar el indicador de sequía más apropiado.

La Figura 3-53 muestra el ajuste de los indicadores RDI y SPEI, calculados para 3, 6 y 12 meses, a una distribución de probabilidad Normal estándar<sup>13</sup>, para el caso de un punto (Punto 33) de la malla de análisis sobre el territorio de análisis.

Como puede apreciarse, el indicador que presenta el mejor ajuste a la distribución teórica de probabilidad es el SPEI. Esta evaluación se repite para todas las estaciones incluidas en la evaluación de la amenaza. A partir de este análisis, se obtuvo que 83 de 148 estaciones están mejor representadas por valores de SPEI que de RDI.

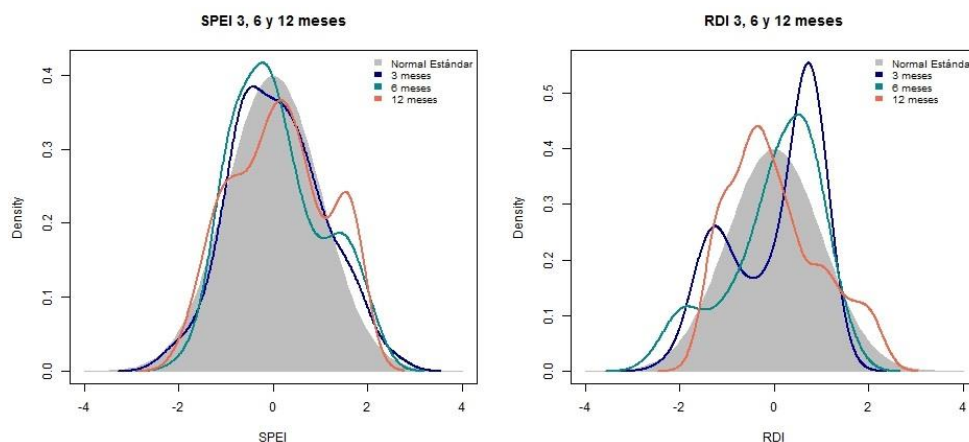


Figura 3-53. Bondad del ajuste a una distribución de probabilidad Normal estándar de los indicadores SPEI y RDI calculados para 3, 6 y 12 meses para una estación de la malla de análisis en el Triángulo del Norte.

Este resultado se ajusta al análisis de eventos históricos de sequía registrados en la base de Datos DesInventar (<http://www.desinventar.org/>). Según esta base de datos, los registros de daños en eventos asociados con sequía son 61 para El Salvador, 16 para Guatemala y 76 para Honduras para fechas únicas, que ocurren entre 1981 y 2010. En la Figura 3-54 se muestra el resumen de información de los eventos de sequía que se han incluido en la base de datos de desastres. Según

<sup>13</sup> La distribución normal estándar, es aquella que tiene por media el valor cero ( $\mu = 0$ ), y por desviación típica la unidad ( $\sigma = 1$ ). Esta es una distribución que está definida. Esta distribución estándar se compara con las funciones de densidad (que es el cálculo de la probabilidad relativa según la cual dicha variable aleatoria tomará determinado valor) de los valores calculados de los indicadores para diferentes escalas de agregación temporal. La función de densidad se calculó a partir de la estimación de densidad de kernel.

esta información, los eventos de sequía inician en su mayoría en los meses de época de verano, mayo a agosto para El Salvador, abril a septiembre para Guatemala y aunque es menor la variación en Honduras, se presentan mayores reportes en julio. Por el contrario, a finales y principios de año, los eventos de sequía son menos frecuentes. Entonces, el indicador que se seleccione debe también reflejar esta tendencia histórica.

Luego de calcular el indicador de sequía RDI y el SPEI de 3, 6 y 12 meses para la serie de precipitación y evapotranspiración de referencia de la serie histórica, se puede determinar en qué fecha inician los eventos, para luego compararlo con los registros históricos de DesInventar. Los gráficos de la Figura 3-55 muestran la comparación de los resultados por indicador y por escala temporal. La sombra gris de los gráficos es el número de eventos según mes de inicio de acuerdo con los registros de la base de datos DesInventar. Según estos resultados, el indicador RDI registra eventos de sequía que inician en su mayoría en los meses de enero a abril, con muy pocos eventos que inician en los meses de mitad de año. Por otro lado, el índice SPEI identifica sequías que inician en meses lluviosos. Los resultados para SPEI se ajustan mejor a los resultados de DesInventar que para el indicador RDI, que se limita a identificar eventos que ocurren en época seca.

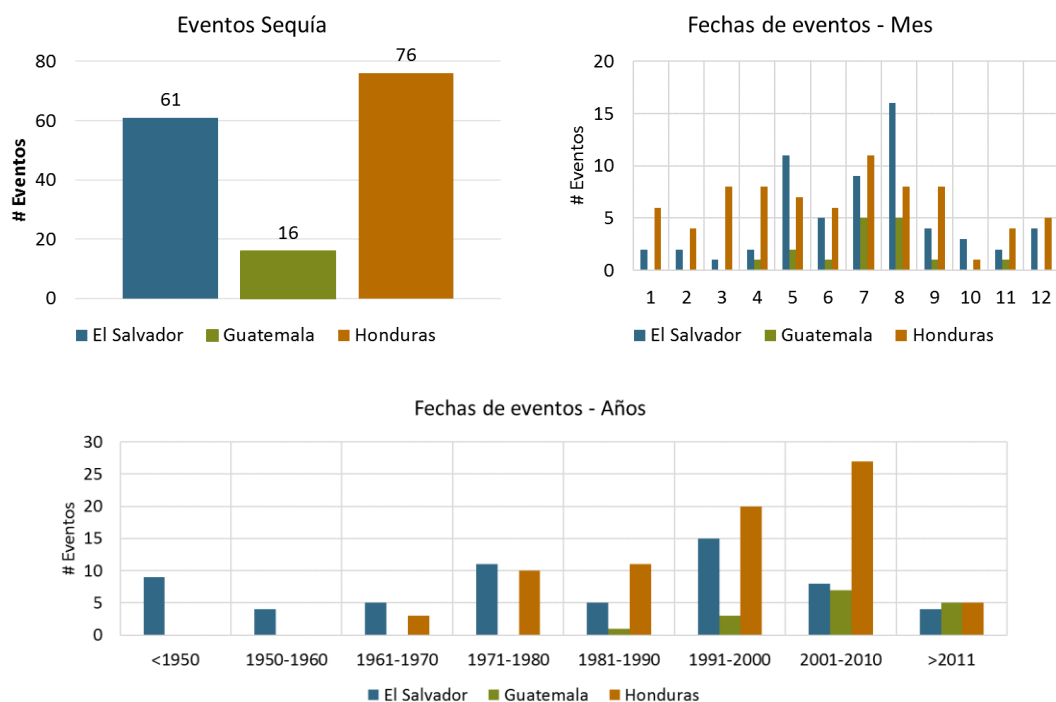


Figura 3-54. Resumen registros eventos de sequía para El Salvador, Guatemala y Honduras en base de datos DesInventar, número de eventos por país (arriba izquierda), número de eventos según mes de inicio (arriba derecha), número de eventos por año (abajo).

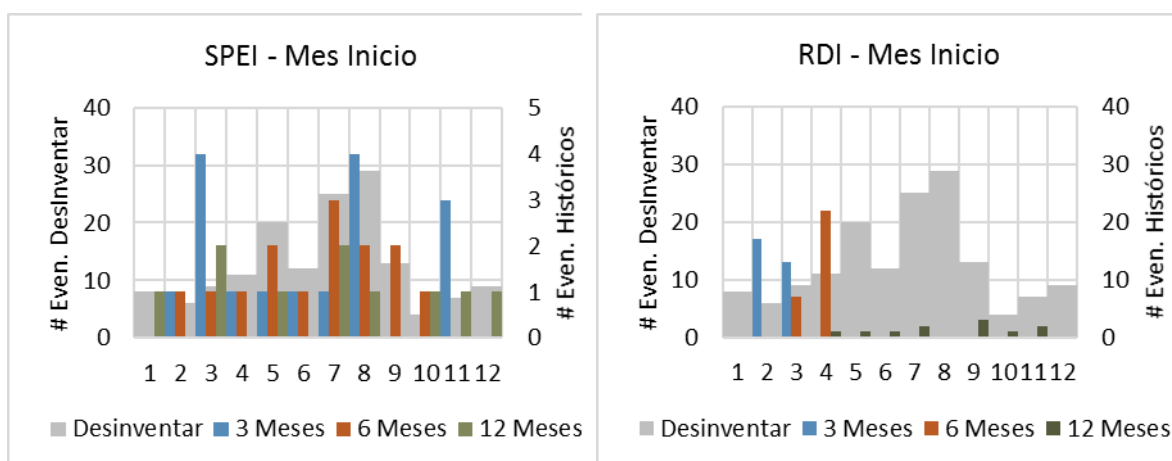


Figura 3-55. Número de eventos según mes de inicio para indicador SPEI (izquierda) y RDI (derecha).

Según el análisis estadístico (de ajuste de los indicadores a una distribución normal estándar) y el análisis de eventos históricos (según mes de inicio de eventos en DesInventar), se puede concluir que para el estudio de sequías en el Triángulo del Norte y el Corredor Seco Centroamericano el indicador que mejor se ajusta es el SPEI. Como el análisis probabilista de amenaza es por sequía agrícola, se seleccionó la menor escala temporal, la de 3 meses. A continuación, se presentan los resultados de identificación de sequías en la serie histórica y simulada con este indicador.

### 3.4.6 Indicador SPEI para serie parámetros climáticos históricos

La Tabla 3-3 muestra el resumen de los 16 eventos regionales identificados por el indicador SPEI 3 meses.

Tabla 3-3. Resumen eventos regionales según SPEI -3 meses.

Sequia	Duración [meses]	Año Inicio	Mes Inicio	Año Fin	Mes Fin
1	3	1983	5	1983	8
2	4	1986	11	1987	3
3	3	1987	4	1987	7
4	4	1987	11	1988	3
5	4	1991	8	1991	12
6	9	1994	7	1995	4
7	6	1998	3	1998	9
8	1	2001	2	2001	3
9	1	2001	8	2001	9
10	1	2002	3	2002	4
11	2	2003	3	2003	5
12	9	2004	8	2005	5
13	1	2006	11	2006	12
14	3	2007	6	2007	9
15	2	2009	3	2009	5
16	6	2009	8	2010	2

Los indicadores de sequía se pueden analizar en dimensiones espaciales, como se muestra en los mapas de la Figura 8-14. En estos mapas se puede ver el resultado del indicador SPEI a escala 3 meses, que se calculó para cada uno de los puntos de la malla de análisis y luego se interpoló usando la técnica de Kriging, para el evento de sequía que ocurrió en 1998 (de los mayores eventos como de identificó en la Sección 2.8), entre marzo y septiembre. Con esto, se obtienen mapas del indicador por mes que muestran las variaciones de la intensidad de la sequía (SPEI/mes) y al comparar meses consecutivos se puede ver cómo las condiciones secas van cambiando también en el tiempo.

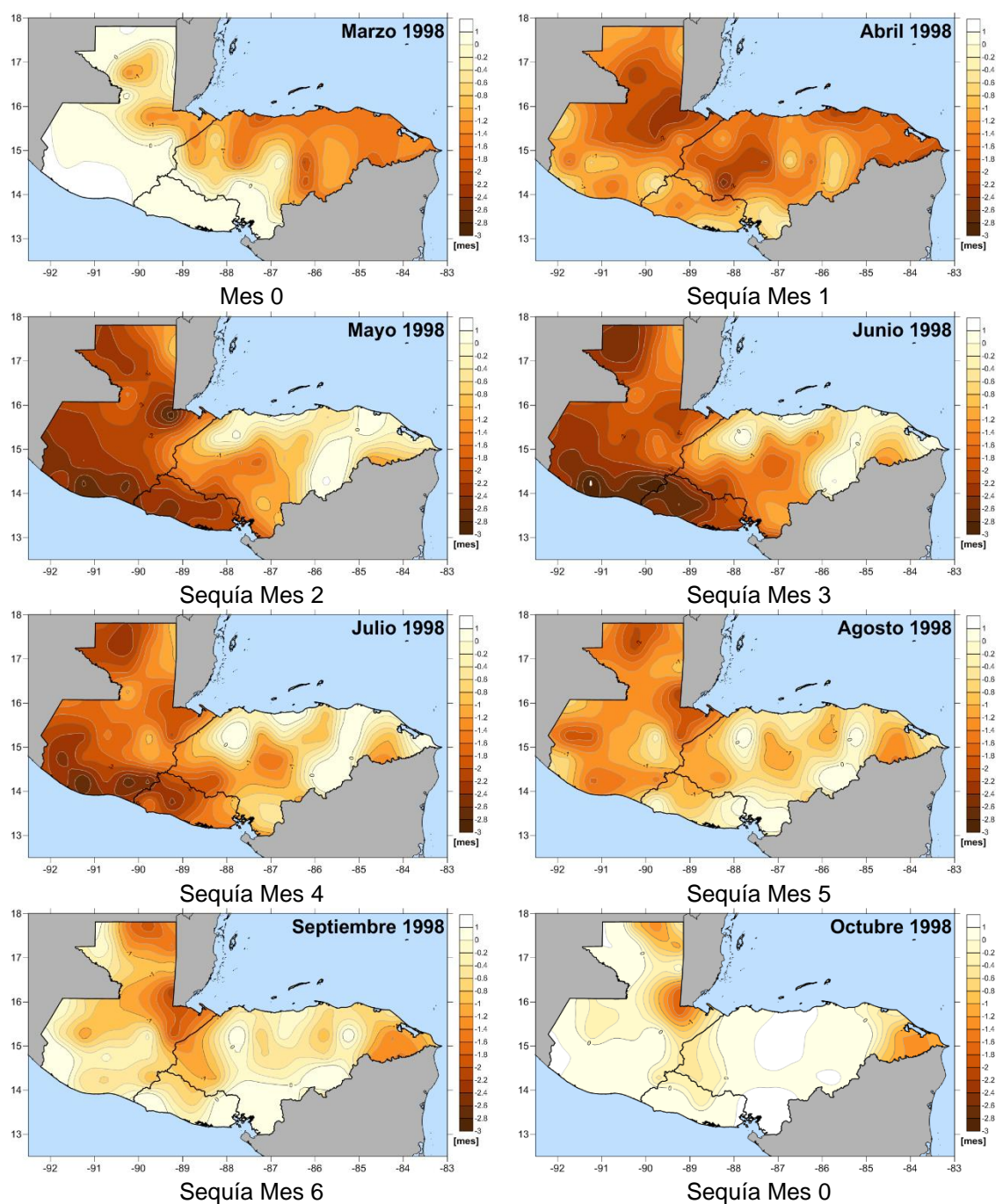
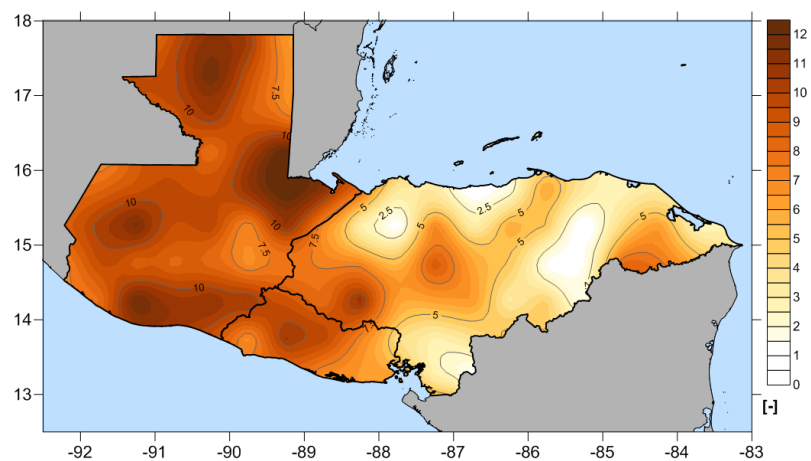


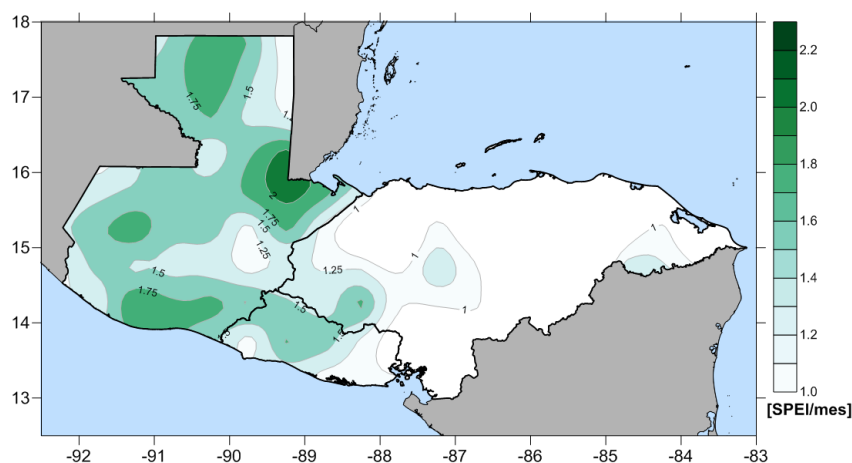
Figura 3-56. Mapas de indicador de SPI para 3 meses para el evento de sequía de marzo a septiembre de 1998.

Los mapas de la Figura 3-57 muestran la severidad, que es el valor acumulado del indicador SPI durante los 6 meses de sequía, y la intensidad, que es el valor promedio mensual del indicador de sequía. Estos mapas permiten identificar qué zonas experimentaron la mayor intensidad de la sequía. En términos generales, Guatemala fue el país que sufrió en mayor severidad e intensidad la sequía del año 1998. Según los mapas y el resultado del indicador, también se sufrió el evento hacia el oeste de El Salvador y Honduras, muy cerca de la frontera con Guatemala.





Severidad Sequía 1998



Intensidad Sequía 1998

Figura 3-57. Mapas severidad (arriba) e intensidad (abajo) del evento de sequía de junio a septiembre de 1998.

Como se resume en la Tabla 3-3, en 30 años de registros históricos se pueden identificar 16 eventos de sequía, desde eventos leves a eventos severos con duraciones entre un mes a nueve meses. Esta es una muestra de lo que ha ocurrido y es identificado por el indicador SPEI como un momento de déficit de precipitación y alta evapotranspiración asociada a temperaturas por encima de lo normal. Ahora bien, 16 eventos no son suficientes para evaluar la amenaza que enfrenta el territorio, para más adelante evaluar el riesgo total. Por esta razón, el modelo que se utiliza en este estudio simula condiciones climáticas para obtener un gran número de eventos de sequía posibles, que no han ocurrido aún.

### 3.4.7 Indicador SPEI para serie parámetros climáticos estocásticos

Luego de aplicar el modelo de generación estocástica de series de precipitación y temperatura (Ver Sección 3.2), calcular la serie de evapotranspiración de referencia para la temperatura simulada (Ver Sección 0) y calcular la serie del indicador SPEI para las series estocásticas de precipitación y evapotranspiración de referencia (Ver Sección 3.4.3), se obtuvieron 477 eventos de regionales de sequía para 1,000 años equivalentes de parámetros climáticos. La serie del indicador SPEI para un

punto de la malla de análisis (Punto 88) para los 1,000 años equivalentes se muestra en la Figura 3-58, que también indica el límite del umbral -1. En esta serie se puede ver la variedad de eventos que se obtienen en una ventana de tiempo tan extensa. Los 477 eventos de sequía regionales se identificaron a partir de los resultados para indicadores de sequía con umbral menor a -1 y eventos que ocurren simultáneamente en El Salvador, Guatemala y Honduras en al menos 49 estaciones.

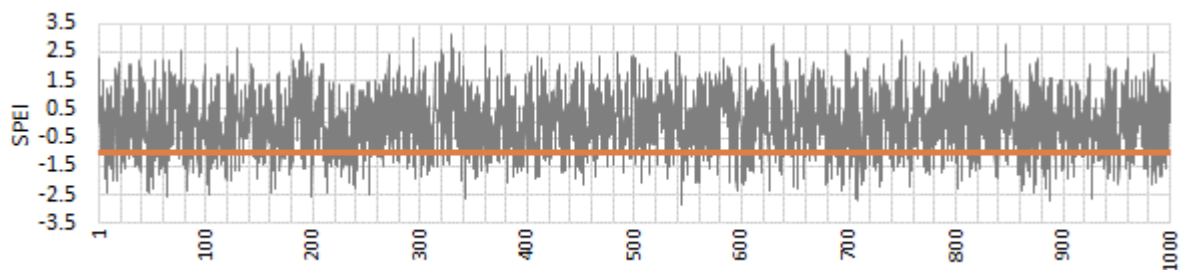


Figura 3-58. Series de indicador de SPEI para 3 meses para la serie simulada, indicando valor umbral=-1.

Como se mostró en la Sección 3.4.5, la selección del indicador de sequía para el territorio de estudio se hizo a partir de criterios estadísticos (ajuste de los resultados del indicador a una distribución de probabilidad) y de criterios de comparación con los registros de eventos históricos de la base de datos DesInventar. Para corroborar que las series del indicador de sequía, que se calculó a partir de series sintéticas de precipitación y temperatura, se ajustan al mismo indicador de la serie histórica, se procedió a comparar los resultados de los indicadores de sequía RDI y SPEI con los registros de mes de inicio de los eventos registrados en DesInventar. Estos resultados se muestran en la Figura 3-59. Se puede ver como los resultados para el mes de inicio de los eventos identificados por el indicador SPEI se ajustan mejor a los registros históricos reportados que con el indicador RDI. Esta verificación permite corroborar la selección del indicador SPEI para el caso de evaluación de sequías en el territorio del Triángulo del Norte y confirma que el comportamiento medio del clima se mantiene entre las series históricas y las series sintéticas.

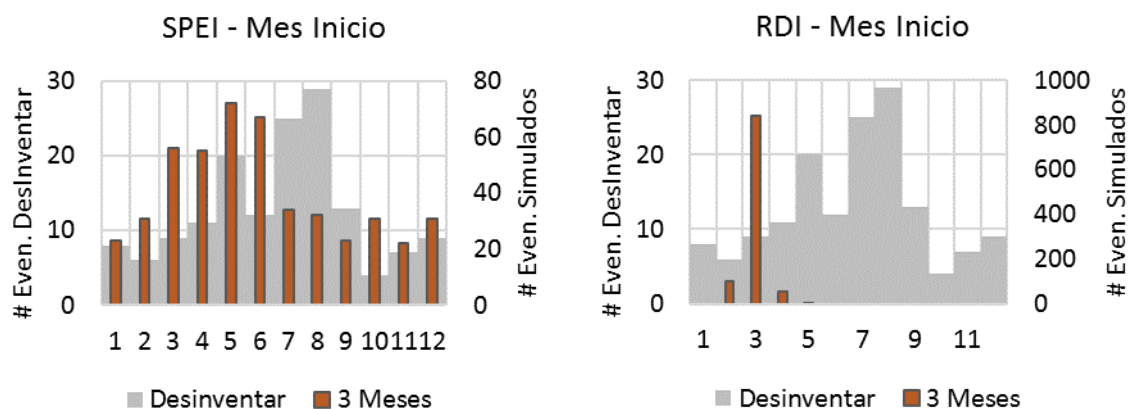


Figura 3-59. Número de eventos según mes de inicio para indicador SPEI (izquierda) y RDI (derecha) para eventos regionales a partir de la serie simulada de precipitación y temperatura.

Sobre los 477 eventos estocásticos de sequía identificados, se encontró lo siguiente:

- Número de estaciones que contribuye en la sequía:

El criterio para definir que un evento se puede considerar como una sequía regional define que el número mínimo de estaciones que presentan de forma simultánea un indicador menor al umbral sea de 49. En la Figura 3-60 se muestra el número de estaciones que participa en cada escenario de sequía. En 5 eventos se tiene que las 148 estaciones incluidas en el análisis participan en la sequía. En total, 150 eventos tienen participación de 110 o más estaciones, lo que equivale a que en el 33% de los eventos participa más del 75% de las estaciones en estudio. Esto indica que los eventos cubren una amplia extensión del territorio. Ahora bien, también se presenta un alto porcentaje de eventos que se registran en pocas estaciones, que son importantes porque reflejan que el territorio no se comporta de forma homogénea y pueden existir zonas particulares con mayor amenaza por sequía. Esto se puede evaluar con los mapas de amenaza integrada, como se muestra más adelante.

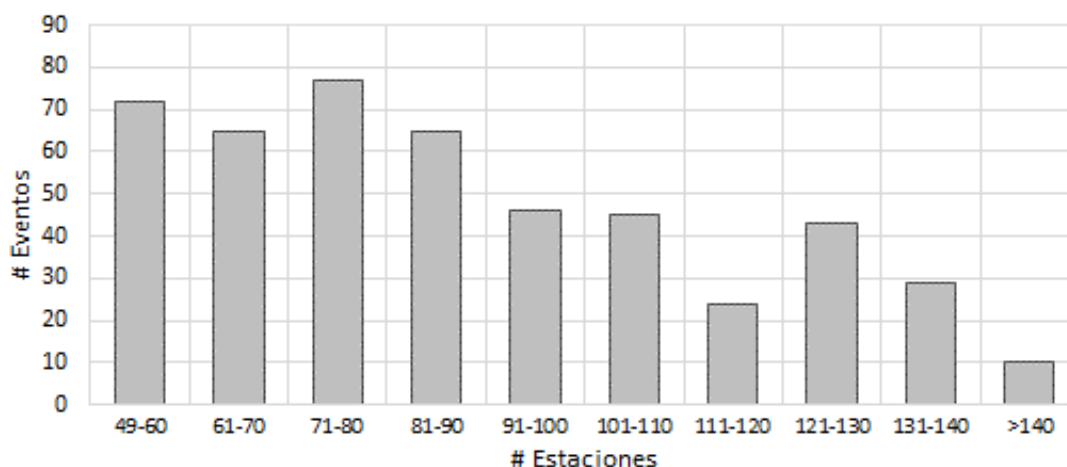


Figura 3-60. Número de estaciones que participan en un evento de sequía regional para escenarios estocásticos.

- Máximos valores de duración e intensidad

Cada estación en la malla de análisis tiene un valor de duración y severidad, y la relación entre estos dos parámetros es la intensidad. Los valores para cada evento de duración y de intensidad máxima, en cada estación, se muestran en los histogramas de la Figura 3-61. En estos gráficos se puede ver la variedad de eventos estocásticos de sequía que se obtienen a partir de la generación de series climáticas, incluyendo eventos que no se han registrado en la historia. Por ejemplo, la duración máxima de eventos históricos de sequía es mayor a 12 meses (Ver Tabla 3-3); con las sequías estocásticas se llega a eventos de mayor duración (hasta 22 meses en un evento). En cuanto a la intensidad máxima, se puede ver los valores se concentran entre 1.75 y 3 que hace referencia a sequías severas.

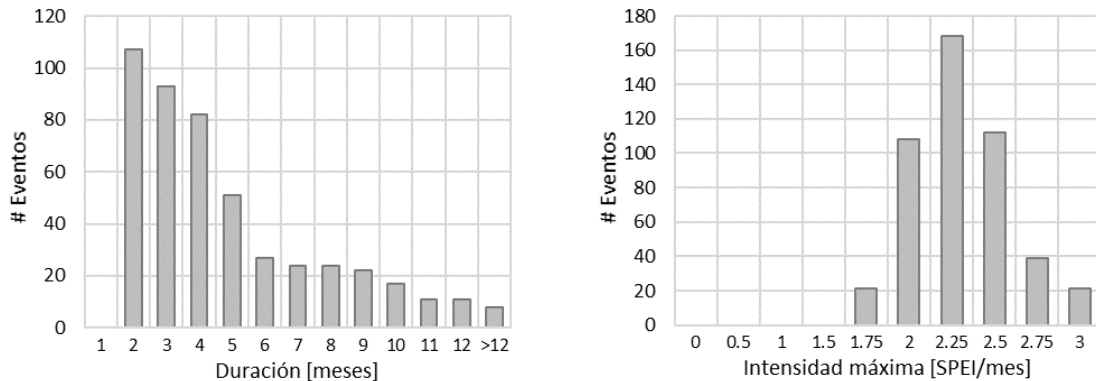


Figura 3-61. Duración máxima (izquierda) y severidad máxima (derecha) para 477 eventos estocásticos de sequía en el Triángulo del Norte.

- Diferencias entre estaciones

Cada punto en la malla de análisis tiene diferente respuesta a las sequías regionales, que demuestra la variabilidad espacial de las condiciones climáticas y de amenaza por sequía. Para comprobar la diferencia de los eventos de sequía, en la Figura 3-62 se muestran los histogramas de los valores de severidad y duración por evento, respectivamente, para un punto de la malla, por país, seleccionados al azar. En estos histogramas, los valores de cero (0) indican que no se presentó sequía en esta estación en particular, a pesar de ser un evento regional.

El punto seleccionado en el Salvador (Punto 28 Lon: -88.75, Lat: 13.25) es muy cercano a la costa en el departamento de Usulután. El punto seleccionado para Guatemala (Punto 71 Lon: -89.75, Lat: 15.75) está ubicado en el centro del país en el departamento de Alta Verapaz. El punto seleccionado para Honduras (Punto 126 Lon: -87.25, Lat: 14.25) está sobre el Corredor Seco en el Departamento de Francisco Morazán. El punto de El Salvador es el que menos experimenta eventos de sequía, mientras que el punto de Guatemala experimenta el mayor número de eventos. Así como el punto de El Salvador experimenta menos sequías, la severidad de las mismas es menor comparada a los puntos de los otros países. En Guatemala se concentra mayor severidad de los eventos, comparado con los otros puntos de análisis.

Estos histogramas muestran que cada estación de la malla de análisis tiene un comportamiento diferente. Es por esto por lo que se prefieren los mapas para difundir la información de amenaza de sequía. Los valores de los mapas se obtienen a partir de interpolaciones espaciales (tipo kriging) y se elaboran en software especializado en sistemas de información geográfica como ArcGIS y Surfer.

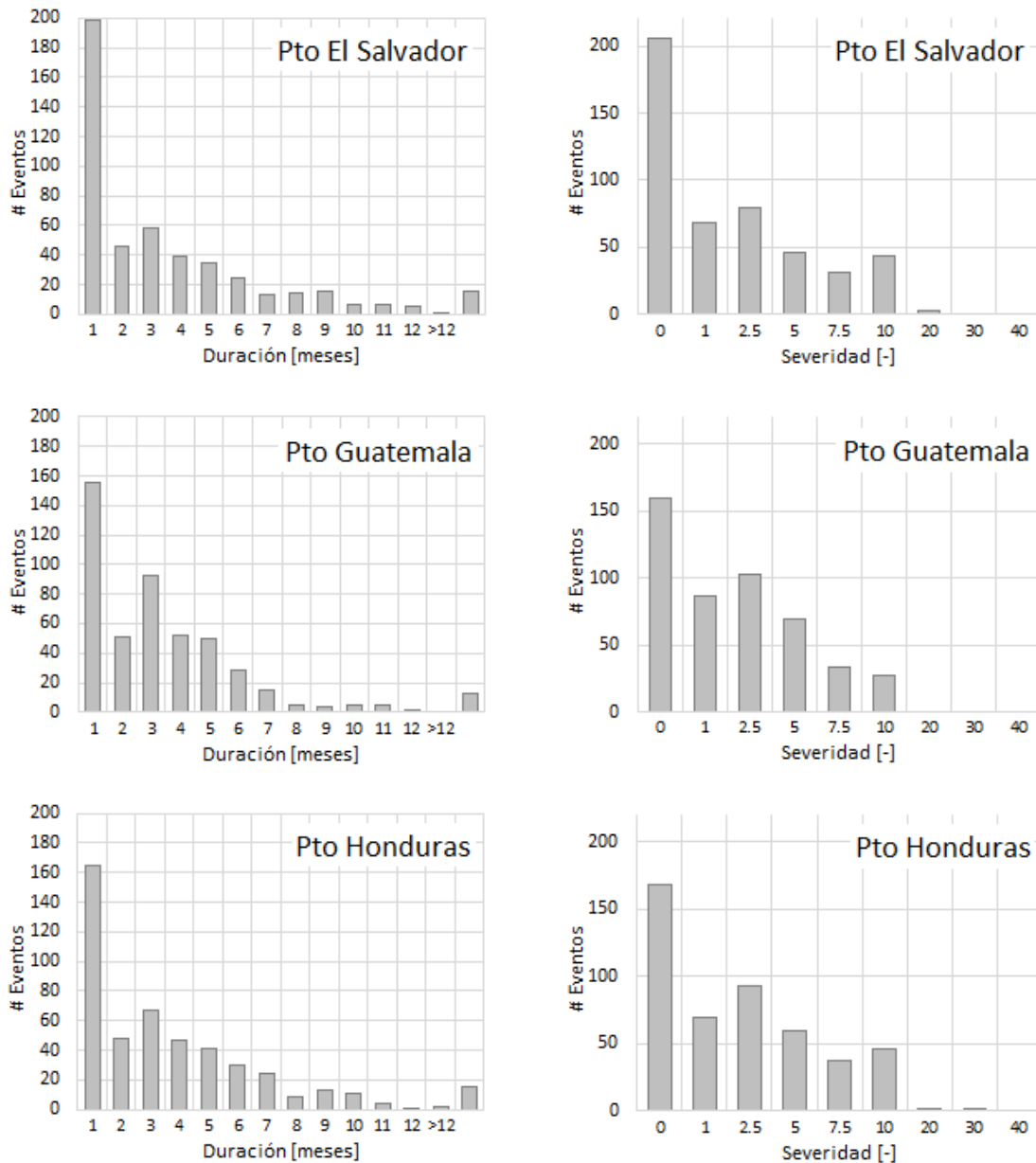


Figura 3-62. Severidad para 477 eventos estocásticos de sequía en Triángulo del Norte, comparando puntos aleatorios de la malla.

### 3.5 Curvas y mapas de amenaza por sequía

Los resultados de la modelación de la amenaza se presentan a continuación en formato de mapas de amenaza por escenario, y curvas y mapas de amenaza integrada para toda la región estudio de El Triángulo del Norte y por país. Los mapas de amenaza por escenario permiten comparar la intensidad y distribución espacial de los efectos de un único evento. Los mapas de amenaza integrada permiten comparar las intensidades según el periodo de retorno y establecer zonas que están más o menos expuestas a la amenaza de sequía dentro de la región.

La interpolación espacial se realiza utilizando el método kriging, que es método geoestadístico que supone una correlación espacial entre puntos y tienen la capacidad de proporcionar al modelador

una medida de certeza o precisión de las predicciones (Verdin, Funk, Rajagopalan, & Kleiber, 2016). Este método permite obtener predicciones de valores de los parámetros que definen la sequía en ubicaciones diferentes a los puntos donde se hicieron las mediciones (en este caso la malla de análisis sobre los tres países). Usando kriging se puede obtener un mapa de formato ráster, en la que se calcula el valor del parámetro en cada pixel. Kriging es un método conveniente porque permite interpolar espacialmente sin conocer la varianza de los parámetros de interés. Al comparar con otros métodos de interpolación espacial, el kriging se considera un método robusto, pero de alta demanda computacional ya que utiliza los datos medidos para modelar el variograma y hacer las predicciones. Por otro lado, métodos más sencillos, como el de la distancia inversa ponderada (IDW) que es un método determinista, no brindan información sobre la certeza de los resultados, o definen una covarianza generalizada sin considerar los datos medidos como el método spline. Para más información sobre metodologías de interpolación espacial se recomienda consultar el manual de ArcGIS disponible en línea (ArcGIS, n.d.) en español que presenta una descripción detallada y sencilla de diferentes métodos, o documentos como el de Li & Heap (2008) que presenta un compilado de los diferentes métodos y sus respectivos alcances (en inglés). Una breve descripción del método de kriging se presenta en el Anexo A. 5.

Los resultados de severidad e intensidad se presentan como el valor absoluto del indicador, que define sequías cuando toma un valor menor a cero. Por su parte, las curvas de amenaza se presentan por sitio de cálculo, permitiendo ver la variación de la tasa de excedencia del indicador seleccionado para la zona de estudio.

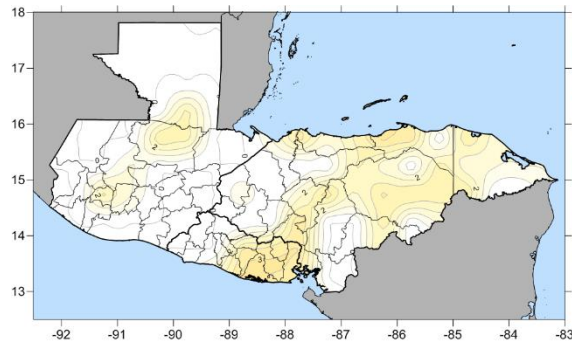
### **3.5.1 Mapas de amenaza por escenario**

La Figura 3-63 muestra la distribución espacial de la severidad, duración e intensidad, de dos escenarios estocásticos de sequía, obtenido para el Triángulo del Norte. Estos mapas muestran las diferencias que se pueden presentar en eventos generados estocásticamente. Los eventos estocásticos que componen la amenaza cumplen con las suposiciones de ser mutuamente excluyentes (dos eventos no pueden ocurrir al mismo tiempo) y colectivamente exhaustivos (cubren todas las intensidades posibles).

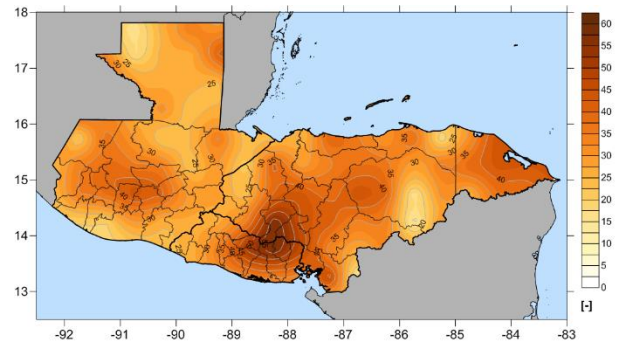
Como se puede ver en los mapas, hay eventos de baja intensidad como los mapas de la izquierda que representan el evento 61, para el cual las condiciones de sequía se presentan en el este de El Salvador hacia el norte de Honduras. Este evento tiene duraciones máximas de 2 meses y la intensidad del evento es moderada. Por el contrario, el evento 409 presenta la configuración al otro extremo, con valores de duración mayor a 30 meses y con intensidad severa en la mayor parte del territorio del Triángulo del Norte. La zona de mayor intensidad se ubica en la frontera entre El Salvador y Honduras, en los departamentos de San Miguel e Intipucá, respectivamente. Esta zona es parte del Corredor Seco Centroamericano. En este evento también se reconoce condiciones de déficit hídrico en la zona montañosa de Guatemala.

Estos son sólo dos de los eventos de sequía simulados con la metodología propuesta en este estudio. Sin embargo, no se puede considerar que un único evento, que está dentro de este portafolio, sea el peor evento que pueda sufrir el área en el futuro. Entonces, estos eventos, que brindan información útil para conocer la amenaza en el territorio, no son herramientas completas para la toma de decisiones. Los 477 eventos de sequía tienen diferentes configuraciones de intensidad, medida en términos de la severidad y la duración; en la evaluación probabilista de riesgo se consideran todos los escenarios posibles.

### Severidad

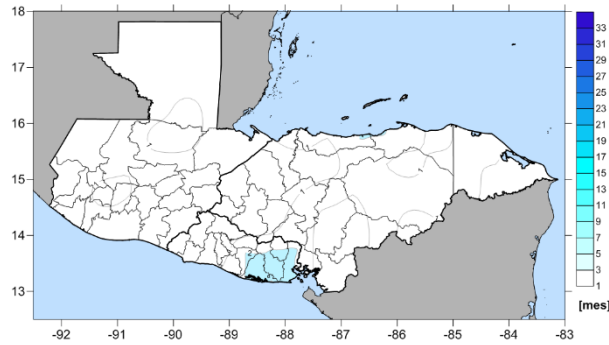


Evento 61

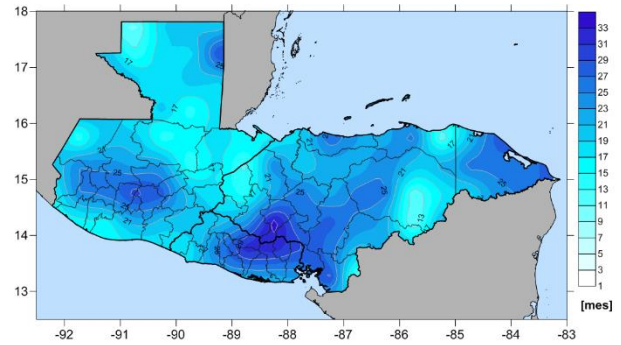


Evento 409

### Duración

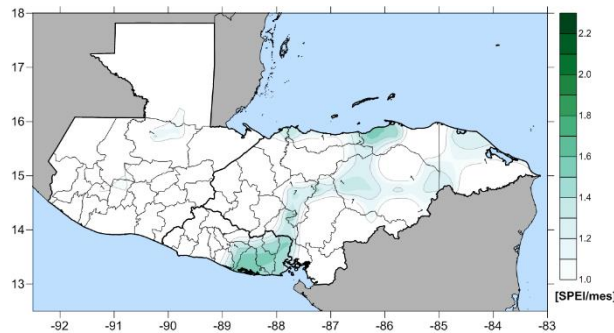


Evento 61

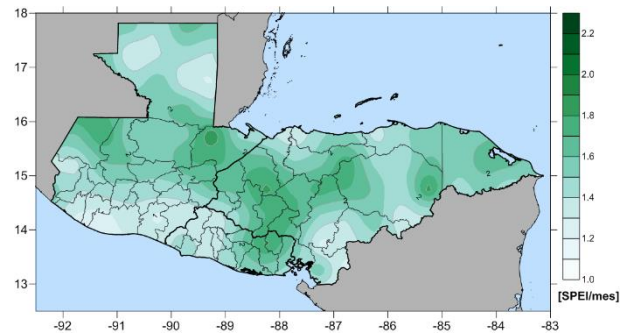


Evento 409

### Intensidad



Evento 61



Evento 409

Figura 3-63. Mapas de severidad (arriba), duración en meses (medio) e intensidad (abajo) para tres eventos estocásticos de sequía.

### 3.5.2 Mapas de amenaza integrada

La amenaza se integra mediante un proceso matemático que permite definir las curvas de excedencia de intensidad en cada punto de la malla de cálculo. La tasa de excedencia es una cantidad que mide el número de veces al año que un valor de intensidad es igualado o excedido. Sea  $a$  la medida de intensidad calculada (e.g. RDI, severidad, duración, etc), su tasa de excedencia  $v(a)$ , para una ubicación en la malla de cálculo, se determina como

$$v(a) = \sum_{i=1}^N P(A > a | E_i) F_i \quad (\text{Ec. 3-3})$$

en donde  $N$  es el número total de escenarios calculados,  $\Pr(A > a | E_i)$  es la probabilidad de exceder  $a$ , condicionada a la ocurrencia del escenario  $i$  y  $F_i$  es la frecuencia anual de ocurrencia del escenario  $i$ .

Teniendo las tasas de excedencia de la medida de intensidad en todos los puntos de la malla de cálculo, es posible generar mapas de igual periodo de retorno, por medio de la selección de una tasa de excedencia (que es inversa al periodo de retorno) y la lectura en cada curva del correspondiente valor de intensidad. Los valores leídos son entonces mapeados en una malla que tiene el mismo periodo de retorno en todas las ubicaciones. Estos mapas son una herramienta útil para la toma de decisiones, ya que no están representando un único evento de amenaza, sino que integran los efectos de todos los eventos que potencialmente pueden ocurrir en el futuro. También permiten comparar los niveles de amenaza con diferentes periodos de retorno y establecer cuáles ubicaciones o regiones en el territorio tienen una mayor o menor propensión a sufrir sequías. Por lo tanto, son un insumo fundamental en el diseño y ejecución de regulaciones de uso de la tierra o proyectos de sistemas de riego en la región de estudio. Los mapas de amenaza uniforme se calculan mediante la aplicación del teorema de la probabilidad total en la colección de escenarios estocásticos de sequía.

A continuación, se presentan los mapas de amenaza integrada para la región del Triángulo del Norte.

### 3.5.2.1 Severidad

La Figura 3-64 a Figura 3-68 presentan los mapas de amenaza integrada para la severidad de la sequía en el Triángulo del Norte, para 10, 20, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno; y representan los efectos de los múltiples escenarios de amenaza considerados. El término de severidad, que se puede entender como la gravedad de la sequía, es el nivel acumulado del indicador de sequía por debajo del umbral definido para el análisis. En los mapas se presenta la severidad como el valor absoluto del acumulado del indicador de sequía (SPEI).

Como se muestra en los mapas, la severidad de los eventos incrementa con el periodo de retorno. Para periodos de retorno altos (50 y 100 años), todo el territorio sufre de sequías severas. Los valores máximos de severidad se ubican entre los departamentos de Olancho, El Paraíso, La Paz y Francisco Morazán en Honduras, con un gradiente decreciente hacia El Salvador y Guatemala.

Hay que tener en cuenta que la severidad por sí sola no puede definir la gravedad de una sequía, se requiere complementar con los parámetros de duración e intensidad (Mishra & Singh, 2010). Por ejemplo, el valor de severidad que se muestra en los mapas igual a 15 se puede interpretar como una sequía severa y baja duración (5 meses de sequía con valores de  $RDI = -3$ ) o una sequía moderada con larga duración (10 meses de sequía con valores de  $RDI = -1.5$ ). Por esta razón, al interpretar los mapas de amenaza integrada se recomienda analizar en simultánea los indicadores de duración e intensidad, que complementan el análisis espacial de los resultados y brindan más información para la toma de decisiones.



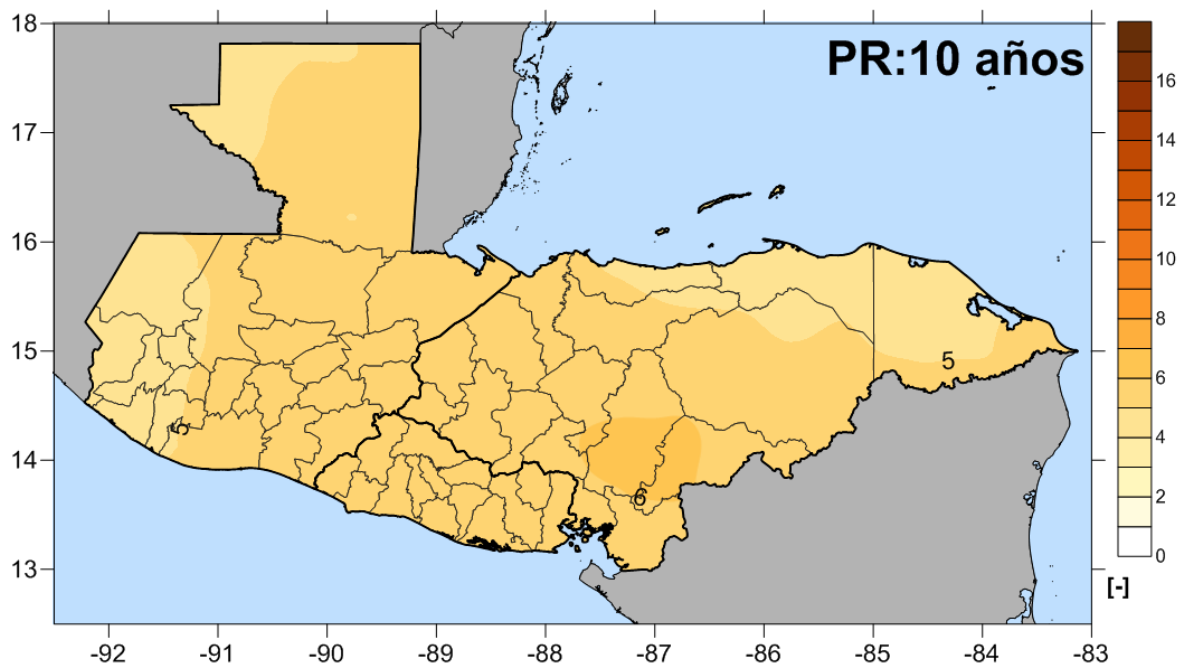


Figura 3-64. Mapas de severidad de sequía para 10 años de periodo de retorno (sin unidades).

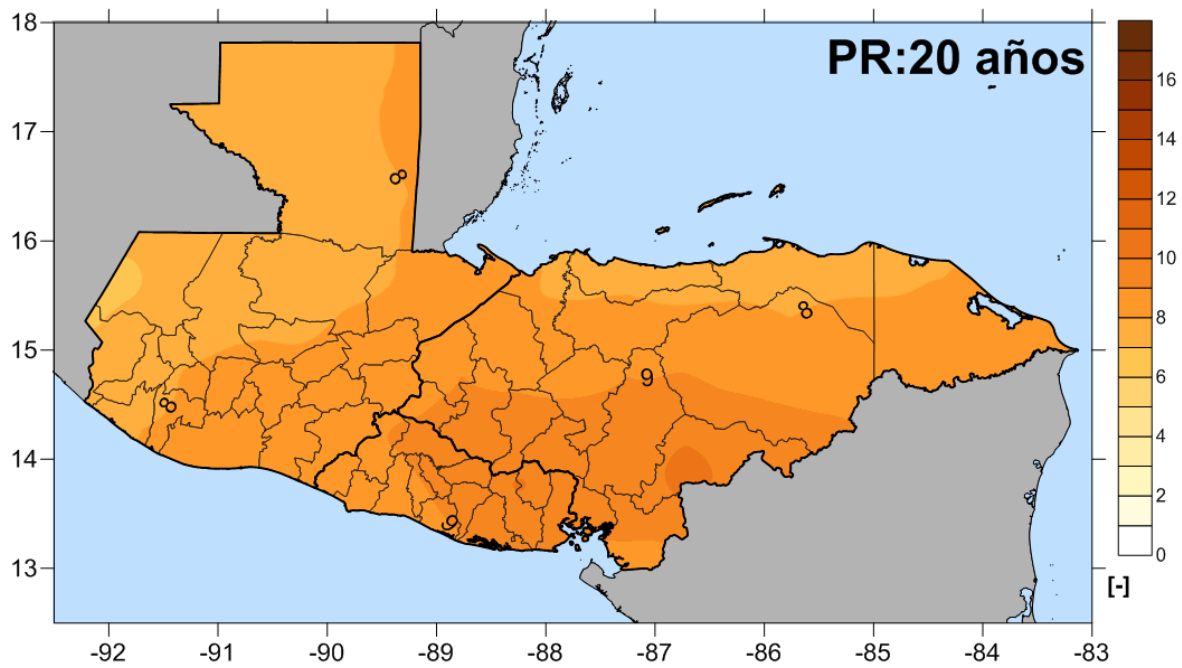


Figura 3-65. Mapas de severidad de sequía para 20 años de periodo de retorno (sin unidades).

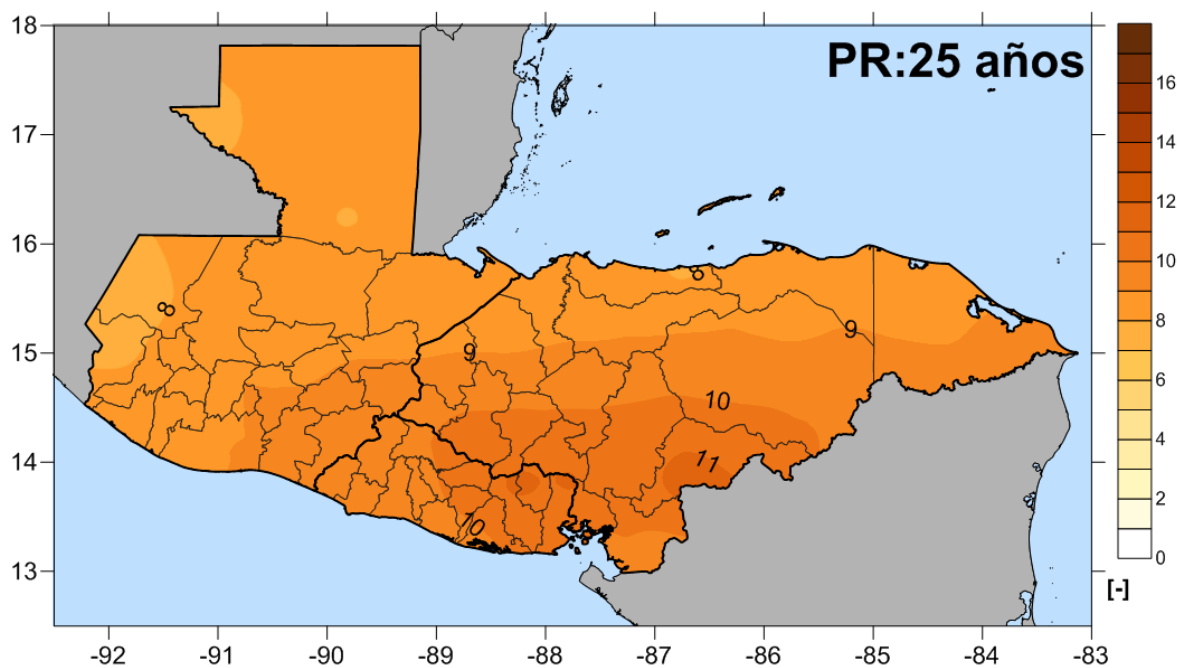


Figura 3-66. Mapas de severidad de sequía para 25 años de periodo de retorno (sin unidades).

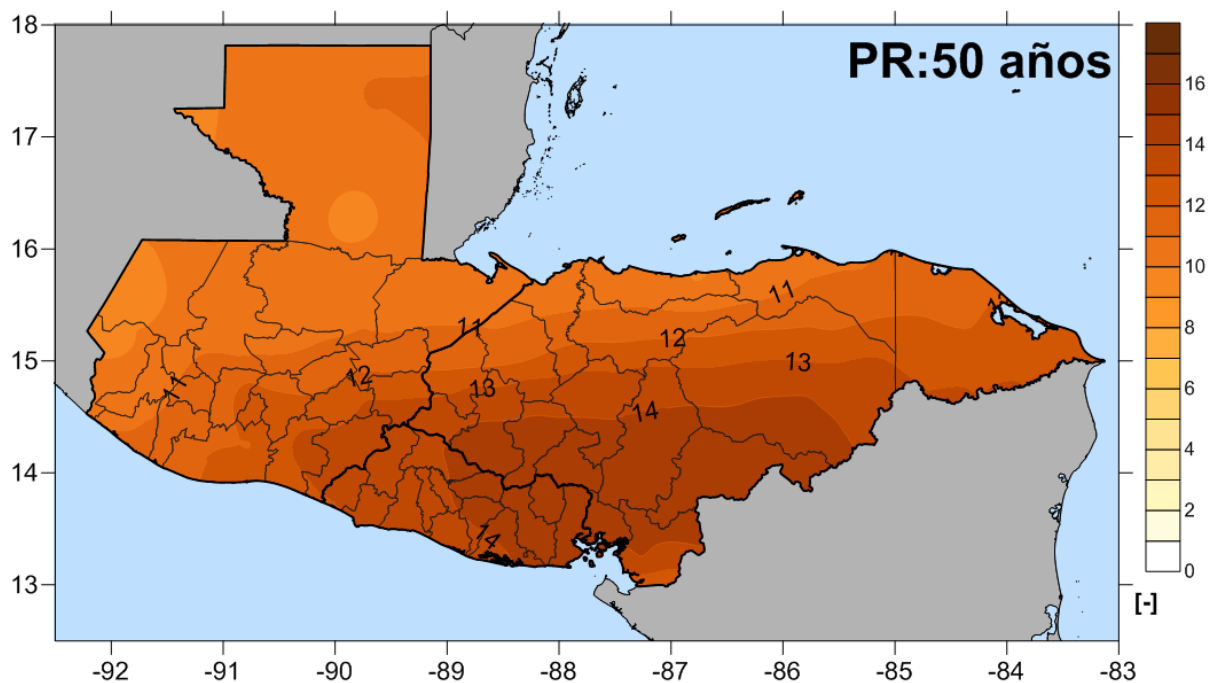


Figura 3-67. Mapas de severidad de sequía para 50 años de periodo de retorno (sin unidades).

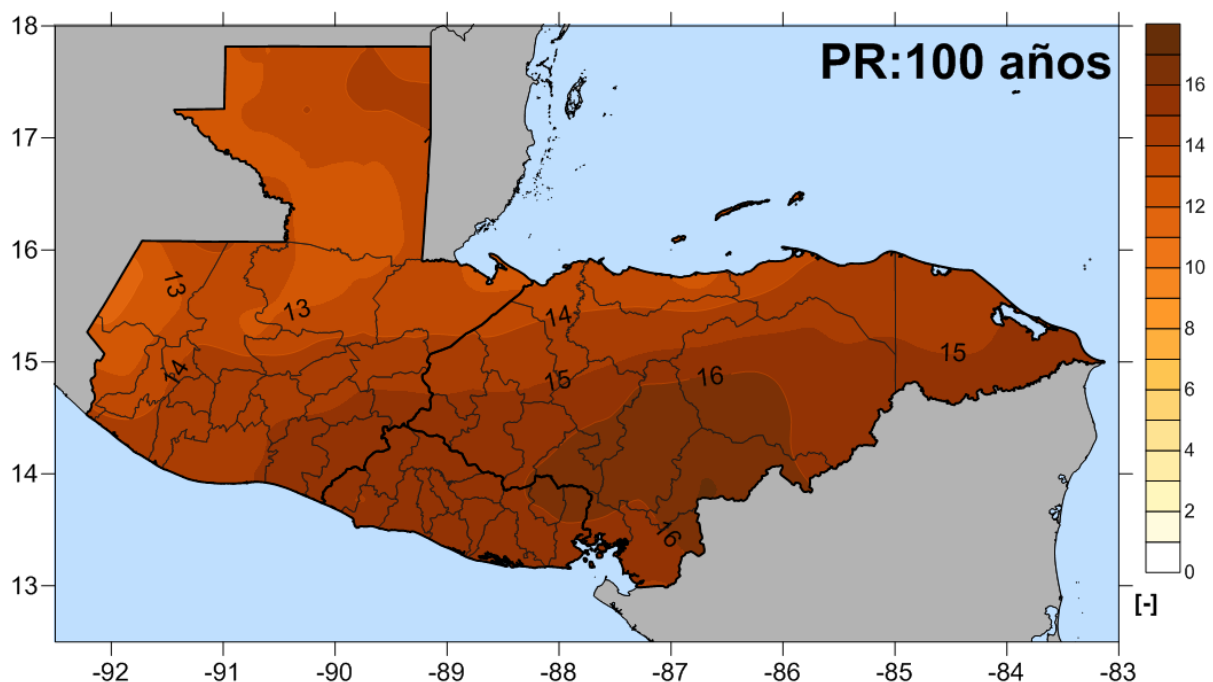


Figura 3-68. Mapas de severidad de sequía para 100 años de periodo de retorno (sin unidades).

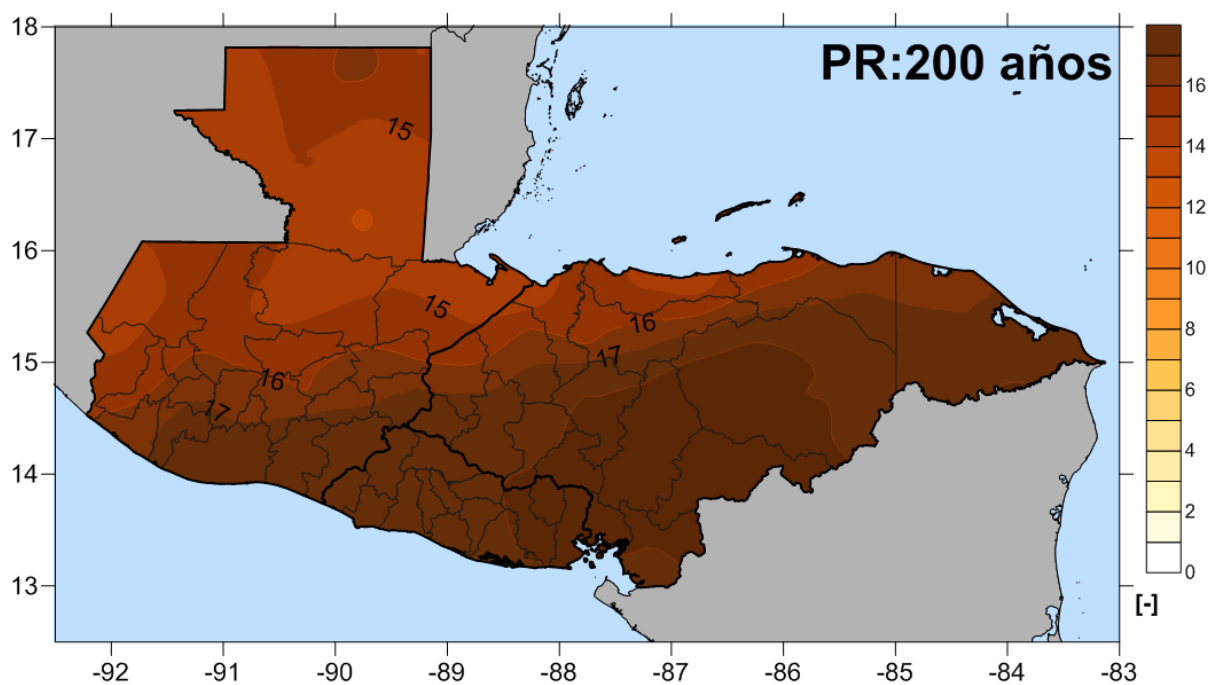


Figura 3-69. Mapas de severidad de sequía para 200 años de periodo de retorno (sin unidades).

### 3.5.2.2 Duración

La Figura 3-70 a Figura 3-74 presentan los mapas de amenaza integrada para la duración de la sequía en El Triángulo del Norte. Estos mapas muestran la amenaza integrada para 10, 20, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno; y representan los efectos de los múltiples escenarios de

amenaza considerados. El término de duración indica el número de meses en el que el indicador de sequía está por debajo del umbral definido para el análisis.

Los mapas muestran cómo al incrementar el periodo de retorno de la amenaza, incrementa la duración esperada de los eventos de sequía. Es decir, una sequía asociada a un periodo de retorno de 100 años dura hasta 11 meses mientras que para un periodo de retorno de 10 años dura menos de 4 meses. Para el caso de 10 años de periodo de retorno, la duración de la sequía (4 meses) es homogénea en El Salvador, con un leve incremento en la zona central de Honduras (Departamentos de Francisco Morazán y El Paraíso) y una disminución en Guatemala. Este tipo de eventos de corto plazo se pueden mitigar con acciones locales que busquen asegurar el acceso al agua para consumo y riego de cultivos. Para periodos de retorno más altos, 50 y 100 años, las duraciones de los eventos aumentan hasta 11 meses en la misma zona de afectación, incluyendo áreas más al norte en el Departamentos de Olancho, y al sur hacia el departamento de La Paz en Honduras y Morazán en El Salvador. Las mayores duraciones concuerdan con las mayores severidades que se experimentan en esta zona del país para periodos de retorno de la amenaza altos. Medidas de adaptación y reducción de la vulnerabilidad a largo plazo se deben considerar para esta zona.

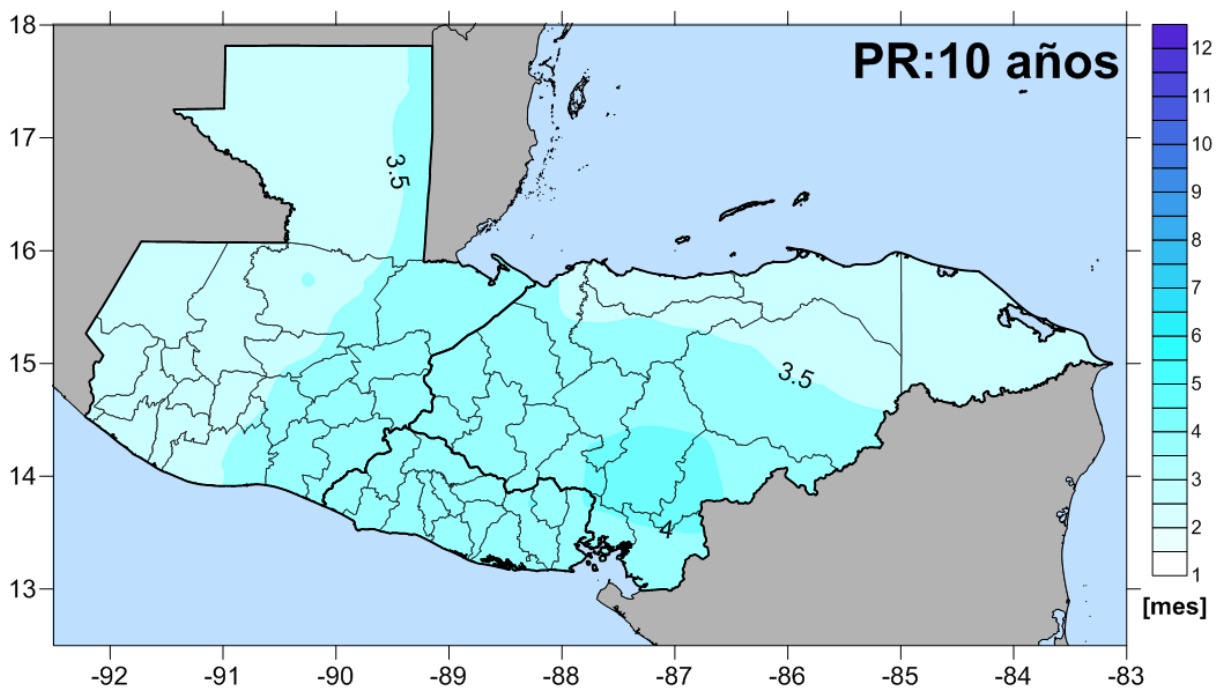


Figura 3-70. Mapas de duración de sequía para 10 años de periodo de retorno (en meses).

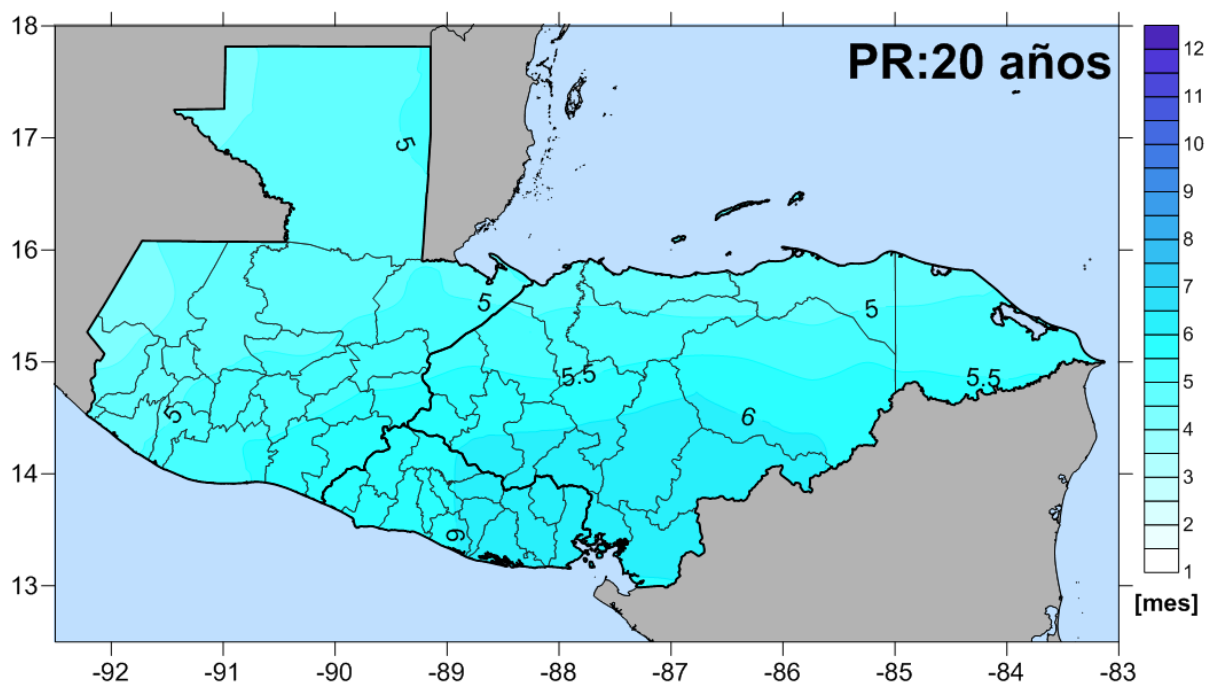


Figura 3-71. Mapas de duración de sequía para 20 años de periodo de retorno (en meses).

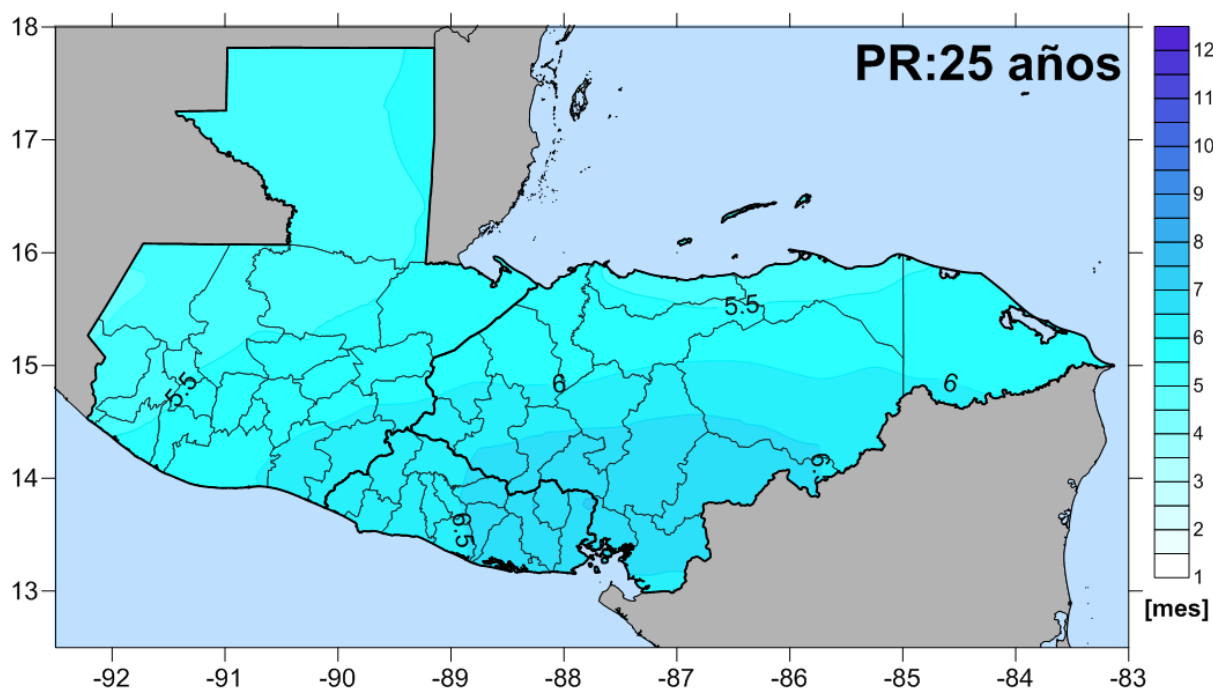


Figura 3-72. Mapas de duración de sequía para 25 años de periodo de retorno (en meses).

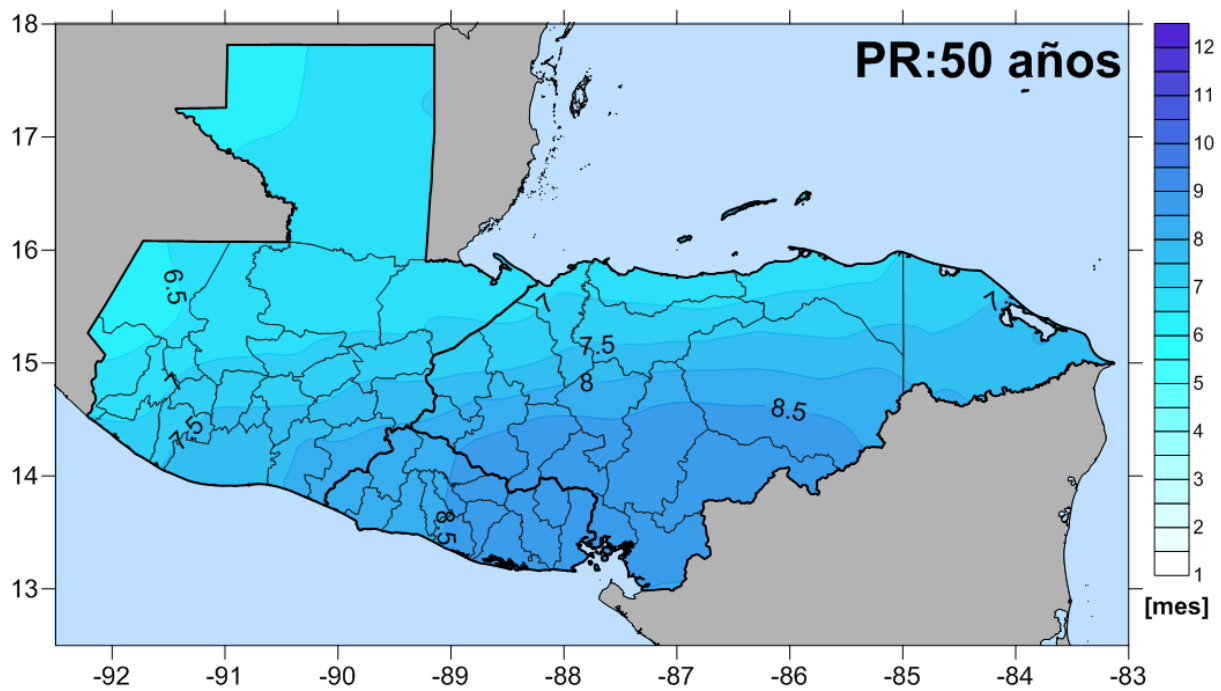


Figura 3-73. Mapas de duración de sequía para 50 años de periodo de retorno (en meses).

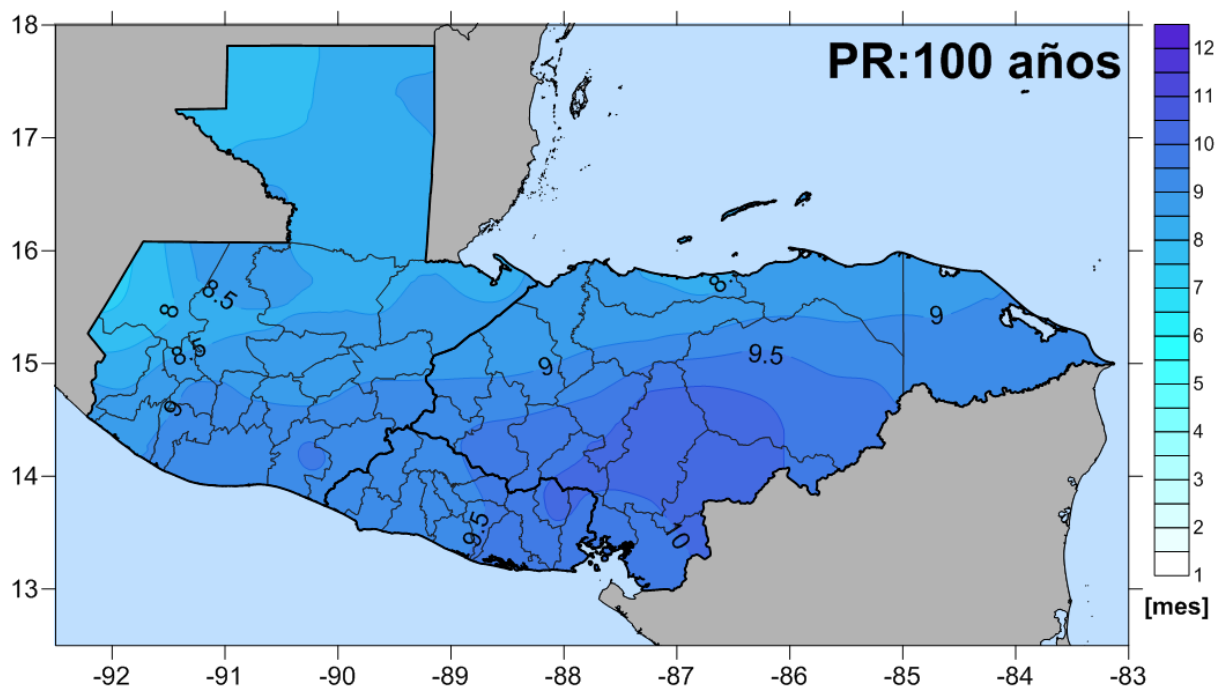


Figura 3-74. Mapas de duración de sequía para 100 años de periodo de retorno (en meses).

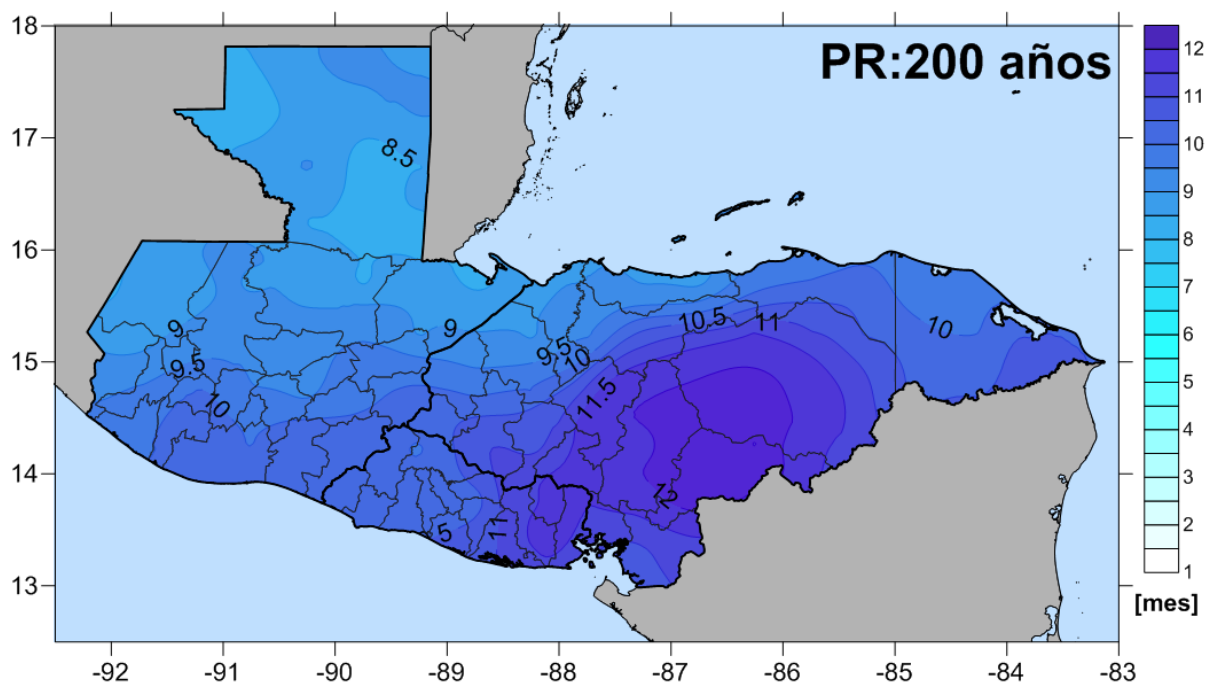


Figura 3-75. Mapas de duración de sequía para 200 años de periodo de retorno (en meses).

### 3.5.2.3 Intensidad

La Figura 3-76 a la Figura 3-80 presentan los mapas de amenaza integrada para la intensidad de la sequía en el Triángulo del Norte. Estos mapas muestran la amenaza integrada para 10, 20, 25, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno; y representan los efectos de los múltiples escenarios de amenaza considerados. El término de intensidad indica la relación entre la severidad y la duración de la sequía. En los mapas se presenta la intensidad como la división entre nivel acumulado del indicador de sequía por debajo del umbral definido para el análisis y el número de meses en que el indicador estuvo bajo el umbral.

El rango de intensidad de la sequía para el Triángulo del Norte se ubica entre 0 y 2.5 (las unidades son 1/mes o  $\text{mes}^{-1}$ ). Si se califican las sequías siguiendo la Tabla 3-1, las sequías para periodos de retorno de 10 años se consideran moderadas (valores entre -1 y -1.5) y para 25 años de periodo de retorno se consideran severas. Sequías con mayores periodos de retorno tienen intensidades por encima de 2 por mes, lo que indica que pasan a ser casos mucho más graves y severos de déficit hídrico. Para 100 años de periodo de retorno, la intensidad de la sequía es mayor a 2.1 por mes con mayores intensidades en el norte de Guatemala y en la frontera entre Guatemala y El Salvador. En general, en Guatemala se encuentran valores de intensidad más altos, para todos los periodos de retorno, que en El Salvador o en Honduras. Esta situación se da a pesar de que no tiene valores altos de severidad o duración, comparados con Honduras. Esto implica que, aunque en Guatemala no se sufran los eventos más duraderos o más severos, si son los más intensos.

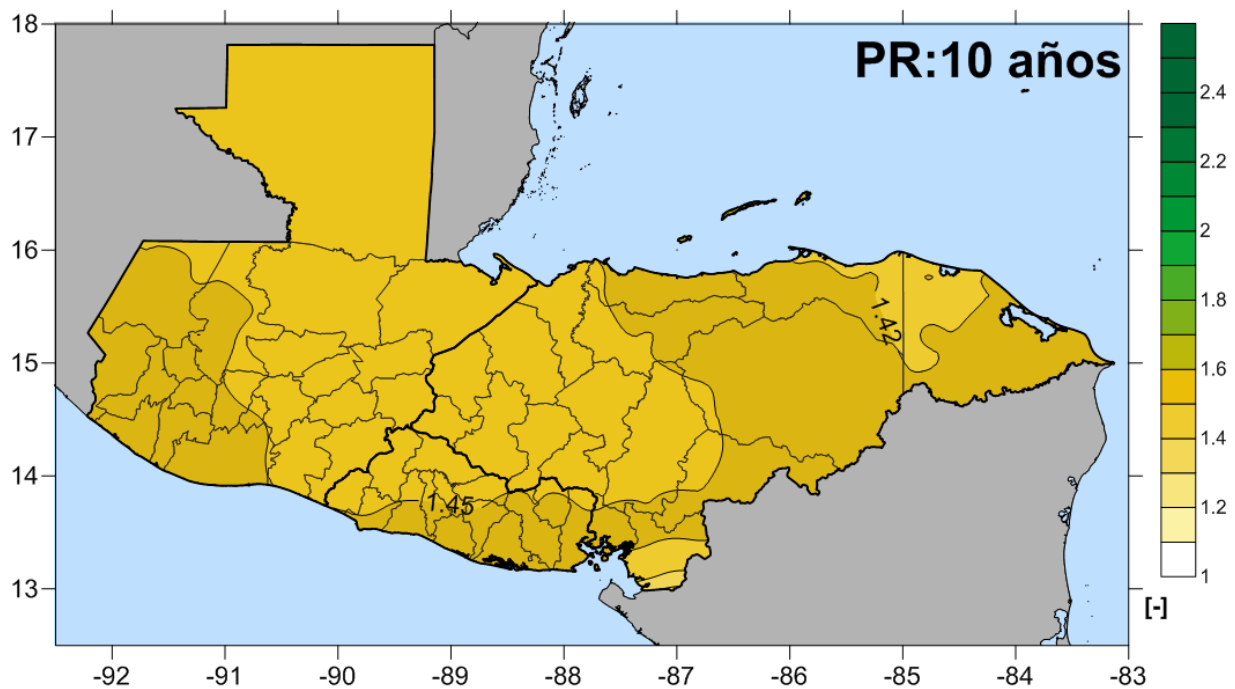


Figura 3-76. Mapas de intensidad de sequía para 10 años de periodo de retorno (en 1/meses).

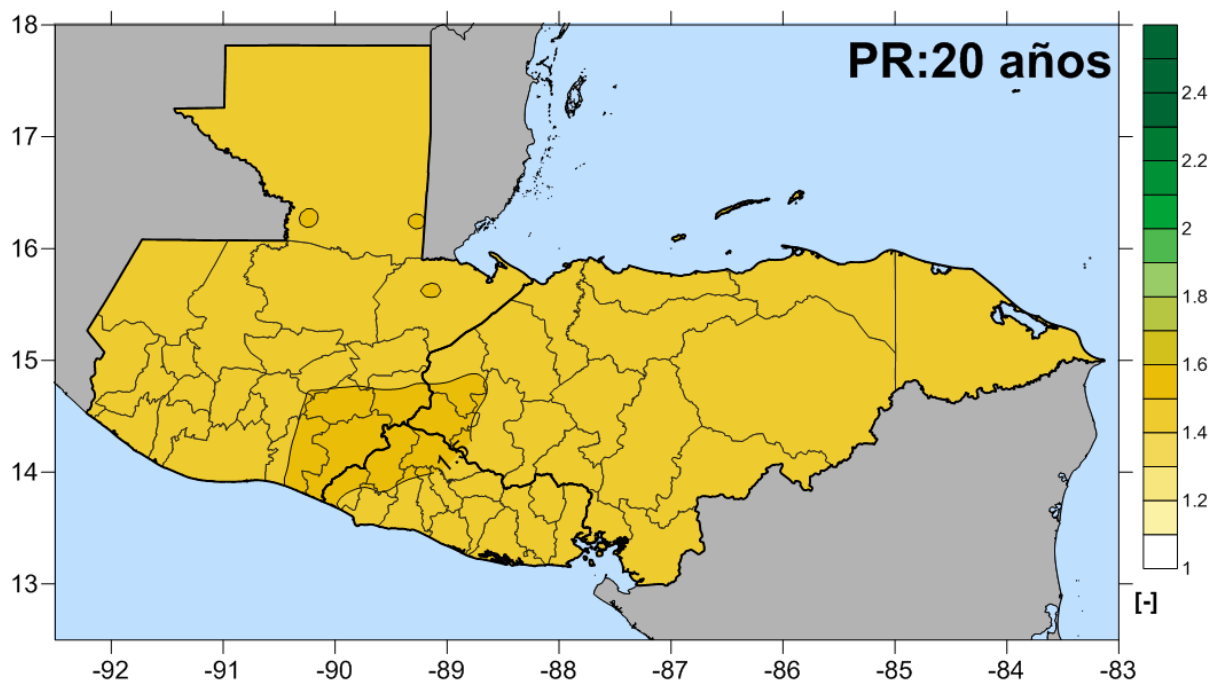


Figura 3-77. Mapas de intensidad de sequía para 20 años de periodo de retorno (en 1/meses).



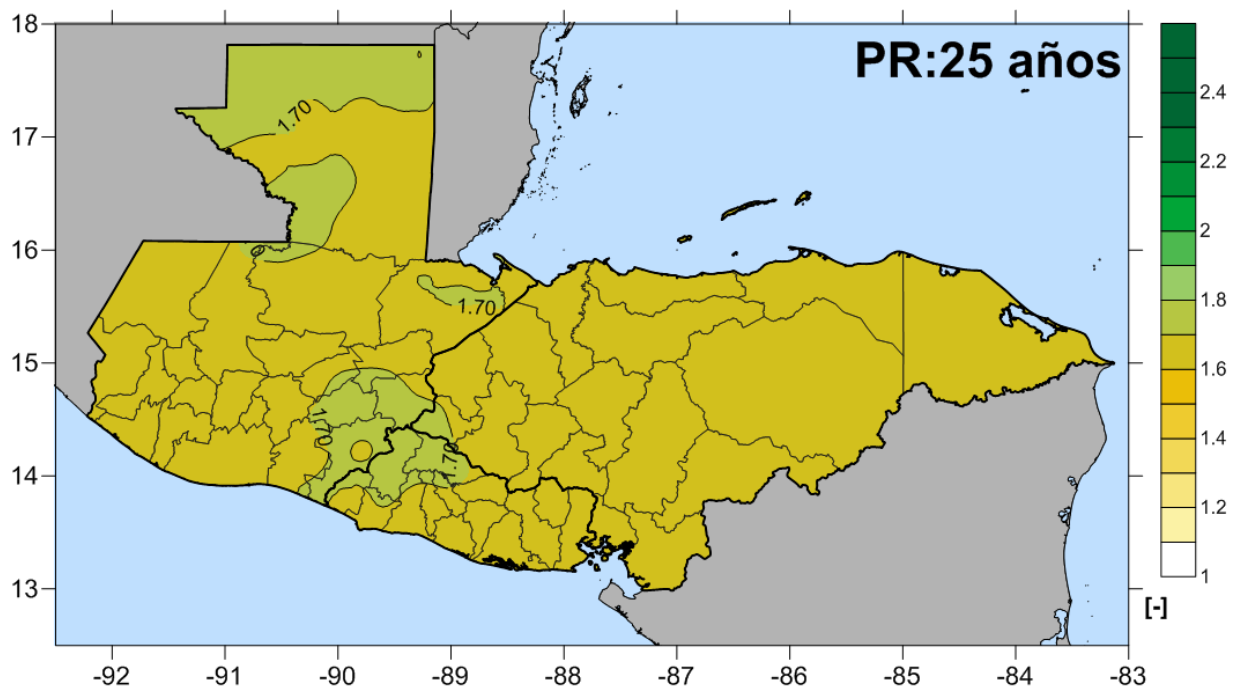


Figura 3-78. Mapas de intensidad de sequía para 25 años de periodo de retorno (en 1/meses).

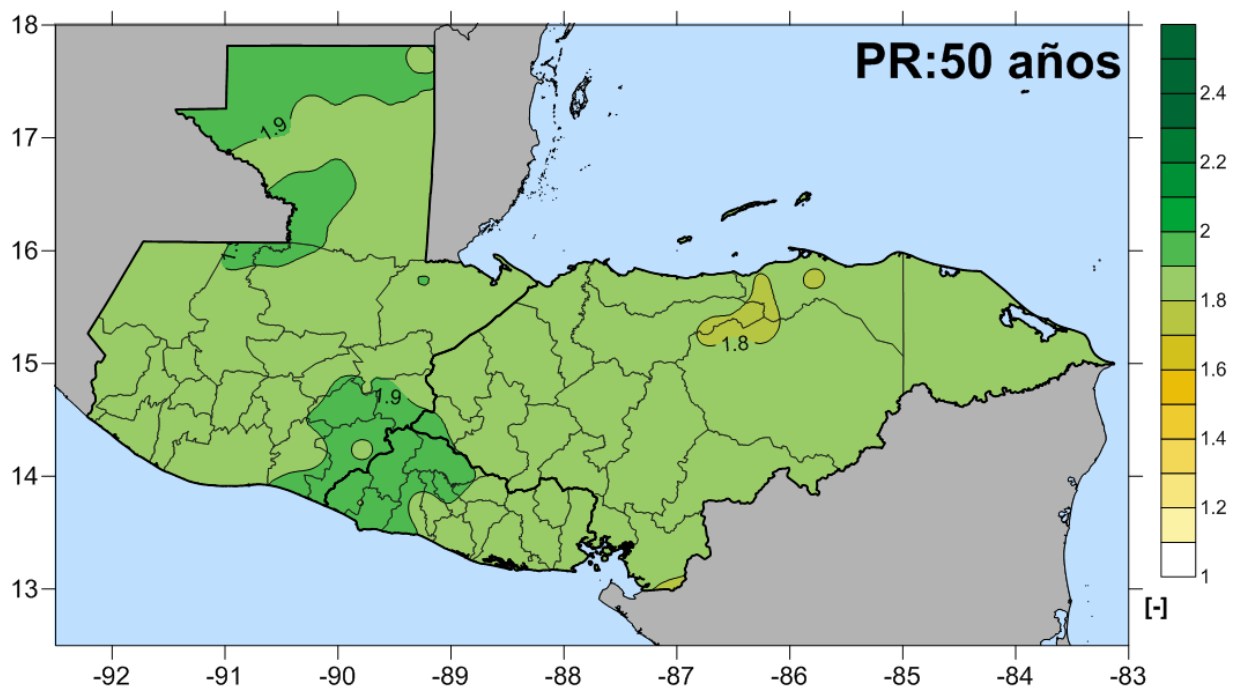


Figura 3-79. Mapas de intensidad de sequía para 50 años de periodo de retorno (en 1/meses).

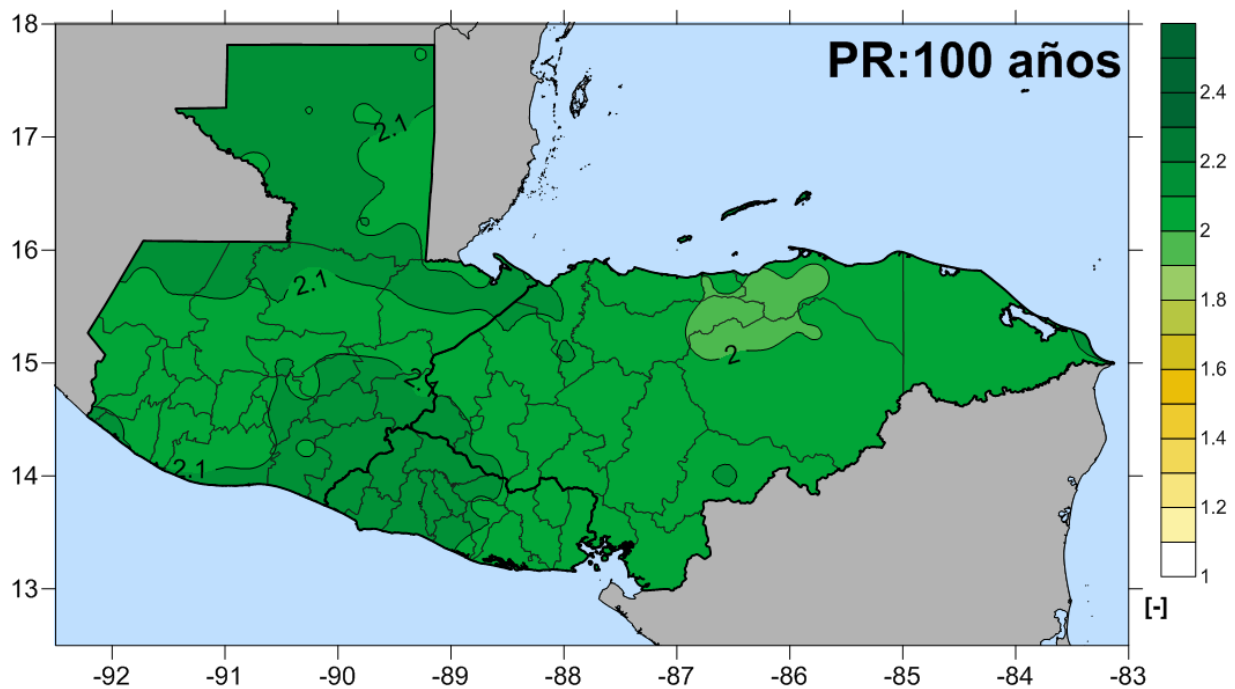


Figura 3-80. Mapas de intensidad de sequía para 100 años de periodo de retorno (en 1/meses).

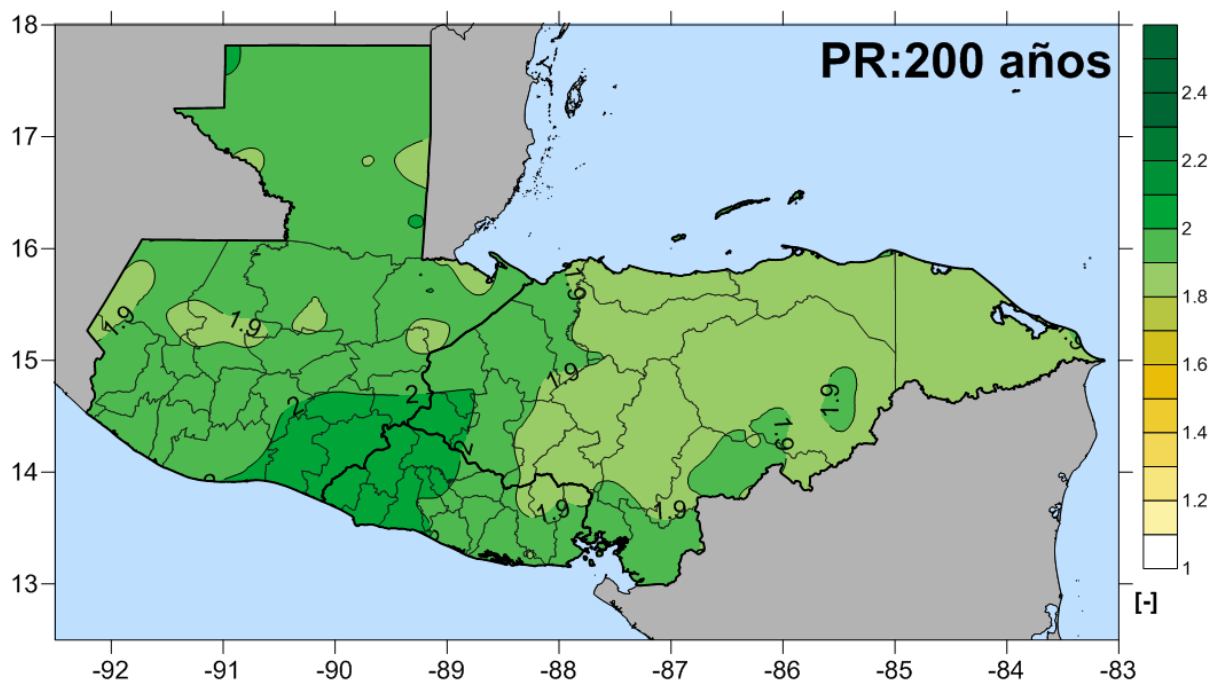


Figura 3-81. Mapas de intensidad de sequía para 200 años de periodo de retorno (en 1/meses).

### 3.5.3 Curvas de amenaza

Las curvas de amenaza presentan la variación de la tasa de excedencia de un indicador de sequía dado. En el caso del Triángulo del Norte, se calcularon para el SPEI de 3 meses<sup>14</sup>, el cual fue seleccionado en las secciones anteriores de este documento como el que mejor representa la ocurrencia de sequías en el territorio. Se presentan curvas con la estimación analítica de la tasa de excedencia (i.e. aplicando la metodología de cálculo presentada en este informe) así como las tasas de excedencia estimadas de la información histórica (de manera análoga a lo presentado en el capítulo 2 de este informe para el cálculo de la curva empírica de excedencia de pérdidas).

La Figura 3-82 y la Figura 3-83 muestra las curvas de amenaza para los puntos 18 y 89 de la malla de cálculo, respectivamente. Se puede ver la curva *analítica*, es decir, la calculada haciendo uso de las sequías identificadas en el clima simulado, así como la curva *empírica*, calculada a partir de las sequías identificadas en las series climáticas históricas. Dado que la estimación histórica tiene incertidumbre, se presenta la correspondiente banda de incertidumbre (+/- una desviación estándar). Nótese que las simulaciones permiten reconstruir de manera acertada todo el espectro de valores de SPEI.

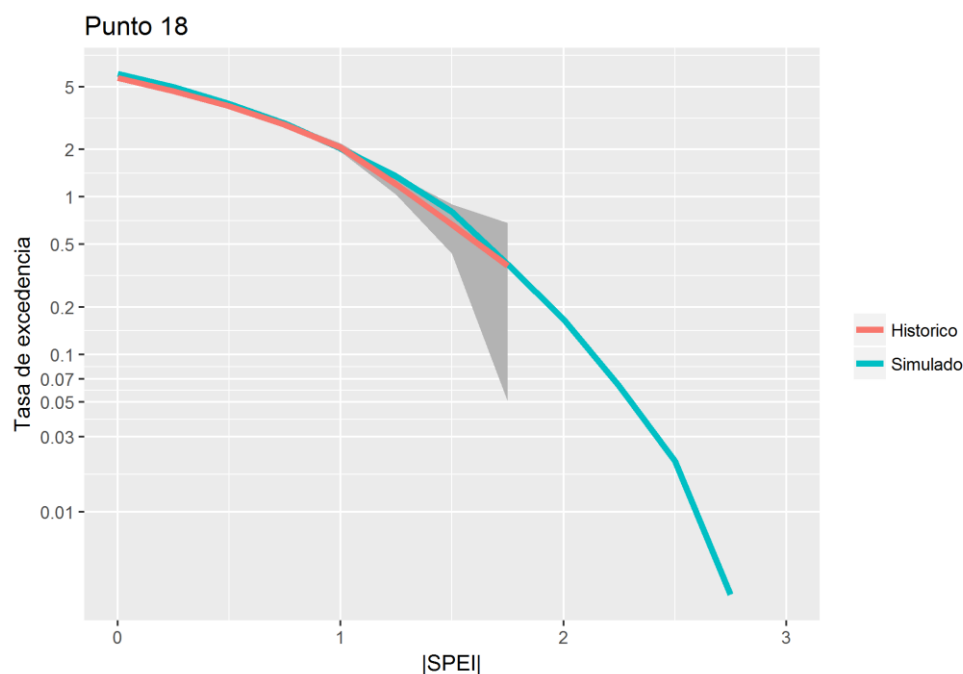


Figura 3-82. Curva de tasa de excedencia de amenaza, según indicador de sequía SPEI

<sup>14</sup> Las curvas se calculan para el valor absoluto de SPEI, e incluyendo únicamente los SPEI negativos obtenidos en las series simuladas e históricas.

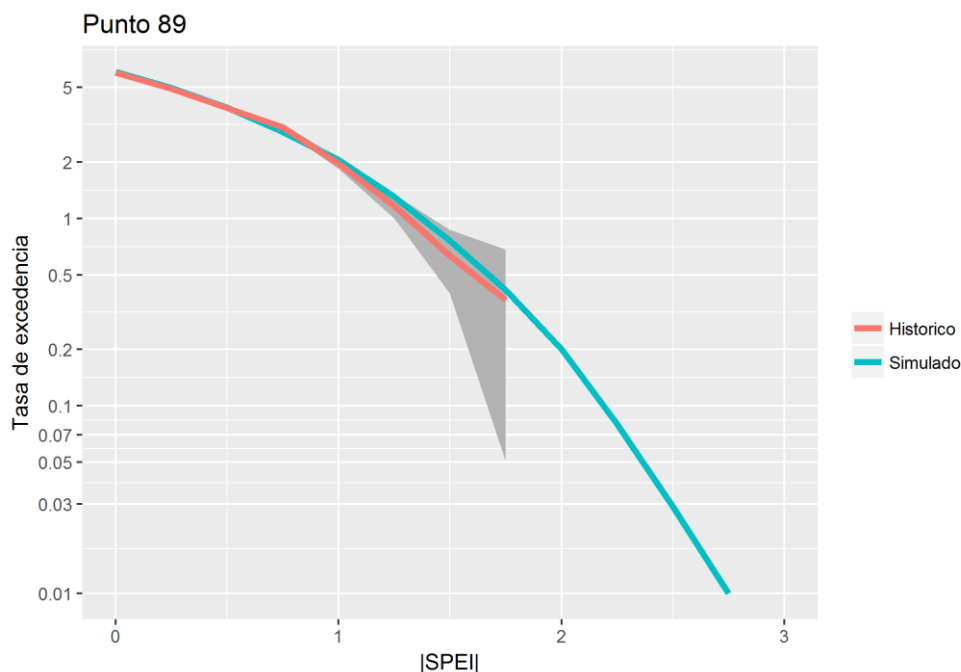


Figura 3-83. Curva de tasa de excedencia de amenaza, según indicador de sequía RDI

Estas curvas de amenaza permiten identificar la tasa de excedencia anual o periodo de retorno de cierto valor del indicador de sequía SPEI. Por ejemplo, para un valor de  $|SPEI|=0$  (esto indica que en ese punto se espera una recurrencia de condiciones hídricas estables) la curva muestra el resultado de la tasa de excedencia anual cercana a 5, lo que es lo mismo que un periodo de retorno de 0.2 años o 2.4 meses. Para un valor de  $|SPEI|=1.5$  (valor absoluto del indicador), que hace referencia a sequías severas, la curva para el Punto 89 muestra una tasa de excedencia anual de 0.75 que es lo mismo a 16 meses de periodo de retorno. Lo que implica que en ese punto se esperan sequías severas con una alta recurrencia, pero para considerarse sequías regionales se debe tener condiciones similares simultáneas en varias estaciones de la región.

### 3.6 Efecto del cambio climático en la amenaza por sequía

De acuerdo con el reporte AR5 del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): "el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde 1950, muchos de los cambios observados son sin precedentes sobre décadas y hasta milenios. La atmósfera y océano se han calentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar ha aumentado, y la concentración de gases de efecto invernadero ha aumentado" (IPCC, 2013). Debido a esto es importante considerar los efectos de este cambio climático en la evaluación del riesgo por sequía.

Con este fin, se analizaron por lo menos 41 modelos circulación global<sup>15</sup> (Ver Anexo A. 4) y los cuatro diferentes escenarios de forcings antropogénicos (RCP o Representative Concentration Pathways)

<sup>15</sup> Se usan los siguientes modelos de circulación GCM (incluyendo múltiples versiones): Australian Community Climate and Earth System Simulator (ACCESS 1); Beijing Climate Center Climate System Model versión 1.1 (BCC-CSM 1.1); Beijing Normal University Earth System Model (BNU-ESM); Canadian Earth System Model (CanESM2); Community Climate System Model (CCSM4); Community Earth System Model Version 1 (CESM1); Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC); Centre National de Recherches Météorologiques

definidos en el informe AR5 del IPCC. Para seleccionar el modelo que mejor se ajusta al territorio analizado, se aplica una metodología que minimiza la diferencia entre la media de los registros históricos en el periodo 1981-2010 y la predicción de cada modelo para el mismo periodo histórico, tanto para precipitación como temperatura. Una vez se determina el modelo de cambio climático más adecuado, se fijan las proyecciones de temperatura y precipitación en el futuro para la región de estudio, y con esto se perturban las series estocásticas de temperatura y precipitación que se generan para la modelación de la sequía.

### **3.6.1 Dispersión de los modelos globales de circulación**

La Figura 3-84 y Figura 3-85, muestran las proyecciones de cambio en precipitación y temperatura media en la ubicación del Punto 71 (Longitud: -87.25, Latitud: 14.25) en la malla de análisis del Triángulo del Norte. Estas proyecciones son los resultados de la combinación de 41 modelos de circulación global, evaluados para cuatro RCP definidos en el AR5 del IPCC. En total se evalúan 311 proyecciones, considerando las diferentes corridas de cada modelo. Una breve descripción de los modelos considerados y su referencia bibliográfica para futuras consultas se presenta en el Anexo A. 4.

Debido a que existen múltiples predicciones, el rango de resultados es muy amplio. Para el ejemplo del Triángulo del Norte, la variación en temperatura para el periodo más extenso (2070-2099) varía entre 0°C y 6°C. En el caso de la precipitación, la variación en este mismo periodo esta entre -70% y +40%. Es decir, según los modelos de circulación global para el caso más extremo, en el futuro la zona del Triángulo del Norte puede incrementar su temperatura media hasta en 6°C y sufrir reducciones de precipitación hasta en 70% de los valores medios del periodo 1981-2010. Si se toman los valores opuestos, la temperatura en la zona no incrementaría y la zona sufriría un incremento en la lluvia hasta del 40%. En los dos casos, los desastres asociados a sequías o inundaciones pueden superar los desastres vividos en el pasado. Esta situación hace que no sea fácil la selección de un modelo para determinar el cambio esperado en el clima en esta ubicación.

---

- Coupled Model 5 (CNRM-CM5); Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO-Mk3-6-0); Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System, Gridpoint version 2 (FGOALS-g2); First Institute of Oceanography-Earth System Model (FIO-ESM); Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Earth System Model 2G (GFDL-ESM2G); Goddard Institute for Space Studies-E2 (GISS-E2); Hadley Centre Coupled Model Version 3 (HadCM3); Hadley Centre Global Environmental Model, version 2 (HadGEM2-ES); Institute for Numerical Mathematics Climate Model 4 (INMCM4); Institut Pierre Simon Laplace Model (IPSL-CM5A); Model for Interdisciplinary Research on Climate 4 (MIROC4h); Model for Interdisciplinary Research on Climate Earth System Model (MIROC-ESM); Max Planck Institut für Meteorologie Earth System Model (MPI-ESM); Meteorological Research Institute Global Climate Model 3 (MRI-CGCM3); Norwegian Earth System Model (NorESM1). Más información en el Anexo A. 4.

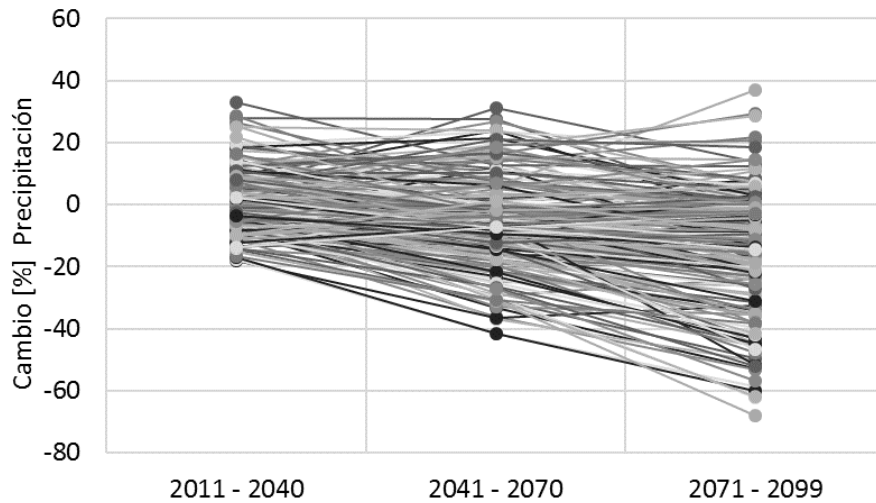


Figura 3-84. Proyecciones de cambio de precipitación según el AR5.

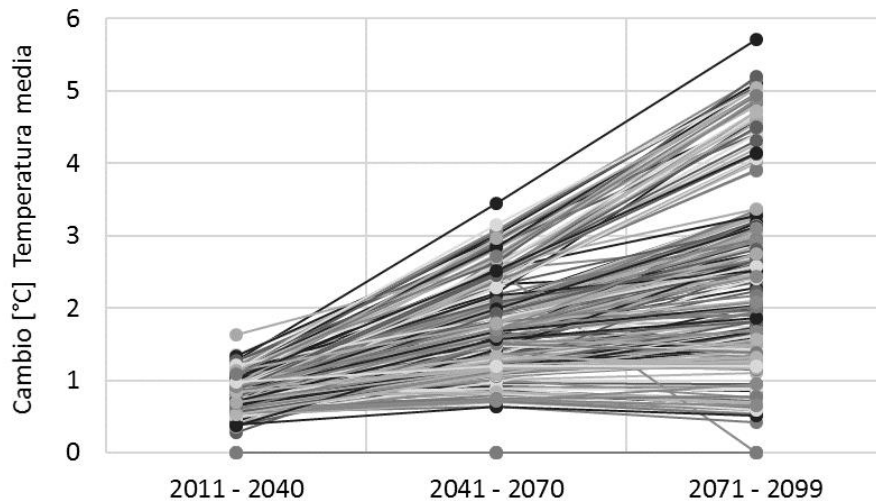


Figura 3-85. Proyecciones de cambio de temperatura promedio según el AR5.

Con el fin de mostrar la variación y dispersión de los valores de línea base de la precipitación y la temperatura, se presentan diagramas de caja de valores para 4 puntos seleccionados dentro del Triángulo del Norte con el fin de mostrar su variación espacial dentro del territorio. El punto 28 está ubicado en la costa de El Salvador, el punto 71 está ubicado en el centro de Honduras, el punto 126 está ubicado en Guatemala y el punto 135 está ubicado en la costa hondureña hacia el noreste del país. El diagrama de caja de valores proporciona información importante acerca de la distribución y nivel de dispersión del conjunto de los datos de los modelos de circulación global. También se muestran los valores de media y mediana, los valores que se encuentran dentro y fuera de los percentiles 25 y 75, y además resalta los valores atípicos dentro del conjunto de datos. A estos diagramas de caja se sobrepone (línea negra) los valores promedio diarios multimensuales de la base de datos históricos.

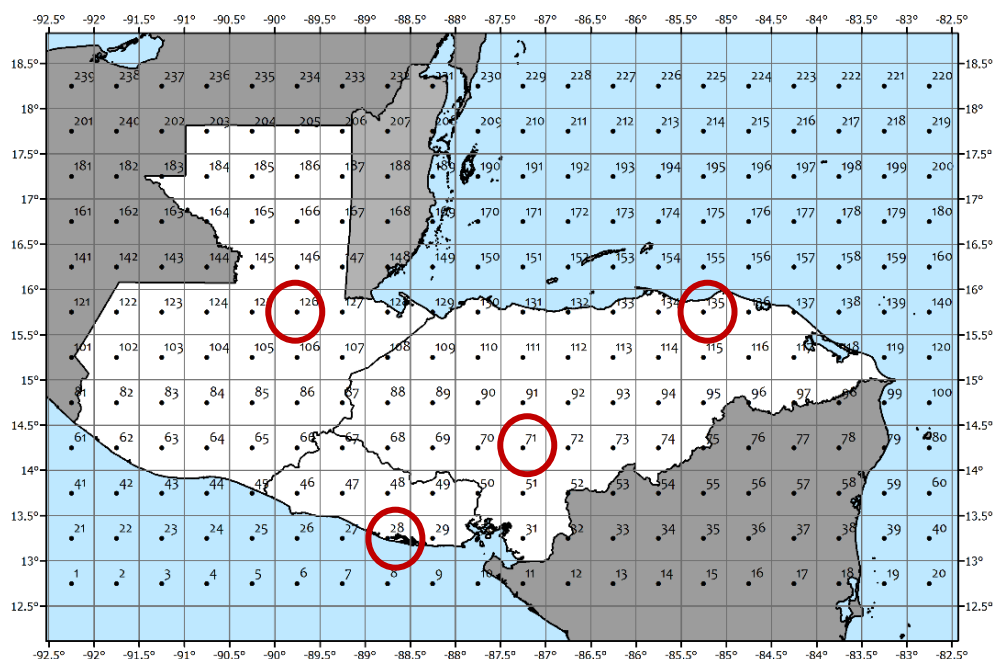


Figura 3-86. Ubicación de los 4 puntos seleccionados como ejemplo.

### **Precipitación**

La Figura 3-87 presenta los diagramas de cajas de precipitación para los puntos seleccionados. Los diagramas de cajas muestran que los valores de precipitación de línea base de los modelos de circulación global para el periodo de 1981-2010, y la línea negra muestra los valores medios de precipitación diaria según los registros históricos. En términos generales, la dispersión de los valores de precipitación diaria según los modelos de circulación global es alta (ancho de las cajas) y presentan numerosos valores extremos (puntos por fuera de los bigotes que representan el percentil 90 de los datos). Además, los valores medios registrados en la base de datos CHIRPS están por encima de los valores medios resultados de los modelos de circulación global, especialmente en los meses lluviosos (mayo a octubre). Sin embargo, los modelos de circulación global logran captar la tendencia del régimen de precipitación a lo largo del año y existen modelos que se acercan en mayor medida a los valores registrados.

### **Temperatura**

La Figura 3-88 muestra los diagramas de cajas de temperatura media mensual para los puntos seleccionados. Los diagramas de cajas muestran que los valores de temperatura de línea base de los modelos de circulación global para el periodo de 1981-2010, presentan alta dispersión entre sí entre 2 y 6°C (la diferencia de valores entre el cuartil 25 y el cuartil 75, que es lo mismo que el ancho de las cajas). Entre los cuatro puntos analizados, únicamente para el punto 126 las medias del registro histórico se acercan a la media de los valores de los modelos de circulación global. En los otros tres casos, las medias de los registros históricos se encuentran por debajo (punto 28 y 71 se acercan más hacia el percentil 25) o por encima (punto 135 se acerca al percentil 90 en algunos meses). Sin embargo, la tendencia media de la línea base de los modelos de circulación global logra captar las variaciones en la temperatura media en el año.

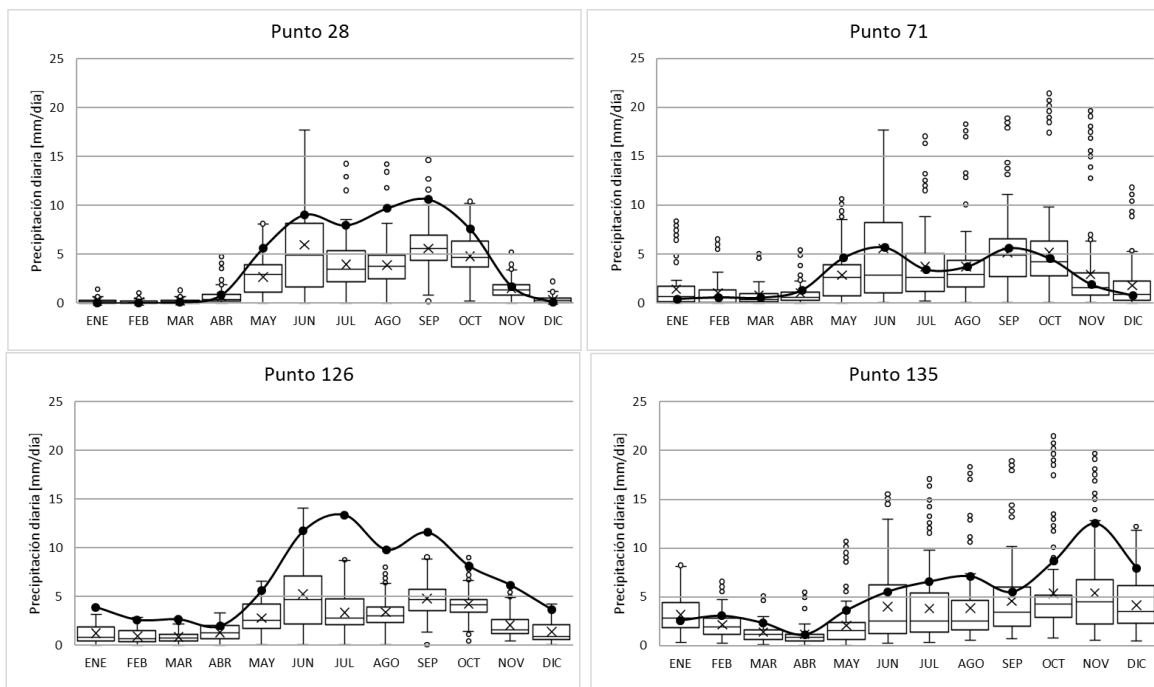


Figura 3-87. Diagrama de cajas de valores medios mensuales de precipitación total diaria

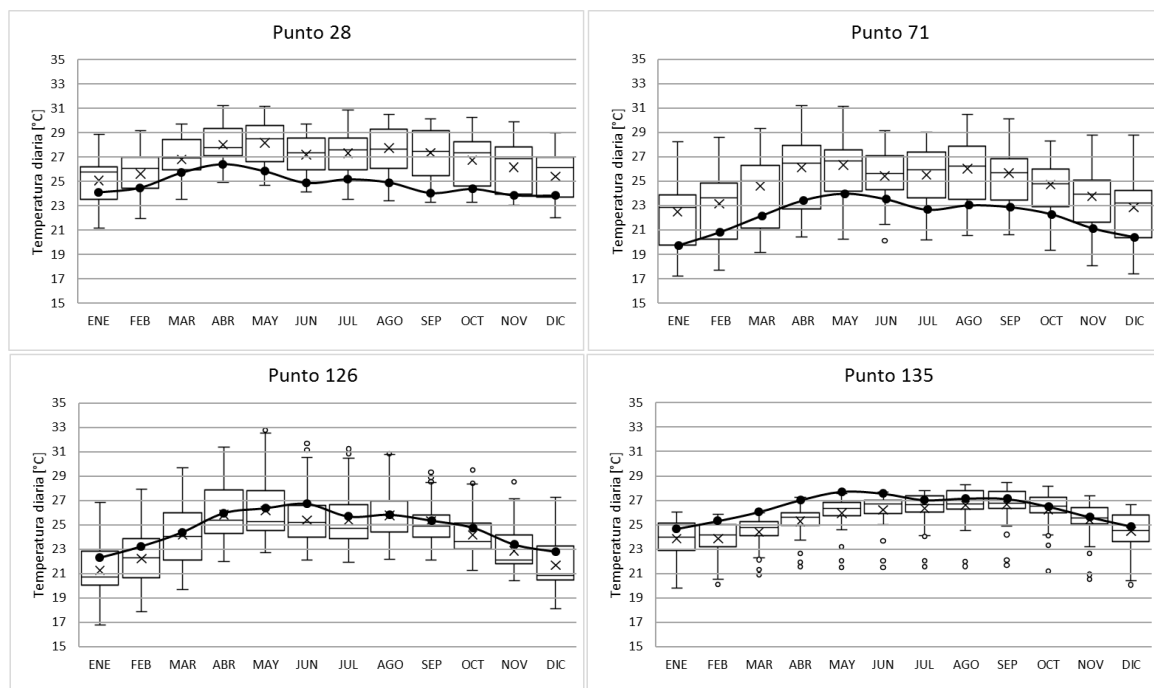


Figura 3-88. Diagrama de cajas de valores de promedio mensuales temperatura media

Al analizar los resultados de los modelos de circulación global para el territorio del Triángulo del Norte, se puede concluir que:



- Los modelos de circulación global tienen una alta dispersión, lo que indica que las proyecciones para un mismo punto tienen un amplio rango de valores esperados tanto para precipitación diaria como temperatura media diaria.
- No hay un único modelo que se ajuste de forma precisa a los registros históricos para un punto o un área de análisis.
- No se recomienda utilizar el promedio de los resultados de los modelos de circulación global, ya que, en el caso de los países que conforman el Triángulo del Norte, la serie media histórica de precipitación está por encima de la media de los modelos, en especial en los meses lluviosos.
- No se recomienda utilizar valores máximos ni mínimos de los modelos de circulación global, porque pueden subestimar o sobre estimar el clima histórico y aumentar la incertidumbre con las proyecciones de variabilidad climática en el futuro.

El alcance del estudio contempló evaluar el efecto del cambio climático en variaciones en precipitación y temperatura por los siguientes criterios:

- Los modelos de circulación global siempre brindan proyecciones de estas dos variables, y en pocos casos brindan información sobre otros parámetros climáticos (humedad, radiación, velocidad del viento) al ser parámetros complejos que responden a interacciones físicas y químicas de los modelos acoplados de atmósfera-oceáno-superficie terrestre-hielo oceánico.
- La metodología de amenaza por sequía contempla en su alcance la generación estocástica de series de precipitación y temperatura (proceso estadístico de simulación del clima a partir de registros históricos). La modelación de otras variables climáticas (humedad, radiación, velocidad del viento) implica el uso de modelos complejos de circulación atmosférica e interacción de sistemas terrestres, que no está dentro del alcance de este estudio.

### **3.6.2 Selección del modelo global de circulación**

Dada la dispersión de los modelos de circulación global, se debe seleccionar el modelo que mejor se ajuste a la línea base de clima analizada, 1981-2010, para el territorio en estudio. La metodología propuesta y que se aplica en este estudio, consiste en identificar cuál es el modelo cuyos resultados de calibración en la historia mejor se ajustan a las condiciones históricas medidas en la zona. Lo que se busca es definir el modelo que mejor replica las condiciones pasadas para disminuir la incertidumbre de las proyecciones al futuro. Para realizar este proceso de validación se toman los valores de temperatura y precipitación correspondientes al periodo de tiempo base (1981-2010) dados por cada uno de los modelos, y se comparan con los valores de la base de datos climática (de CHIRPS y de la Universidad de Princeton) que se aplica en el modelo de amenaza por sequía. En este caso, se debe seleccionar el modelo que minimice, en la mayor extensión del territorio, las diferencias entre los registros históricos y las predicciones (es decir, en el mayor número de estaciones o puntos de la malla de análisis).

#### **3.6.2.1 Diferencias entre valores medios de registros históricos y modelos de circulación global**

Para considerar la estacionalidad de los parámetros de precipitación y temperatura, se hace el análisis de diferencias (entre predicciones del modelo y registros históricos en el periodo 1981-2010) en escala mensual. Es decir, se toman los valores de las predicciones del modelo para precipitación diaria y temperatura media diaria de cada uno de los meses y se compara (para cada mes) con el promedio diario multianual y la temperatura media de los registros de CHIRPS y la Universidad de Princeton (incluyendo las correcciones según registros medidos en sitio y reportados por los países). La Figura 3-89 muestra, de forma gráfica, la dispersión de las diferencias de precipitación (eje y) y temperatura (eje x) para el mes de abril del punto 71. Los puntos de color azul indican la diferencia

de cada uno de los modelos, con sus respectivos RCP y múltiples corridas; en total hay 311 puntos azules en la gráfica. Las líneas punteadas en las gráficas indican el percentil 25, 50 y 75 de la serie de las diferencias. Estos límites permiten medir la dispersión de los datos y se usan como valores de referencia para seleccionar modelos que se encuentren dentro de un percentil definido por el modelador. Los puntos que se ubican por fuera del tercer anillo (percentil 75) y muy alejados del punto de origen, se pueden considerar como puntos extremos.

Considerando que el origen de los ejes de estas gráficas (punto 0,0) indica que no hay diferencia entre los registros históricos y los resultados del modelo de circulación global, se tiene que:

- Puntos hacia la derecha del eje vertical indican que los modelos de circulación global tienen temperaturas más elevadas, es decir, condiciones de clima más calurosas. Los puntos hacia la izquierda de este eje indican condiciones de clima más frías en los modelos de circulación global.
- Puntos hacia la parte superior del eje horizontal indican que los modelos de circulación global tienen precipitaciones más altas que los registros históricos usados en la modelación. Los puntos hacia la parte inferior de este eje indican menor precipitación en los modelos de circulación global.

Los puntos en morado (más grandes) indican la ubicación de las diferencias del modelo seleccionado, aplicando criterios de selección regional (escoger un único modelo para todos los puntos en la malla de análisis), que se explica más adelante. Se presenta más de un punto seleccionado, porque el análisis incluye los múltiples RCP de cada modelo. Es decir, para los modelos de sequía se consideran los diferentes escenarios de emisiones, desde bajas (RCP2.6) hasta altas emisiones (RCP8.5) según la disponibilidad de información. Con esto, se pueden calcular los efectos de mitigar el cambio climático y cómo cambian las condiciones de sequías que se pueden presentar en el futuro.

Una forma equivalente de presentar estos resultados son los gráficos de cajas y bigotes (o boxplots), como se muestra en la Figura 3-90. En este caso se puede ver, para cada mes, la dispersión de las diferencias de temperatura y precipitación de la serie de registros históricos y de modelos de circulación global. En el caso del ejemplo del punto 28 (gráfica de la izquierda) se puede ver cómo la diferencia es mayor en meses lluviosos mientras que para el punto 71 se puede ver como la diferencia se mantienen durante todo el año en un rango estable, aunque con mayores puntos extremos en el segundo semestre del año. Esto quiere decir que en el área de estudio se pueden presentar puntos en los que hay un mayor efecto de los cambios del régimen de precipitación que en otras zonas del área de estudio.

La Figura 3-91 muestra la dispersión de las diferencias en precipitación y temperatura, para todos los meses del año para el punto 71 de la malla de análisis. Se puede ver como algunos resultados reproducen condiciones más o menos lluviosas, o más o menos calurosas, considerando que el punto de origen de los ejes de las gráficas representa las condiciones de los registros históricos. Para meses lluviosos (junio-septiembre) se presentan mayor dispersión en los valores de diferencias de los modelos de circulación global de la precipitación (mayor dispersión en el eje vertical) mientras que, en los meses secos, los puntos azules tienen a estar concentrados sobre el eje horizontal (que indica valor 0 en diferencias de precipitación). En cuanto a la temperatura, para todos los meses los modelos de circulación global tienen a estar hacia la derecha del eje horizontal, lo que indica mayores temperaturas que las registradas en el periodo 1981-2010.

Esto muestra que la generación de modelos de circulación global es una tarea difícil y cómo el proceso de calibración no se ajusta a las diferentes regiones del planeta (razón por la que no existe un único modelo de cambio climático aceptado globalmente). Entonces, no existe un único modelo de circulación global que se ajuste de forma óptima a todo el territorio del Triángulo del Norte. Ahora bien, se puede seleccionar un modelo que cumpla con la condición de que sus predicciones se

acerquen a los registros históricos en la mayor parte del territorio. Este procedimiento de selección se explica a continuación.

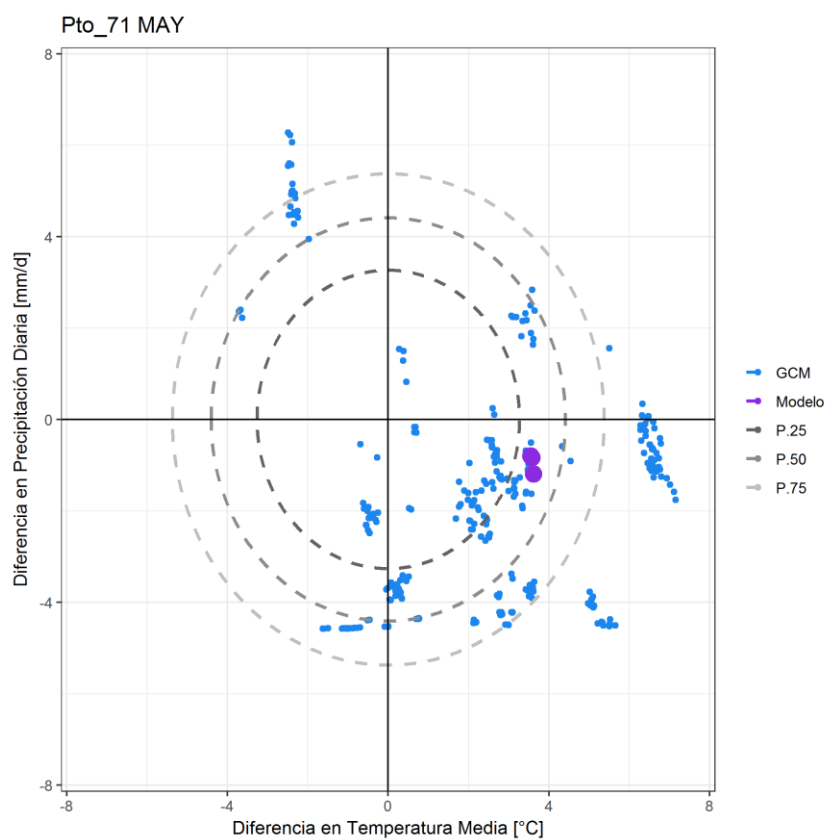


Figura 3-89. Dispersión de las diferencias en temperatura y precipitación para el mes de mayo en el punto 71

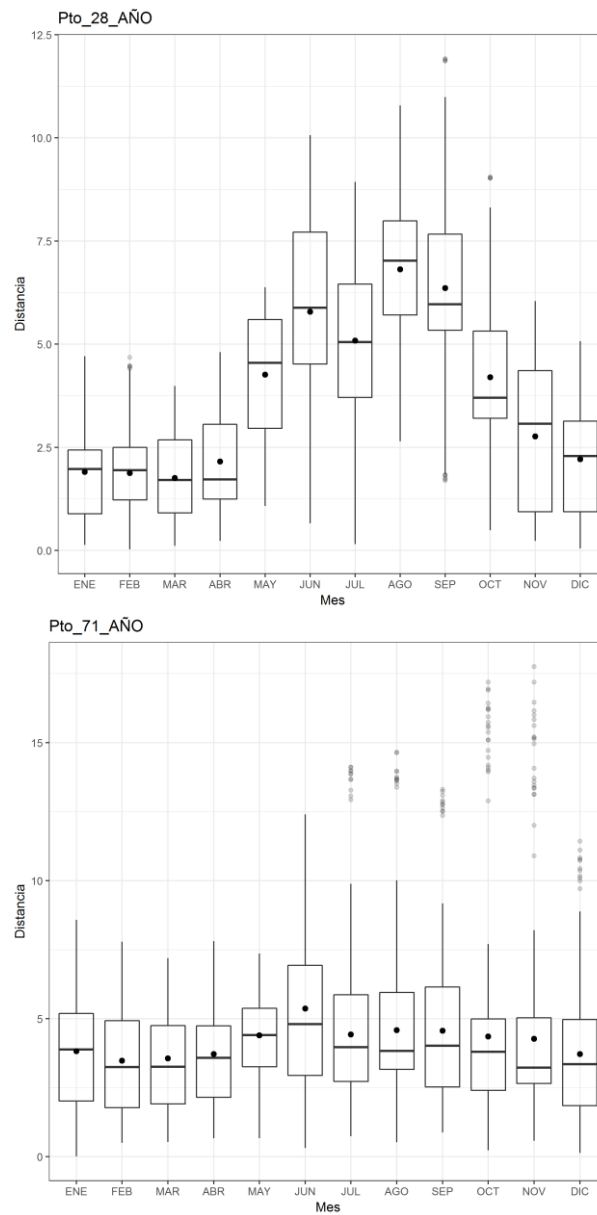


Figura 3-90. Diagrama de cajas para las diferencias en temperatura y precipitación en el punto 71

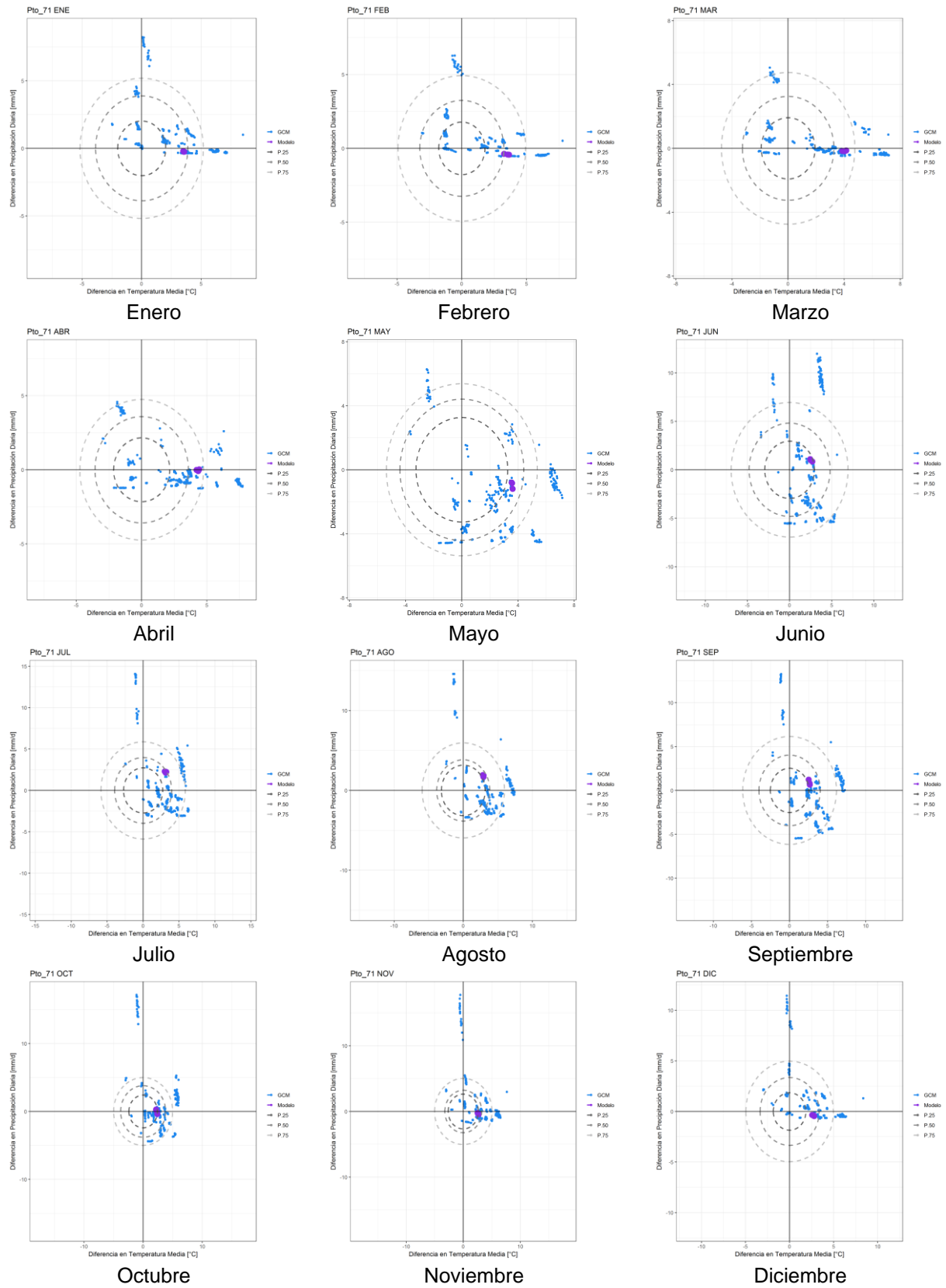


Figura 3-91. Dispersión de las diferencias en temperatura y precipitación

### 3.6.2.2 Selección de un único modelo de circulación global para la región de análisis

Luego de determinar las diferencias entre los registros históricos y las predicciones de cada modelo para la base 1981-2010, se procede a seleccionar el modelo que mejor se ajusta en el mayor número de puntos de la malla de análisis. Esto se hace para mantener la homogeneidad de las predicciones de cambio climático en la zona. La selección se hace con el criterio de minimizar la distancia entre el punto de las diferencias de precipitación y temperatura con el origen. Es decir, se selecciona el modelo que para el mayor número de meses y mayor número de puntos tenga la menor distancia (equivalente a menor diferencia) al punto de origen 0,0. La distancia de cada punto se calcula como:

$$d = \sqrt{t^2 + p^2} \quad (\text{Ec. 3-4})$$

Donde  $t = T_{GCM} - T_{Histórica}$  y  $p = P_{GCM} - P_{Histórica}$  para cada media diaria mensual de temperatura y precipitación, respectivamente. Una vez se calculan las distancias para todos los modelos de circulación global, con sus respectivos RCP y corridas, se calcula la media de distancias para cada mes y la media de distancias para el año. Los resultados para el análisis en el Triángulo del Norte se muestran en la Tabla 3-4. Información más detallada sobre los modelos que se mencionan en la siguiente tabla, así como referencias para futuras consultas se presentan en el Anexo A. 4.

Tabla 3-4. Resultados de distancia media mínima para los primeros 6 modelos en Triángulo del Norte.

Modelo	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JUL	AG O	SE P	OC T	NO V	DIC	Medi a
MPI-ESM-MR	3.23	2.56	2.25	2.15	2.91	3.92	4.7 3	4.37	3.81	3.73	3.59	3.1 9	3.37
MPI-ESM-LR	3.13	2.48	2.17	2.33	3.09	4.50	5.0 9	4.50	4.28	3.98	3.50	3.1 1	3.51
CMCC-CMS	3.27	2.66	2.50	2.28	2.97	5.05	4.7 6	4.56	4.35	3.78	3.26	3.1 4	3.55
HadGEM2-ES	3.00	2.35	2.15	2.06	3.09	3.25	4.3 9	5.77	5.40	4.48	3.91	3.0 1	3.57
CESM1- CAM5	3.18	2.83	2.65	2.48	3.68	6.04	4.8 0	3.97	3.76	3.36	3.22	3.0 6	3.59
ACCESS1-0	3.21	2.42	2.38	2.16	2.80	3.60	4.6 0	5.17	4.77	4.64	4.31	3.2 6	3.61

Según estos resultados, el modelo seleccionado para la región del Triángulo del Norte es MPI-ESM-MR (Max-Planck-Institute Earth System Model<sup>16</sup>) para el modelo acoplado a través del intercambio de energía, momentum, agua y gases entre de los sistemas de océano, atmósfera y superficie terrestre. Este modelo es financiado y administrado por la sociedad científica de Alemania (MPI: Max-Planck-Institute). Dentro de la colección de modelos de circulación global del AR5 (IPCC), el modelo MPI-ESM incluye 2 versiones principales: de media resolución (MR) y de baja resolución (LR). Se incluyen 3 corridas del modelo, para RCP de 2.6, 4.5 y 8.5. Sólo para la corrida 1 (Run 1) se tiene resultados del modelo para los tres RCP. Por esta razón, se seleccionó esta corrida como insumo para el análisis de cambio climático en el Triángulo del Norte.

La Tabla 3-5 muestra el número de puntos del modelo que están dentro del percentil 25, percentil 50 y percentil 75. Esto quiere indicar cuántos puntos están cerca del punto de origen, minimizando la

<sup>16</sup> Para más información, consultar la página web <http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm.html> o el artículo <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jame.20038/full>

diferencia entre las predicciones del modelo y los registros históricos para el periodo 1981-2010. El número total de puntos es 1776 (que equivale a 12 meses por 148 estaciones de análisis). Como se puede ver en la siguiente tabla, la corrida Run 1 es la que encierra el mayor número de puntos en los tres percentiles analizados, en especial en el primer percentil (que se muestra en el diagrama de barras a la derecha) lo que disminuye las diferencias entre el modelo de circulación global y los registros históricos analizados. Este criterio refuerza la selección del modelo MEPIESM-MR Run 1 para analizar la región del Triángulo del Norte.

Tabla 3-5. Resultados para modelo MPI-ESM-MR. Puntos dentro del percentil 25, 50 y 75 según corrida y RCP.

Corrida	RCP	P25	P50	P75	Diagrama de Barras según P25
Mean	RCP4.5	793	1315	1643	
Run 1	RCP2.6	831	1338	1638	
	RCP4.5	821	1331	1631	
	RCP8.5	847	1322	1623	
Run 2	RCP4.5	788	1311	1635	
Run 3	RCP4.5	821	1347	1637	

# Elementos en Percentil 25

### 3.6.3 Ajuste de series simuladas a predicciones de cambio climático

Los efectos asociados al cambio climático se incluyen en la generación de las series sintéticas de precipitación y temperatura. Estas perturbaciones se realizan según las estimaciones de modelos de cambio climático global. A continuación, se presentan los resultados de la incorporación de las predicciones del cambio porcentual en la precipitación y total en la temperatura según el modelo de circulación global seleccionado. Los resultados se presentan para un punto en la malla de análisis y como mapas de la región completa, que permiten una comparación espacial con los mapas de parámetros climáticos de la serie histórica y la serie simulada base.

En el caso de el punto 71 de la malla de análisis de Triángulo del Norte, según las proyecciones del modelo validado (MPI-ESM-MR), para el periodo 2071-2099 se espera un aumento en la temperatura de 4.7°C, y una reducción en la precipitación del 10.9%, para el RCP8.5. Los valores para otros periodos de tiempo y otros RCP se muestran en la Tabla 3-6 para temperatura y Tabla 3-7 para precipitación. A partir de estas proyecciones, se ajustan las series sintéticas de 1,000 años de temperatura y precipitación para obtener nuevas series perturbadas, representativas de condiciones de clima futuro incluyendo Cambio Climático. En la Figura 3-92 se muestra el promedio multianual de temperatura diaria para la serie modelada y las series que incluyen el efecto del aumento de la temperatura según el modelo seleccionado y para todos los RCP evaluados por el mismo. La Figura 3-93 muestra la precipitación total anual para 25 años simulados y las series que incluyen el cambio porcentual en la precipitación según los resultados del modelo seleccionado y los RCP evaluados por el mismo.

Tabla 3-6. Predicciones del cambio en la temperatura media del modelo CCSM4 para Punto 71 de la malla de análisis para Triángulo del Norte

Modelo	2011 – 2040 Cambio [°C]	2041 – 2070 Cambio [°C]	2071 – 2099 Cambio [°C]
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP2.6	0.8	1.2	0.9
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP4.5	0.8	1.9	2.3
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP8.5	1.2	2.9	4.7

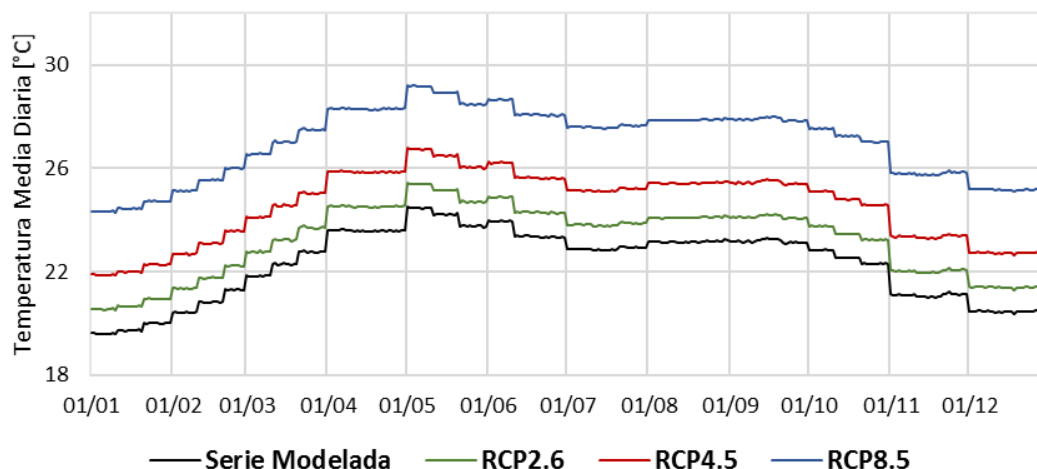


Figura 3-92. Promedio multianual de temperatura media para la serie base y las series perturbadas por cambio climático.

Tabla 3-7. Predicciones del cambio en precipitación del modelo MPI-ESM para Punto 71 de la malla de análisis para el Triángulo del Norte

Modelo	2011 – 2040 Cambio [%]	2041 – 2070 Cambio [%]	2071 – 2099 Cambio [%]
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP2.6	2.2	-1.7	2.8
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP4.5	9.7	-1.6	-6.6
AR5 (2011) - MPI-ESM-MR(Run 1) - RCP8.5	-0.9	-8.6	-10.9



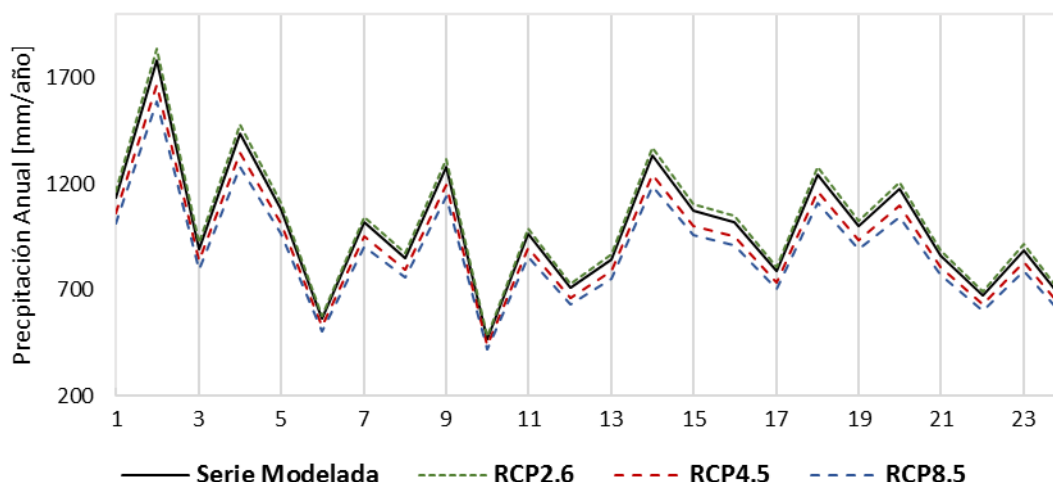


Figura 3-93. Precipitación anual para 25 años simulados y las series sintéticas perturbadas por cambio climático.

Este mismo procedimiento se realiza para todas las estaciones de registro de datos climáticos disponibles en el área de estudio. Según la resolución de los modelos de circulación global, cada punto de la malla de análisis puede tener una proyección diferente. Cada serie modelada debe ser perturbada según su ubicación y los resultados del modelo para ese mismo punto. Esto permite caracterizar completamente las condiciones futuras de ocurrencia de las sequías en todo el territorio de análisis.

### 3.6.4 Mapas de parámetros climáticos incluyendo cambio climático

Se generaron mapas de parámetros climáticos con el fin de mostrar los cambios que implica incorporar las predicciones de un modelo de circulación global. Estos mapas se generaron para los escenarios de RCP incluidos en el modelo (RCP 2.6, 4.5, 8.5) y para tres décadas de proyección (2040s, 2070s, 2099). También se generaron mapas que muestran la variación porcentual (para precipitación) y absoluta en grados centígrados (para la temperatura) en la dimensión espacial. Esto permite ver cómo el modelo de circulación global distribuye las proyecciones del clima. El primer mapa que se presenta para los parámetros de clima es el mapa de registros históricos (CHIRPS para precipitación y U. de Princeton para temperatura), y se incluye a modo de comparación con respecto a los mapas de proyecciones según el modelo de circulación global.

Para el caso de Triángulo del Norte, las predicciones del cambio climático indican, en términos porcentuales, una disminución de la precipitación en promedio del 20% con valores tan altos como 36% en reducción de las lluvias y aumento medio en la temperatura de 4.4°C en el escenario RCP8.5 en el largo plazo. La metodología que se aplica considera que los cambios esperados en temperatura media se aplican de la misma forma a las series de temperatura máxima y temperatura mínima, por lo que se aplican estos mismos valores de incremento a las series sintéticas calculadas en pasos anteriores. El análisis de los mapas se presenta a continuación.

### 3.6.4.1 Cambio porcentual en precipitación

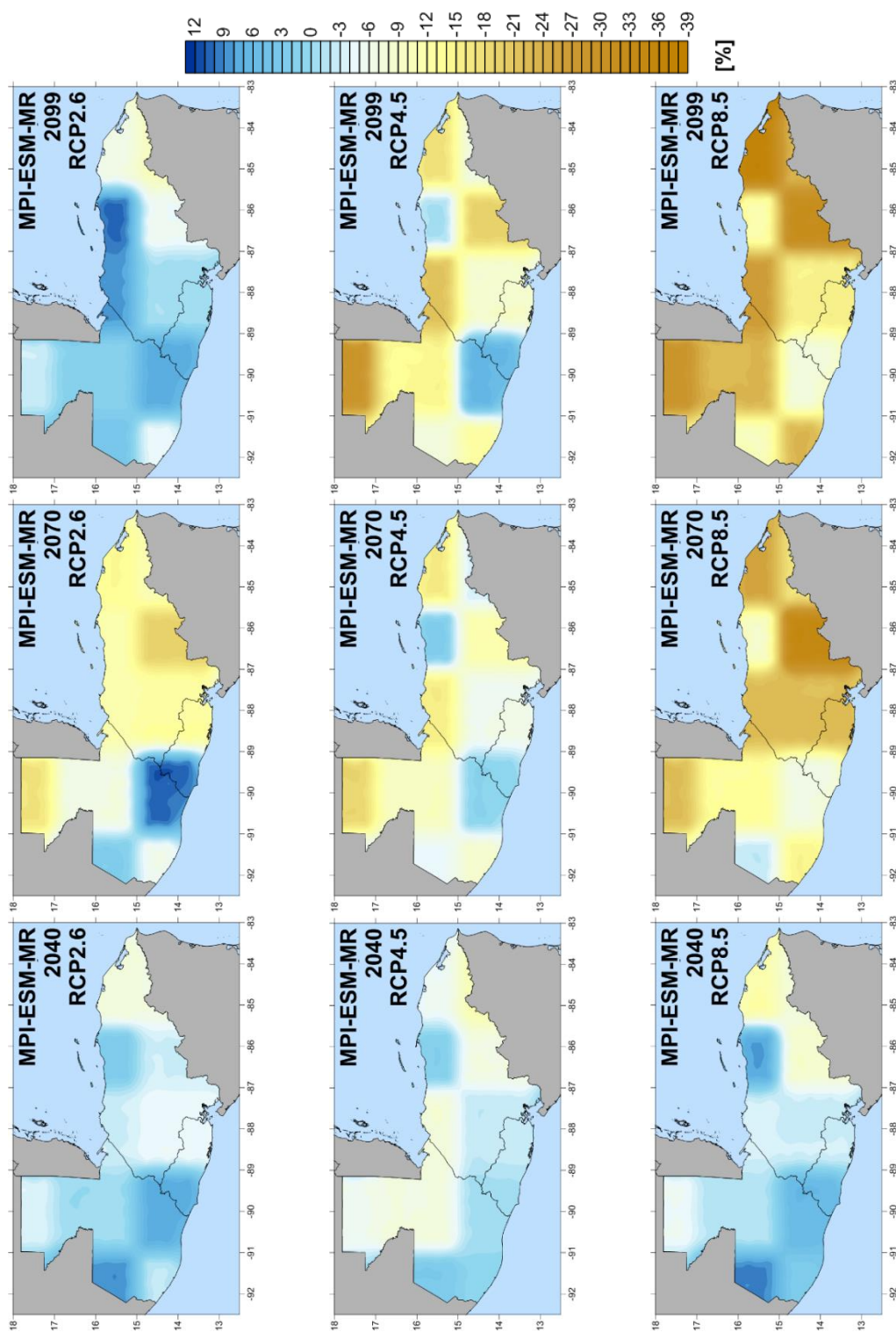


Figura 3-94. Mapas de cambio porcentual en la precipitación diaria según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR.

### 3.6.4.2 Precipitación total anual

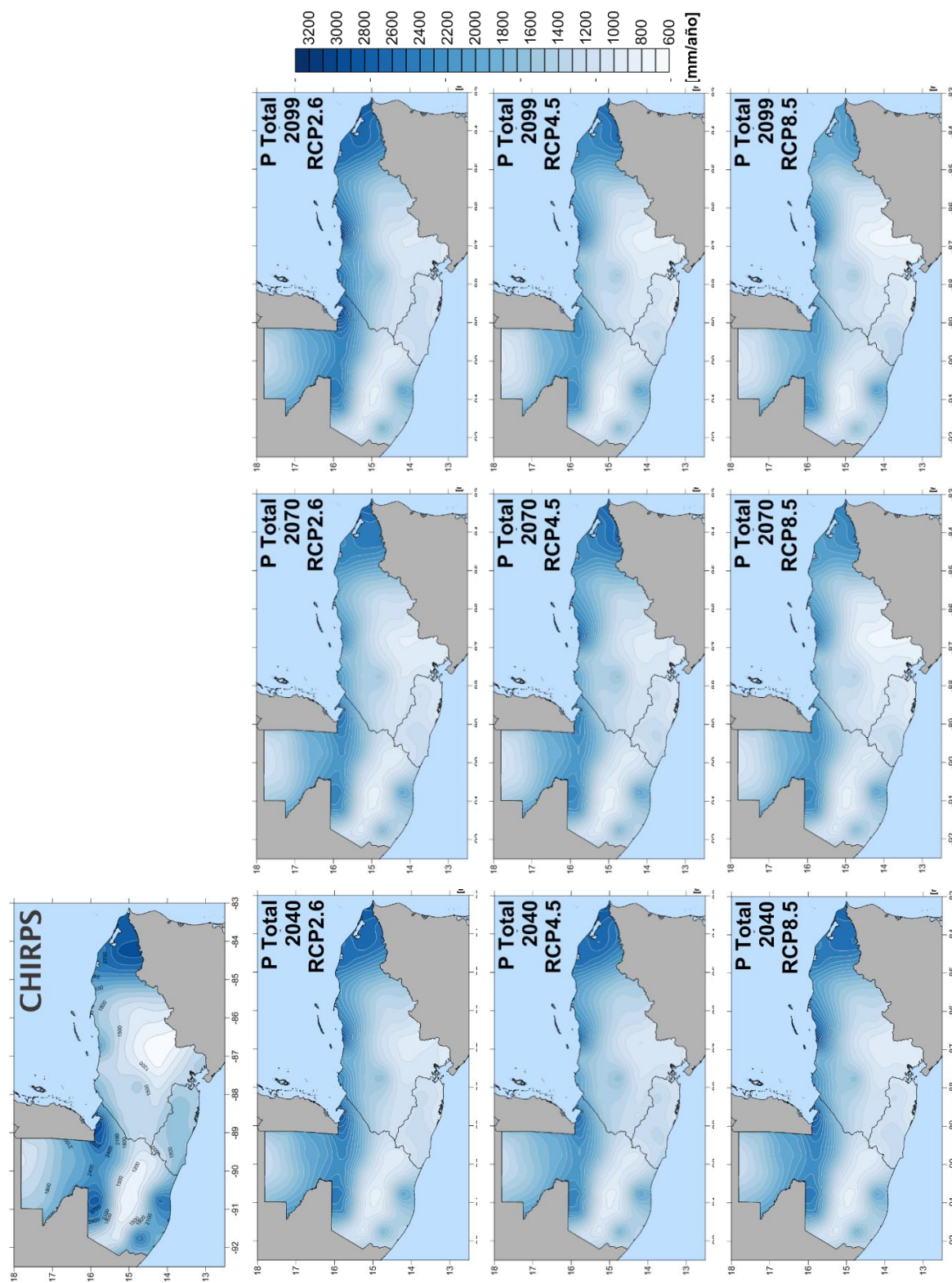


Figura 3-95. Mapas de precipitación total anual histórica y según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR.

### 3.6.4.3 Cambio absoluto en temperatura

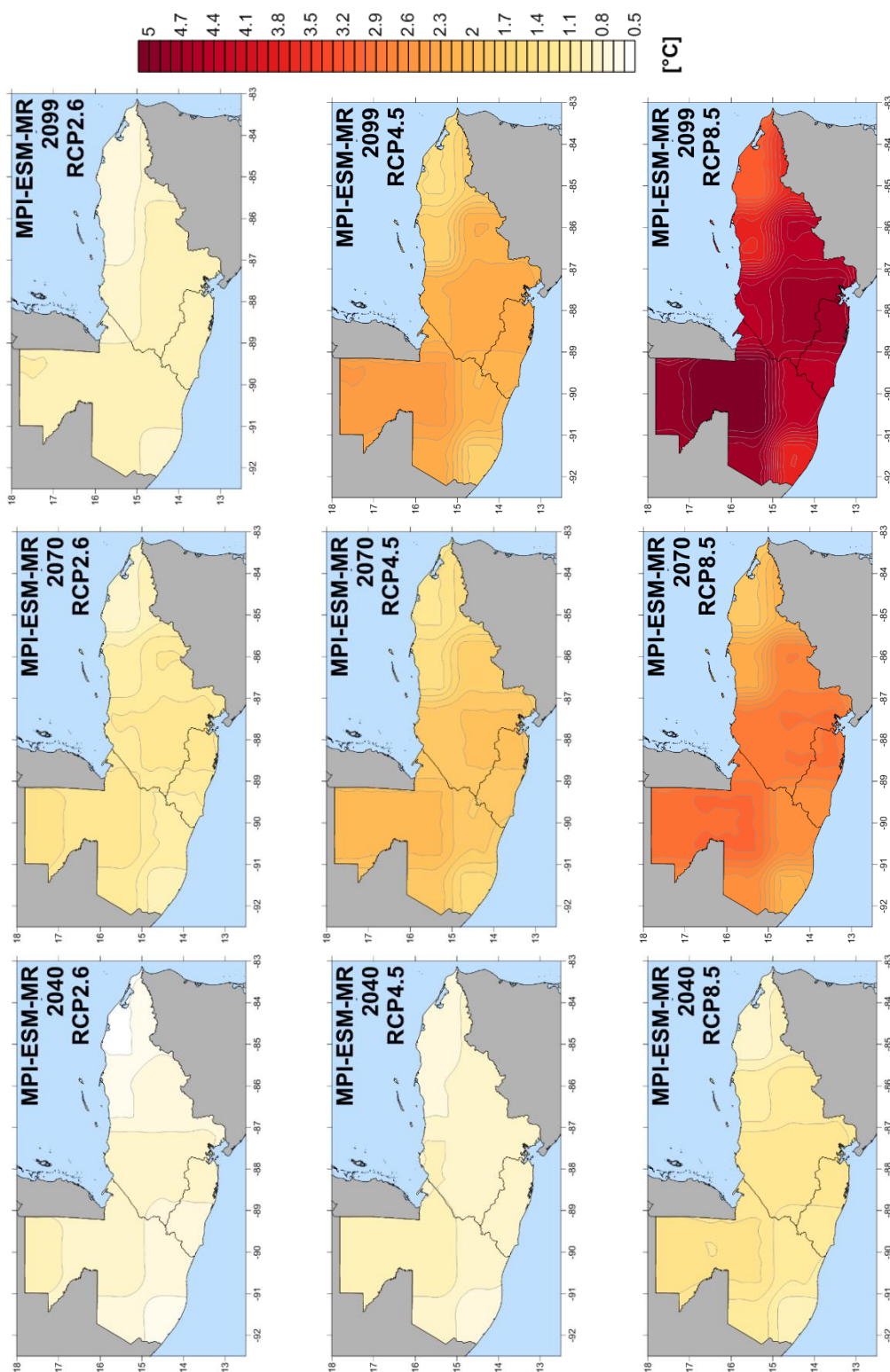


Figura 3-96. Mapas de cambio absoluto en la temperatura según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR



### 3.6.4.4 Temperatura media anual

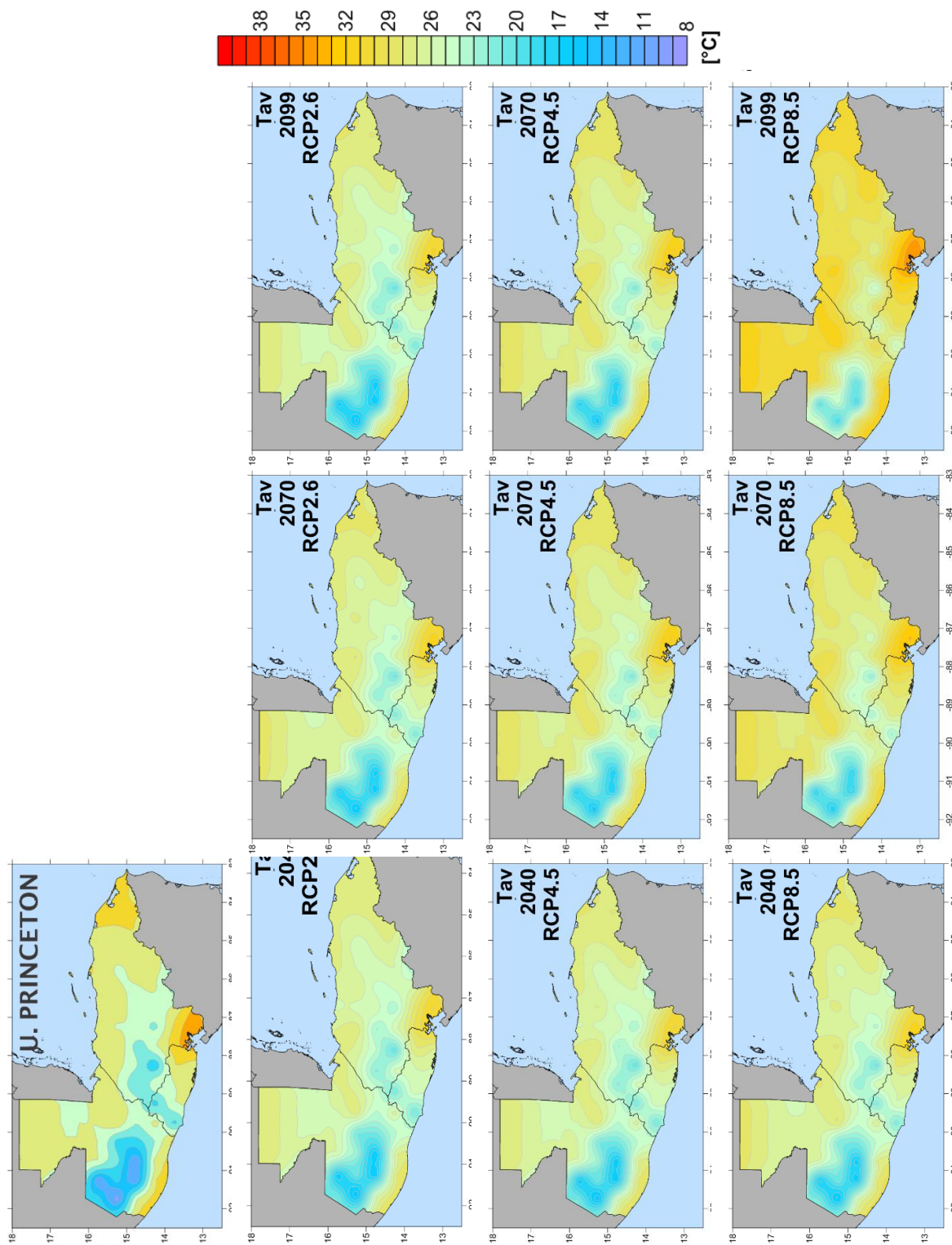


Figura 3-97. Mapas de temperatura media anual histórica y según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR.

### 3.6.4.5 Temperatura máxima anual

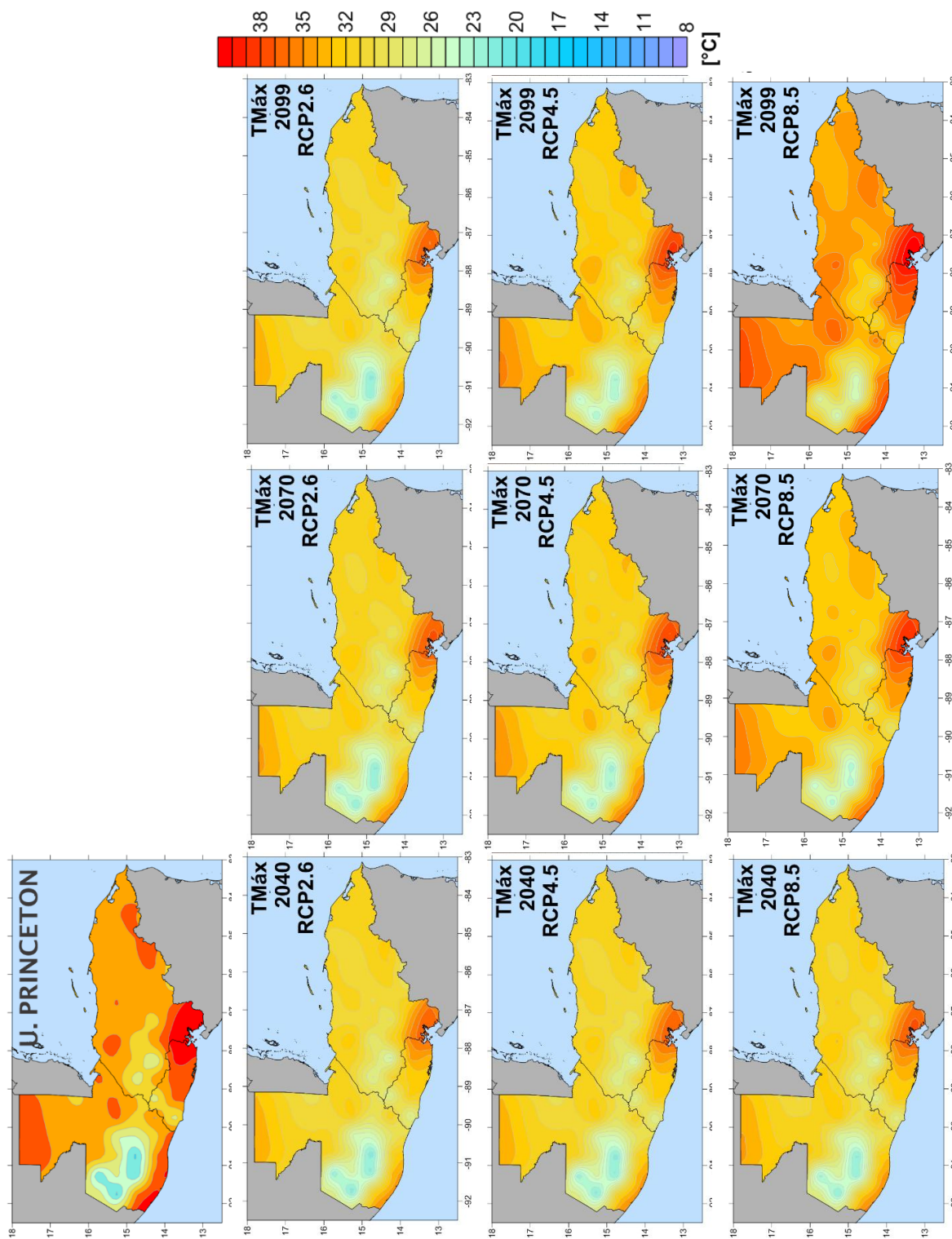


Figura 3-98. Mapas de temperatura máxima anual histórica y según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR.

### 3.6.4.6 Temperatura mínima anual

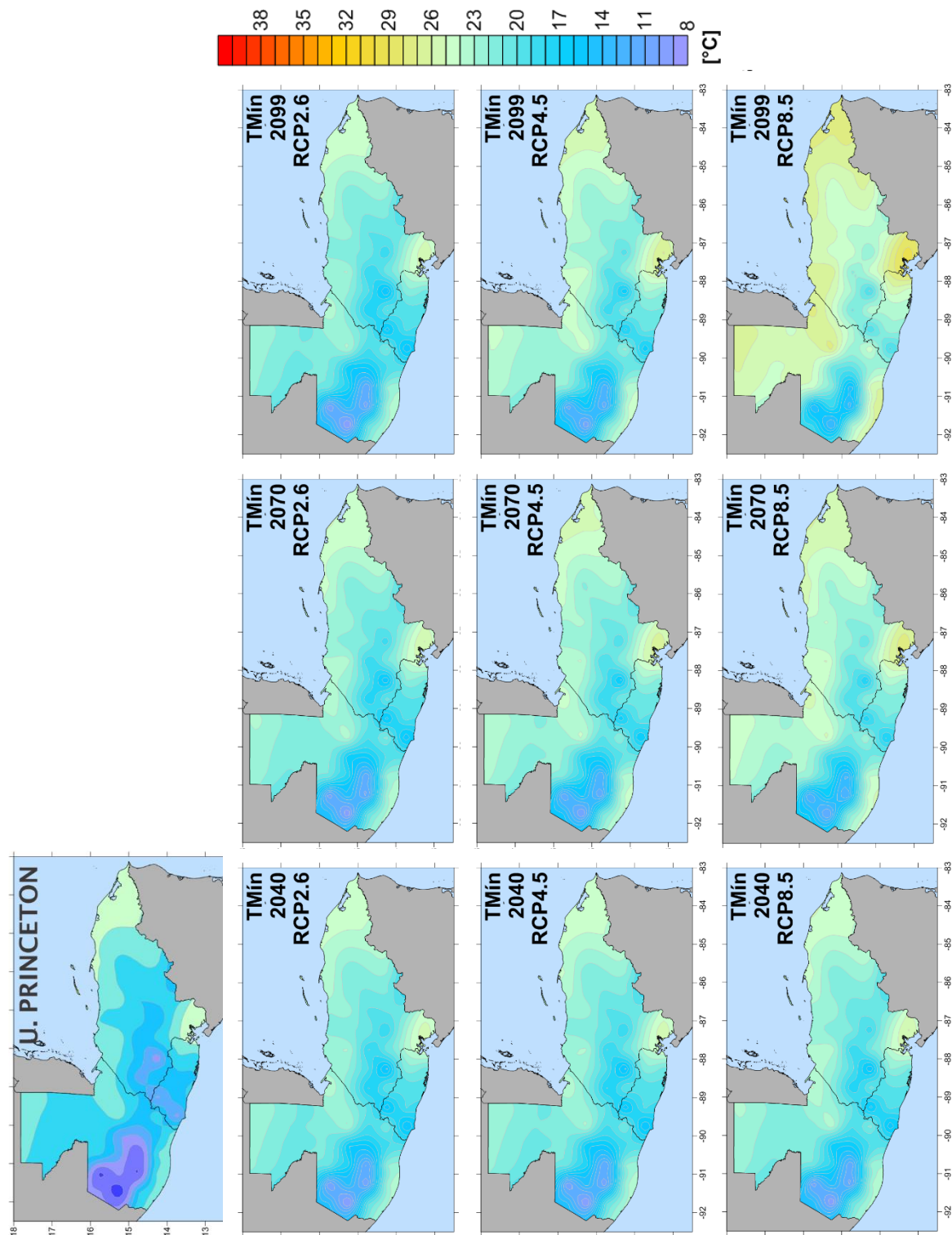


Figura 3-99. Mapas de temperatura mínima anual histórica y según variaciones de cada RCP del modelo de circulación global MPI-ESM-MR.

Según los mapas anteriores, se puede concluir que:

- En cuanto a la variación porcentual de la precipitación, según el modelo MPI-ESM-MR para el territorio del Triángulo del Norte se espera para 2040 incrementos hasta del 10% en la precipitación diaria. Por el contrario, al largo plazo se espera reducciones en la precipitación diaria hasta del 36% en el caso del RCP8.5. En general, la reducción de la precipitación se presenta en mayor medida en Honduras mientras que el aumento de la precipitación se espera en la costa pacífica y al este de Guatemala.
- En cuanto a los cambios en la precipitación total anual, se espera que las precipitaciones más altas se presenten al norte de Honduras y Guatemala (sur del departamento Peten y norte de los departamentos Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Izabal). En todos los casos (combinación de RCP y década), la precipitación total anual tiende a disminuir en el largo plazo y en mayor medida para el RCP8.5. Sin embargo, la distribución de la misma en el Triángulo del Norte se mantiene estable, con menores precipitaciones en el Corredor Seco.
- En cuanto a la variación en la temperatura diaria, según el modelo MPI-ESM-MR para el Triángulo del Norte se espera un aumento generalizado de la temperatura para todos los escenarios considerados. En el largo plazo (predicción 2099) se espera un aumento entre 0.5 y 5°C dependiendo del RCP analizado. El incremento de la temperatura es mayor hacia el norte de Guatemala, al este de El Salvador (departamentos de San Miguel, Morazán y La Unión) y la zona limítrofe con Honduras (departamentos de Intibucá, La Paz, Valle y Choluteca).
- En términos generales, la temperatura media anual se mantiene baja en las zonas de mayor elevación (cordilleras de Guatemala) y más alta en el Golfo de Fonseca. La temperatura media promedio diaria sobrepasa el valor histórico de 25.6°C y alcanza valores superiores a los 43°C para el escenario de RCP8.5 proyectado a la década 2099.
- Los cambios en la amenaza por sequía se asocian a incrementos en la temperatura, que impacta la demanda evaporativa de la atmósfera o evapotranspiración (a mayor temperatura mayor evaporación del suelo y transpiración de las plantas).

En este estudio, la evaluación de la amenaza por sequía se realiza para los escenarios de predicción del modelo de circulación global para el año 2099. Esto se hace considerando que las variaciones en el clima (mayores temperaturas y menores niveles de precipitación) son mayores en el largo plazo, condición que es interesante para el análisis comparativo de riesgo entre condiciones actuales y con efectos de cambio climático. La amenaza por sequía se considera para los diferentes RCP que cuentan con las predicciones del modelo seleccionado (MPI-ESM-MR), para incluir en el análisis de amenaza los escenarios de concentraciones de emisiones (escenarios que se consideran más o menos pesimistas según capacidad de reducción de emisiones) y las variaciones en el clima asociado a estas concentraciones. En conclusión, la amenaza por sequía que incluye cambio climático para el Triángulo del Norte considera las variaciones de clima según predicciones del modelo MPI-ESM-MR en su corrida 1 (Run 1) para los RCP 2.6, 4.5 y 8.5; son 3 escenarios de análisis.

#### **3.6.4.7 Evapotranspiración Potencial media anual**

Una vez se modifica la serie de temperatura media, máxima y mínima diaria según la proyección del cambio de temperatura dada por el modelo de circulación global, se procede a realizar el cálculo de la evapotranspiración de referencia de acuerdo con la metodología explicada en la Sección 0 y el Anexo A. 2. Los resultados para los tres RCP analizados se muestran en la Figura 3-100. Se puede ver un incremento en la evapotranspiración en todos los casos, comparado con el mapa de evapotranspiración potencial que se presenta en la parte superior izquierda de la Figura 3-100. Para el RCP 8.5, que es el escenario que considera que las emisiones no sufren ninguna reducción en el tiempo, la evapotranspiración supera valores de 2000 mm/año que es considerablemente más alto que la precipitación media anual para la misma zona (entre 800 y 1800 mm/año).



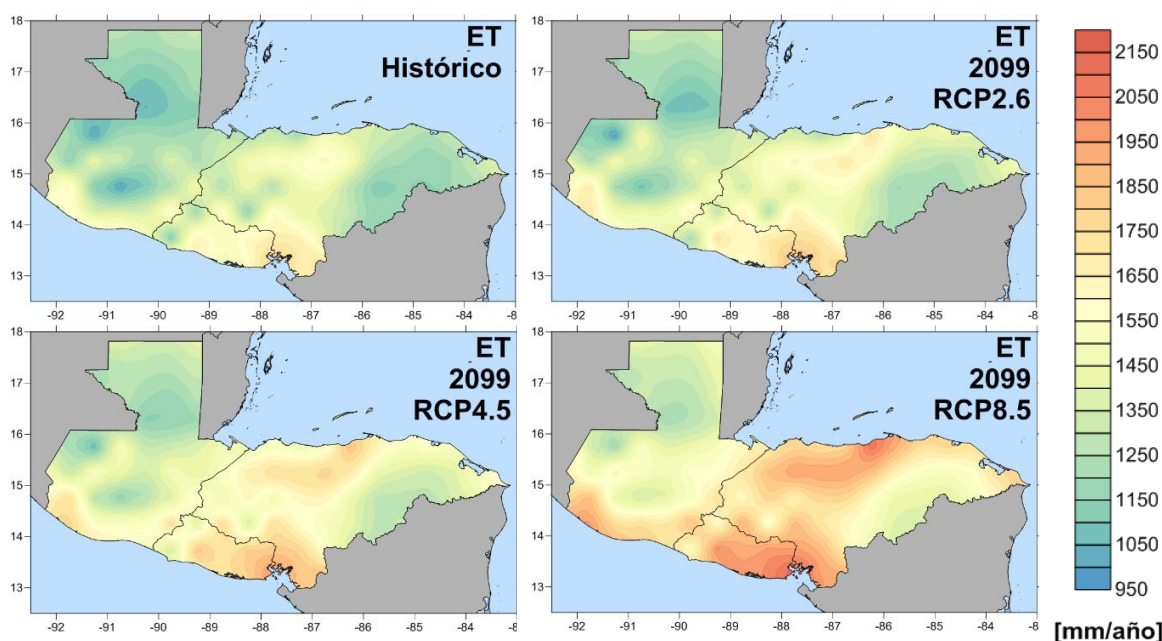


Figura 3-100. Mapas de evapotranspiración de referencia anual según variaciones de cada RCP del modelo MPI-ESM-MR.

### 3.6.5 Amenaza de sequía incluyendo cambio climático

A partir de las simulaciones perturbadas según cada RCP del modelo de circulación global, que equivale a un escenario de emisiones, se hace el cálculo del indicador de sequía para establecer la amenaza ante este fenómeno incluyendo los efectos del cambio climático. Para el caso de la región del Triángulo del Norte, se hace el cálculo del indicador SPEI acumulado de tres meses, para comparar con los valores de la simulación base (es decir, sin perturbaciones por cambio climático). Los resultados del cálculo del indicador de sequía, los escenarios de amenaza y la amenaza integrada, para los escenarios de cambio climático, se muestra a continuación.

#### 3.6.5.1 Cálculo de los indicadores de sequía

El indicador seleccionado para el caso del Triángulo del Norte es el SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), propuesto por Vicente-Serrano et al (2010). Para más información sobre el procedimiento de cálculo ver el Anexo A. 3.2. La ventaja del uso de indicadores de sequía en función de la precipitación y la temperatura (asociado a la evapotranspiración) es que se acomodan fácil a las condiciones normales de la zona de estudio y reconocen las condiciones anómalas (de precipitación y temperatura) que pueden indicar exceso o déficit hídrico. Es decir, el indicador es capaz de reconocer condiciones de sequía (lluvias por debajo de lo normal y temperatura por encima de lo normal) en ambientes tan distintos como la costa o la selva, y su valor estandarizado permite su fácil interpretación.

Ahora bien, al calcular los indicadores de sequía para comparar el efecto del cambio climático en la amenaza, se deben incluir el efecto de la ocurrencia de sequías históricas en la zona y establecer las condiciones normales del sitio para luego evaluar las anomalías bajo escenarios de cambio climático. De esta forma, la amenaza por sequía, modificada según predicciones de modelos de circulación global, se calcula a partir de los parámetros de la distribución log-logística (escala ( $\kappa$ ), forma ( $\lambda$ ) y origen ( $\mu$ )) de la serie simulada base que se ajusta a las condiciones históricas (mantiene el comportamiento estadístico). Entonces, para el caso del cálculo del SPEI para un escenario (RCP) de cambio climático, el SPEI con cambio climático ( $SPEI_{RCP}$ ) se calcula a partir de los parámetros

escala ( $\kappa$ ), forma ( $\lambda$ ) y origen ( $\mu$ ) de la serie simulada base y los valores de precipitación y evapotranspiración para cada RCP.

### 3.6.5.2 Comparación de resultados de sequías según RCP

Una vez calculados los indicadores SPEI para cada uno de los escenarios de cambio climático que incluye el modelo de circulación global seleccionado (RCP2.6, 4.5, 8.5), se procede a definir el número de eventos de sequía regional siguiendo el mismo procedimiento descrito en la sección 3.4.4. El análisis comparativo de los resultados de número de eventos de sequía en 1,000 años de simulaciones, duración de los eventos y mes de inicio de los mismos, para la simulación base y cuatro escenarios (RCP) de cambio climático se presentan a continuación.

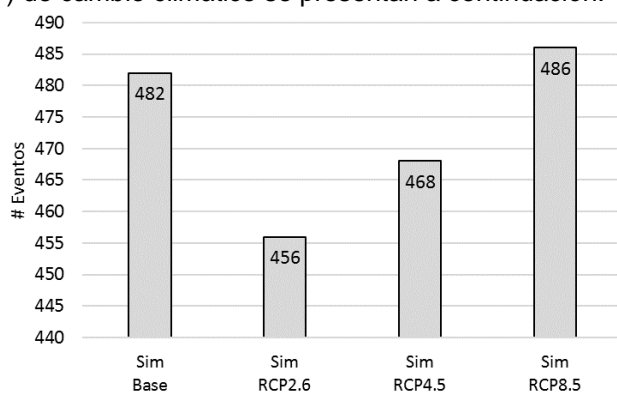


Figura 3-101. Número de eventos de sequía para 1,000 años de simulación para la simulación base y tres escenarios de RCP.

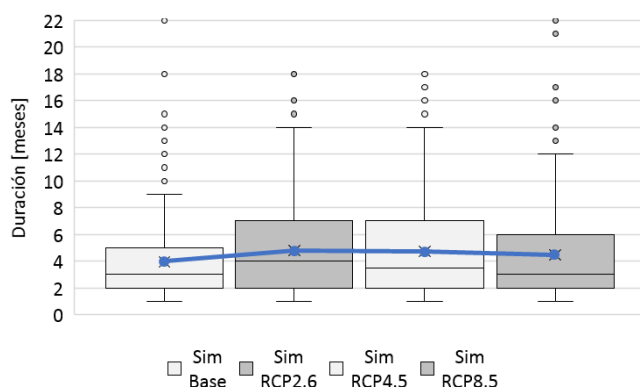


Figura 3-102. Diagramas de cajas para la serie de duración de las sequías [en meses] para la simulación base y tres escenarios de RCP.

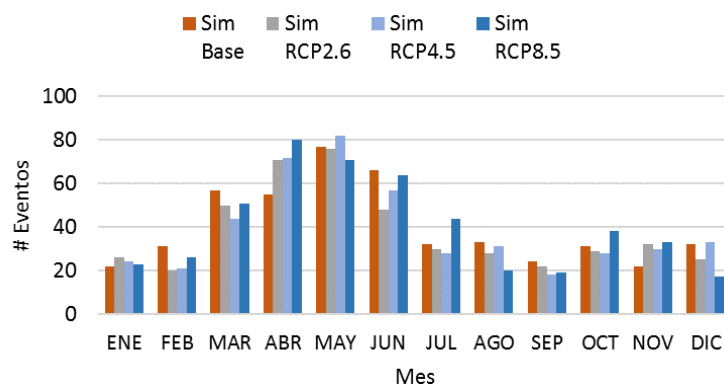


Figura 3-103. Histograma de meses de inicio de las sequias para la simulación base y tres escenarios de RCP.

Como se puede ver en la Figura 3-101, el número de eventos de sequía incrementa levemente con mayores concentraciones de gases efecto invernadero en la atmosfera (o mayor RCP), pasando de 482 eventos en la simulación base a 486 eventos en la simulación con las modificaciones del RCP 8.5, el más fuerte. En el caso del RCP 2.6 se presenta un menor número de sequías (456 eventos) que en la simulación base, dado que para este RCP se pronostican mayores lluvias en el territorio del Triángulo del Norte (ver mapas de la Figura 3-94). En cuanto a la duración, la Figura 3-102 muestra el diagrama de cajas y bigotes para la serie base y cada una de las series perturbadas según las predicciones por RCP. Esta gráfica permite ver que las sequías simuladas no mantienen una dispersión constante entre escenarios (tamaño de la caja que representa los percentiles 25 – límite inferior- y 75 – límite superior), la media tiene una tendencia levemente ascendente (línea azul) que indica que con mayor RCP se esperan sequías más largas (pasando de 4 a 5 meses en promedio). En todos los casos se presentan puntos por fuera de las cajas, que representan valores extremos con duraciones superiores a 14 meses, que por ser pocos representan eventos extremos de muy baja frecuencia. Finalmente, en cuanto al mes de inicio de las sequías, la Figura 10-20 muestra que en términos generales se mantiene el comportamiento de la ocurrencia de sequías, con mayor número de eventos hacia los meses de marzo a junio. Por ejemplo, en el mes de abril se presentan más sequías en los escenarios con cambio climático que para la simulación base lo que puede indicar que se pueden presentar sequías más temprano en el año que lo que se está acostumbrado. Este efecto se puede asociar a variaciones temporales en la ocurrencia de las estaciones, como por ejemplo condiciones de verano que inicien más temprano en el año.

En conclusión, al integrar los efectos del cambio climático en la estimación de la amenaza por sequía en el Triángulo del Norte, se puede decir que:

- Se espera un leve incremento en el número de eventos de sequías en el largo plazo si no se mitigan las causas del cambio climático, es decir, pueden ocurrir sequías (de diferente intensidad, severidad y duración) con mayor frecuencia.
- Se espera un incremento en la media de las duraciones de los eventos, para escenarios con mayores RCP.
- Se esperan sequías con mayor frecuencia en temporada de verano, pero con una tendencia a que las sequías inicien hacia el mes de abril y no en mayo como lo muestra la simulación base (que mantiene el comportamiento medio del clima histórico). Esto puede tener un efecto directo en el calendario de siembra y cosecha de cultivos.

### 3.6.5.3 Efectos de los niveles de RCP en un evento de sequía

Los efectos de las diferentes predicciones del modelo de circulación global para la precipitación y temperatura esperada para las próximas décadas se pueden ver en la definición de las sequías simuladas. La Figura 3-104 muestra el ejemplo para un evento simulado de sequía (que se presenta entre los años 24 y 26 según el orden definido por los modeladores) en el Punto 71 de la malla de análisis del Triángulo del Norte (ubicado en Honduras). La línea sólida negra representa la sequía en condiciones de clima simulado base y las líneas punteadas y de colores representan el efecto en el indicador SPEI de los RCP 2.6, 4.5 y 8.5 del modelo MPI-ESM-MR para la ubicación mencionada. Este ejemplo permite entender el efecto del cambio climático en las sequías. Por ejemplo, entre el mes de mayo y septiembre del año 24 se presenta una sequía en la simulación base. Para los escenarios de RCP esta misma sequía tiene mayor duración, aunque se alcanzan valores de severidad muy parecidos (del orden de 1.24). Por el contrario, para la segunda sequía que se presenta entre los años 24 y 26, la simulación base y los tres escenarios de RCP tienen un comportamiento similar, por lo que se espera que en términos de duración, severidad máxima e intensidad no sean muy diferentes. Esto indica que el efecto del cambio climático en la sequía puede ser identificado como variaciones en la fecha de inicio del evento, en su duración, en su gravedad o incluso bajo condiciones actuales se pueden presentar sequías muy severas. Los números en la gráfica representan el valor de SPEI alcanzado con la simulación base del indicador.

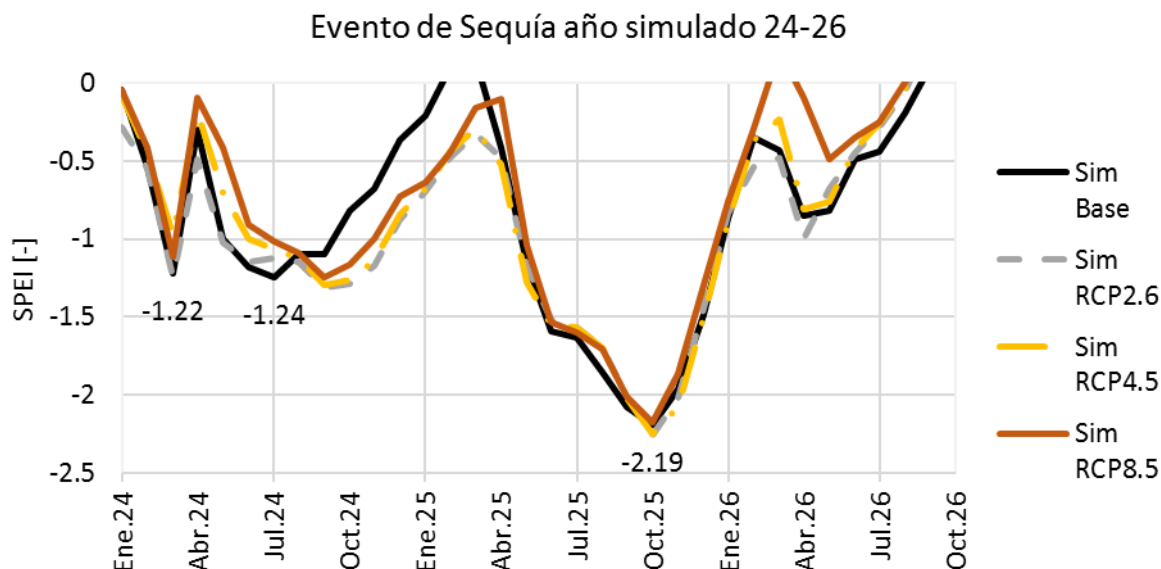


Figura 3-104. Valores del indicador SPEI para evento simulado de sequía, para simulación de clima base y modificada según RCP para el Punto 71 de la malla de análisis.

La Tabla 3-8 muestra el resumen de las dos sequías que se pueden identificar en la figura anterior. Se puede ver que para la primera sequía hay variaciones en la duración de lo evento (entre 4 y 7 meses), la intensidad de la sequía es mayor para el evento de mayor duración que corresponde al escenario RCP2.6. Para la segunda sequía, se presenta un evento de 8 meses de duración para todos los escenarios analizados, con leves variaciones en la intensidad. Este mismo análisis se hace para todos los eventos identificados en las series de 1000 años equivalentes simulados.

Tabla 3-8. Predicciones del cambio en precipitación del modelo MPI-ESM-MR para Punto 71 de la malla de análisis para el Triángulo del Norte

Serie	Sequía Abr.24 a Feb. 25			Sequía Abr.25 a Abr. 26		
	Duración [mes]	Severidad [-]	Intensidad [SPEI/mes]	Duración [mes]	Severidad [-]	Intensidad [SPEI/mes]
Sim Base	4	-4.62	-1.15	8	-13.96	-1.75
Sim RCP2.6	7	-8.21	-1.17	8	-13.69	-1.71
Sim RCP4.5	6	-6.89	-1.15	8	-13.94	-1.74
Sim RCP8.5	4	-4.52	-1.13	8	-13.22	-1.65

### 3.6.6 Mapas de amenaza integrada incluyendo cambio climático

El análisis previo se puede hacer para cada uno de los eventos de sequía y cada uno de los puntos de análisis de la malla que se definió en las etapas preliminares. Sin embargo, se prefiere el uso de mapas como herramienta de comunicación de resultados. A continuación, se presentan los mapas de amenaza integrada que incluyen los efectos de las predicciones del modelo de circulación global MPI-ESM-MR para la región del Triángulo del Norte, para los tres RCP para la predicción en 2099.

En cuanto a la severidad, para periodos de retorno de 10 años se tienen valores máximos cercanos a 7 mientras que para 100 años de periodo de retorno el valor máximo de severidad se incrementa a 20, que se presenta de forma consistente en el sur de Honduras. Es interesante notar que para los

tres escenarios de RCP las diferencias en severidad son muy pocas, lo que indica que en términos generales la gravedad de las sequías en el largo plazo se podría considerar independiente del escenario de cambio climático. Aquí vale la pena recordar que se presentan pocas diferencias entre el número de eventos de sequía identificados para series con y sin incluir los efectos de variabilidad en el clima. Al comparar los mapas de severidad obtenidos con la serie simulada que no incluye el cambio climático, se puede ver un leve incremento en la severidad para los periodos de retorno de 10 y 50 años, mientras que para 100 años de periodo de retorno los valores máximos para la serie simulada son cercanos a 16 mientras que la serie con cambio climático alcanza valores de 20. Esto indica que los eventos de sequía poco frecuentes pueden incrementar su gravedad, asociados con disminuciones en precipitación y aumento de temperatura.

Como se ha mencionado, es importante analizar los resultados de amenaza de sequía por severidad en conjunto con los mapas de periodo de retorno de duración. Como se puede ver en los mapas (Figura 3-107) de 10, 50 y 100 años de periodo de retorno, a mayor RCP se esperan duraciones más altas de los eventos, superando 12 meses en el escenario de RCP8.5 en la zona sureste de Honduras, consistente con la región que sufre la mayor severidad de las sequías. Al comparar con los mapas de duración obtenidos con la serie sin incluir el efecto del cambio climático, se puede ver que en todos los casos las duraciones aumentan, en un mes promedio para el periodo de retorno de 10 años y hasta 2 meses para el periodo de retorno de 100 años. Con esto se puede apreciar que el efecto de los cambios en precipitación y temperatura inducidos por el cambio climático, podrán generar sequías considerablemente más largas; factores que se deben considerar al diseñar planes de contingencia y adaptación.

En cuanto a la intensidad, los mapas que se presentan a continuación (Figura 3-109) muestran que las regiones dentro del territorio del Triángulo del Norte que presentan eventos de sequía más intensos se ubican hacia el sur de Guatemala, en una gran extensión de El Salvador y en el sur de Honduras. La intensidad es la relación entre la severidad y la duración de las sequías (que es lo mismo que la división entre nivel acumulado del indicador de sequía por debajo del umbral definido para el análisis y el número de meses en que el indicador estuvo bajo el umbral). El rango de intensidad de la sequía para el Triángulo del Norte se ubica entre 0 y 2.5 (las unidades son 1/mes o  $\text{mes}^{-1}$ ). Si se califican las sequías siguiendo la Tabla 3-1, las sequías para periodos de retorno de 10 años se consideran moderadas (valores entre -1 y -1.5) y para 50 años de periodo de retorno se consideran severas (con intensidades hasta de 1.8/mes para el RCP8.5 de 50 años de periodo de retorno). Al comparar con los mapas de intensidad obtenidos con la serie sin incluir el efecto del cambio climático, se puede ver que los valores de intensidad tienden a ser menores para los escenarios que incluyen cambio climático que para la simulación base. Esto es consecuencia de tener valores constantes de severidad, pero de mayor duración para diferentes periodos de retorno, como se explicó anteriormente. Las zonas de mayor intensidad de las sequías son consistentes con la zona denominada Corredor Seco, en el sur de Guatemala, El Salvador y el sur de Honduras.

Según los resultados obtenidos, se puede concluir que las predicciones del modelo de circulación global MPI-ESM-MR derivan en sequías de mayor duración y similar severidad para un leve incremento de eventos de sequía. Sin embargo, es importante anotar que incluso sin los efectos del cambio climático, la evaluación de amenaza por sequía indica que se pueden presentar eventos de una alta gravedad que tiene impactos directos en el sector de la agricultura.

Los mapas de la primera fila son el resultado de la evaluación de la amenaza por sequía para las condiciones actuales que no incluyen los efectos de las predicciones en cambios de precipitación y temperatura del modelo de circulación global. Se incluyen estos a modo de comparación con respecto a los mapas de proyecciones según el modelo de circulación global.

### 3.6.6.1 Severidad

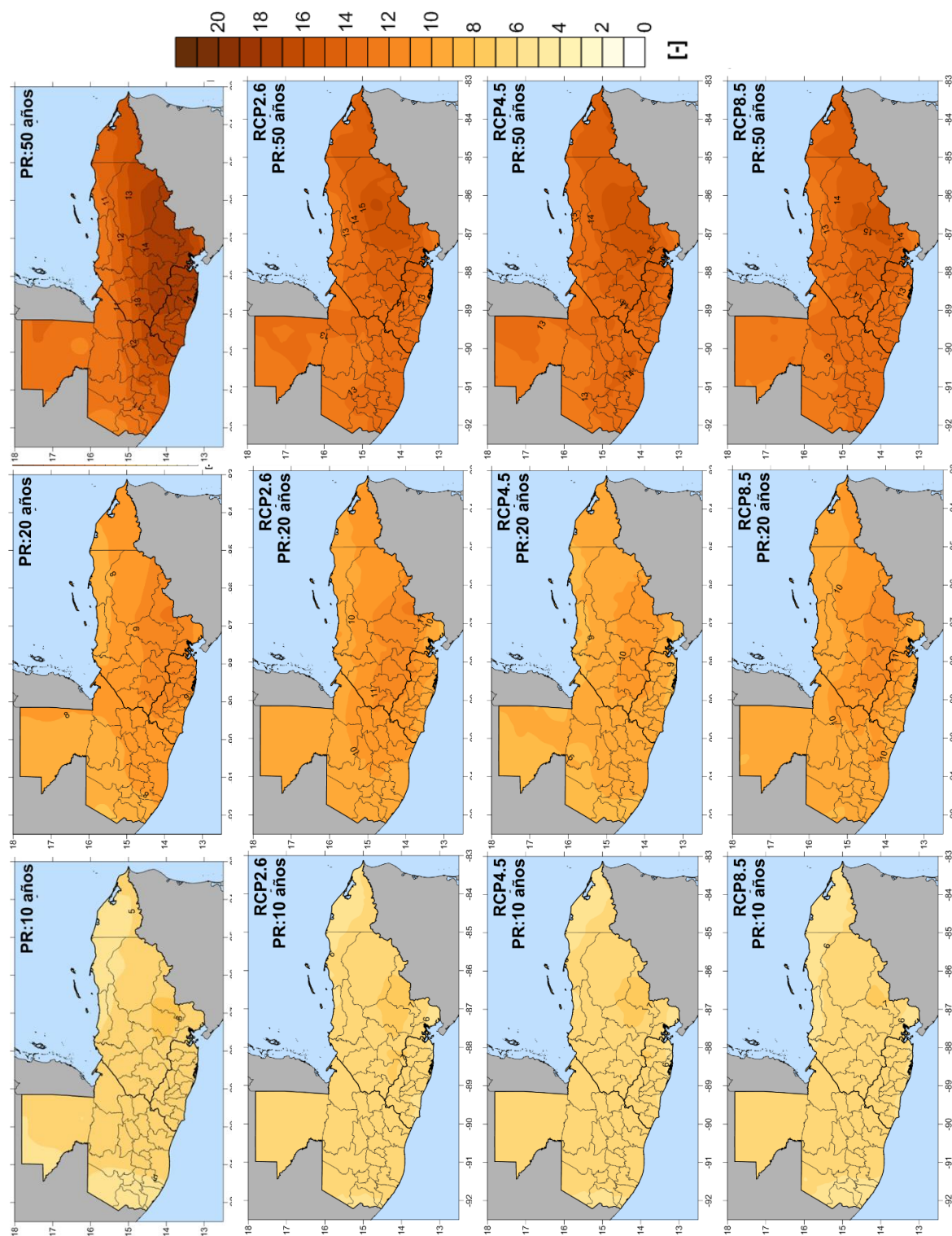


Figura 3-105. Mapas de severidad de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 10, 20 y 50 años de periodo de retorno.



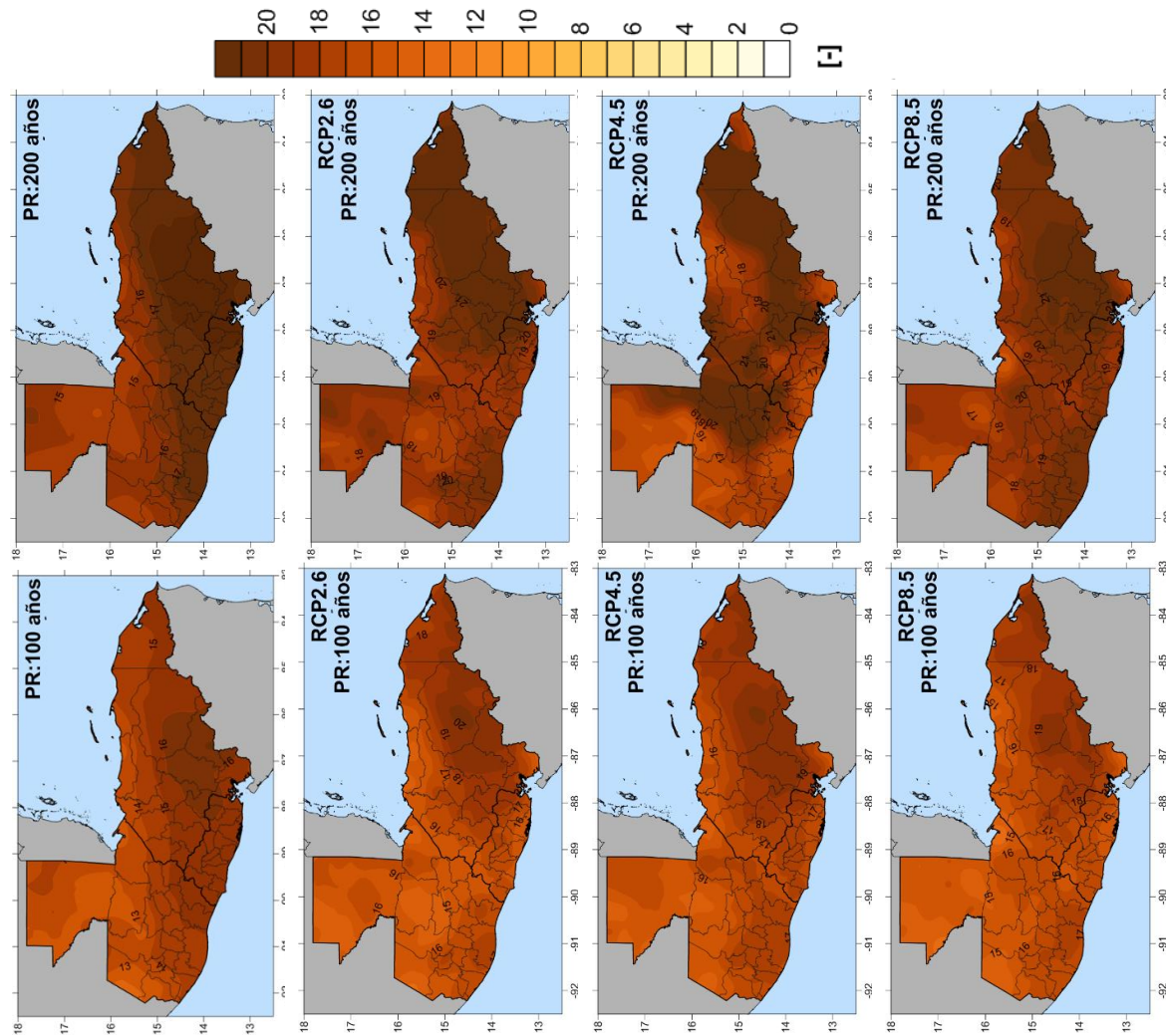


Figura 3-106. Mapas de severidad de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 100 y 200 años de periodo de retorno.

### 3.6.6.2 Duración

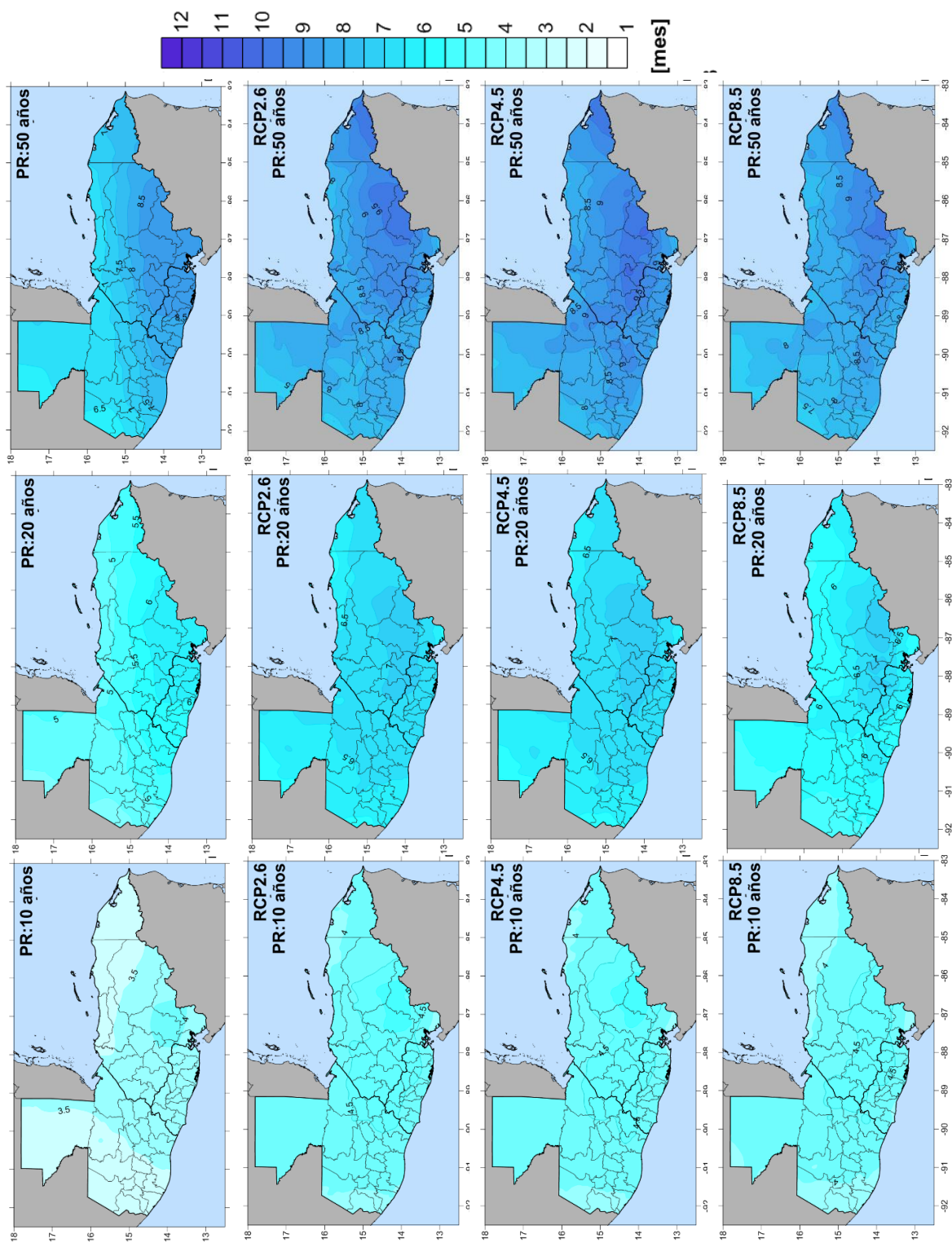


Figura 3-107. Mapas de duración de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 10, 20 y 50 años de periodo de retorno.



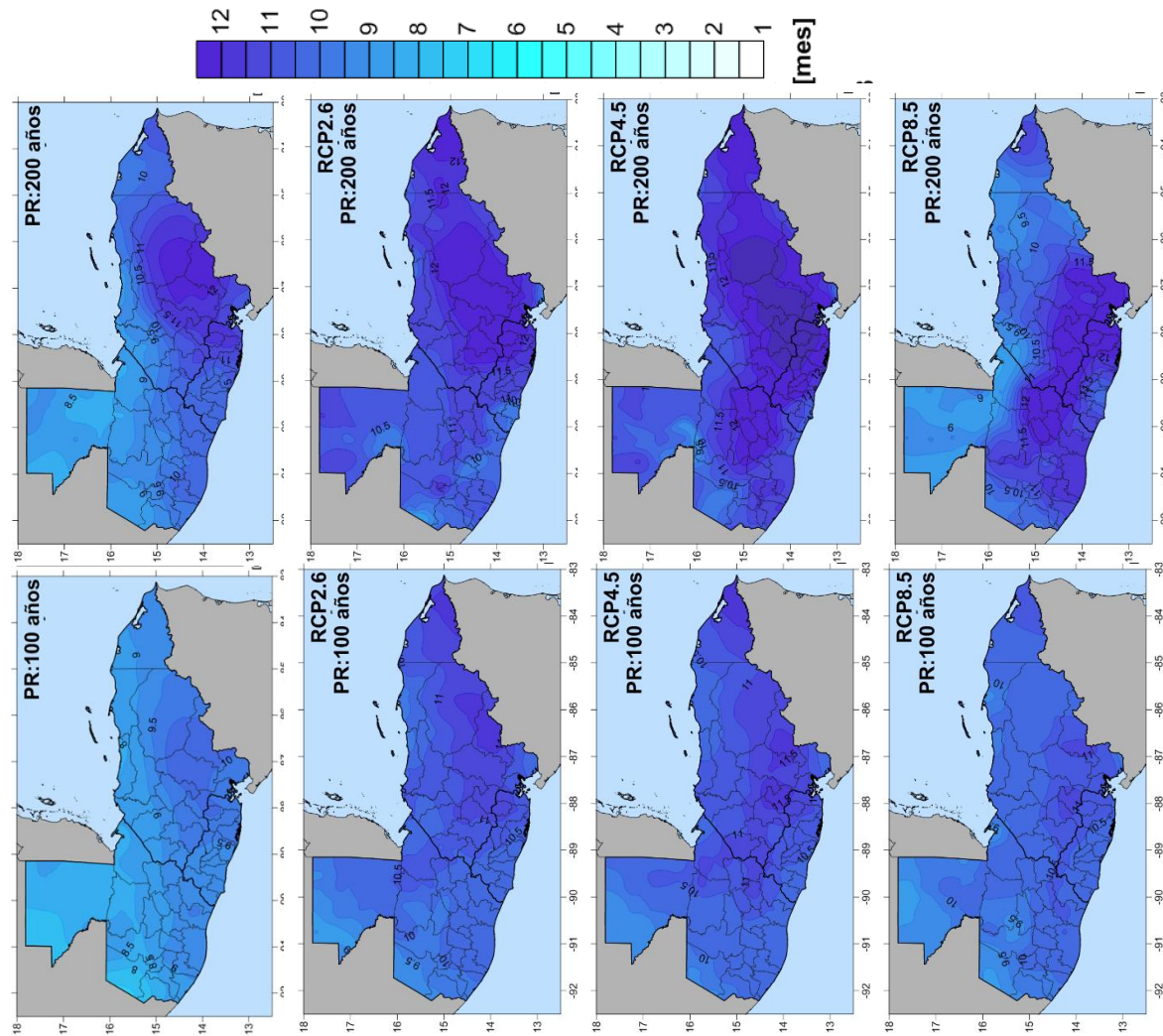


Figura 3-108. Mapas de duración de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 100 y 200 años de periodo de retorno.

### 3.6.6.3 Intensidad

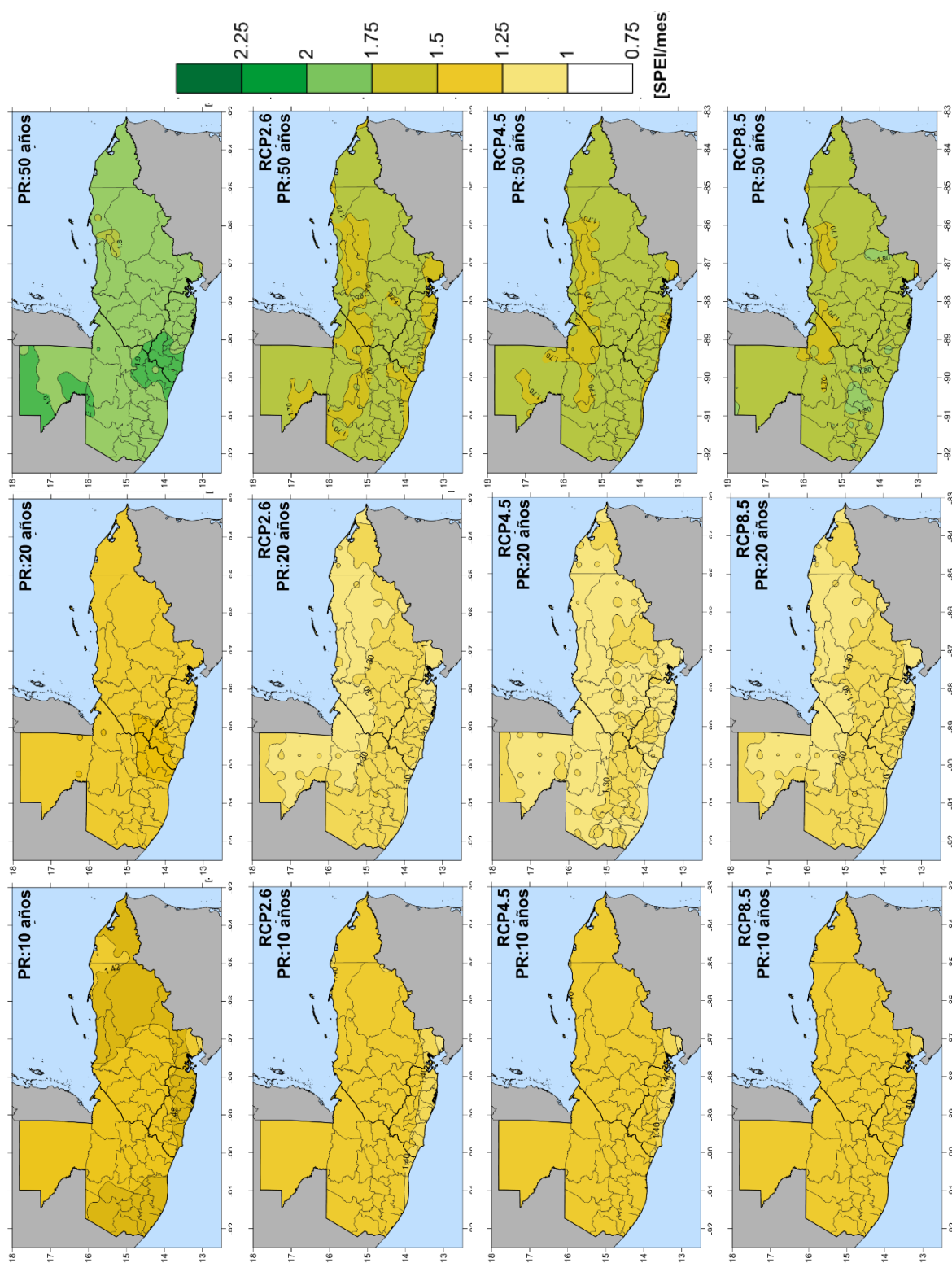


Figura 3-109. Mapas de intensidad de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 10, 20 y 50 años de periodo de retorno.

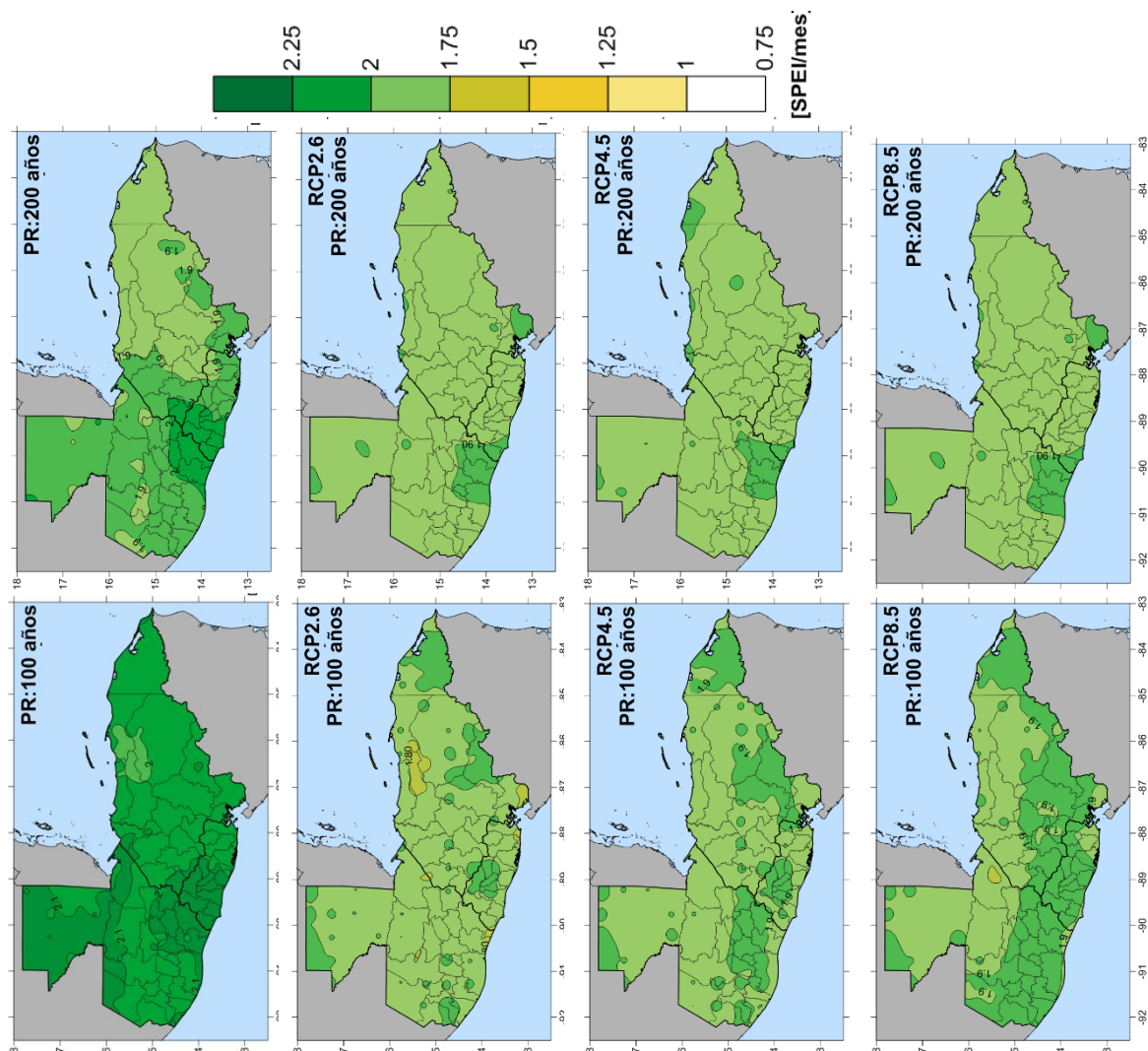


Figura 3-110. Mapas de intensidad de sequía para simulación base y RCP2.5, 4.5 y 8.5 para 100 y 200 años de periodo de retorno.

### 3.6.7 Curvas de amenaza

Como se presenta en la Sección 3.5.3, las curvas de amenaza representan la variación de la tasa de excedencia del indicador de sequía SPEI (en valores absolutos). Se presentan las curvas de tasas de excedencia estimadas para la información histórica (curva empírica) y las calculadas a partir de las sequías identificadas en las series climáticas simuladas (base y para los cuatro RCP analizados). Dado que la estimación histórica tiene incertidumbre, se presenta la correspondiente banda de incertidumbre (+/- una desviación estándar). El efecto del cambio climático se puede apreciar para valores de SPEI altos, mayores a 2, en los cuales las curvas que incluyen cambio climático se ubican por debajo de la simulación base. Esto implica que un mismo valor de SPEI se alcanza con una tasa de excedencia menor (que es lo mismo que un mayor periodo de retorno). Es decir, eventos de mayor intensidad se presenta con menor frecuencia. Hay que recordar que en la sección anterior se concluyó que los eventos en esta región pueden tener una mayor duración, lo que implica periodos más largos con déficit hídrico, incluso en alcanzar valores de SPEI tan altos. La Figura 3-111 muestra las curvas de amenaza calculadas para el punto 71 de la malla de análisis para el Triángulo del Norte, e incluye las curvas para cada RCP evaluado.

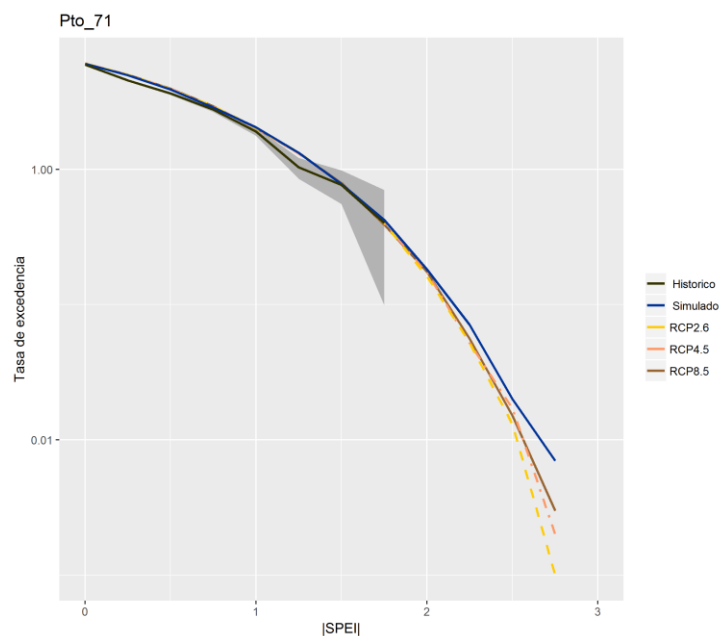


Figura 3-111. Curvas de amenaza incluyendo cambio climático para el Punto 71 de la malla de análisis del Triángulo del Norte.

La evaluación de amenaza por sequía para el Triángulo del Norte permite concluir que la duración de eventos de sequía puede incrementarse en las próximas décadas, derivado de aumentos en la temperatura global y disminución en las precipitaciones en el largo plazo. Ahora bien, hay que resaltar que aún bajo las condiciones actuales de clima se pueden presentar eventos de sequía de alta gravedad, que derivan en pérdidas para el sector agropecuario de Guatemala, El Salvador y Honduras. El cambio climático puede incrementar la gravedad y duración de estos eventos, que ya de por sí generan muchas pérdidas. Entonces, los resultados de la evaluación de la amenaza que aquí se presentan son una herramienta de gran utilidad para la planeación del territorio y el diseño de políticas que busquen reducir la vulnerabilidad de los sectores que se pueden ver perjudicados por desastres asociados con déficit hídrico.

## 4 EXPOSICIÓN DE CULTIVOS

Un elemento expuesto es cualquier objeto, geográficamente referenciado, que es susceptible de ser afectado por la ocurrencia de un fenómeno amenazante. En la metodología propuesta, los elementos expuestos son cultivos situados en el área donde se estima el riesgo de sequía. En esta sección se presenta la metodología para la conformación de la base de datos de elementos expuestos para El Salvador, Guatemala y Honduras a partir de información suministrada por gobiernos locales.

Para cada elemento expuesto o unidad de tierra cultivada en la región de análisis, es necesario conocer las características del cultivo que típicamente se siembra en esa ubicación. La información que se debe conocer incluye el tipo de cultivo, su estacionalidad y área sembrada. También se debe contar con información de rendimientos típicos (peso del producto producido por unidad de área). En la medida de lo posible, esta información debe ser obtenida de fuentes oficiales.

Según datos del Banco Mundial (World Bank, 2018), en el 2016 el sector agrícola tuvo una participación del 11% del Producto Interno Bruto (PIB) en El Salvador y Guatemala, y del 13.5% del PIB en Honduras. La Tabla 4-1 muestra los porcentajes de área de tierra destinado a actividades agrícolas, según los mapas de uso de suelo, en los que se puede ver la importancia del sector en El Salvador y Guatemala, con porcentajes de más del 40% del territorio dedicados a la agricultura. En el caso de Honduras, aunque la fracción del área del país dedicado a la agricultura no supera el 15%, tiene un área extensa de bosque que puede ser susceptible a cambio de uso y ser destinado a cultivos.

Tabla 4-1. Porcentaje de uso de suelo asociado a actividades agrícolas por país según mapas de cobertura 2010. (Fuente: Consorcio CATHALAC-SIMEPAR. 2011)

País	Superficie territorio [km <sup>2</sup> ]	Áreas agrícolas heterogéneas [%]	Cultivos anuales [%]	Cultivos permanentes [%]	Total actividades agrícolas [%]
El Salvador	20,551	30.95	15.65	14.26	60.86
Guatemala	108,257	17.16	11.06	13.07	41.29
Honduras	111,530	9.17	2.15	2.93	14.25

En los tres países la producción de granos básicos (maíz, frijol y arroz) es importante, ya que los cultivos se encuentran en toda la extensión del territorio y representan los productos de la dieta básica de la población. Por otro lado, los tres países tienen en común una importante producción de café, principalmente para la exportación; así mismo, un creciente cultivo de caña de azúcar de producción industrializada, y la exportación en menor escala de frutas. También existen casos específicos en cada país, como la producción de cardamomo en Guatemala (es el mayor productor de este producto a nivel mundial), y la producción de palma aceitera en Guatemala y Honduras. En cuanto al terreno usado para los cultivos, el café en los tres países se cultiva en todas las zonas montañosas y de altura, las plantaciones de caña de azúcar son más industrializadas y se encuentran en planicies cercanas a la costa, y la palma aceitera se encuentra en planicies de valles fértiles. Estas características de producción por país se consideran en la conformación de la base de elementos expuestos de cultivos para luego calcular riesgo por sequía.

### 4.1 Metodología para determinar la exposición de cultivos

A continuación, se presenta la metodología aplicada en este proyecto para identificar los cultivos más importantes por país y su ubicación geográfica. Como resultado se obtiene la localización georreferenciada de los cultivos, con sus característica o atributos asociados en donde se definen

las propiedades del tipo de cultivo, tipo de siembra, estacionalidad, valor económico de los cultivos, entre otros.

#### **4.1.1 Información base**

La información detallada de localización y caracterización de los cultivos es requerida para modelar la vulnerabilidad de los elementos expuestos; no obstante, esta información por lo general es difícil de obtener. Por tal razón, para recopilarla se consultaron fuentes oficiales para desarrollar un proxy con la información pertinente para cada país.

La información utilizada proviene de diversas fuentes, las más destacadas y en las cuales se basó la determinación la exposición de cultivos para los tres países son:

- Los estudios de Zonas de Medios de Vida (ZMV), los cuales brindan un contexto condiciones prevalentes, y qué tipos de cultivos son los más representativos.
- Las estadísticas nacionales de FAO, las Encuestas Nacionales Agropecuarias de Guatemala de los años 2013, 2014, 2015, y la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 de Honduras, IV Censo Agropecuario 2007-2008 de El Salvador, y el Censo Agropecuario de 1993 de Honduras, los cuales proporcionan información pertinente de área sembrada, producción y rendimiento, ya sea por municipio o departamento para los cultivos más importantes para cada país.
- Los mapas de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra República de Guatemala (2010), Uso de Suelo de la República de El Salvador (2010) y el Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra República de Honduras (2012-2013).

Para un mayor nivel de detalle de las fuentes anteriormente mencionadas, ver el Anexo A. 9.

#### **4.1.2 Definición de la unidad de análisis**

La resolución espacial de la información de entrada es diferente para los tres países porque las fuentes son diversas. Por esta razón fue necesario definir una resolución espacial consistente en todo el territorio. El objetivo es definir una unidad de análisis que fuera lo suficientemente detallada para no perder la resolución del módulo de amenaza, pero tampoco demasiado detallada que genere excesos computacionales en el momento de calcular riesgo.

La geometría de los cultivos estaba compuesta por polígonos de tamaños muy distintos. En este caso tomar como referencia el polígono de menor tamaño como la unidad base resultaba en un gran número de unidades que hacen el cálculo impráctico (en términos de demanda computacional). De otro lado, tomar como referencia áreas demasiado grandes pueden desconocer diferencias espaciales en las variables meteorológicas de la amenaza. Entonces, se decidió crear una malla que cubriera los tres países, cuya unidad de análisis corresponde a un píxel de 5 km por 5 km.

Los polígonos que representaban los diferentes cultivos en la información de entrada fueron redistribuidos en la malla con resolución de 5 km por 5 km que se presenta en la Figura 4-1. En este mapa se ven las áreas definidas como cultivos (áreas de color verde), según la definición del uso de la tierra de cada país, y las líneas de la malla de análisis.



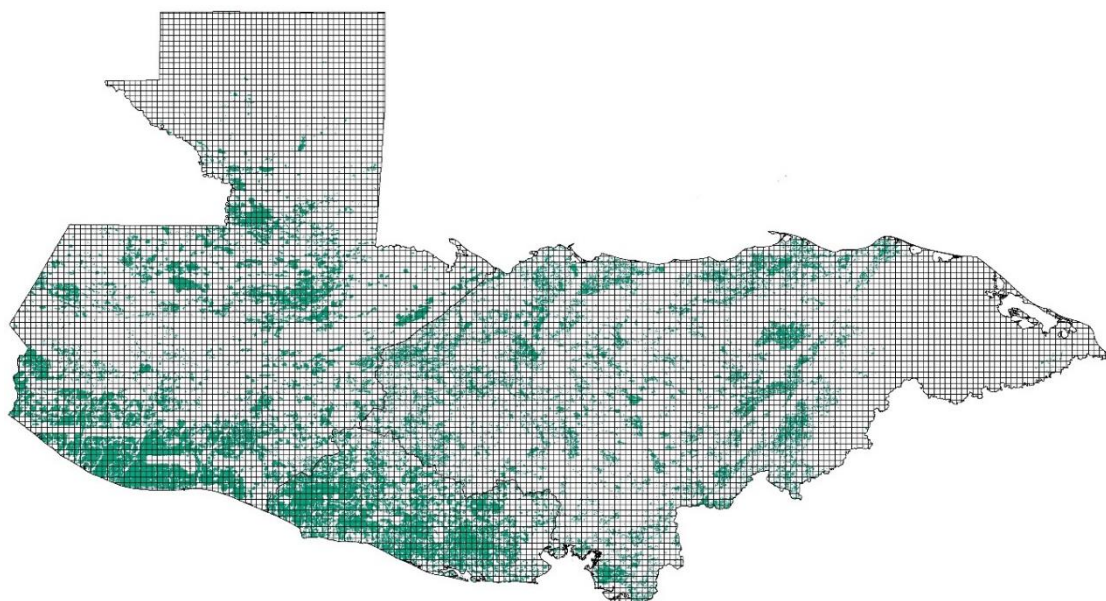


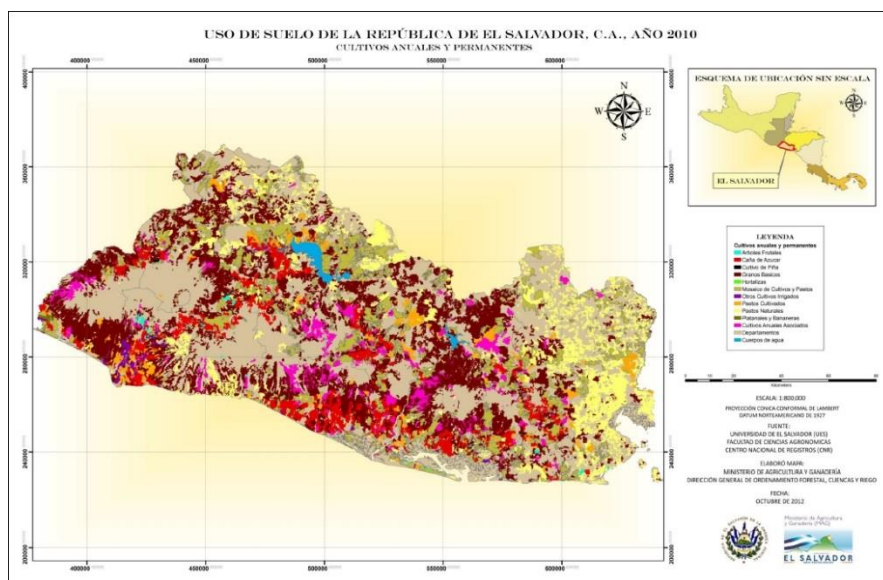
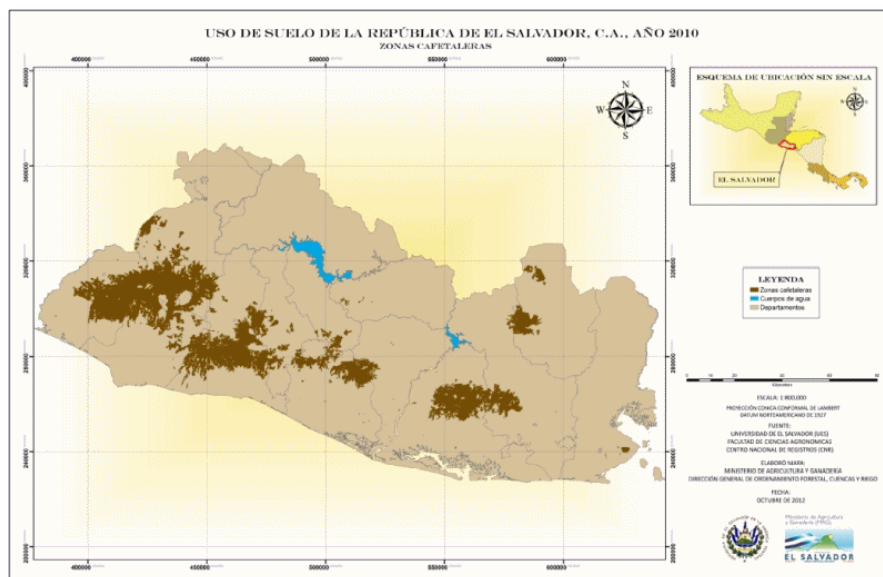
Figura 4-1. Malla con resolución de 5 km por 5 km, para el Triángulo del Norte. Áreas en verde indican zonas cultivadas.

Otra consideración importante que se hizo para conformar la base de datos de elementos expuestos fue el área mínima a considerar dentro de cada unidad de análisis. Para cada unidad de la malla de 5 x 5 km, que equivale a 2,500 ha, se definió que el cultivo debe tener una extensión mínima de 25 ha en la misma celda. Es decir, para considerar el cultivo este debe cubrir al menos el 1% de la unidad de análisis. Esta restricción se hace con el objetivo de limitar el tamaño de la exposición y demanda computacional; sin embargo, se tomaron medidas para que al aplicar este criterio no se dejarán por fuera pequeños productores. La distribución espacial de cada uno de los productos se comparó con los mapas de definición de zonas de vida para cada país (Anexo A. 6.1). Se verificó que las áreas definidas como cultivos de subsistencia y producción para autoconsumo quedaran cubiertas por la localización de cultivos. Se considera también que dentro de las áreas de cada unidad en la malla que cubren 2,500 ha se pueden concentrar un gran número de cultivadores de pequeña escala que en total superen el límite de 25 ha.

A partir de la información de entrada, fue pertinente seleccionar con cuáles cultivos se debía trabajar en cada país como elementos expuestos. La selección de los cultivos se hizo a partir del nivel de detalle de la información que se tenía disponible, además de considerar los cultivos más importantes y representativos de la economía de cada país, tanto en términos de subsistencia como producción con fines comerciales. A continuación, se presenta la información base más relevante para conformar el módulo de exposición y los resultados obtenidos para El Salvador, Guatemala y Honduras. Todos los mapas generados que se presentan a continuación se presentan en coordenadas geográficas WGS-84.

#### 4.1.3 El Salvador

El Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental (VIGEA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) incluye una capa SIG de uso de suelo el cual contiene las diferentes categorías de cultivos en el país presentes el mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010 elaborado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG. El visualizador está disponible en la página web <[mapas.marn.gob.sv/vigea](http://mapas.marn.gob.sv/vigea)>.





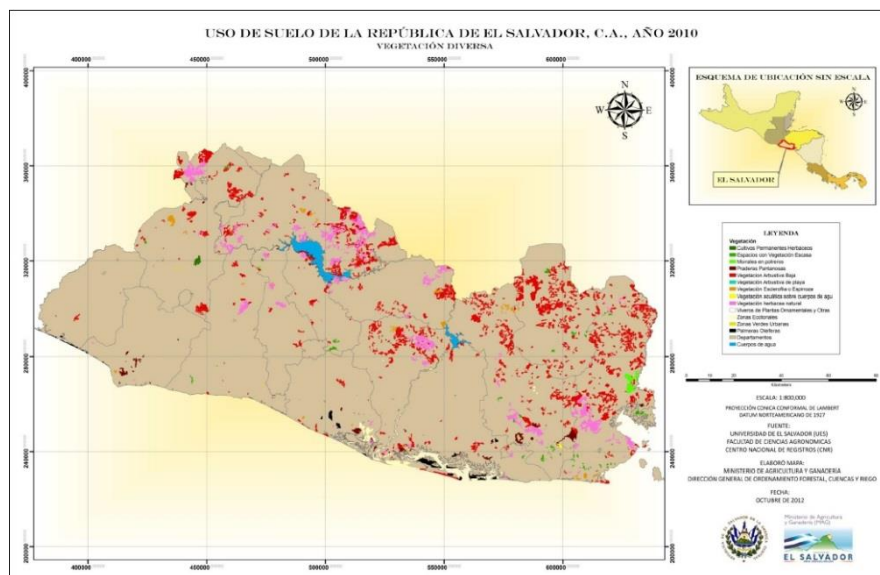


Figura 4-4. Mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. Vegetación diversa. Escala 1:800,000 Fuente: (MAG, 2012).

El VIGEA es un visualizador, entonces para obtener la localización y geometría de los cultivos, se digitalizaron las imágenes correspondientes a las coberturas. El mapa del resultado del proceso de digitalización se presenta en la Figura 4-5.

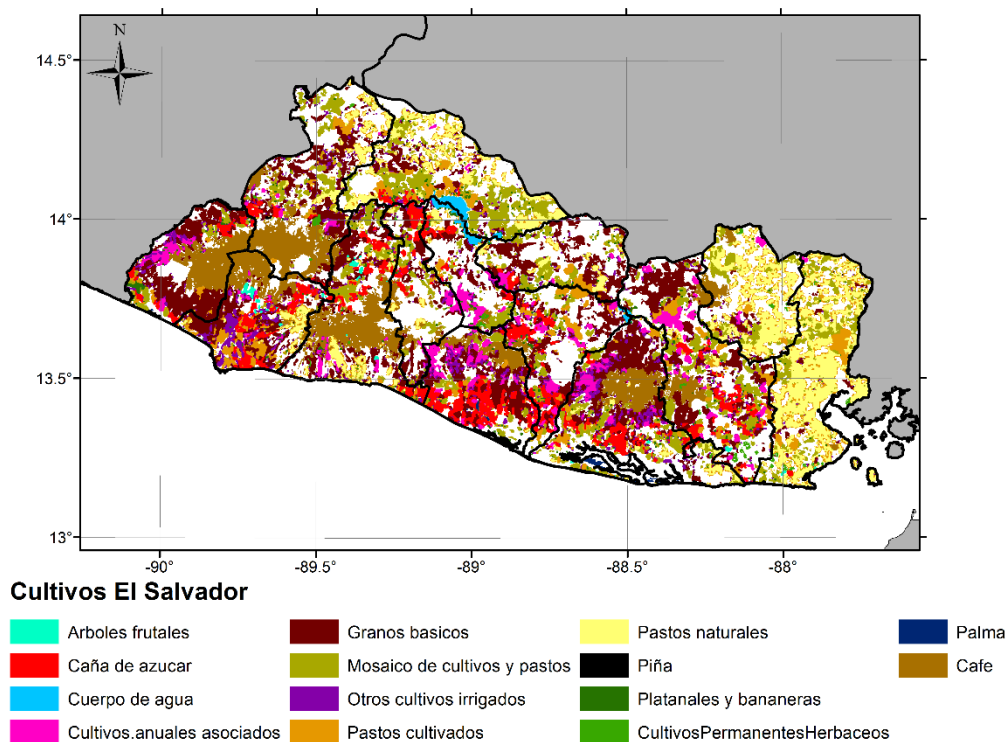


Figura 4-5. Mapa digitalizado resultante de la clasificación de imágenes del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. Fuente: Extraído y digitalizado a partir de (MAG, 2012)

El mapa presenta una leyenda basada en la metodología CORINE Land Cover adaptada para El Salvador (FAO, 2010), con una nomenclatura estándar jerarquizada con tres niveles y en algunos casos una subdivisión del tercer nivel, el cual es utilizado solamente para el nivel nacional. La clase Terrenos Agrícolas (Nivel 1) presenta las siguientes subclases para El Salvador (Dirección del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional, 2006).

<b>2. Territorios Agrícolas</b>
<b>2.1. Cultivos Anuales</b>
2.1.1. Cultivos No Irrigados
2.1.1.1. Granos básicos (maíz, arroz, frijol, maicillo, trigo)
2.1.2 Cultivos Irrigados
2.1.2.1 Arrozales de Sumersión
2.1.2.2 Otros cultivos irrigados
2.1.3. Hortalizas
2.1.4 <i>Algodón (*)</i>
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos
2.2.1.1 Platanales y bananeras
2.2.1.2 <i>Henequén (*)</i>
2.2.1.3 Piña
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos
2.2.2.1 Café
2.2.2.2. <i>Kenaf (*)</i>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos
2.2.3.1 Palmeras oleíferas
2.2.3.2 <i>Cacao (*)</i>
2.2.3.3 <i>Hule (*)</i>
2.2.3.4 Árboles Frutales
2.2.3.5 Plantaciones de frutales asociadas a otras especies arbóreas
2.2.4 Cultivos permanentes de plantas a tallo
2.2.4.1 Caña de azúcar
2.2.4.2 <i>Cardamomo (*)</i>
<b>2.3. Pastos</b>
2.3.1 Pastos cultivados y potreros
2.3.2. Pastos naturales
2.3.2.1 Pasto natural seco
2.3.2.2 Morrales en potreros
<b>2.4. Zonas agrícolas heterogéneas</b>
2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes
2.4.2. Mosaico de cultivos
2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural
2.4.4. Sistemas agroforestales

Figura 4-6. Leyenda Corine Land Cover adaptada para El Salvador. Fuente: (Dirección del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional, 2006). (Las letras en cursiva y con (\*) representan utilización de usos que no se dan en El Salvador).

La distribución espacial de los elementos expuestos de El Salvador fue tomada del mapa de *Uso de Suelo de la República de El Salvador*, C.A del año 2010. Sin embargo, el mapa presenta un tercer nivel de detalle, lo que implica que existen categorías más generales como: *granos básicos*, *cultivos permanentes herbáceos*, *cultivos anuales asociados*, que requieren ser llevadas a categorías

individuales de cultivos, para que en el módulo de vulnerabilidad se pueda modelar su respuesta como elementos expuestos ante el estrés hídrico.

La información más detallada que se tiene disponible para El Salvador que permite distribuir estas categorías generales en individuales es *el IV Censo Agropecuario 2007 -2008* el cual, cuenta con información de área cultivada para *granos básicos, hortalizas, café, caña de azúcar, agroindustriales y frutales*, permitiendo obtener las participaciones porcentuales de la distribución de los diferentes cultivos para cada municipio y departamento. A continuación, se presenta el porcentaje de área cultivada por tipo de cultivo para el país de El Salvador. De la Figura 4-7, se puede observar que, los granos básicos representan el 60% del total del área cultivada del país, seguido del café con el 24% y la caña con el 10%, el 6% restante se encuentra distribuido entre los cultivos de frutales, hortalizas y agroindustriales.

El Salvador IV Censo Agropecuario 2007 – 2008

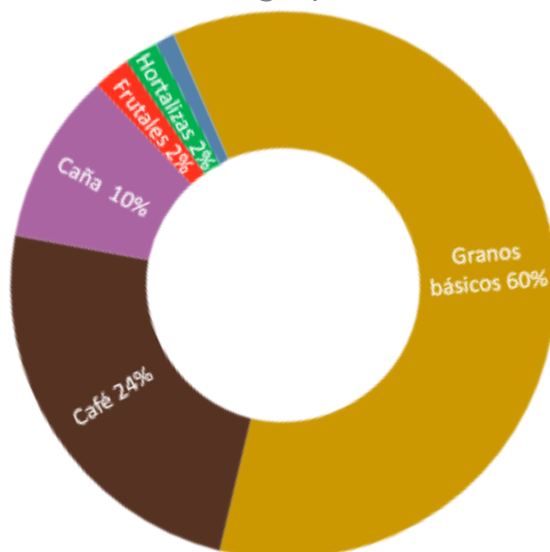


Figura 4-7. Área cultivada reportada por el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 de El Salvador.  
Fuente:(MINEC, 2009)

Si bien, existen las *Encuestas Agrícolas Nacionales*, con fechas más actuales, el censo tiene mayor cobertura objetiva que las encuestas. Para el caso específico del censo, se cubrió alrededor del 60.3% de un universo de 12,435 segmentos, recorriendo el 100% (7,502) de los segmentos rurales y 20% (1,279) de los segmentos urbanos; mientras que las Encuestas de Propósitos Múltiples de la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA), tienen una cobertura alrededor del 1.1% del universo de muestreo, que está supeditada al presupuesto disponible cada año.

Según el informe de los estudios de Zonas de Medios de Vida (ZMV) (Ver Anexo A. 6.1), la estructura del sector agrícola se basa principalmente en la producción de café, caña de azúcar, maíz, frijol y sorgo; contribuyendo con el 56% del Producto interno Bruto Agropecuario (PIBA) y el 11.9% del Producto Interno Bruto (PIB) (BANDESAI, 2016)(ver anexo A. 6.5).

Los granos básicos se destacan como los alimentos de mayor importancia en la dieta salvadoreña. Por ejemplo, el sorgo ha venido tomando importancia como sustituto en ciertos porcentajes de la harina de trigo, lo que favorece la economía del país, destacado por ser el mayor productor de sorgo o maicillo en la región.

A partir de la información mencionada anteriormente, se seleccionaron los cultivos incluidos en la Tabla 4-2 para El Salvador como elementos expuestos del modelo de riesgo. El área total de estos

10 productos equivale al 96% del área cultivada del país, lo que indica que los cultivos seleccionados cubren en un gran porcentaje la muestra de productos que se siembran en El Salvador. Dentro de la categoría de cítricos se incluyen el limón, la mandarina y la naranja. Adicionalmente se presentan los aportes de cada uno de los cultivos al PIB nacional, según reporte de 2016 del Banco Central de Reserva (BCR, 2016), con el fin de resaltar los productos de mayor importancia económica.

Tabla 4-2. Cultivos seleccionados como elementos expuestos para El Salvador.

<sup>1</sup>Fuente: (MINEC, 2009). <sup>2</sup>Fuente: (BCR, 2016)

Cultivo	% de área sembrada según IV Censo Agropecuario <sup>1</sup> (2007 – 2008)	Aporte al PIB Nacional <sup>2</sup> (2016)	Importancia
Maíz	39%	<2.3%**	Mayor porcentaje de área sembrada - Seguridad alimentaria
Café	24%	0.6%	Porcentaje de área sembrada - Producto de Exportación
Frijol	11%	<2.3%**	Porcentaje de área sembrada - Seguridad alimentaria
Caña	10%	0.7%	Porcentaje de área sembrada - Producto de Exportación
Sorgo o Maicillo	10%	<2.3%**	Porcentaje de área sembrada - Seguridad alimentaria
Cítricos	0.60%	<3.1%*	Consumo interno
Arroz	0.41%	<2.3%**	Seguridad alimentaria
Sandia	0.39%	<3.1%*	Consumo interno
Tomate	0.13%	<3.1%*	Consumo interno
<i>Total</i>	<b>96%</b>	<i>Porcentaje de área sembrada en el país.</i>	

Dentro de la categoría de cítricos se incluyen el limón, la mandarina y la naranja.

\* Pertenece al 3.1% de otros productos agrícolas

\*\* Pertenece al 2.3% de granos básicos

La Tabla 4-3 muestra la comparación entre el área sembrada reportada por IV Censo Agropecuario 2007-2008 de El Salvador y el área sembrada resultante en el modelo de exposición de cultivos de este estudio. Se puede ver que el modelo de exposición ajusta de forma precisa las áreas sembradas por producto a escala nacional, con un área total cultivada de 516,743 ha. La diferencia global con respecto a las áreas reportadas en el censo es de sólo 9 ha. Sin embargo, se tiene en consideración que la localización de estos productos no tiene la misma precisión por falta de información local, y se aproximó a la unidad de cultivo de 5km x 5km. Las mayores áreas son para café y maíz, seguido por caña, y los cultivos asociados de maíz con sorgo y maíz con frijol. Además, estos cultivos son los que se extienden en una mayor proporción del territorio salvadoreño.

Tabla 4-3. Comparación área reportada en documento oficial y área resultante en los mapas de exposición de cultivos para El Salvador.

Cultivo	Área sembrada según Censo (ha)	Área sembrada en modelo de exposición (ha)	Diferencia (ha)
Maíz	139,548	139,539	9
Café	152,340	152,345	-5
Frijol	10,856	10,852	4
Caña	64,607	64,614	-7
Sorgo o Maicillo	20,643	20,651	-8
Cítricos	5,885	5,886	-1
Arroz	2,639	2,644	-5
Sandía	2,476	2,477	-1
Tomate	813	813	0
Frijol - Maíz	57,329	57,324	5
Maicillo - Maíz	59,598	59,598	0
<b>Total</b>	<b>516,734</b>	<b>516,743</b>	<b>-9</b>

Para realizar la distribución espacial de los cultivos se tuvo en cuenta la información suministrada por la Dirección General de Economía Agropecuaria-DGEA-MAG de la localización de los cultivos por cantones de maíz, frijol, arroz y maicillo y la distribución geográfica de los productores de cítricos, sandía y tomate con un área de siembra asociada. (ver Anexo A. 6)

La Tabla 4-4 muestra el resumen del área cultivada por producto y por departamento en El Salvador, además se muestra el área total asignada en los respectivos modelos de exposición por cultivo.

Tabla 4-4. Resultado de área cultivada por departamento en El Salvador para diferentes productos.

Departamento	Maíz (ha)	Café (ha)	Frijol (ha)	Caña (ha)	Sorgo (ha)	Arroz (ha)	Maíz - Sorgo (ha)	Frijol - Maíz (ha)	Cítricos (ha)	Sandía (ha)	Tomate (ha)
Ahuachapán	5,666	21,835	390	2,638	431	62	10,785	5,889	490	-	-
Cabañas	2,792	278	1,477	738	1,193	53	6,639	3,257	-	-	-
Chalatenango	5,244	-	1,475	1,752	1,791	589	5,092	1,940	222	358	546
Cuscatlán	4,860	970	305	3,884	151	-	1,223	5,364	167	202	-
La Libertad	9,493	33,174	879	6,624	451	1,043	5,548	7,712	1,925	851	69
La Paz	11,330	5,097	381	10,859	1,083	482	2,037	1,896	1,791	111	-
La Unión	23,907	356	-	108	4,693	-	1,262	-	-	689	-
Morazán	10,483	3,755	1,110	-	1,671	-	1,701	990	-	-	-
San Miguel	18,908	7,580	1,097	1,701	4,326	76	3,372	1,343	-	-	-
San Salvador	6,261	8,253	655	11,668	393	-	1,937	2,777	185	81	82
San Vicente	6,707	2,609	709	4,347	1,239	233	2,550	6,920	156	107	80
Santa Ana	5,236	31,781	1,241	2,887	778	-	7,902	12,113	436	48	-
Sonsonate	5,800	24,894	242	9,870	465	50	5,499	4,495	514	-	37
Usulután	22,852	11,763	891	7,538	1,986	56	4,051	2,628	-	30	-
<b>Total</b>	<b>139,539</b>	<b>152,345</b>	<b>10,852</b>	<b>64,614</b>	<b>20,651</b>	<b>2,644</b>	<b>59,598</b>	<b>57,324</b>	<b>5,886</b>	<b>2,477</b>	<b>814</b>

A continuación, se presentan los mapas de localización para cada uno de los productos priorizados para El Salvador. En cada mapa se presenta el área, en hectáreas, de cultivo por cada pixel de 5km de la malla de resolución.

## Granos Básicos

Los cultivos de granos básicos, que incluyen el maíz, frijol y sorgo, fueron desagregados de acuerdo con las condiciones de siembra de primera y de postrera, así como por el sistema de siembra en monocultivo o en asocio. Las combinaciones resultantes de estas desagregaciones fueron tomadas como elementos independientes dentro del modelo de elementos expuestos.

La información disponible para establecer las variaciones de la producción entre la siembra de primera con respecto a la de postrera para El Salvador fue calculada como variaciones porcentuales del total de área sembrada por departamento publicadas en el Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2016 -2017 (MAG, 2017). A nivel nacional se tiene que para maíz el 75% corresponde a la siembra realizada en primera y el 25% restante corresponde a segunda, mientras que para el frijol (94%) y el sorgo (91%) la mayor área sembrada se realiza en postrera. A continuación, se presentan los porcentajes de siembra de primera y postrera con respecto al total de área sembrada por departamento utilizados en el análisis para los tres cultivos.

Tabla 4-5. Participación porcentual de siembra de primera y de postrera para maíz, frijol y sorgo en El Salvador.

Departamento	Producto					
	Maíz		Frijol		Sorgo	
	Siembra primera (%)	Siembra postrera (%)	Siembra primera (%)	Siembra postrera (%)	Siembra primera (%)	Siembra postrera (%)
Ahuachapán	98%	2%	13%	87%	0%	100%
Santa Ana	100%	0%	3%	97%	0%	100%
Sonsonate	99%	1%	8%	92%	0%	100%
Chalatenango	100%	0%	21%	79%	2%	98%
La Libertad	100%	0%	4%	96%	0%	100%
San Salvador	100%	0%	0%	100%	0%	100%
Cuscatlán	100%	0%	3%	97%	0%	100%
La Paz	92%	8%	5%	95%	5%	95%
Cabañas	96%	4%	1%	99%	13%	87%
San Vicente	95%	5%	2%	98%	34%	66%
Usulután	55%	45%	10%	90%	8%	92%
San Miguel	37%	63%	8%	92%	13%	87%
Morazán	27%	73%	5%	95%	25%	75%
La Unión	8%	92%	0%	100%	30%	70%
<b>Nacional</b>	<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>6%</b>	<b>94%</b>	<b>9%</b>	<b>91%</b>

La metodología aplicada para obtener tanto la localización georreferenciada de los cultivos de granos básicos como la asignación del área por unidad de tierra cultivada de las siembras de primera y de postrera sigue los lineamientos planteados en la Sección 2.1.3 y en el Anexo A.2.4. A continuación, se presenta los resultados obtenidos del proceso realizado.

Tabla 4-6. Base de datos de productos de granos básicos del modelo de elementos expuestos para El Salvador.

Producto original	Producto desagregado	Área cultivada (ha)	Tipo Cultivo	Sistema de siembra	Estacionalidad
Frijol	Fríjol monocultivo de primera	723	Anual	Monocultivo	Primera
	Fríjol monocultivo de postrera	10,130	Anual	Monocultivo	Postrera
	Fríjol asociado a maíz de primera	53,750	Anual	Asociado	Primera
	Fríjol asociado a maíz de postrera	3,578	Anual	Asociado	Postrera
Maíz	Maíz monocultivo de primera	86,283	Anual	Monocultivo	Primera
	Maíz monocultivo de postrera	53,255	Anual	Monocultivo	Postrera
	Maíz asociado a frijol de primera	53,750	Anual	Asociado	Primera
	Maíz asociado a frijol de postrera	3,578	Anual	Asociado	Postrera
	Maíz asociado a Sorgo de primera	52,384	Anual	Asociado	Primera
	Maíz asociado a sorgo de postrera	7,214	Anual	Asociado	Postrera
Sorgo	Sorgo monocultivo de primera	3,248	Anual	Monocultivo	Primera
	Sorgo monocultivo de postrera	17,398	Anual	Monocultivo	Postrera
	Sorgo asociado a maíz de primera	52,384	Anual	Asociado	Primera
	Sorgo asociado a maíz de postrera	7,214	Anual	Asociado	Postrera

El cultivo de arroz para los tres países no se ha de diferenciar entre la siembra de primera o de postrera, por lo cual dentro de la evaluación del riesgo por sequía, para El Salvador el cultivo de arroz no consideró más de una temporada de siembra al año.

### **Maíz**

En El Salvador, el 95% de la producción de maíz se utiliza para consumo humano y se constituye como el producto base de la dieta alimenticia (Flores, 2014). La superficie total sembrada a nivel nacional es cerca de 256,300 ha, de las cuales el 54.4% (139,500 ha) corresponden a las siembras realizadas en sistemas de monocultivo. En El Salvador se practica el asocio del maíz con cultivos de frijol o sorgo (maicillo) representando el 22.3% y el 23.3%, respectivamente del total cultivado en el país.

En la región occidental y central de El Salvador se encuentran las tierras destinadas a la producción de maíz, tanto para explotación comercial como para autoconsumo. En la región central se destaca el departamento de Usulután como el de mayor área sembrada con el 16.4% del área total de cultivo de maíz. En la región oriental, la mayoría de las siembras se realizan con fines de subsistencia y representa el 38.2% del total del área cultivada con sistema de siembra de monocultivo y comprende los departamentos de San Miguel, La Unión Y Morazán.

La distribución espacial del cultivo de maíz fue tomada de la cobertura “Granos básicos” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario (2007 – 2008) en las tablas de distribución departamental y municipal. En la Figura 4-8 y Figura 4-9 se presenta la localización y área sembrada del cultivo de maíz en monocultivo para la siembra de primera y postrera, la

información del cultivo en asocio se presenta más adelante en la sección de granos básicos asociados.

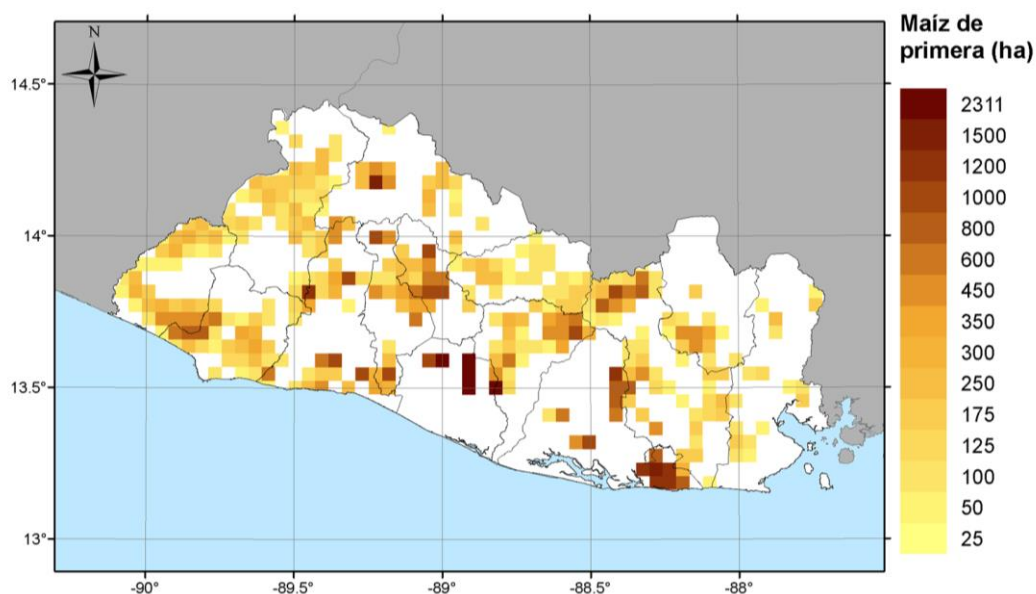


Figura 4-8. Mapa de localización de siembras de maíz de monocultivo para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

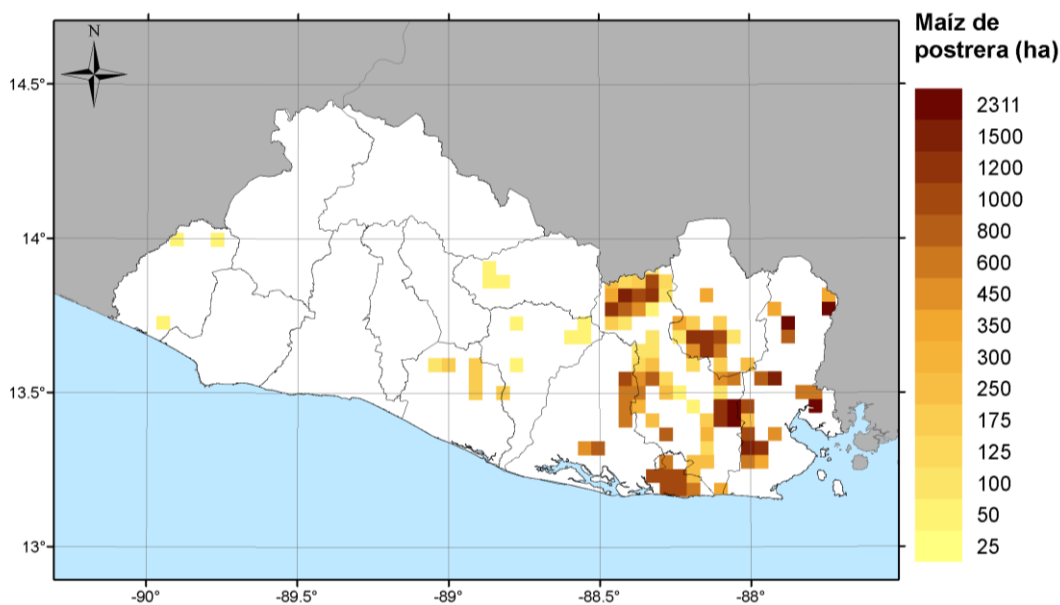


Figura 4-9. Mapa de localización de siembras de maíz de monocultivo para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

## Fríjol

El cultivo de frijol representa una de las actividades agrícolas más importantes para los habitantes de El Salvador. La superficie cultivada de frijol a nivel nacional se estimó en 68,185 ha, siendo el 80% del área total siembras en sistema de asocio con el cultivo de maíz (57,324 ha) y el 16% restante en monocultivo (10,852 ha). También existen en pequeña proporción cultivos asociados de frijol con sorgo (maicillo), los cuales no fueron tomados en consideración, debido a que las áreas cultivadas



estaban por debajo del área mínima requerida por unidad de análisis (mínimo de 25 ha cultivadas en 2500 ha). Las regiones occidental y central, al igual que en el cultivo de maíz, conforman las zonas productoras de frijol. Los departamentos con mayor superficie cultivada son Cabañas y Chalatenango, cada uno cuenta con el 13.6% del área cultivada en monocultivo. Por otro lado, la región oriental, como zona de producción de subsistencia, concentra el 22.4% en los departamentos de San Miguel y Morazán. La información de este cultivo en asocio se presenta más adelante en la sección de granos básicos asociados.

La distribución espacial del cultivo de frijol fue tomada de la cobertura “Granos básicos” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario (2007 – 2008) en las tablas de distribución departamental y municipal. El mapa resultante del modelo de exposición para el cultivo de frijol en monocultivo tanto de primera como de postrera se presenta en Figura 4-10 y la Figura 4-11 respectivamente.

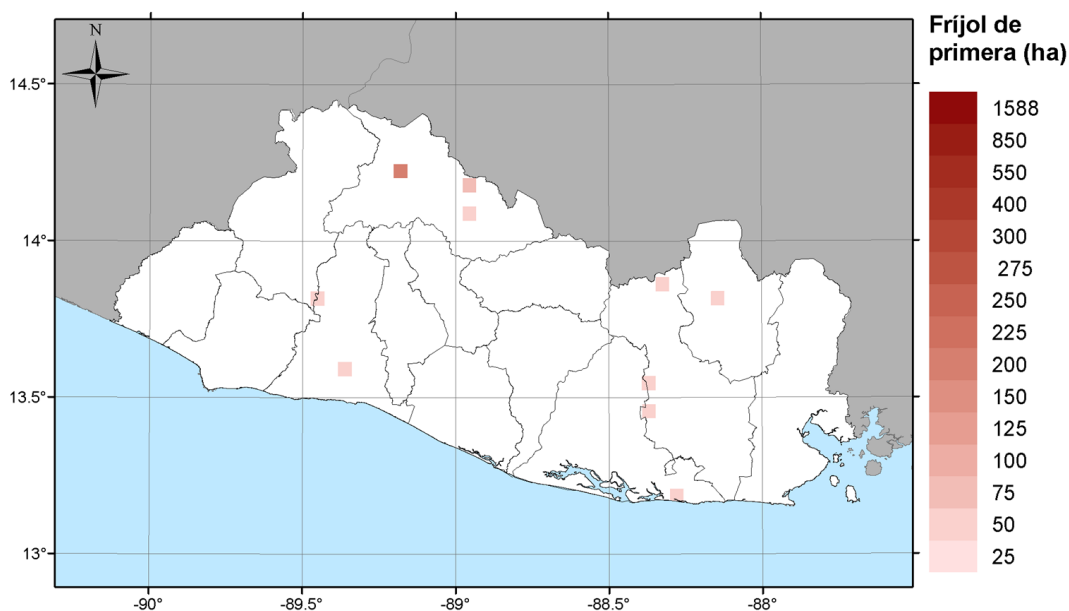


Figura 4-10. Mapa de localización de siembras de frijol para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

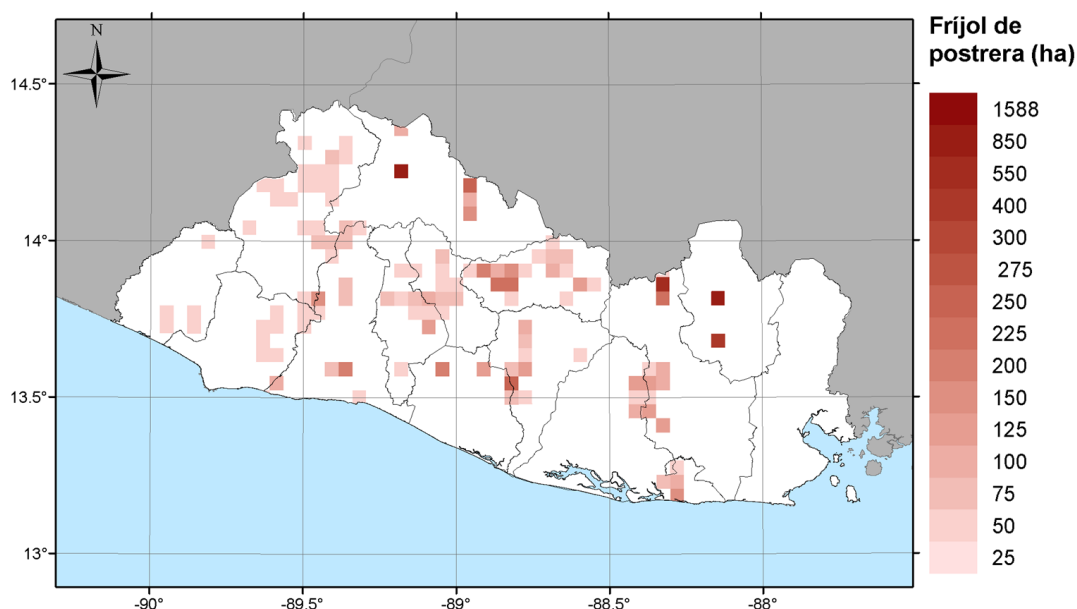


Figura 4-11. Mapa de localización de siembras de frijol para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

## Sorgo

En El Salvador el sorgo es conocido como maicillo y es considerado como grano básico. La producción se destina para el consumo humano como harina de sorgo, la cual se ha comprobado que puede remplazar hasta un 50% a la de trigo, (Zeledón et al., 2007). El cultivo de sorgo también es utilizado por los ganaderos como material forrajero para la alimentación de los animales (Hernández & Salvador, 2009).

La distribución espacial del cultivo del sorgo fue tomada de la cobertura “Granos básicos” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario (2007 – 2008) en las tablas de distribución departamental y municipal. En la Figura 4-12 y Figura 4-13 se presenta la localización y área sembrada del cultivo de sorgo en monocultivo para la siembra de primera y postrera, la información del cultivo en asocio se presenta en la siguiente sección.

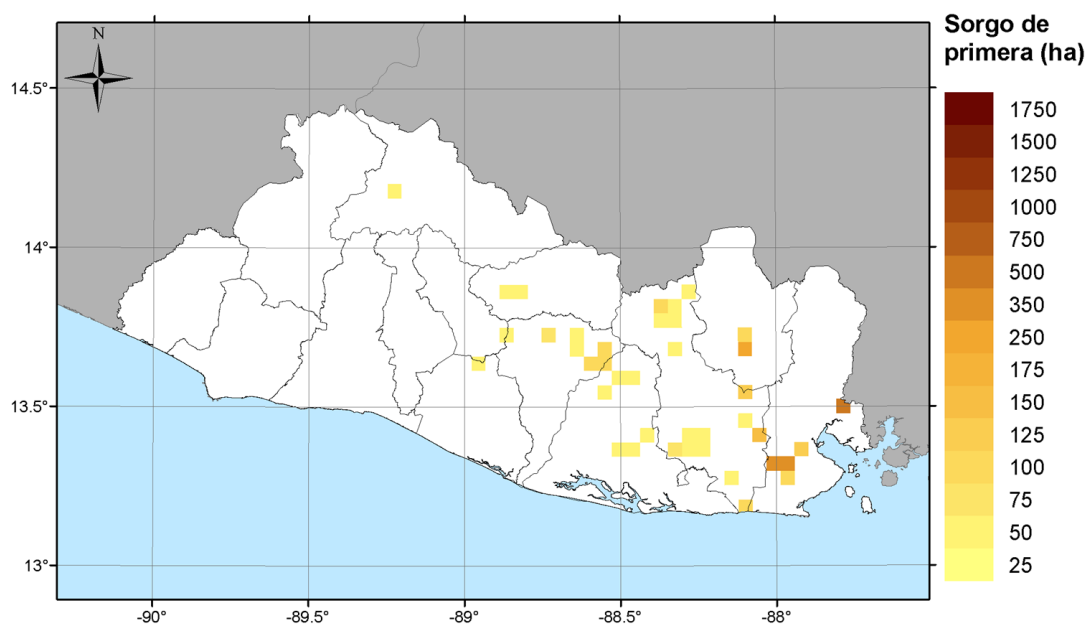


Figura 4-12. Mapa de localización de siembras de sorgo para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

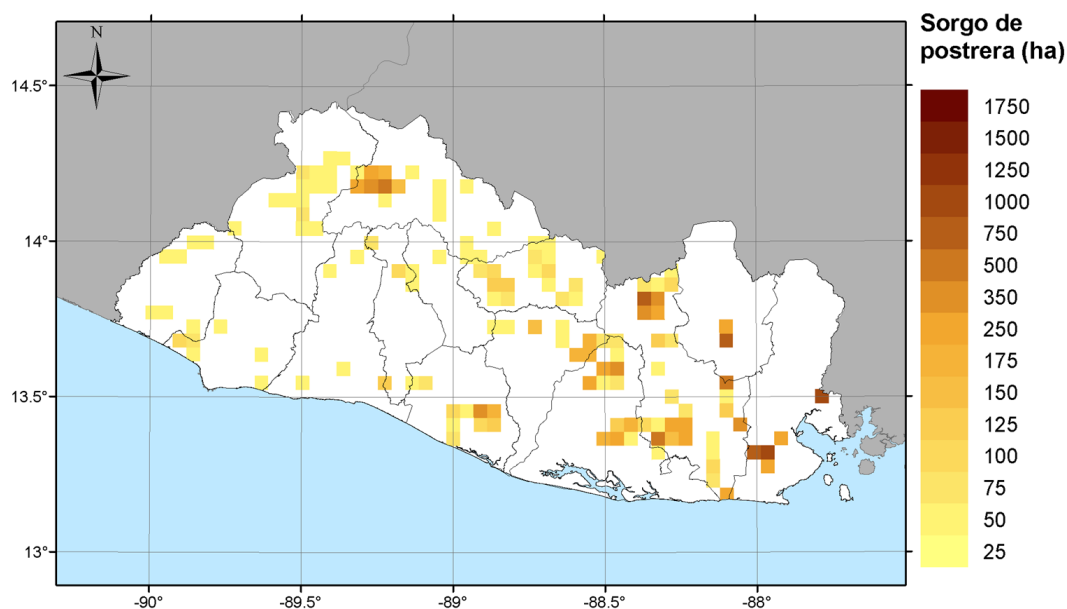


Figura 4-13. Mapa de localización de siembras de sorgo para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

A nivel nacional la superficie cultivada se estimó en 80,241 ha, de las cuales 59,598 ha (74%) son del área de cultivo de sorgo asociado a maíz y apenas el 20,650 ha (26%) con sistema de siembra de monocultivo. Del área de monocultivo, el 51.8% de la superficie sembrada se concentra en el oriente del país (La Unión, San Miguel y Morazán) ya que esta zona cuenta con las condiciones agroclimáticas propicias para el cultivo del sorgo.

## Granos básicos asociados

El modelo de exposición para la evaluación de riesgo por sequía considera también prácticas de manejo de cultivos, como la siembra en asocio que se refiere a cultivar dos productos de forma simultánea en la misma unidad de área. Estas prácticas son importantes para la agricultura de los países de El Salvador y Honduras, debido a que las áreas tecnificadas y con sistemas de riego son pocas a diferencia de Guatemala.

Es importante resaltar que ambos cultivos se encuentran localizados en el mismo lugar y tienen la misma área sembrada, no obstante, al momento de ser modelados por el Drought Pro, las características que representan la vulnerabilidad del cultivo como el ciclo fenológico y su densidad de siembra varían, por lo cual es necesario modelar cada cultivo asociado como un elemento individual.

- Maíz – Sorgo o maicillo

La siembra de maíz con sorgo en asocio o con un leve relevo, se hace para aprovechar la resistencia del sorgo a los periodos prolongados con pocas lluvias. El 74% del área total cultivada de sorgo se hace en superficies sembradas en asocio, lo que demuestra que esta es una práctica ampliamente usada en el país.

La siembra de sorgo depende de la fecha de siembra del maíz, generalmente se realiza 25 a 30 días después de la siembra de maíz de forma intercalada (SIPRO, CATIE, & ROCAP, 1986). Las siembras del cultivo en asocio maíz - sorgo predominan sobre los territorios de los departamentos de Ahuachapán y Santa Ana, al ser las áreas en asocio las de mayor superficie.

La distribución espacial de las siembras realizadas en asocio de maíz con sorgo (maicillo), fueron tomadas de la cobertura “Cultivos anuales asociados” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada en asocio fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 en las tablas de distribución departamental y municipal.

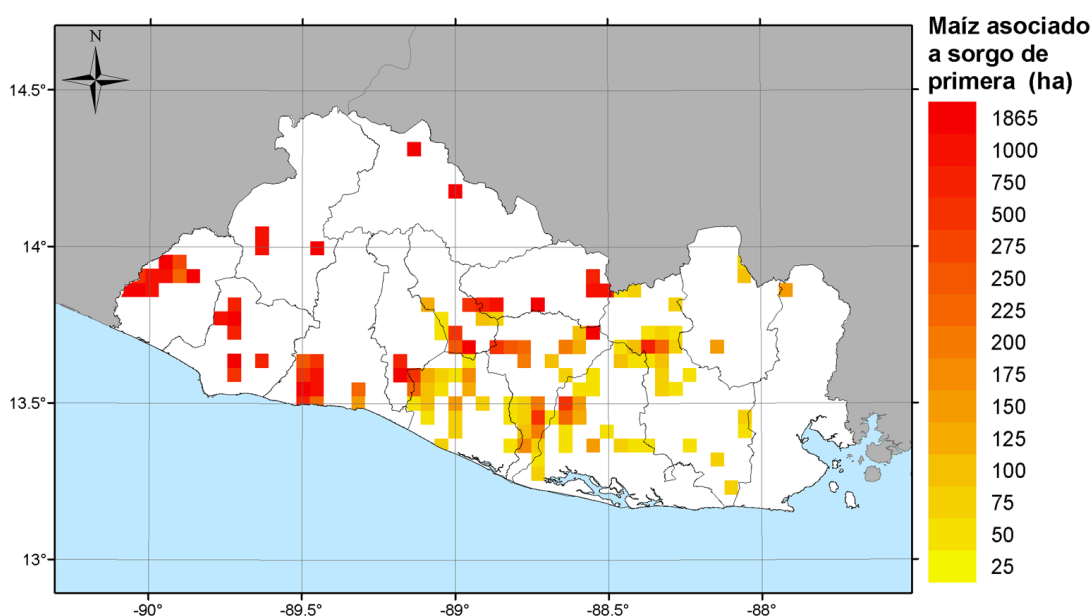


Figura 4-14. Mapa de localización de siembras de maíz asociado con sorgo para la temporada de primera en El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

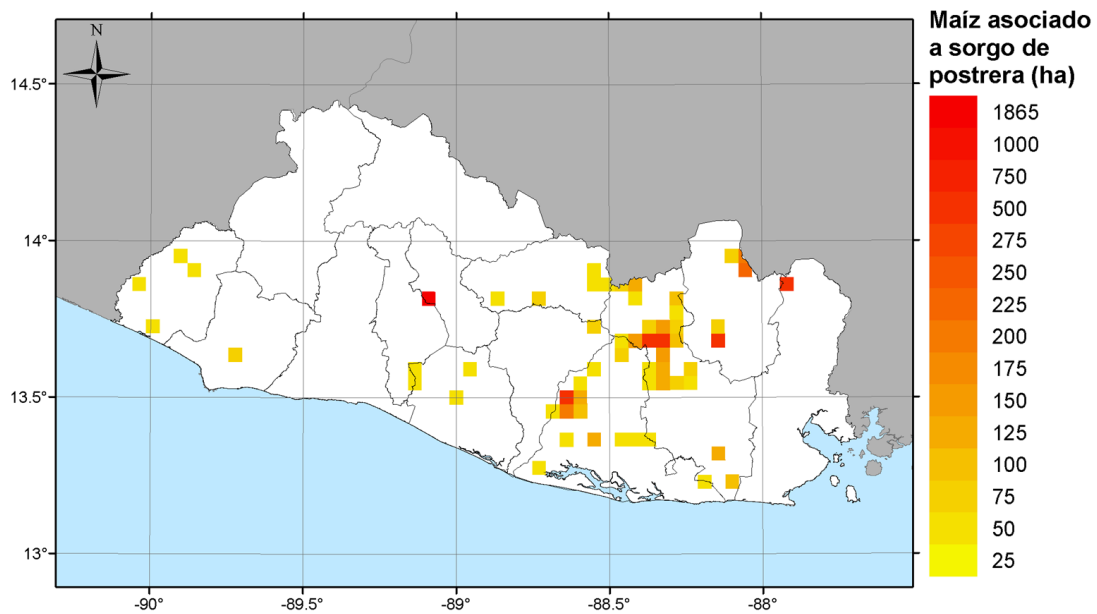


Figura 4-15. Mapa de localización de siembras de maíz asociado con sorgo para la temporada de postre en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

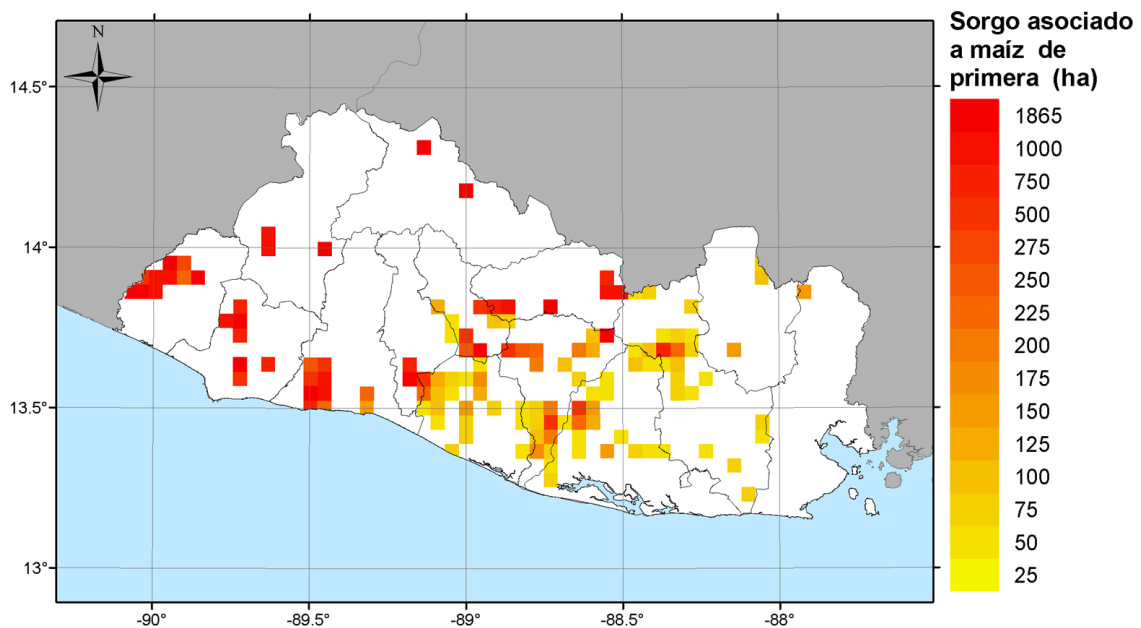


Figura 4-16. Mapa de localización de siembras de sorgo asociado con maíz para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

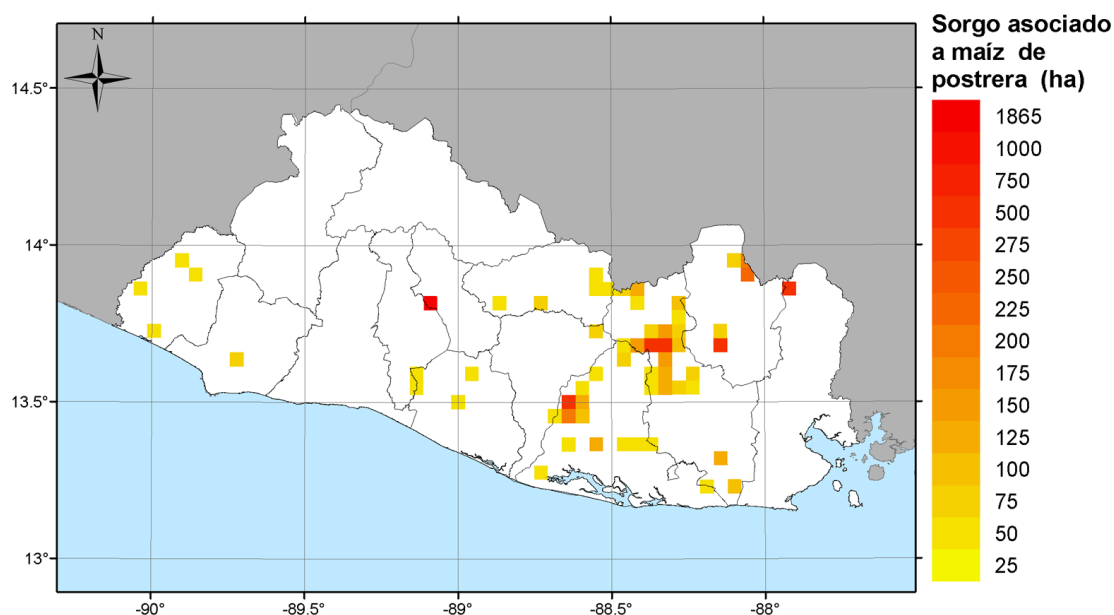


Figura 4-17. Mapa de localización de siembras de sorgo asociado con maíz para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

- Frijol – Maíz

En El Salvador el asocio más común del cultivo de frijol es con maíz (Atilio & Reyes, 2008). El 84% del área total cultivada de frijol se hace en superficies sembradas en asocio con maíz, el 16% restante es monocultivo. Sobre la región sur del país se concentran los cultivos en asocio, en especial en los departamentos de Santa Ana (21.1%), La Libertad (13.5%), San Vicente (12.1%) y Ahuachapán. Adicionalmente las temporalidades de las siembras fueron consideradas.

La distribución espacial de las siembras realizadas en asocio frijol con maíz, fueron tomadas de la cobertura “Cultivos anuales asociados” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada en asocio fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 en las tablas de distribución departamental y municipal.

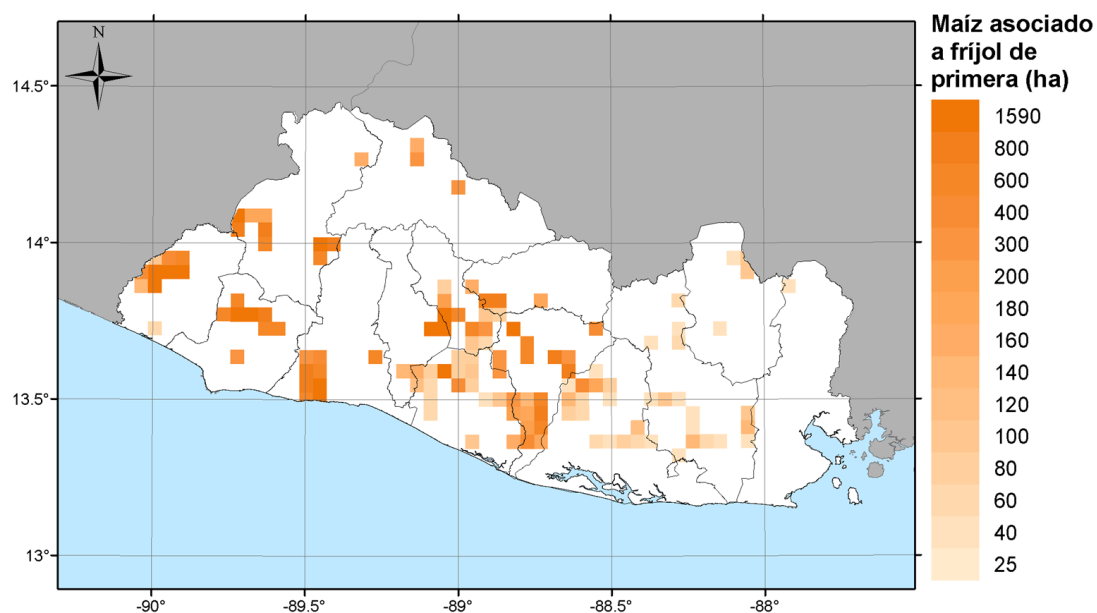


Figura 4-18. Mapa de localización de siembras de maíz asociado con frijol para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

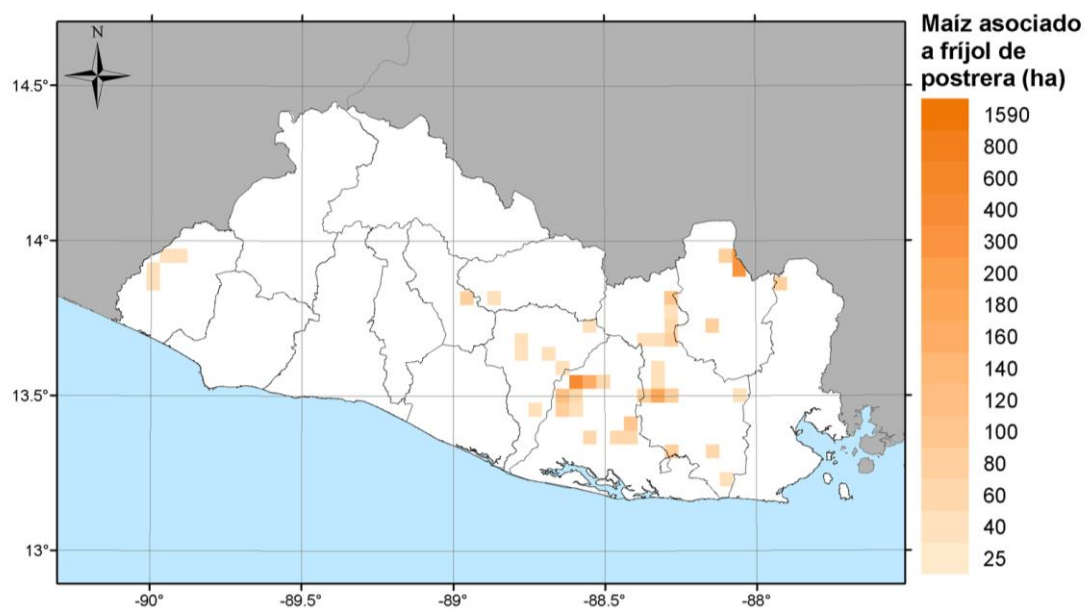


Figura 4-19. Mapa de localización de siembras de maíz asociado con frijol para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

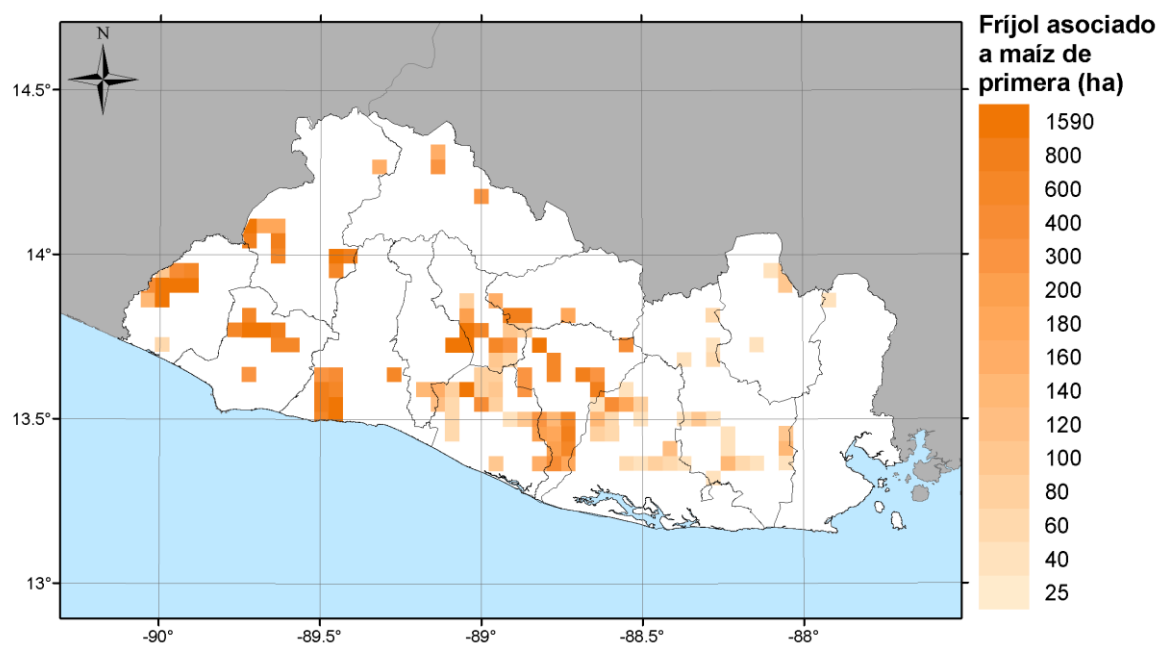


Figura 4-20. Mapa de localización de siembras de frijol asociado con maíz para la temporada de primera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

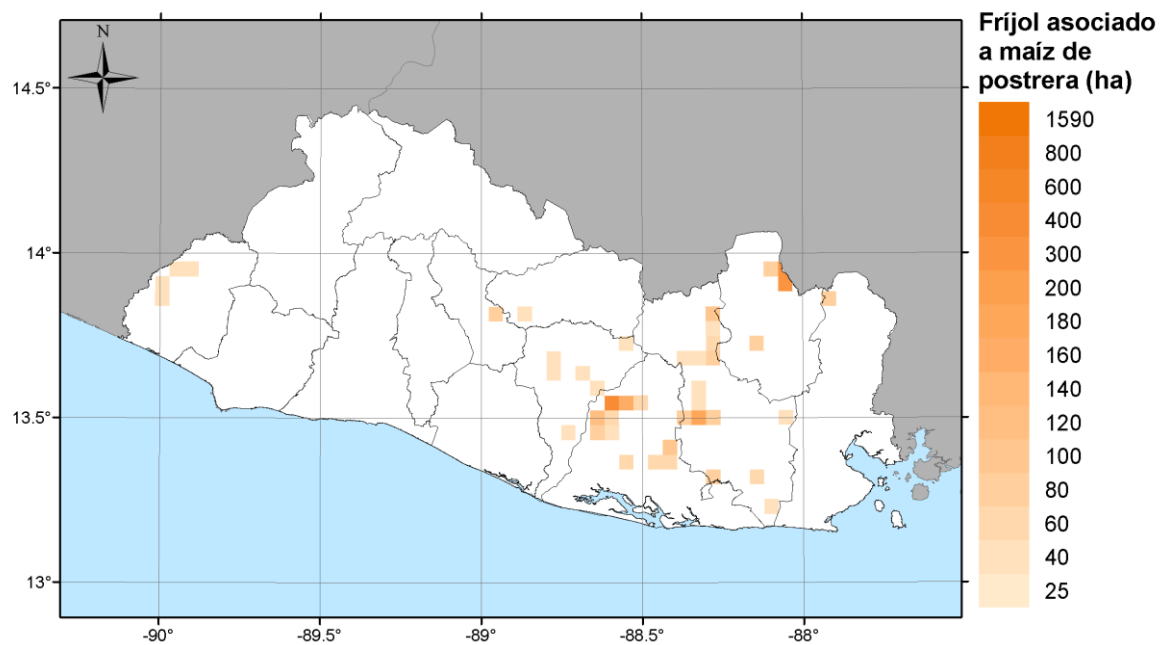


Figura 4-21. Mapa de localización de siembras de frijol asociado con maíz para la temporada de postrera en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)



## Café

El café es el rubro más importante para la economía del país. Se reconocen las siguientes seis regiones cafeteras en El Salvador:

- Apaneca – Ilimatepec: los cafetales se encuentran dentro de la Reserva de Biósfera Apaneca-Ilimatepec sobre la sierra a partir de 1,000 hasta 2,365 msnm, los cuales forman parte fundamental para el corredor biológico mesoamericano(MARN, 2007), los departamentos de Santa Ana, Sonsonate y Ahuachapán, ubicados al oeste del país, conforman la región y representan el 51.5% del área cultivada.
- El Bálsamo – Quezaltepec: se encuentra en la región centro sur y sobre la cordillera del bálsamo y el volcán de San Salvador, conocido también como Quezaltepec, entre los 500 a 1,960 msnm, en los departamentos de La Libertad (21.8%), San Salvador (3.8%) y algunos municipios de Sonsonate.
- Chichontepec: el 5.7% del área cultivada se encuentra en los alrededores del volcán de San Vicente (Chichontepec) en los departamentos de La Paz, San Vicente y Cuscatlán sobre los 500 a 1,000 msnm (COEX, 2018).
- Tecapa – Chinameca: la región cafetera se encuentra al oriente del país sobre la cordillera que lleva su nombre, en especial en el volcán Tecapa entre los 500 a 1,000 msnm, en los municipios de Usulután (7.7%) y San Miguel (5%) (TECAPA, 2018). El parque cafetero de esta región es uno de los más envejecidos del área centroamericana (CENTA, 2017).
- Cacahuatique: los cafetales de la zona se encuentran entre los 500 y 1,663 msnm en la cordillera o cerro Cacahuatique, el cual está ubicado en el departamento de Morazán y cubre una pequeña parte del departamento de San Miguel (COEX, 2018; CSC, 2018).
- La región Alotepec – Metapán: los cultivos de café de esta región se encuentran sobre la cordillera Alotepec a partir de 1,000 msnm en el departamento de Chalatenango y en el municipio de Metapán en el departamento de Santa Ana. Sin embargo, estos no fueron considerados debido a que el mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010, no logra detallar los cultivos en esta zona por poseer pequeñas áreas correspondientes al 1.3% del área total (CSC, 2018) y adicionalmente, el café en Alotepec se encuentra recientemente (2017) incluido en los perfiles de taza y reconocida como región cafetera (CSC, s/f).

La distribución espacial del cultivo de café fue tomada de la cobertura “Café” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 en las tablas de distribución departamental y municipal. El mapa resultado del modelo de exposición para café se presenta en la Figura 4-22.

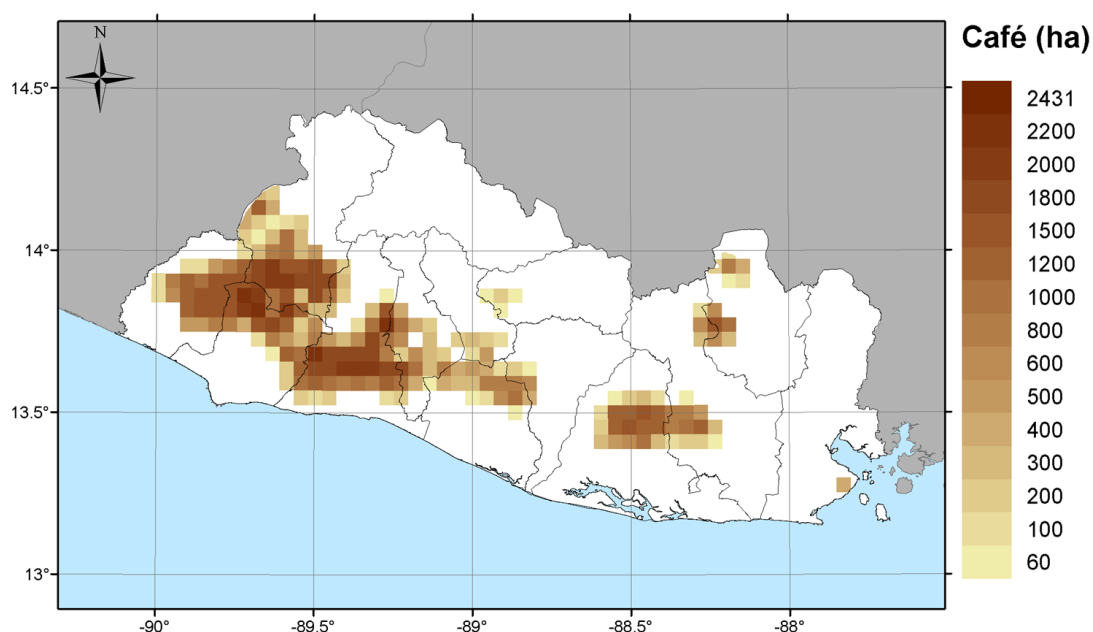


Figura 4-22. Mapa de localización de siembras de café en El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

### Caña

Según la Fundación del Azúcar – FUNDAZUCAR, el cultivo de caña de azúcar aporta el 2.6% del PIB nacional, generando 50,000 empleos directos y 180,000 indirectos, lo que evidencia la importancia de este cultivo para la economía y la sociedad Salvadoreña (CAMAGRO, 2003; Corado, 2016; Fundazucar, 2017). La agroindustria azucarera está conformada por 7,000 productores de caña y seis ingenios azucareros, los cuales cultivan un área total de 64,614 ha a nivel nacional, distribuidas entre pequeñas (superficie inferior a las 35 ha), medianas (superficies entre 35 y 75 ha) y grandes (con superficies mayores a 75 ha) unidades de producción.

El departamento de San Salvador presenta la mayor proporción de área cultivada con el 18.1%. Los departamentos La Paz (16.8%) y Sonsonate (15.3%) presentan porciones similares de área, al igual que Usulután (11.7%) y La Libertad (10.3%), representando el 72.1% de la superficie cultivada de caña de azúcar.

La distribución espacial del cultivo fue tomada de la cobertura “caña de azúcar” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario (2007 – 2008) en las tablas de distribución departamental y municipal. El mapa resultado del modelo de exposición para caña se presenta en la Figura 4-23.

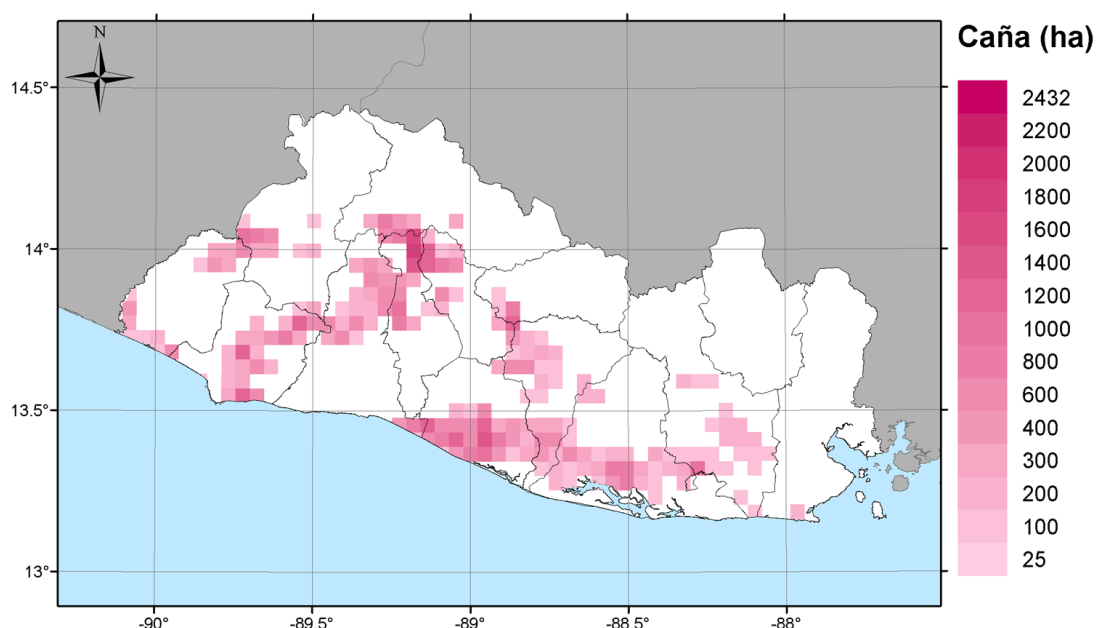


Figura 4-23. Mapa de localización de siembras totales de caña de azúcar en El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

## Arroz

En El Salvador se cultivan cerca de 2,600 ha de arroz. El departamento de La libertad concentra la mayor proporción de tierra sembrada con el 39.5%, seguido de Chalatenango con el 22.3%, La Paz 18.3% y San Vicente con el 8.9 %, representando el 89% del área total. La producción local de arroz no alcanza a cubrir la demanda de la población Salvadoreña y el área sembrada se ha ido reduciendo drásticamente en los últimos años por fenómenos climáticos adversos que han obligado a los agricultores a reorientar la producción hacia otros cultivos (Guerrero & Castaneda, 2018).

La distribución espacial del cultivo de arroz fue tomada de la cobertura “Granos básicos” del mapa de Uso de Suelo de la República de El Salvador, C.A del año 2010. La superficie sembrada fue ajustada a los valores reportados en el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 en las tablas de distribución departamental y municipal.

En este estudio se considera que el método de siembra de arroz para toda la región es seco. En este modelo no se considera el cultivo de arroz irrigado o inundado. El arroz seco es el tipo de cultivo que más se siembra en la región de estudio (Castañeda, 2008; Dirección de Cienca y Tecnología Agropecuaria (DICTA), 2003, p. 8) y es susceptible a la escasez de lluvias.

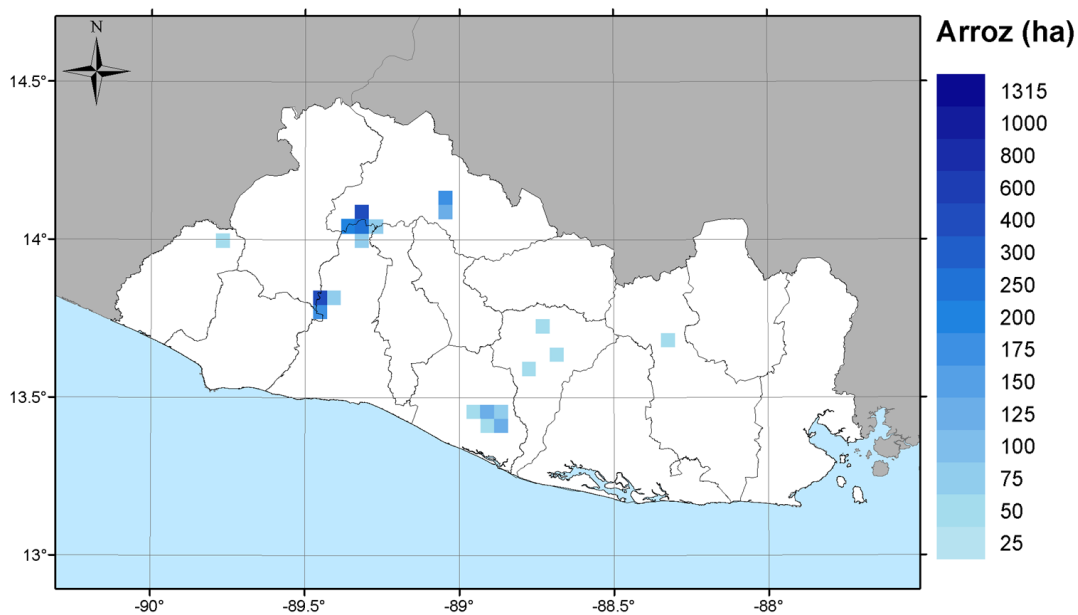


Figura 4-24. Mapa de localización de siembras de arroz en El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

### Cítricos

Según el IV censo Agropecuario 2007 – 2008, dentro de la categoría de frutales el cultivo de naranja es el de mayor producción, seguido del coco y el limón. Por otro lado, la mandarina es sembrada en una pequeña proporción. Dentro del país, el 63% de la superficie cultivada se encuentra concentrada en los departamentos de La Paz y La Libertad.

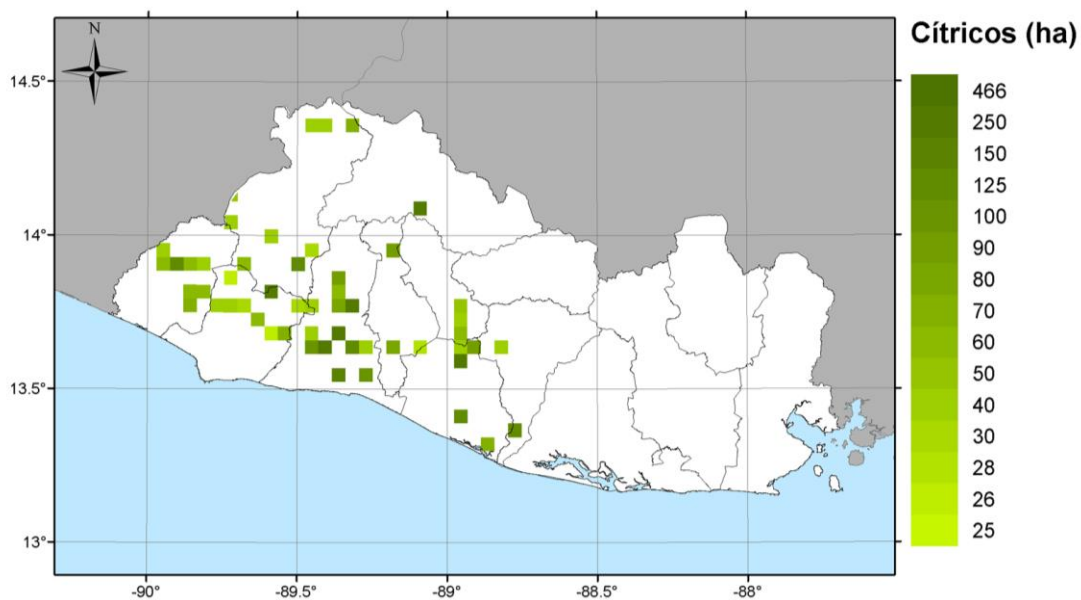


Figura 4-25. Mapa de localización de siembras de cítricos en El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

## Sandía

La sandía es consumida principalmente como fruta fresca por la población salvadoreña. Dentro de las hortalizas es el cultivo con mayor producción en El Salvador con 2,477 ha de superficie sembrada. Se cultiva en los departamentos de La Libertad y La Unión, representando más del 50% de la superficie. En la Figura 4-26 se puede observar que las áreas sembradas se encuentran dispersas sobre el territorio.

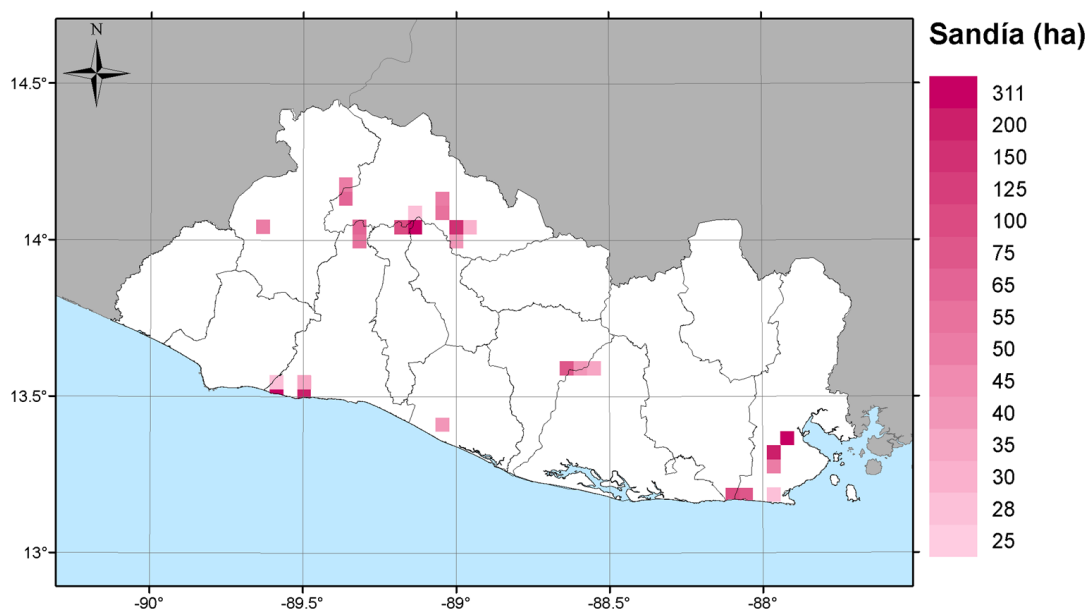


Figura 4-26. Mapa de localización de siembras de sandía en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

## Tomate

El tomate es un producto destinado a consumo interno y se encuentra en cuarto lugar en superficie sembrada y producción dentro del grupo de las hortalizas según el IV censo Agropecuario 2007 – 2008. El 67% del área total sembrada en el país se encuentra en el departamento de Chalatenango.

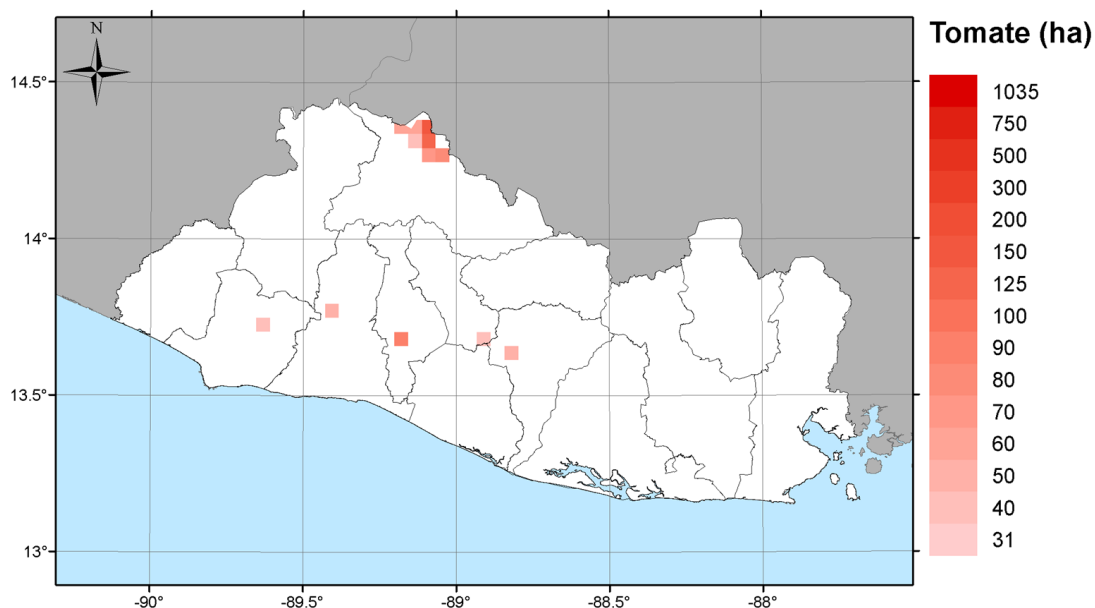


Figura 4-27. Mapa de localización de siembras de Tomate en El Salvador. (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.4 Guatemala

La determinación de los elementos expuestos para Guatemala está basada en la información dispuesta en el Mapa Cobertura Vegetal y Uso escala 1: 50,000 de la República de Guatemala del año 2010, elaborado por la Dirección de Información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos DIGEGR del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA. El mapa se presenta en la Figura 4-28 y expone la información con mayor nivel de detalle disponible acerca de la distribución de los cultivos sobre el territorio. Este mapa hace parte de un estudio completo donde se detalla la metodología seguida para diferenciar las coberturas y que incluye otros mapas con mayor nivel de detalle para cada departamento, donde se distinguen cultivos individuales con alta resolución.

Con el objetivo de conformar la base de datos de elementos expuestos de Guatemala, inicialmente se digitalizó la imagen que se muestra en la Figura 4-28, posteriormente fue suministrado el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra en versión digital por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA, con el cual finalmente se trabajó y se muestra en la Figura 4-29.

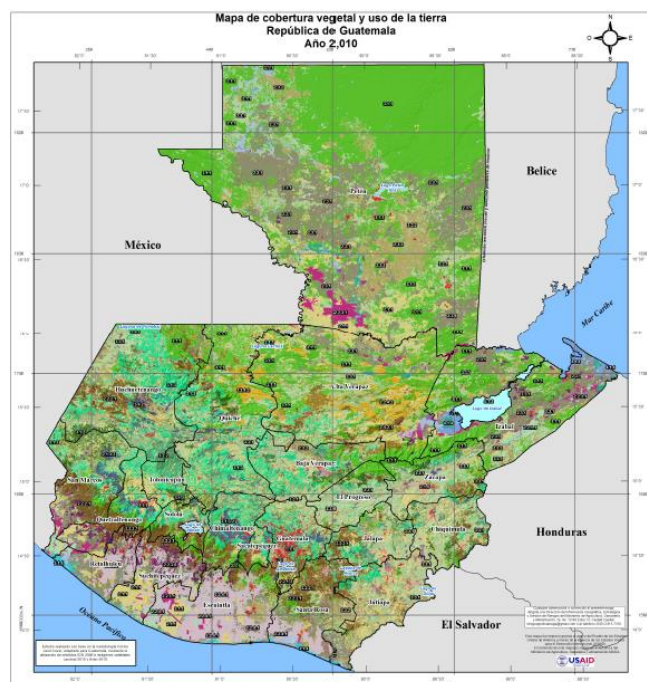


Figura 4-28. Mapa Cobertura Vegetal y Uso escala 1: 50,000 de la república de Guatemala del año 2010. (DIGEGR, 2015)

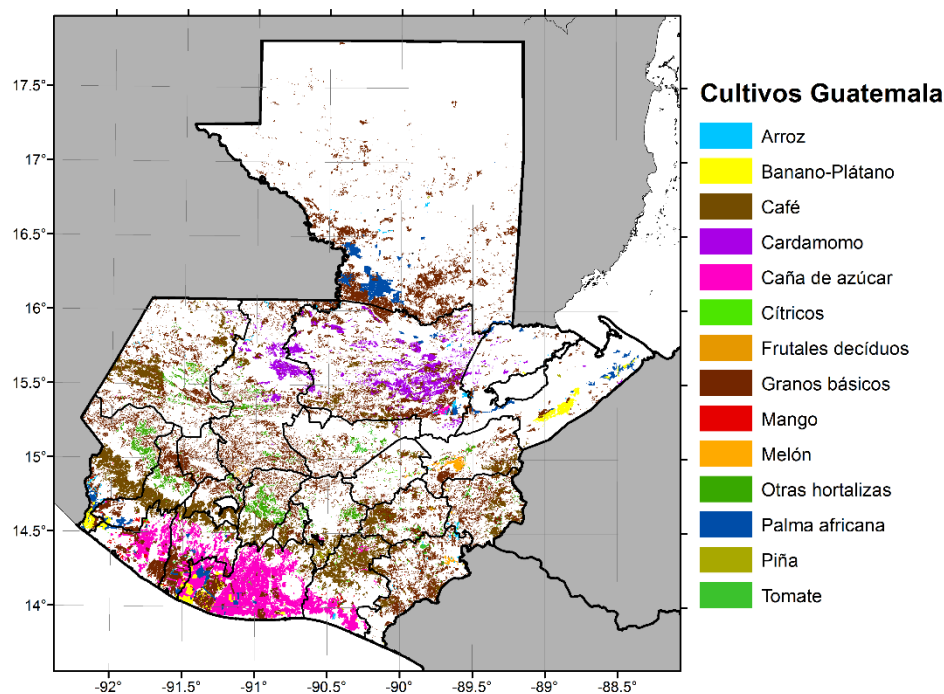


Figura 4-29. Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala Año 2010. Escala 1: 50,000. Fuente: Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra (DIGEGR, 2015)

El mapa presenta un detalle de Nivel 4 en su leyenda, basada en la metodología Corine Land Cover adaptada para Guatemala (DIGEGR, 2015), en la cual para la categoría Terrenos Agrícolas (Nivel 1) presenta las siguientes subclases:

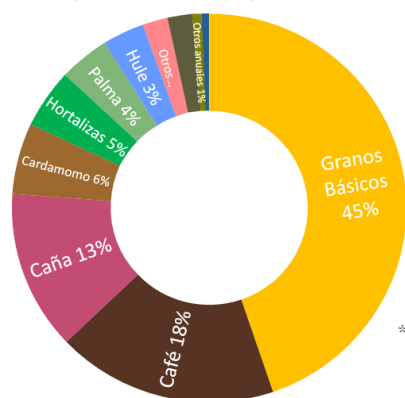
<b>2. Territorios Agrícolas</b>	
<b>2.1. Cultivos Anuales</b>	
2.1.1. Granos básicos	
2.1.2 Arroz	
2.1.3 Hortalizas	
	2.1.3.1 Tomate
	2.1.3.2 Otras hortalizas (papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga y otros)
2.1.4 Sandía	
2.1.5 Melón	
2.1.6 Pashte	
2.1.7 Manía	
2.1.8 Tabaco	
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
	2.2.1.1 Platanales y bananeras
	2.2.1.2 Piña
	2.2.1.3 Fresa
	2.2.1.4 Flores y follajes
	2.2.1.5 Mashán
	2.2.1.6 Loroco
	2.2.1.7 Sábila
	2.2.1.8 Papaya
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
	2.2.2.1 Café
	2.2.2.2. Té
	2.2.2.3. Mora
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	
	2.2.3.1 Palmeras oleíferas
	2.2.3.2 Pejibaye
	2.2.3.3 Coco
	2.2.3.4 Frutales deciduos
	2.2.3.5 Cacao
	2.2.3.6 Hule
	2.2.3.7 Aguacate
	2.2.3.8 Mango
	2.2.3.9 Cítricos
	2.2.3.10 Macadamia
	2.2.3.11 Rambután
	2.2.3.12 Jocote
	2.2.3.13 Otros cultivos permanentes arbóreos
2.2.4 Cultivos permanentes de plantas a tallo	
	2.2.4.1 Caña de azúcar
	2.2.4.2 Cardamomo
<b>2.3. Pastos</b>	
2.3.1 Pastos cultivados	
2.3.2. Pastos naturales	
<b>2.4. Zonas agrícolas heterogéneas</b>	
2.4.1. Mosaico de cultivos	
2.4.2. Sistemas agroforestales	
	2.4.2.1 Café y cardamomo
	2.4.2.2 Café y banano
	2.4.2.3 Café y macadamia
2.4.3. Huerto	
2.4.4. Vivero	

Figura 4-30. Leyenda Corine Land Cover adaptada para Guatemala, categoría Terrenos Agrícolas.  
Fuente: (DIGEGR, 2015)

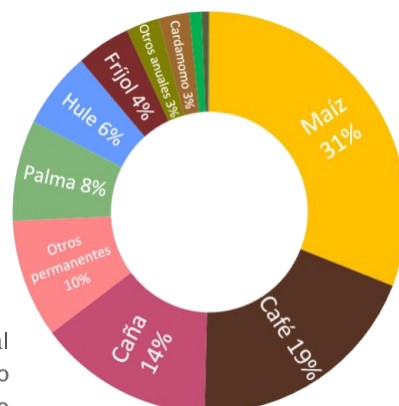
A pesar de que el mapa tiene un alto nivel de detalle, con fines de simplificar la modelación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, se analizó cuáles cultivos presentan las mayores proporciones de superficie cultivada sobre el territorio reportados tanto por el mapa de Cobertura Vegetal, como la información publicada en la Encuesta Nacional Agropecuaria - ENA 2015 de Guatemala, la distribución de área cultivada por tipo de cultivo se presenta a continuación.



Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, a escala 1: 50,000 año 2010



Encuesta Nacional Agropecuaria 2015



\*No corresponde al total cultivado durante el año

Figura 4-31. Área cultivada reportada por el mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra, a escala 1: 50,000 año 2010 (izquierda) y área reportada por la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015 (derecha). Fuente: (DIGEGR, 2015) y (INE, 2015).

De la Figura 4-31, se puede observar que, según el porcentaje de área reportada por el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra del 2010, la categoría de granos básicos representa el 45% del área total cultivada sobre el territorio, mientras que para la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015, el maíz representa el 31% y el frijol el 4 %. No obstante, ambas fuentes de información manifiestan que los granos básicos predominan sobre el territorio, seguido del café entre el 18 y 19% y la caña entre 13 y 14%. Cultivos como el cardamomo, la palma y el hule cubren el territorio en menor proporción.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el año 2013 realizó varias reuniones técnicas, con el objetivo de definir los cultivos de importancia económica, tanto de seguridad alimentaria como los principales cultivos de exportación. Según ese estudio (INE, 2015), los cultivos priorizados son el arroz, el frijol, el maíz y la papa de la categoría de cultivos anuales y el café, la caña, el cardamomo, el hule y la palma africana de la categoría de cultivos permanentes.

Los cultivos de Granos Básicos como el maíz, el frijol y el arroz, son la base de la dieta alimentaria del país, en donde el maíz es el principal cultivo, consumiendo la mayoría de la producción de maíz blanco (consumo humano) e importando la mayoría de maíz amarillo (alrededor del 70%) para uso animal. No obstante, presenta una eficiencia del cultivo menor al promedio mundial, atribuido al pequeño tamaño de las fincas bajo uso de las semillas mejoradas y de fertilizantes y plaguicidas. Por otro lado, Guatemala cultiva la mayoría de los frijoles que se consumen, pero tiene que importar más del 70% del arroz (CACIF, 2011).

La contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB) de Guatemala es del 10.1% para el año 2017 (BANGUAT, 2018), donde los cultivos de banano (11%), café (7%), cardamomo (4%) y cereales (5%) sobresalen por su aporte al Producto Interno Bruto Agropecuario (PIBA) (ver Tabla 4-7 y Anexo A. 6.5)

Entre los cultivos de exportación se tiene el banano, el cacao, la caña de azúcar, el café y el cardamomo, según el documento *“El agro en cifras 2015”* publicado por Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). El ingreso de divisas por exportaciones al país se da principalmente por los productos de café (657.52 millones de US dólares) siendo Estados Unidos, Japón, Canadá, Alemania y Bélgica los principales destinos de exportación. En el caso del azúcar (845.96 millones de US dólares), este producto tiene diversos destinos incluyendo Estados Unidos, Corea del Sur, Chile y China. En el comercio mundial, Guatemala se encuentra en el puesto 13 de

los países de mayor producción en el mundo de banano (755.13 millones de US dólares) y en el puesto 6 como principal exportador (MundoChapin, 2015), siendo el principal destino de las exportaciones Estados Unidos. En el caso del cardamomo (223.56 millones de US dólares) los principales destinos de exportación son Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Siria, Jordania, entre otros países del Medio Oriente (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), 2015).

Otro producto importante en la economía de Guatemala es la palma de aceite, la cual tiene un rendimiento nacional de 7 toneladas métricas por hectárea de aceite crudo de palma superando el promedio mundial que está en 4 toneladas métricas por hectárea, debido a buenas prácticas agrícolas (GREPALMA, 2016). En el país se generan en exportaciones alrededor de 400 millones de USD al año (Central American Business Intelligence - Cabi, 2016).

A partir de la información mencionada anteriormente, se seleccionaron los cultivos incluidos en la Tabla 4-7 para Guatemala como elementos expuestos del modelo de riesgo. El porcentaje de área de los 13 productos principales es el 90% del área total de cultivos en Guatemala. Los cultivos de cardamomo y hule, que son 9.4% del total del área de cultivos, son considerados en el modelo de exposición, pero su inclusión en la evaluación de riesgo es limitada por la baja disponibilidad de información fenológica. Estos productos no han sido modelados en el pasado y se requiere de ensayos en campo para evaluar los efectos de la restricción de agua en el crecimiento y cosecha del producto, ensayos que se salen del alcance de este proyecto.

Tabla 4-7. Cultivos seleccionados como elementos expuestos para Guatemala.

<sup>1</sup>Fuente: (DIGEGR, 2015). <sup>2</sup>Fuente: (BANGUAT, 2018)

Cultivo	% de área sembrada DIGEGR <sup>1</sup>	Aporte al PIB Nacional (2017) <sup>2</sup>	Importancia
Maíz	45%	<0.5%***	Porcentaje de área sembrada - Seguridad alimentaria
Frijol		<2.6%**	Seguridad alimentaria
Café	18.09%	0.8%	Producto de exportación
Caña	13.25%	<1%	Producto de exportación
Papa (Hortalizas)	4.91%	<2.6%**	Producto priorizado ENA 2015
Tomate (Hortalizas)		<2.6%**	Tomate mayor % de área sembrada entre las hortalizas
Palma	4.12%	<1%	Producto de exportación
Banano	2.05%	1.1%	Producto de exportación
Arroz	0.63%	<0.5%***	Seguridad alimentaria
Melón	0.48%	<1.2%*	Exportación a menor escala de frutas.(MAGA, 2015)
Mango	0.47%	<1.2%*	Exportación a menor escala de frutas. (MAGA, 2015)
Cítricos	0.29%	<1.2%*	Exportación a menor escala de frutas. (MAGA, 2015)
Piña	0.21%	<1.2%*	Exportación a menor escala de frutas. (MAGA, 2015)
<b>Total</b>	<b>90%</b>		<i>Porcentaje de área sembrada en el país.</i>
<b>Otros productos</b>			
Cardamomo	5.96%	0.4%	Producto de exportación
Hule	3.46%	<1%	Producto priorizado ENA 2015
<b>Total</b>	<b>9.42%</b>		<i>Porcentaje de área sembrada en el país.</i>

El hule, la caña de azúcar y la palma de aceite pertenece al 1% de otros cultivos agrícolas. \*pertenece al 1.2% de frutas y nueces. \*\* Pertenece al 2.6% de tubérculos, raíces, hortalizas y legumbres. \*\*\* Pertenece al 0.5% de cereales.

La Tabla 4-8 muestra la comparación entre el área sembrada reportada por el mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra, a escala 1:50,000 de la Republica de Guatemala año 2,010 y el área sembrada resultante en el modelo de exposición de cultivos de este estudio. Se puede ver que el modelo de exposición ajusta de forma precisa las áreas sembradas por producto a escala nacional, con un área total cultivada de 2,582,493 ha. La diferencia con el área reportada en el censo es de sólo 13 ha. Sin embargo, se tiene en consideración que la localización de estos productos no tiene la misma precisión por falta de información local, y se aproximó a la unidad de cultivo de 5km x 5km. Las mayores áreas son para maíz, frijol, caña y café.

Tabla 4-8. Comparación área reportada en documento oficial y área resultante en los mapas de exposición de cultivos para Guatemala. \*Área reportada por el MAGA en el documento “El Agro en Cifras 2016” para el año agrícola 2014 -2015. \*\* área para el año agrícola 2010 -2011

Cultivo	Área sembrada según Uso del Suelo (ha)	Área sembrada en modelo de exposición (ha)	Diferencia (ha)
Maíz*	870,030	870,030	0
Frijol*	251,930	251,921	9
Café	491,965	491,970	-5
Caña	360,301	360,303	-2
Cardamomo	162,069	162,071	-2
Papa*	21,000	21,004	-4
tomate	13,292	13,294	-2
Palma	111,946	111,949	-3
Hule	94,216	94,217	-1
Banano**	63,627	63,627	0
Plátano**	11,890	11,891	1
Arroz	17,060	17,060	0
melón	13,118	13,120	-2
Mango	12,650	12,649	1
Cítricos	7,988	7,986	2
piña	5,729	5,728	1
Café - Cardamomo	64,240	64,245	-5
Café - Banano	9,442	9,443	-1
<b>Total</b>	<b>2,582,493</b>	<b>2,582,508</b>	<b>-13</b>

La Tabla 4-9 muestra el área cultivada por producto por departamento en Guatemala y el área total, asignada en los respectivos modelos de exposición de cultivos.

Tabla 4-9. Resultado de área cultivada por departamento en Guatemala para diferentes productos.

Departamento	Maíz (ha)	Frijol (ha)	Café (ha)	Café en Asocio (ha)	Caña (ha)	Papa (ha)	Tomate (ha)	Palma (ha)	Plátano y banano en monocultivo (ha)	Plátano y banano asociado con café (ha)	Arroz (ha)	Cardamomo (ha)	Cardamomo asociado a Café (ha)	Hule (ha)	Melón (ha)	Mango (ha)	Cítricos (ha)	Piña (ha)
Alta Verapaz	90,344	11,540	26,921	43,578	3,397	-	237	8,250	-	-	5,789	119,410	43,578	5,845	-	-	333	-
Baja Verapaz	22,590	6,522	3,865	4,672	-	374	4,157	-	-	-	-	1,268	4,672	-	-	-	49	-
Chimaltenango	34,888	9,715	28,128	-	3,496	5,674	-	-	38	-	-	-	-	4,293	-	-	33	-
Chiquimula	26,141	25,890	25,254	-	-	-	2,324	-	242	-	2,317	-	-	-	311	36	-	-
El Progreso	7,777	6,874	9,868	147	66	-	-	-	89	-	223	-	147	-	420	477	1,523	-
Escuintla	34,705	1,038	24,307	-	231,448	-	-	13,606	19,316	-	-	-	-	6,274	-	994	1,495	354
Guatemala	17,360	10,292	23,083	-	621	1,715	492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,723
Huehuetenango	52,104	9,333	64,475	7,469	140	3,322	-	-	605	1,142	165	1,664	6,327	-	-	65	243	-
Izabal	29,587	4,740	844	921	-	-	-	19,763	20,492	-	335	4,794	921	11,805	-	-	-	386
Jalapa	26,181	15,532	30,972	-	-	296	2,444	-	-	-	-	-	-	-	64	-	147	-
Jutiapa	61,075	33,636	24,228	-	472	44	2,645	-	267	-	1,403	-	-	29	3,056	111	337	132
Petén	156,119	68,391	-	-	-	-	-	50,485	-	-	1,852	-	-	1,250	-	-	-	224
Quetzaltenango	34,857	1,213	42,067	-	1,792	2,690	-	9,932	4,705	-	370	-	-	16,985	-	1,910	60	-
Quiché	65,350	12,456	7,258	9,932	-	2,443	-	571	-	1,332	1,157	34,736	8,600	867	-	-	-	-
Retalhuleu	43,641	1,304	3,460	1,001	46,447	-	-	1,080	2,530	1,001	-	-	-	10,216	-	5,112	1,045	-
Sacatepéquez	5,240	1,458	7,117	-	-	227	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-
San Marcos	43,572	3,650	56,000	-	-	3,680	-	4,984	6,340	-	2,234	-	-	8,856	-	247	-	-
Santa Rosa	43,642	18,084	56,939	5,491	37,844	-	640	-	55	5,491	919	-	-	249	70	1,916	1,576	44
Sololá	13,077	1,307	35,147	126	-	466	-	-	-	126	-	-	-	-	-	-	-	-
Suchitepéquez	29,543	1,351	8,868	245	34,580	-	287	3,278	1,062	245	296	-	-	27,548	-	1,329	876	865
Totonicapán	17,463	1,443	-	-	-	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zacapa	14,774	6,152	13,169	106	-	-	68	-	-	106	-	199	-	-	9,199	452	228	-
<b>Total</b>	<b>870,030</b>	<b>251,921</b>	<b>491,970</b>	<b>73,688</b>	<b>360,303</b>	<b>21,004</b>	<b>13,294</b>	<b>111,949</b>	<b>55,741</b>	<b>9,443</b>	<b>17,060</b>	<b>162,071</b>	<b>64,245</b>	<b>94,217</b>	<b>13,120</b>	<b>12,649</b>	<b>7,986</b>	<b>5,728</b>

Al no tener información de área sembrada individual para los cultivos de maíz, frijol y papa reportadas por el Mapa Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, fue necesario buscar otras fuentes de información estratégica y verificada como la plasmada en el documento “El Agro en Cifras 2016” elaborado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en donde se presentan las estadísticas productivas (área, producción, rendimiento y la distribución de la producción por departamentos) de los principales granos, hortalizas, frutas, pecuarios y productos de exportación.

A continuación, se presentan los mapas de localización para cada uno de los productos priorizados para Guatemala. En cada mapa se presenta el área, en hectáreas, de cultivo por cada pixel de 5km de la malla de resolución.

### Maíz y frijol

Los cultivos de maíz, frijol fueron desagregados de acuerdo con las condiciones de siembra de primera y de postrera, y a las variaciones internas de los cultivos por regiones a lo largo del territorio. Las combinaciones de estas condiciones permiten obtener como resultado 5 elementos independientes dentro del modelo de elementos expuestos tanto para maíz como para el frijol los cuales se presentan a continuación.

Tabla 4-10. Base de datos productos granos básicos modelo de elementos expuestos para Guatemala.

Producto original	Producto	Área cultivada (ha)	Tipo Cultivo	Sistema de siembra	Estacionalidad
Frijol	Frijol ciclo largo de primera	42,950	Anual	Monocultivo	Primera
	Frijol ciclo corto de primera	49,727	Anual	Monocultivo	Primera
	Frijol ciclo corto de postrera	74,600	Anual	Monocultivo	Postrera
	Frijol ciclo corto de primera región norte	33,907	Anual	Monocultivo	Primera
	Frijol ciclo corto de postrera región norte	50,975	Anual	Monocultivo	Postrera
Maíz	Maíz ciclo largo de primera	248,751	Anual	Monocultivo	Primera
	Maíz ciclo corto de primera	217,131	Anual	Monocultivo	Primera
	Maíz ciclo corto de postrera	156,299	Anual	Monocultivo	Postrera
	Maíz ciclo corto de primera región norte	144,119	Anual	Monocultivo	Primera
	Maíz ciclo corto de postrera región norte	103,730	Anual	Monocultivo	Postrera

Las condiciones propias del altiplano hacen que las etapas de desarrollo de los cultivos de frijol y maíz sean diferentes a las del resto del país. Las diferencias se ven reflejadas en una prolongación del ciclo definido como largo (140 días para el frijol y 224 días para el maíz entre la siembra y la cosecha) en comparación al ciclo del resto del país definido como corto (115 días para el frijol y 132 días para el maíz entre la siembra y la cosecha) (MAGA & USAID, 2018). Lo anterior pone en evidencia la necesidad de ser considerados como elementos independientes, ya que, para un mismo cultivo se tendrán diferentes configuraciones de las etapas de desarrollo.

En la región del norte en especial en el departamento de Peten las condiciones climáticas hacen que el inicio de las siembras de primera (15 de junio para para frijol y 22 abril para maíz) cambien con respecto al resto del país (15 de mayo para frijol), mientras el inicio de las siembras de postrera (22 de noviembre para el maíz y 15 noviembre para frijol) se ven retrasadas de 2 a 3 meses respecto al resto del país (15 de agosto) (MAGA & USAID, 2018). Lo anterior pone en evidencia la necesidad de ser considerados como elementos independientes, ya que, para un mismo cultivo se tendrán diferentes configuraciones de fechas de siembra tanto para las siembras de primera como para las de postrera.

La metodología aplicada para obtener tanto la localización georreferenciada de los cultivos de maíz y frijol como la asignación del área por unidad de tierra cultivada de las siembras de primera y de postrera, sigue los lineamientos planteados en la sección 2.1.4 y en A.2.4. la información disponible para establecer las variaciones de la producción entre la siembra de primera con respecto a la de postrera para Guatemala fue escasa, logrando establecer solamente un porcentaje de variación a nivel nacional, a partir de los informes de situación del maíz y el frijol a diciembre del 2017 (MAGA, 2017a, 2017b). En consecuencia, el área de primera de maíz corresponde al 58% y el área de postrera 42% del total del área sembrada por unidad de análisis y para el frijol la siembra de primera corresponde al 40% y la siembra de postrera 60% del total del área sembrada por unidad de análisis.

### **Maíz**

En el Mapa Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, el cultivo de maíz se encuentra localizado en conjunto con el frijol dentro de la categoría general de “Granos básicos” representando 1,217,745 ha distribuidas dentro del territorio. Sin embargo, para modelar el comportamiento de cada cultivo dentro del módulo de vulnerabilidad, es necesario establecer de forma individual la distribución espacial.

La información más detallada y actual que se tiene disponible para Guatemala que permite diferenciar la localización y área sembrada del cultivo de maíz respecto al cultivo de frijol, es la reportada por el documento “El Agro en Cifras 2016” en donde se encuentran dispuestas las participaciones porcentuales de la producción de ambos cultivos por departamento y el área sembrada por cultivo. A partir de esta información se obtuvo el mapa del cultivo de maíz que se presenta en la Figura 4-32.

La superficie cultivada de maíz a nivel nacional se estimó en 870,030 ha, ocupando el primer puesto en área sembrada y producción en el país. Las siembras se encuentran distribuidas en los departamentos de Petén (17.9%), Alta Verapaz (10.4%), Quiché (7.5%), Jutiapa (7%), Huehuetenango (6%), los departamentos de Santa Rosa, Retalhuleu y San Marcos cuentan cada uno con 5% del área total, esta distribución concentra el 63.9% del área cultivada.

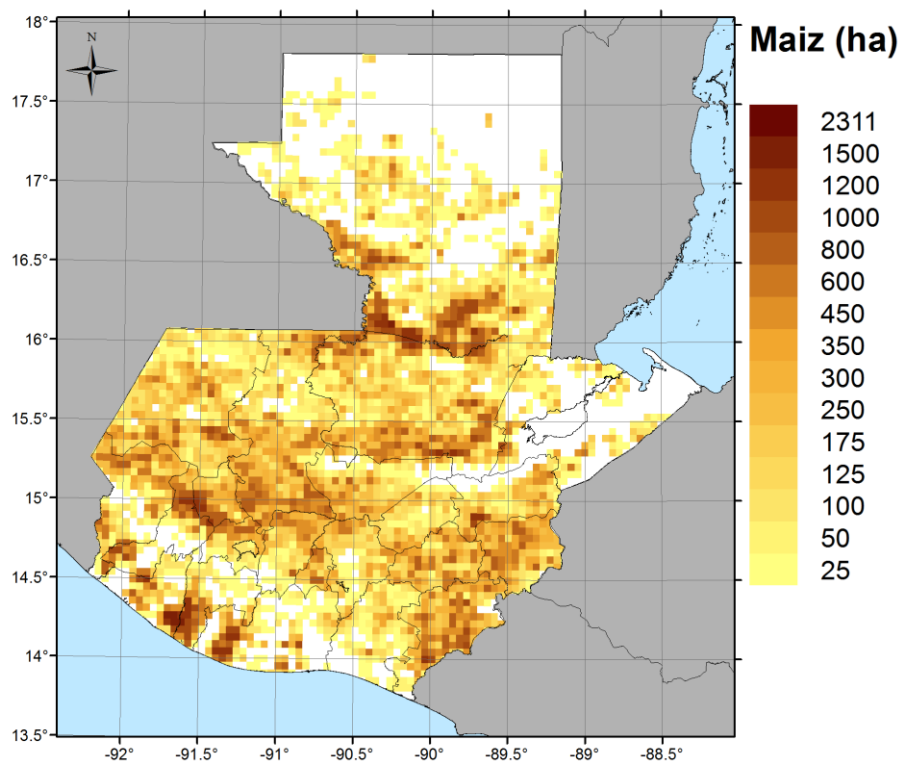


Figura 4-32. Mapa de localización de siembras total de maíz en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

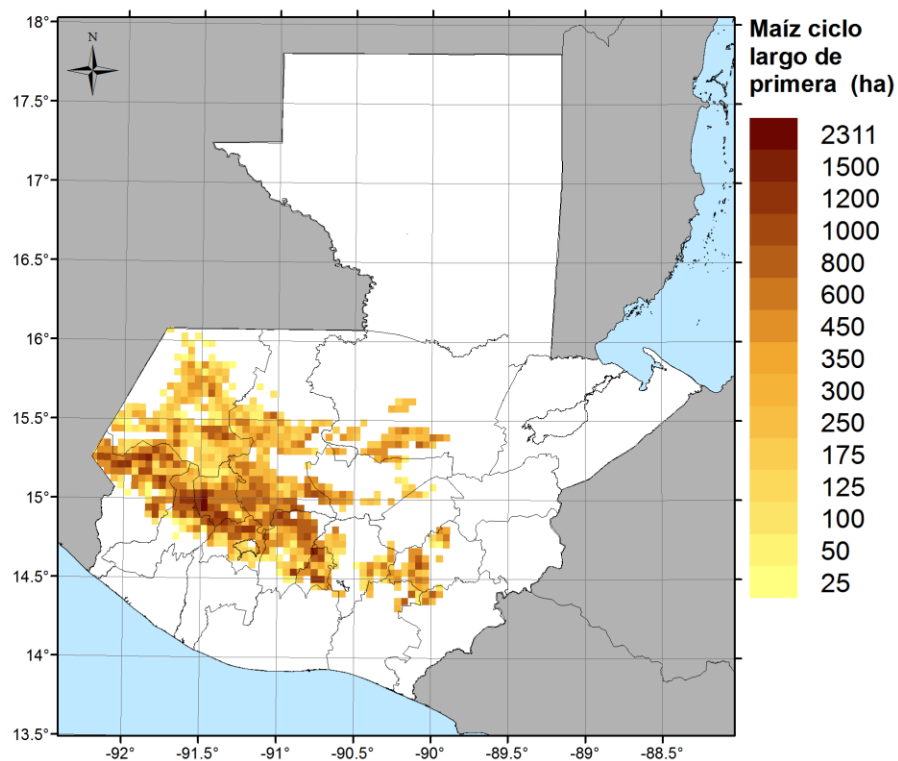


Figura 4-33. Mapa de localización de siembras de maíz de ciclo largo para la temporada de primera en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

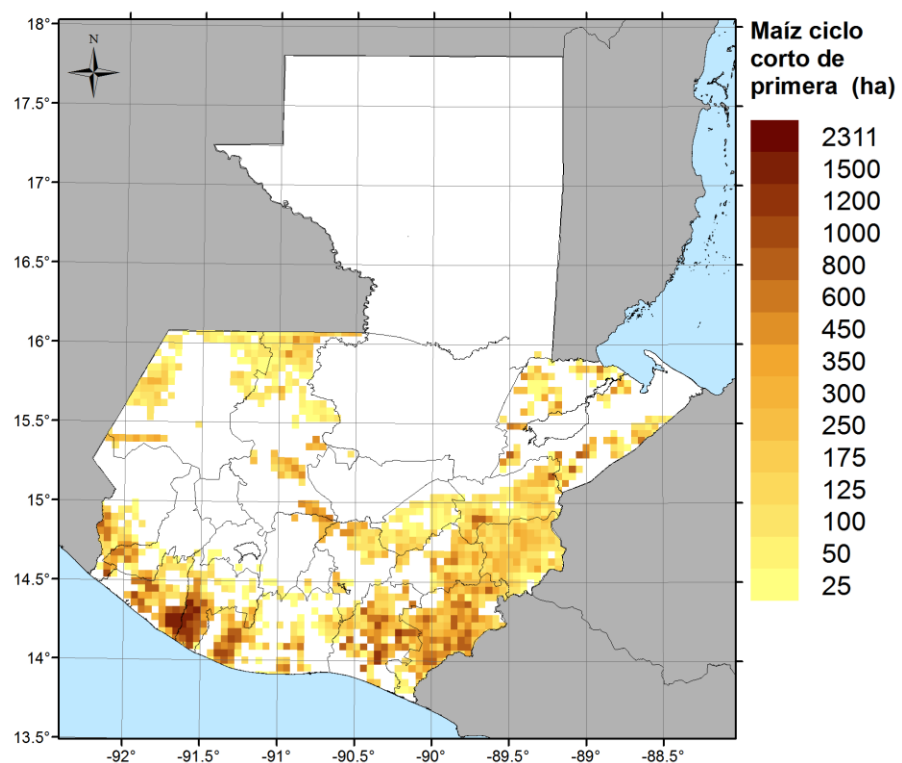




Figura 4-34 Mapa de localización de siembras de maíz de ciclo corto para la temporada de primera en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

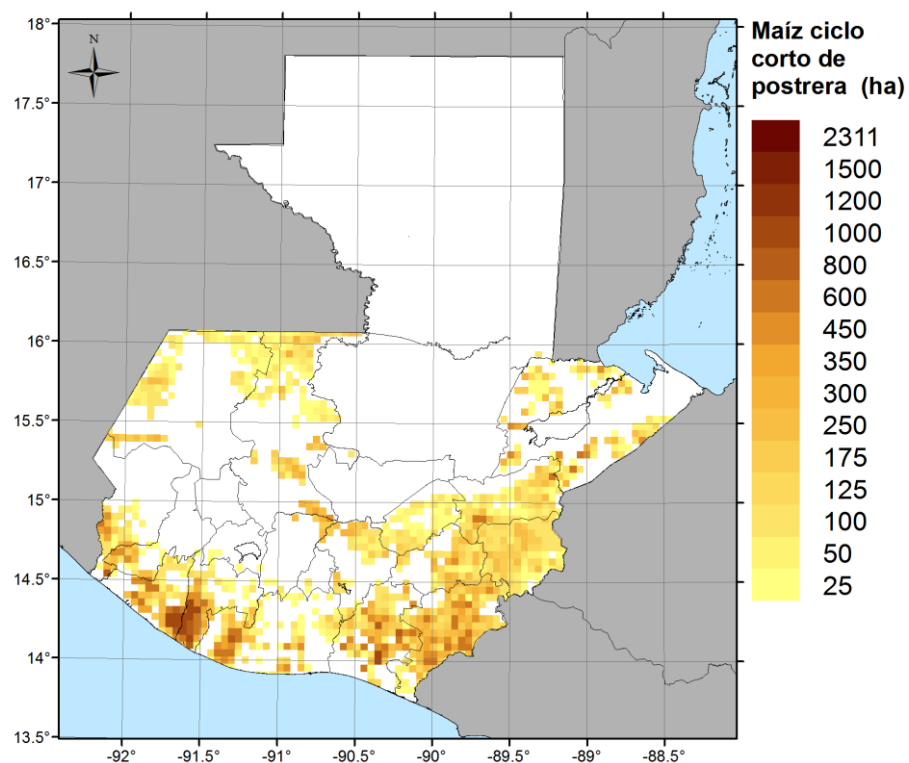


Figura 4-35. Mapa de localización de siembras de maíz de ciclo corto para la temporada de postrera en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

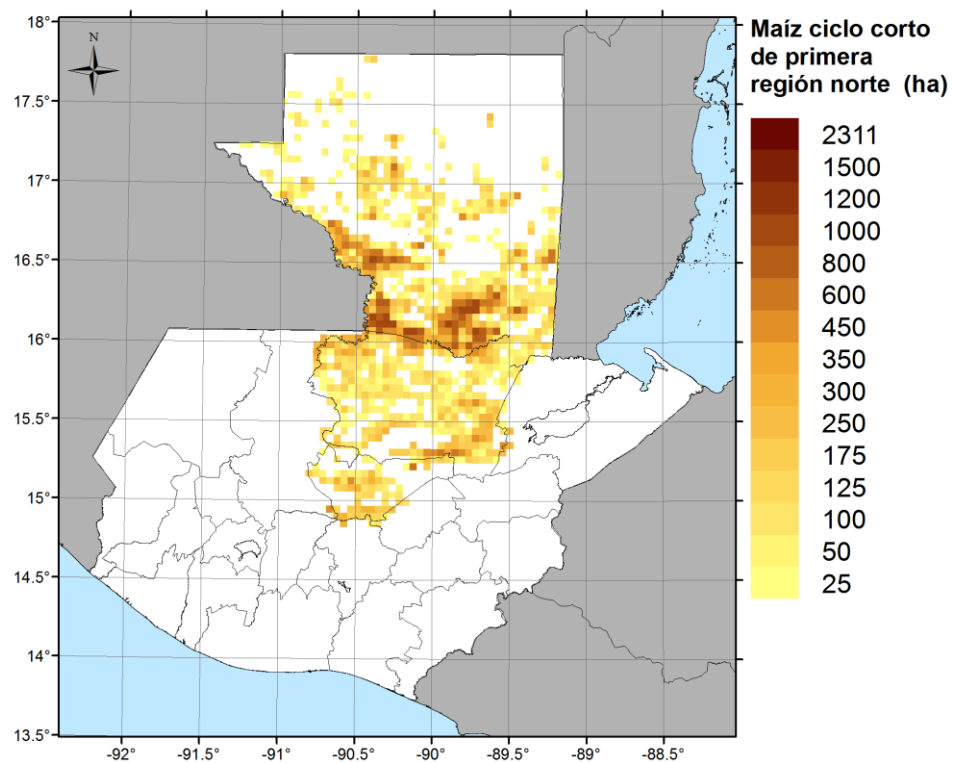


Figura 4-36. Mapa de localización de siembras de maíz de ciclo corto para la temporada de primera región norte en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

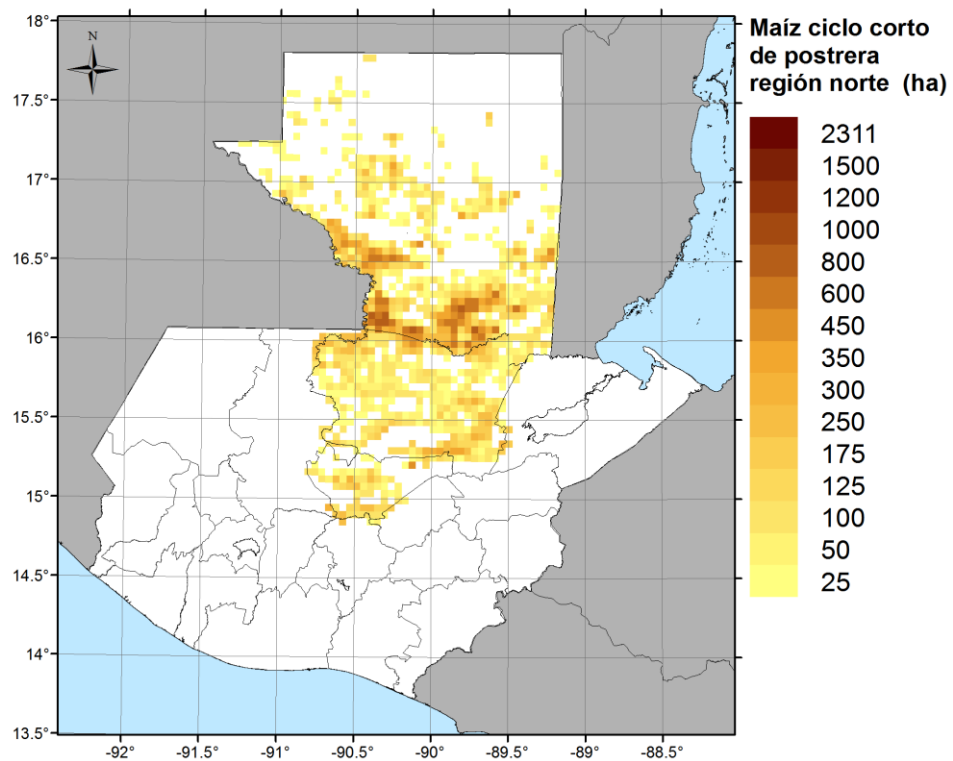


Figura 4-37. Mapa de localización de siembras de maíz de ciclo corto para la temporada de postrera región norte en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

## Fríjol

En el Mapa Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, el cultivo de frijol se encuentra localizado en conjunto con el maíz dentro de la categoría general de “Granos básicos” representando 1,217,745 ha distribuidas dentro del territorio. Sin embargo, para modelar el comportamiento de cada cultivo dentro del módulo de vulnerabilidad, es necesario establecer de forma individual la distribución espacial. En Guatemala típicamente se cultivan dos variedades de frijol. Uno es el frijol negro, considerado como un alimento básico y de alto consumo dentro de la población guatemalteca. El segundo es el frijol colorado o rojo el cual ha cobrado fuerza en los últimos años como producto de exportación (Orozco Barrios, 2014).

La información más detallada y actual que se tiene disponible para Guatemala, que permite diferenciar la localización y área sembrada del cultivo de frijol respecto al cultivo de maíz, es la reportada por el documento “El Agro en Cifras 2016” en donde se encuentran dispuestas las participaciones porcentuales de la producción de ambos cultivos por departamento y el área sembrada por cultivo. A partir de esta información se obtuvo el mapa del cultivo de frijol que se presenta en la Figura 4-38. La superficie cultivada de frijol a nivel nacional se estimó en 252,159 ha<sup>17</sup>, donde el departamento de Petén es el mayor productor a nivel nacional con un 27%, seguido de Jutiapa 13%, Chiquimula 10%, Santa Rosa 7% y Jalapa 6%, representando el 64% del área cultivada.

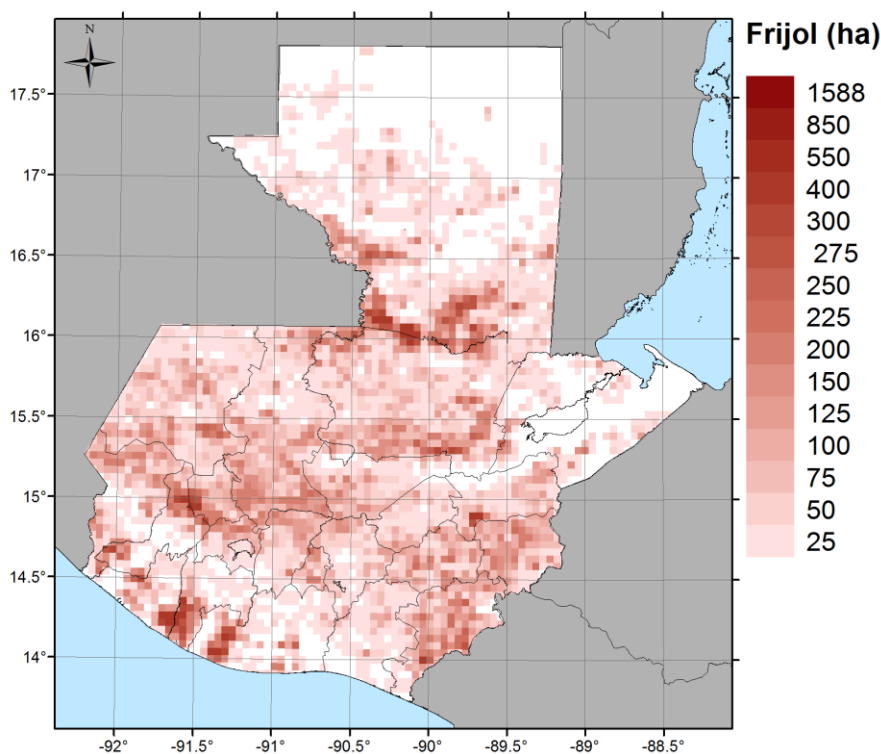


Figura 4-38. Mapa de localización de siembras total de frijol en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

<sup>17</sup> El valor de área cultivada de frijol fue ajustado luego de realizar la desagregación por condiciones regionales y de época de siembra pasando de 251,930 ha a 252,159 ha.

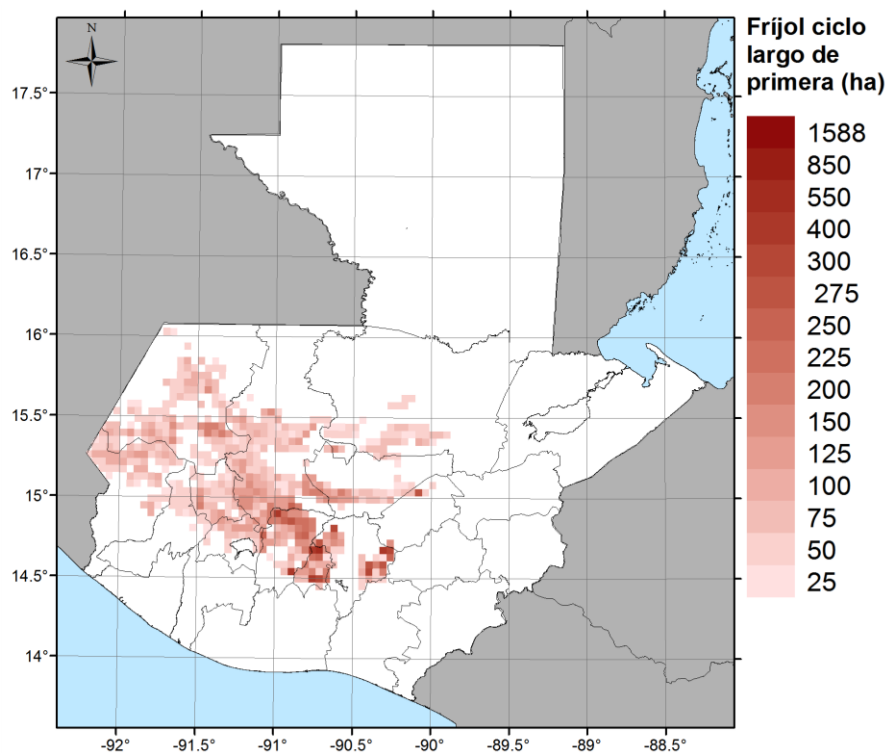


Figura 4-39. Mapa de localización de siembras de frijol de ciclo largo para la temporada de primera en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

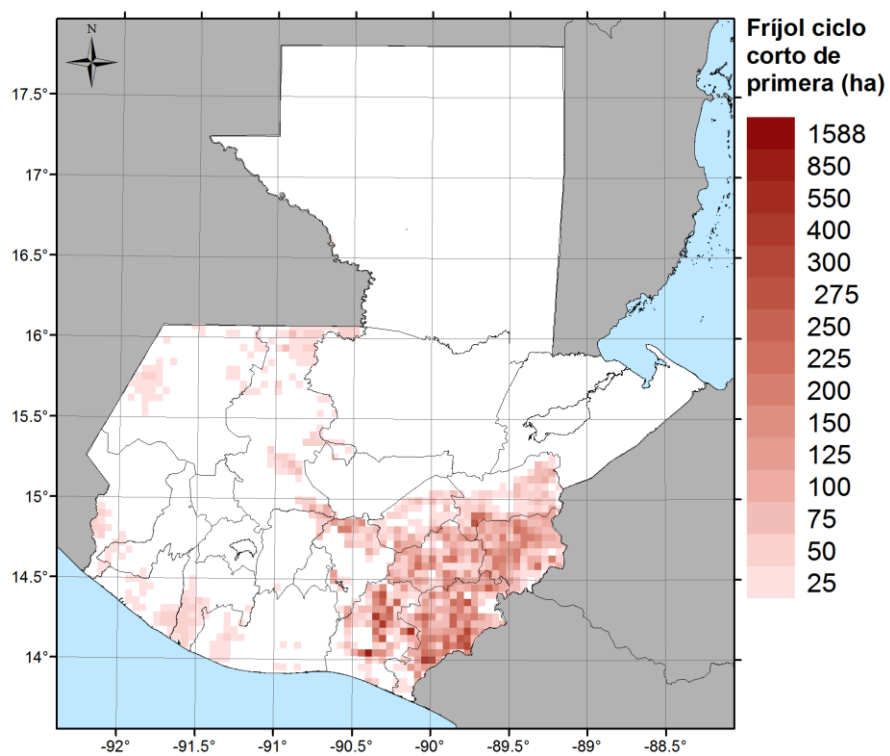


Figura 4-40. Mapa de localización de siembras de frijol de ciclo corto para la temporada de primera en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

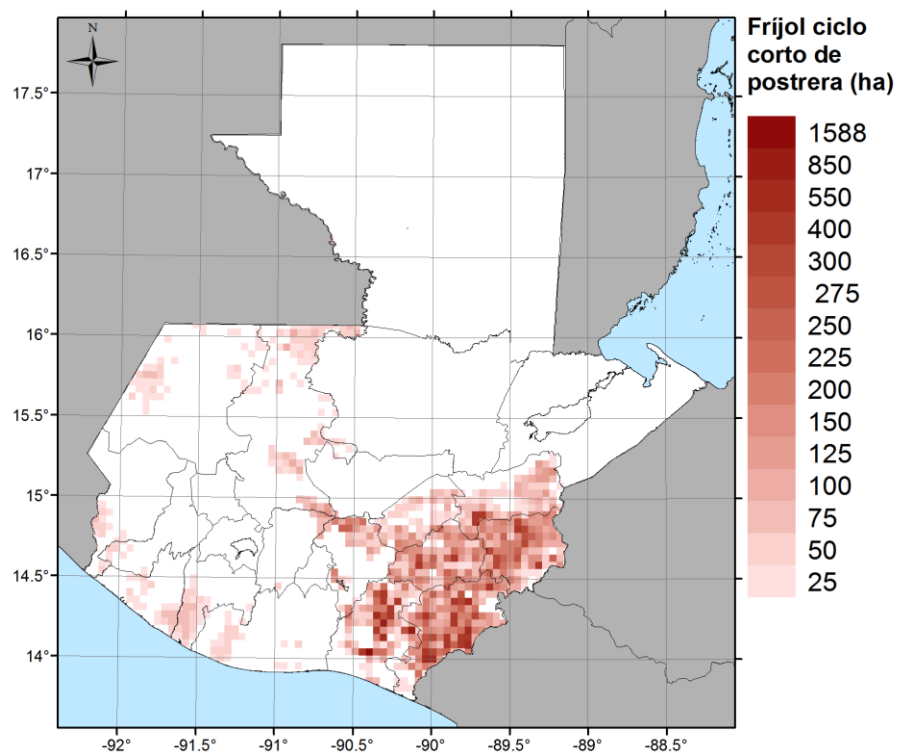


Figura 4-41. Mapa de localización de siembras de frijol de ciclo corto para la temporada de postrera en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

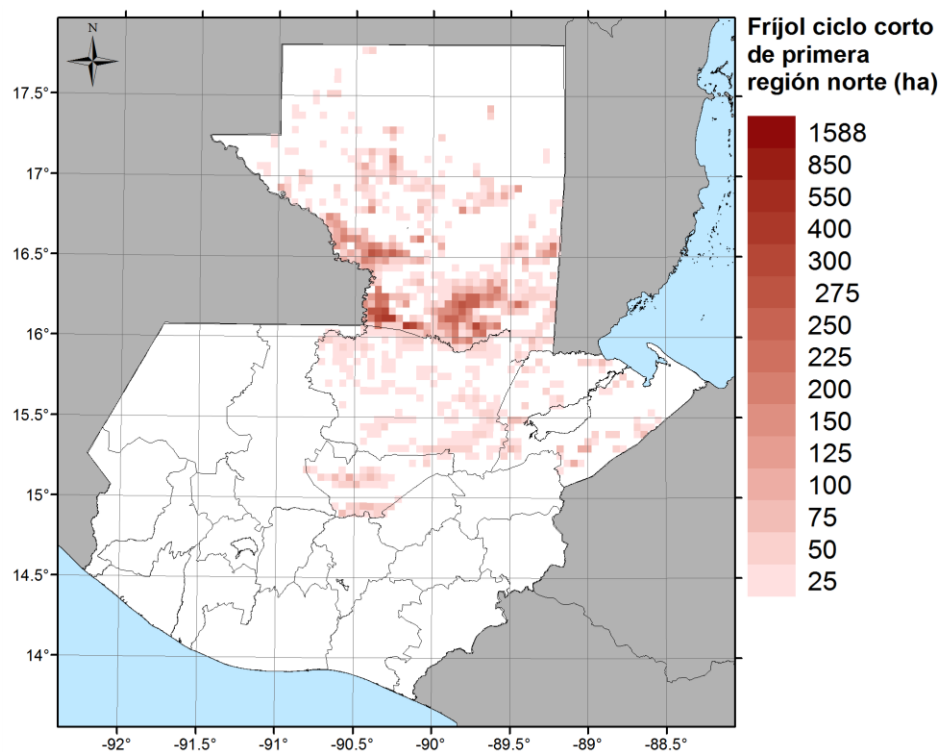


Figura 4-42. Mapa de localización de siembras de frijol de ciclo corto para la temporada de primera región norte en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

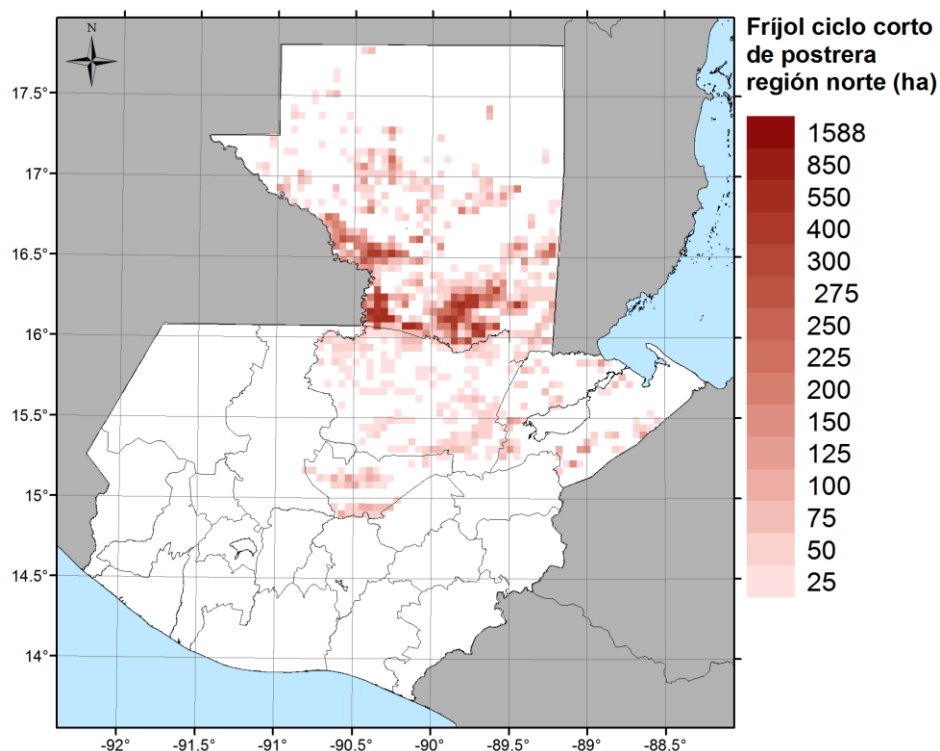


Figura 4-43. Mapa de localización de siembras de frijol de ciclo corto para la temporada de postrera región norte en Guatemala.

### Café

Anacafé ha determinado 5 regiones cafeteras, cada una con características propias determinadas por la diversidad organoléptica del café de Guatemala (Anacafé, 2018d; SIB, 2011). La región cafetera de Antigua se caracteriza por ser un valle rodeado de montañas a más de 1,500 msnm en el departamento de Sacatepéquez. La región cafetera de Atitlán se desarrolla alrededor del Lago Atitlán en las planicies inclinadas que se forman con el lago, ubicado entre los 1,200 a 1,800 msnm en el municipio y departamento de Sololá. La región cafetera de Fraijanes se localiza sobre los 1,200 a 1,500 msnm en el departamento de Guatemala.

Las tres regiones anteriormente mencionadas se localizan sobre una franja al suroccidente del territorio que se puede apreciar en la Figura 4-44, caracterizada por ser una zona montañosa con suelos de origen volcánico que en conjunto con condiciones de humedad apropiadas son fértiles y propicios para los cultivos permanentes (Secretaría De Seguridad Alimentaria Y Nutricional, 2009).

Por otro lado, la zona cafetera de Huehuetenango se encuentra localizada en la región occidente del país y se caracteriza por contar con la presencia de vientos cálidos procedentes del Gran Valle de México, que permiten cultivar café a más de 2,000 msnm y obtener un grano de alta calidad. La región cafetera de Cobán en el departamento de Alta Verapaz se desarrolla sobre la zona subtropical húmeda que permite mantener las condiciones de humedad necesarias para el cultivo durante todo el año.

A lo largo del territorio se encuentran 73,688 ha de café cultivadas en asocio con el banano (9,336 ha) y el cardamomo (64,245 ha). Una pequeña porción del área de café es asociada a macadamia (305 ha). La localización del cultivo de café y el área total sembrada fue tomada del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

Las áreas sembradas de los cultivos de café en monocultivo y café asociado a Banano y café asociado a cardamomo fueron agregadas y ajustadas como un solo elemento expuesto, limitando el modelo de exposición solo a la siembra en monocultivo. Gracias a que las variaciones en la densidad de siembra no eran significativas se obtuvo como resultado un total de 565,963 ha de café distribuidas sobre el territorio según la Figura 4-44.

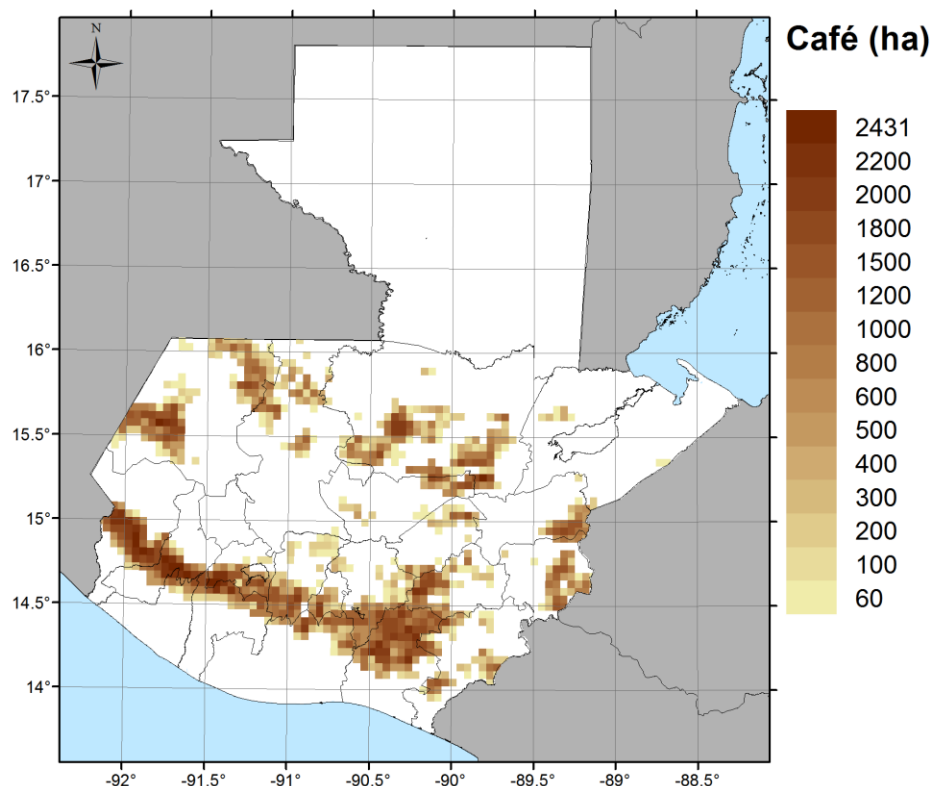


Figura 4-44. Mapa de localización de siembras de café total en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

## Caña

El cultivo de caña de azúcar se desarrolla en un 97.2% a lo largo de las planicies de la costa sur de Guatemala (Océano Pacífico), en los departamentos de Escuintla (64.2%), Retalhuleu (12.9%), Santa Rosa (10.5%) y Suchitepéquez (9.6%), como se puede observar en la Figura 4-45.

La Agroindustria Azucarera de Guatemala está conformada por 13 ingenios azucareros, de los cuales 10 se concentran en la zona anteriormente mencionada a excepción del ingenio Santa Teresa localizado en el municipio de Villa Canales del departamento de Guatemala, el ingenio La Sonrisa en Santa Rosa y el ingenio Chabil Utzaj, siendo el único ubicado en la parte norte del país, en el departamento de Alta Verapaz (CENGICAÑA, 2014).

La localización del cultivo de caña de azúcar y el área total sembrada fueron tomados del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

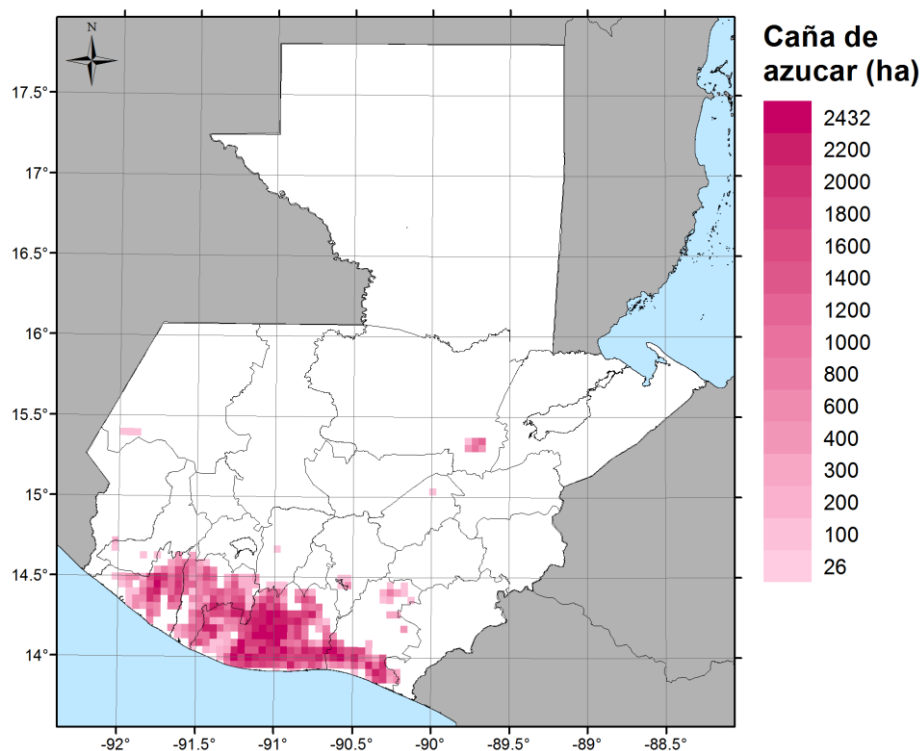


Figura 4-45. Mapa de localización de siembras de caña de azúcar en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Hortalizas

En el Mapa Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, es posible diferenciar espacialmente dos tipos de coberturas de hortalizas, *el tomate* como categoría individual representando el 10% (13,292 ha) y “*otras hortalizas*” con el 90% (120,117 ha) restante, donde se encuentran agrupados los cultivos de papa, cebolla, repollo, zanahoria, lechuga entre otros; esto debido a que el nivel de detalle al cual se realizó el mapa de cobertura no permite diferenciarlos.

La categoría “*otras hortalizas*” no puede ser considerada como categoría general al momento ser analizadas por el módulo de vulnerabilidad, ya que los parámetros que representan el comportamiento de cada cultivo difieren unos de otros. En consecuencia, se seleccionó el cultivo de papa como el cultivo más representativo que se encontraba dentro de esta categoría, debido a su importancia alimentaria sobre la región del altiplano en donde se considera parte de la dieta básica y su participación del 16% (21,000 ha) de la superficie sembrada de hortalizas.

Para incluir el cultivo de papa dentro de los elementos expuestos, se tomó la localización de la papa como la representada por la categoría “*otras hortalizas*” según el mapa de cobertura. Sin embargo, como la papa se desarrolla bajo las condiciones de clima frío a templado, entre los 1,500 y 3,600 msnm especialmente en el altiplano occidental, era necesario extraer solo el área de los polígonos de la cobertura que se encontraban dentro del rango altitudinal propicios para la viabilidad del desarrollo del cultivo. Las elevaciones del terreno se obtuvieron de un Modelo de Elevación Digital (MED) de Guatemala.



En conclusión, la distribución espacial del cultivo de papa sobre el territorio fue tomado del Mapa Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala y la superficie sembrada fue ajustada al área publicada por el MAGA en el documento “El Agro en Cifras 2016”.

La localización resultante para el cultivo de papa sobre el territorio se muestra en la Figura 4-46. Las regiones productoras se establecen en los departamentos de Chimaltenango con el 27.0% del total de área de papa, seguido de San Marcos (17.5%), Huehuetenango (15.8%), Quetzaltenango (12.8), Quiché (11.6%) y Guatemala (8.2%).

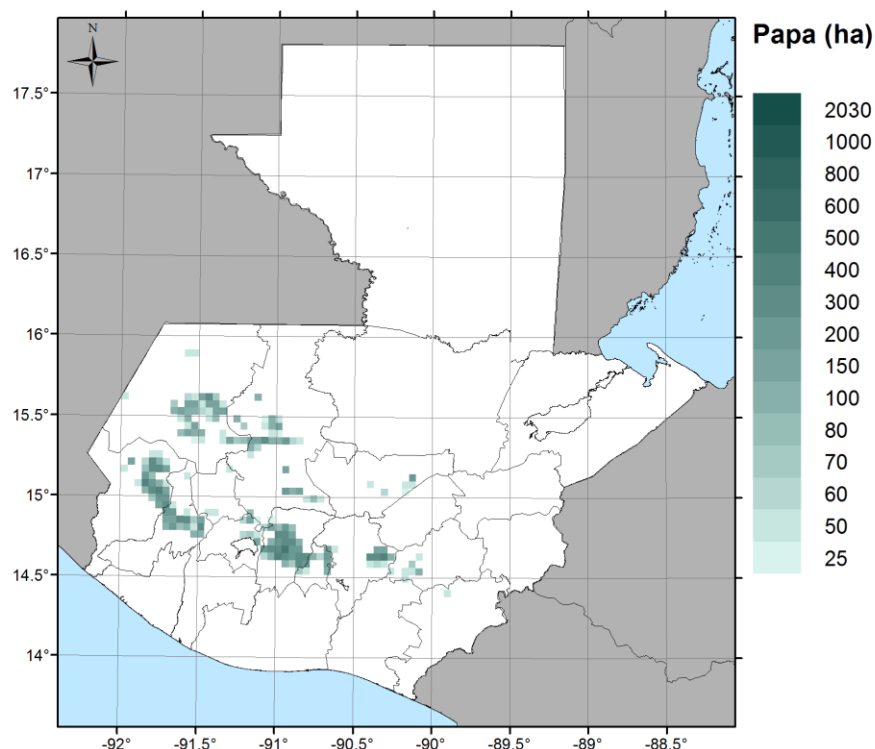


Figura 4-46. Mapa de localización de siembras de papa en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, la producción de tomate es utilizada para el consumo interno y para exportación en especial hacia El Salvador y Estados Unidos (MAGA, 2016). El 87% del área sembrada se encuentra concentrada en 4 departamentos: Baja Verapaz (31.3%), Jutiapa (19.9%), Jalapa (18.4%) y Chiquimula (17.5%).

La localización del cultivo de tomate y el área total sembrada fue tomada del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

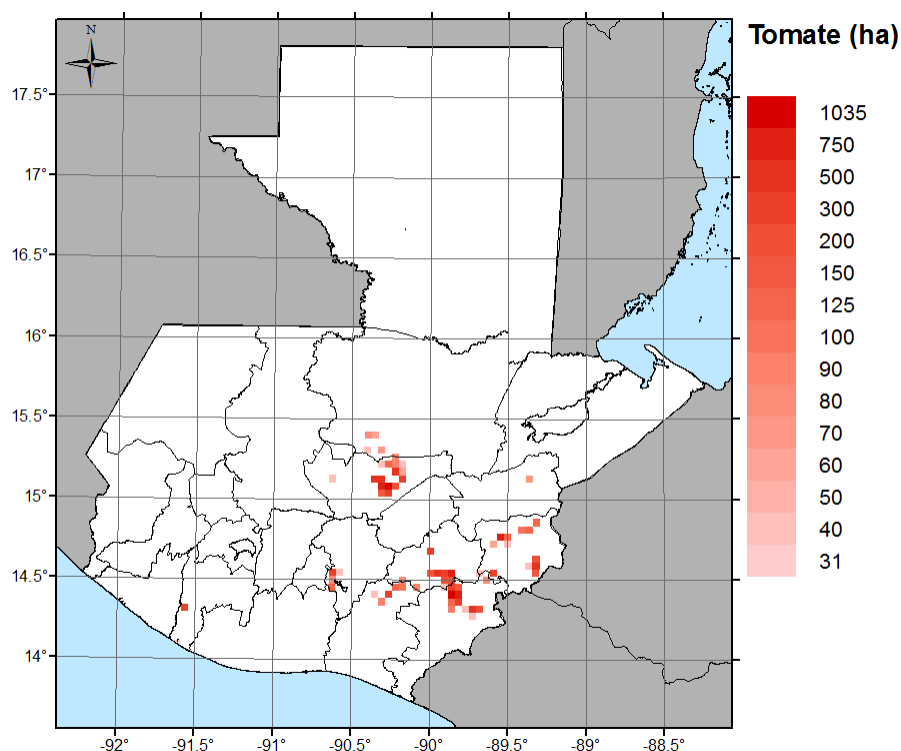


Figura 4-47. Mapa de localización de siembras de tomate en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Palma de aceite

De la palma se extrae aceite vegetal, el cual tiene diferentes usos en la industria, como pinturas, jabones y cosméticos; también se puede utilizar en helados, mantecas, concentrado animal, entre otros (ISDE, 2011). El cultivo de la palma en Guatemala se localiza en 3 zonas (GrupoHAME, 2016):

- La primera zona se encuentra al norte del país, conformada por la zona sur de Petén (45.1%), norte de Alta Verapaz (7.4%) y nororiente de Quiché (0.5%).
- La segunda zona se encuentra al nororiente del país, conformada por los departamentos de Izabal (17.7%) y una pequeña parte de Alta Verapaz (GrupoHAME, 2016).
- La tercera zona se encuentra en el sur del país, en los departamentos de Escuintla (12.2%), Quetzaltenango (8.9%), San Marcos (4.5%), Suchitepéquez (2.9%) y Retalhuleu (1%). Los cultivos de esta zona son más productivos que los del norte gracias a la riqueza de los suelos.

La localización del cultivo de palma de aceite y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

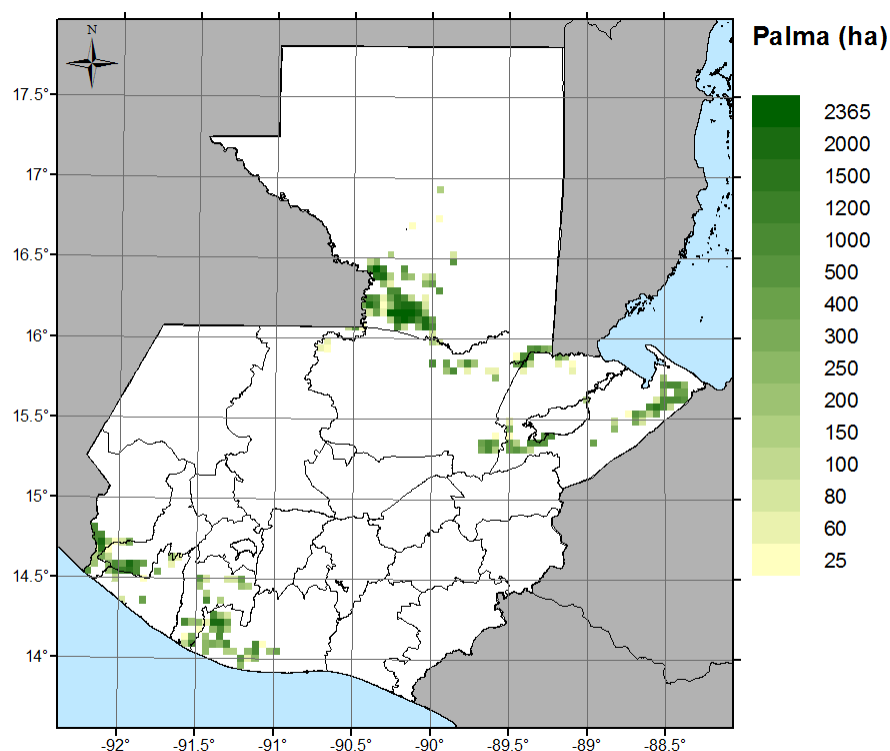


Figura 4-48. Mapa de localización de siembras de palma en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Plátano-Banano

La superficie cultivada de banano y plátano a nivel nacional se estimó en 64,732 ha, de las cuales 55,741 ha corresponden a plantaciones en monocultivo y 8,991 ha en explotaciones asociadas a cultivos de café. Las regiones productoras se establecen en los departamentos de Izabal (31.5%), Escuintla (29.7%), San Marcos (9.7%), Santa Rosa (8.5%), Quetzaltenango (7.2%), Retalhuleu (5.4%), que representan el 92% del área total; la distribución de áreas de cultivo se muestra en la Figura 4-49. La localización de los cultivos de banano - plátano y el área total sembrada fueron tomados del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

En primera instancia la localización y área sembrada para los cultivos de banano y plátano se encuentran unificados como un solo elemento expuesto, sin embargo, se observaron diferencias significativas en los valores de rendimiento y avalúo entre ambos cultivos, por lo que se realizó el esfuerzo de desagregar estos cultivos y considerarlos como elementos independientes, los resultados de este proceso se presentan en la Tabla 4-11, la Figura 4-50 y la Figura 4-51. La metodología para desagregar estos dos cultivos sigue los lineamientos planteados en la Sección 2.1.4 y en el Anexo A.2.4

Tabla 4-11. Productos ajustados del modelo de Plátano-Banano para Guatemala.

Producto original	Producto	Área cultivada (ha)	Tipo Cultivo	Sistema de siembra
Plátano-Banano	Banano	63,627	Permanente	Monocultivo
	Plátano	11,891	Permanente	Monocultivo

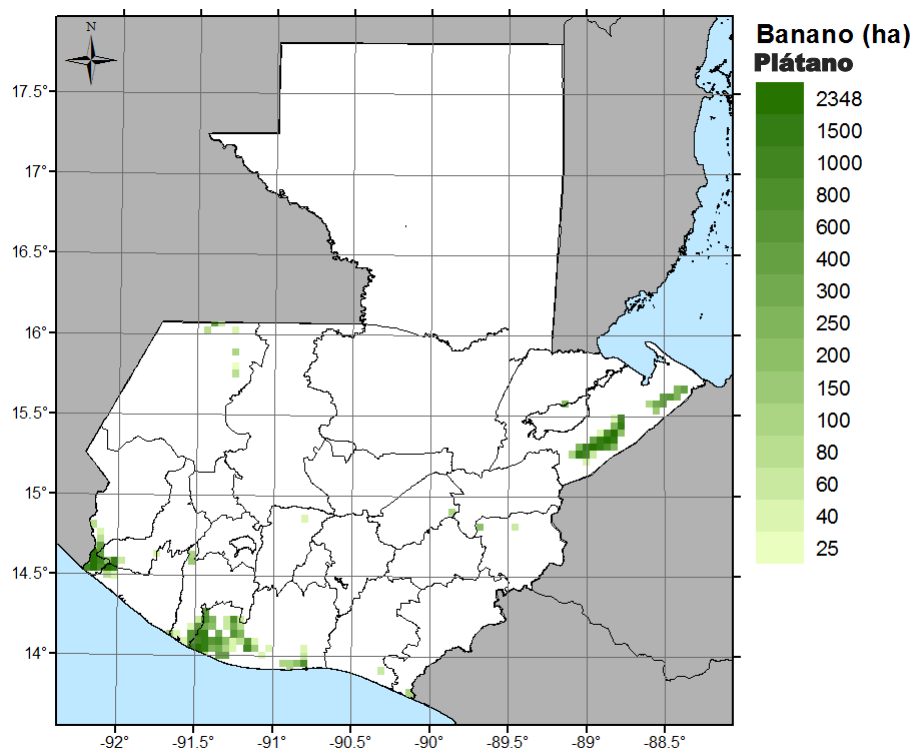


Figura 4-49. Mapa de localización de siembras de banano y plátano en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

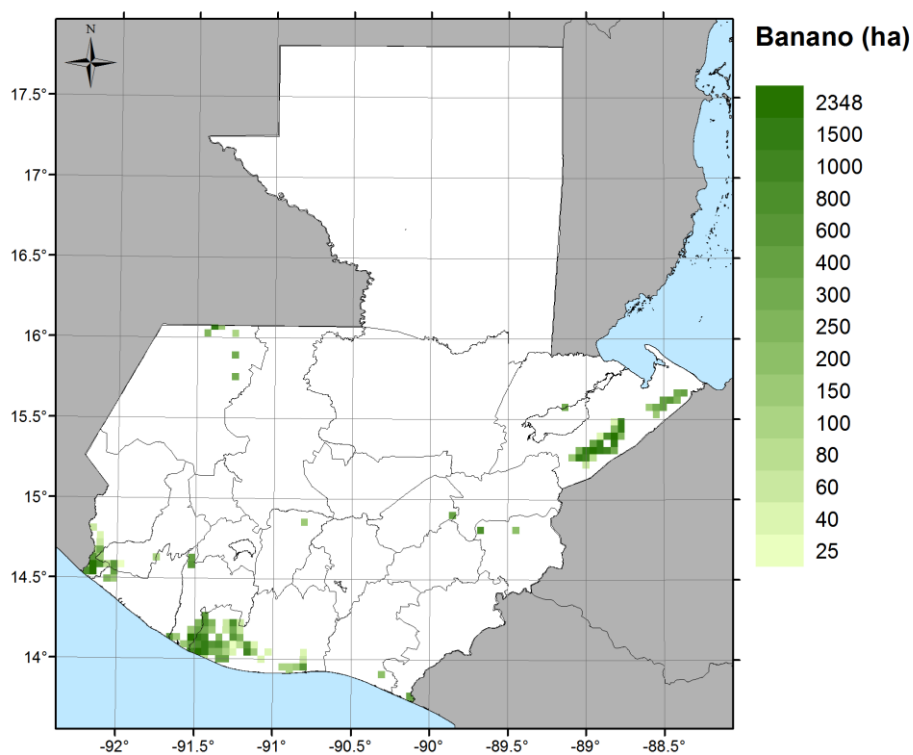


Figura 4-50. Mapa de localización de siembras de banano en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

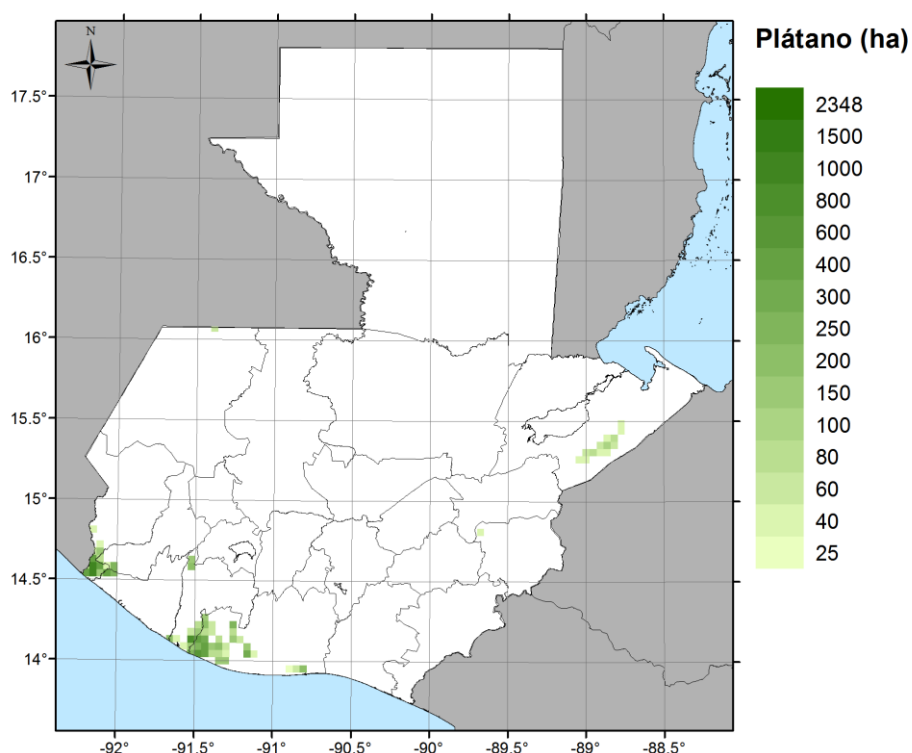


Figura 4-51. Mapa de localización de siembras de plátano en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

## Arroz

La superficie cultivada de arroz a nivel nacional se estimó en 17,060 ha; sin embargo, la producción generada no satisface las necesidades del consumo nacional, por lo que es necesario suplir la demanda con importación del grano (Azurdia, 2014). Como áreas potenciales para el cultivo se tienen la región de Petén y la Franja Transversal del Norte en donde se encuentra el 46.8% del cultivo. La franja Costera del Pacífico también se considera como área potencial pero el cultivo en esta zona representa el 9.3% de la superficie total. El 21.8% de la siembra de arroz se realiza en la región occidental la zona comprendida entre los departamentos de Chiquimula y Jutiapa. En la región occidental sobresale el sur del departamento de San Marcos con el 13.1%. Para el objetivo de la evaluación de riesgo por sequía, en este estudio se consideran que las áreas de cultivo de arroz se hacen en secano y no hay explotaciones de arroz anegado.

La localización del cultivo de arroz y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

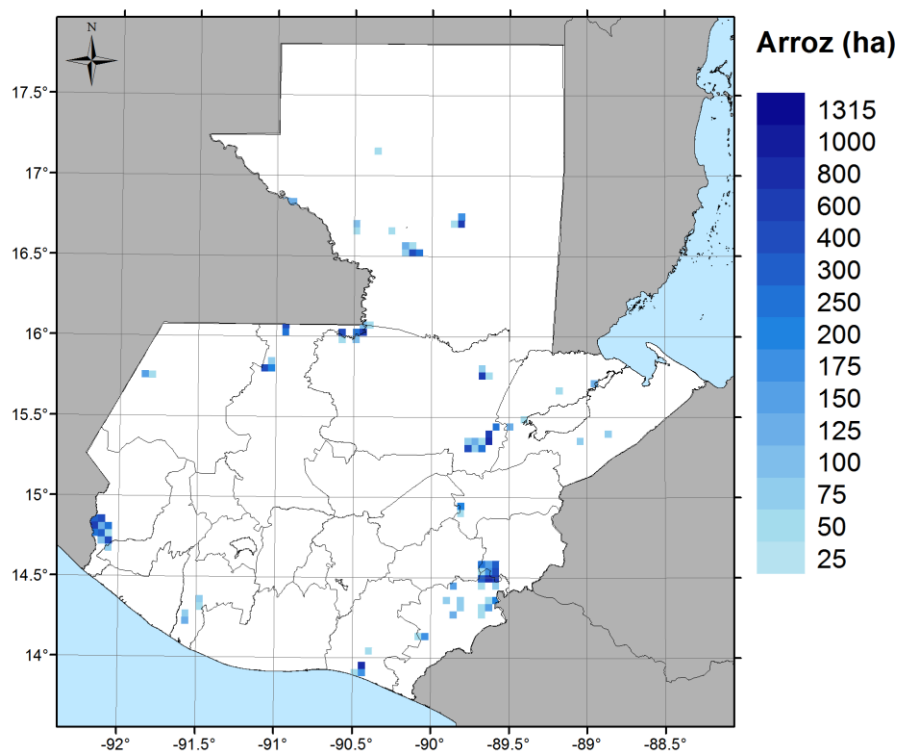


Figura 4-52. Mapa de localización de siembras de arroz en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Cardamomo

Guatemala es el mayor exportador mundial de cardamomo con un promedio anual de 27,000 toneladas métricas y una tasa media anual de crecimiento de 2%. El cardamomo es un fruto seco y su principal uso es en la gastronomía (MAGA, 2016; Robles, 2014).

El cardamomo se encuentra cultivado en la zona norte de Guatemala, el 72% de la superficie sembrada pertenece al departamento de Alta Verapaz, seguido por Quiché con el 19.1%. La superficie total es de 226,079 ha, de las cuales 161,883 ha se encuentran en monocultivo y 64,196 ha en asocio con el cultivo de café. La localización del cultivo de cardamomo y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

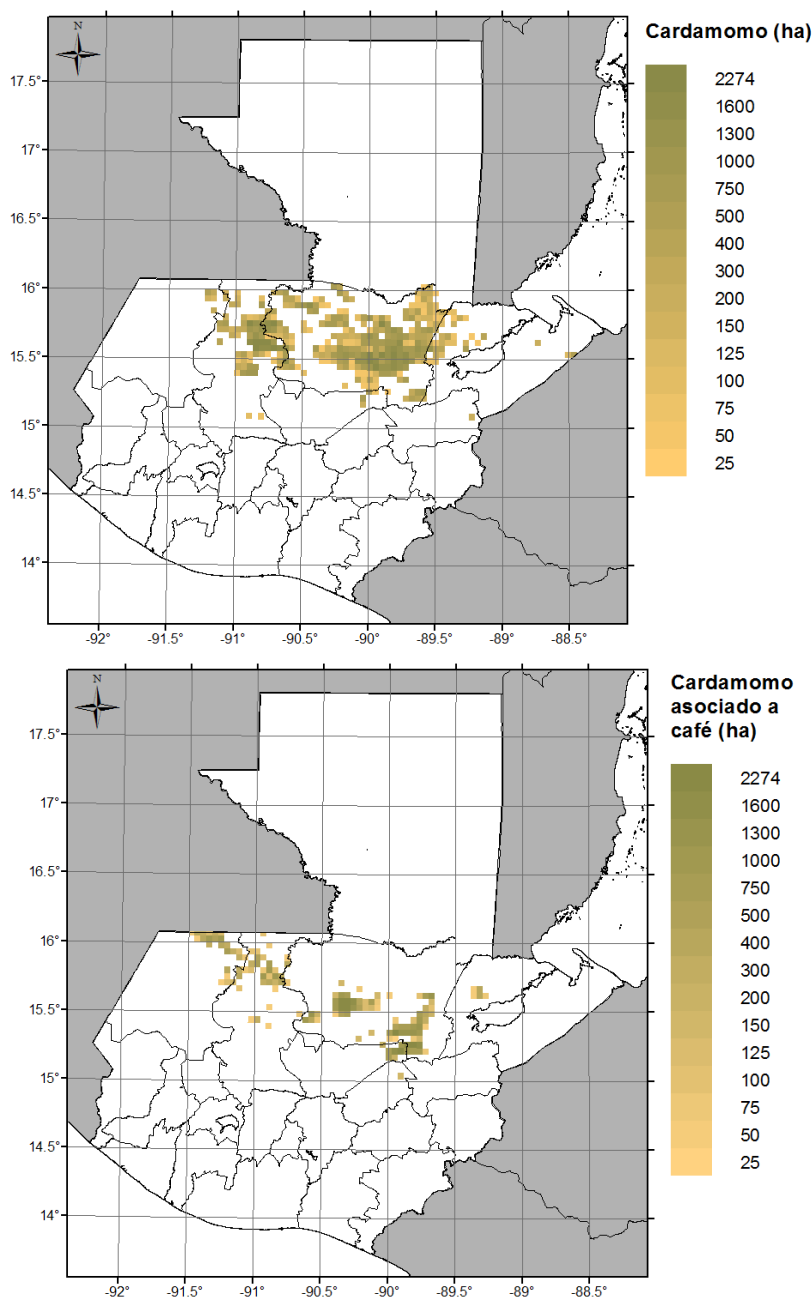


Figura 4-53. Mapa de localización de siembras de cardamomo total (arriba) y asociado (abajo) en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

El cardamomo se incluye en el modelo de exposición de cultivos de Guatemala, pero al no tener información precisa para el modelo de vulnerabilidad, no se incluye en la evaluación de riesgo. Esta información de exposición queda disponible para consulta por entidades locales.

## Hule

El 14 % de la producción de hule se destina a consumo interno para la elaboración de látex, el 86% restante se destina a exportación (Anacafé, 2018a). Los cultivos se encuentran principalmente en dos zonas de Guatemala, sobre la región sur occidente se forma una franja a lo largo de los

departamentos de Suchitepéquez (29.2%), Quetzaltenango (18%), Retalhuleu (10.8) y San Marcos (9.4%), cómo se puede apreciar en la Figura 4-55. Sobre la región nororiental se encuentran localizados los demás cultivos de hule en los departamentos de Izabal (12.5%), Alta Verapaz (6.2%), Petén (1.3%) y Quiché (0.9%).

La localización del cultivo de hule y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

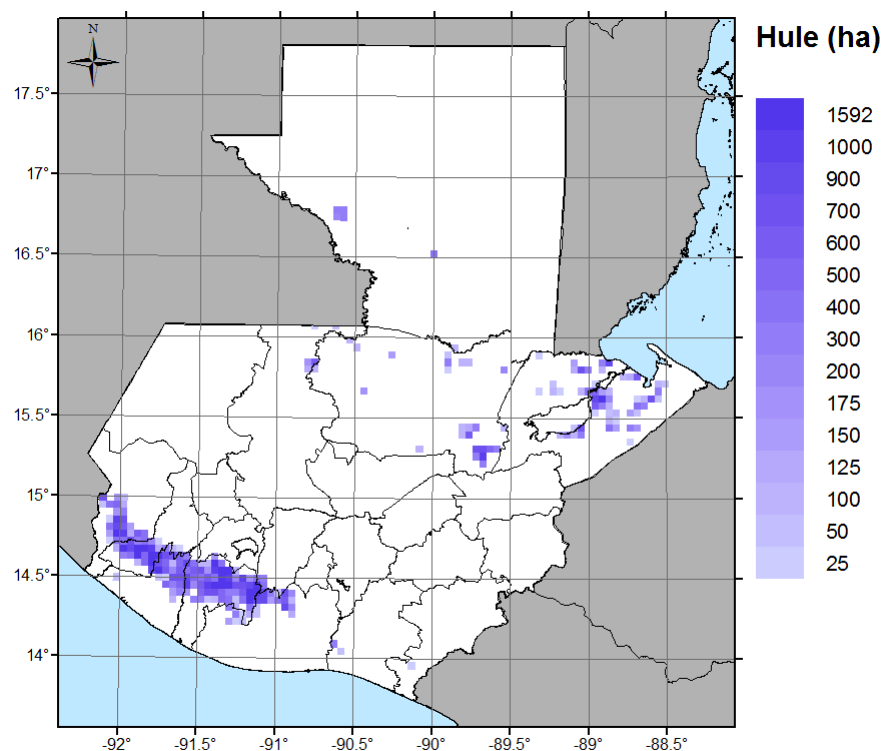


Figura 4-54. Mapa de localización de siembras de hule en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

El hule se incluye en el modelo de exposición de cultivos de Guatemala, pero al no tener información precisa para el modelo de vulnerabilidad, no se incluye en la evaluación de riesgo. Esta información de exposición queda disponible para consulta por entidades locales.

### **Melón**

El melón es la segunda fruta más producida por Guatemala (Delgado, 2016), la siembra se da de forma localizada en las zonas tropicales secas de los departamentos Zacapa (70.1%) y Jutiapa (23.3%). El área cultivada restante se encuentra dispersa en una pequeña proporción entre El Progreso, Chiquimula, Jalapa y Santa Rosa, como se observa en la Figura 4-55.

La localización del cultivo de melón y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.



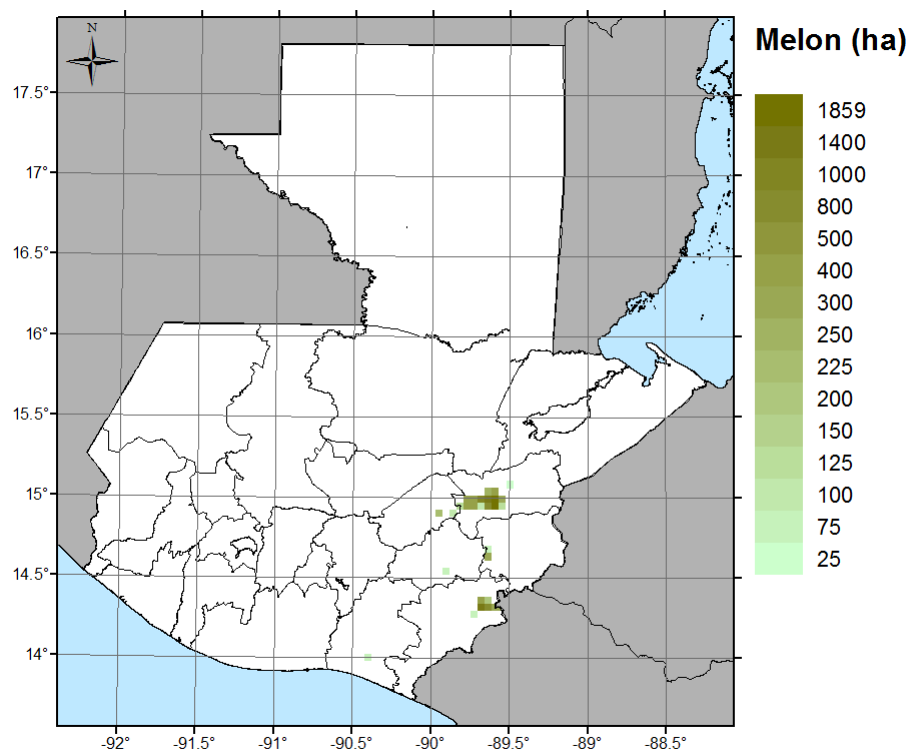


Figura 4-55. Mapa de localización de siembras de melón en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Mango

El mango es consumido por la población guatemalteca como fruta fresca y es un producto de exportación a menor escala (Anacafé, 2018b; Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), 2015). Sobre la franja costera del Pacífico se concentra el 81.2% del cultivo del mango (Retalhuleu, Santa Rosa, Quetzaltenango, Suchitepéquez) ya que se encuentran las condiciones propicias para su desarrollo. Sobre la región occidental en los departamentos de Zacapa, El Progreso y Jutiapa se encuentra el 18.8% restante del total de área cultivada.

La localización del cultivo de mango y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

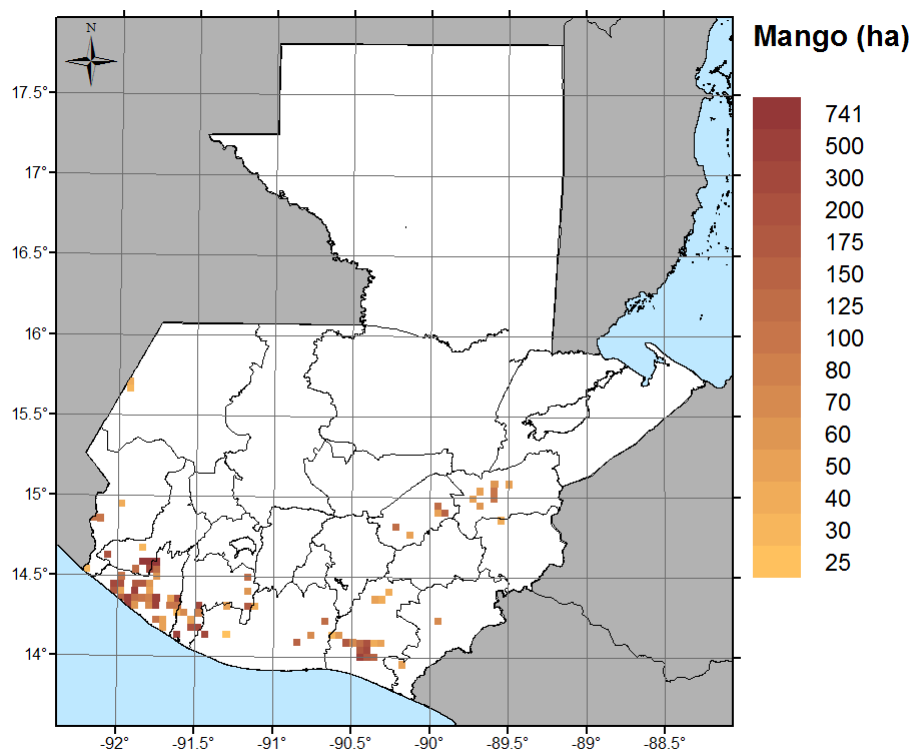


Figura 4-56. Mapa de localización de siembras de mango en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Cítricos

Dentro de los cítricos, el cultivo de naranja es tradicional dentro de las actividades agrícolas de algunas regiones del país y su producción es destinada para el consumo interno y para la industria que utiliza la naranja como materia prima para la elaboración de jugos concentrados, néctares, mermeladas entre otros (Anacafé, 2018c). Por otro lado, la producción de limón persa es destinada para la exportación a menor escala principalmente hacia Estados Unidos (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), 2015).

La localización de las siembras de naranja y limón se presenta en la Figura 4-57, en donde se puede observar que los cultivos se encuentran dispersos sobre el territorio, Santa Rosa concentra el 19.7% del área total, al igual que El Progreso con 19.1%, seguido de Escuintla con el 18.7%. La localización del cultivo de cítricos y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

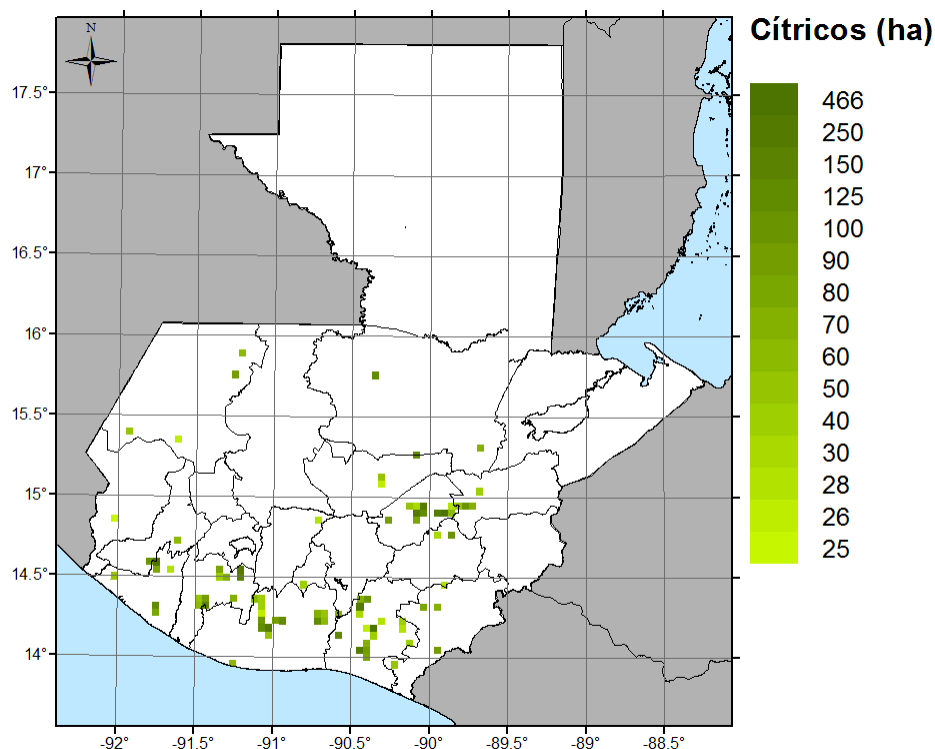


Figura 4-57. Mapa de localización de siembras de cítricos en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

### Piña

La variedad de piña que se cultiva en el país es cayena lisa, su producción es destinada para el consumo interno. En el 2015 se registró un crecimiento de 100 ha anuales luego de un periodo en los últimos años de baja producción (Gándara, 2016). Las exportaciones se dan principalmente con los países vecinos México, El Salvador y Honduras.

El departamento de Guatemala reúne el 65% del área sembrada en el país, seguido por Suchitepéquez con el 15.1%, el área restante está distribuida entre los departamentos de Izabal, Escuintla, Petén, Jutiapa y Santa Rosa como se puede observar en la Figura 4-58. La localización del cultivo de piña y el área total sembrada fueron tomadas del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la tierra de Guatemala 2010.

Al momento de evaluar el riesgo, fue necesario realizar unos ajustes a los elementos expuestos de los cultivos para los tres países. Al respecto es importante anotar que el cultivo de piña no fue considerado en la evaluación de riesgo por sequía por restricciones de la metodología, ya que sólo se pueden evaluar cultivos cuyo ciclo de desarrollo sea menor a un año y la piña crece en casi tres años.

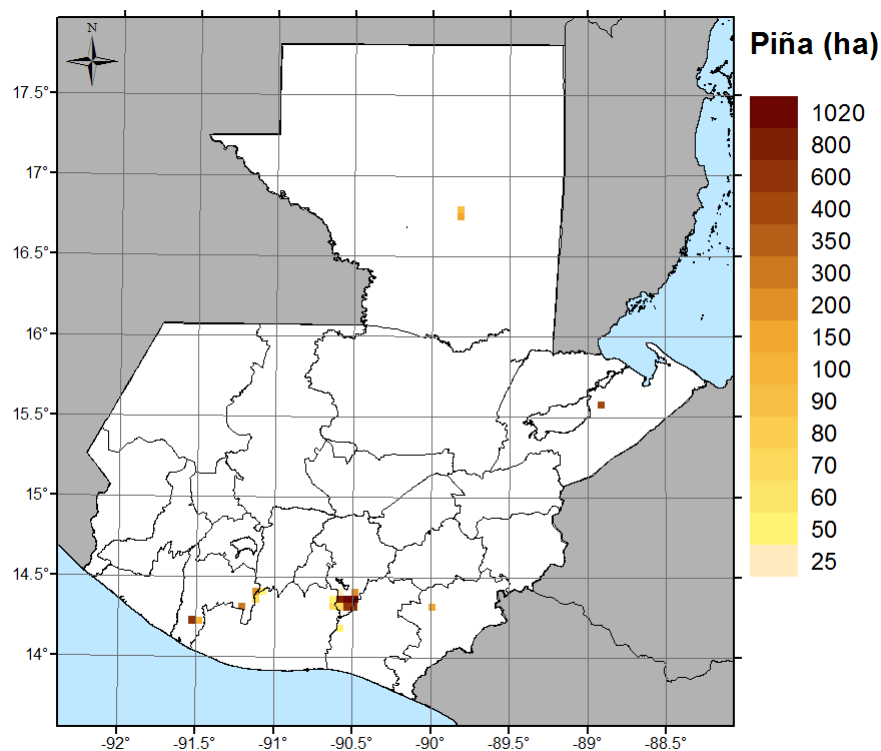


Figura 4-58. Mapa de localización de siembras de piña en Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.5 Honduras

El Programa Regional REDD/CCAD-GIZ en conjunto con el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), la Unidad de Monitoreo Forestal del Centro de Información y Patrimonio Forestal (CIPF) y la Asociación de Municipios de Honduras (AMHON) crearon un Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de la República de Honduras, con el fin de generar herramientas claves para el desarrollo territorial del país. El Atlas incluye un mapa a nivel nacional de cobertura de la tierra, así como mapas individuales para cada municipio. Para este estudio se tomó el mapa de cobertura a nivel nacional que se muestra en la versión imagen en la Figura 4-59 y el mapa digital se muestra en la Figura 4-60. A través del Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de la República de Honduras, es posible identificar los cultivos de *café*, *palma* y diferenciar las zonas de *Agricultura tecnificada*, así como el área dedicada a *cultivos y pastos*.



Figura 4-59. Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra año 2012-2013. Escala 1:25.000.  
Fuente: (ICF, 2014)

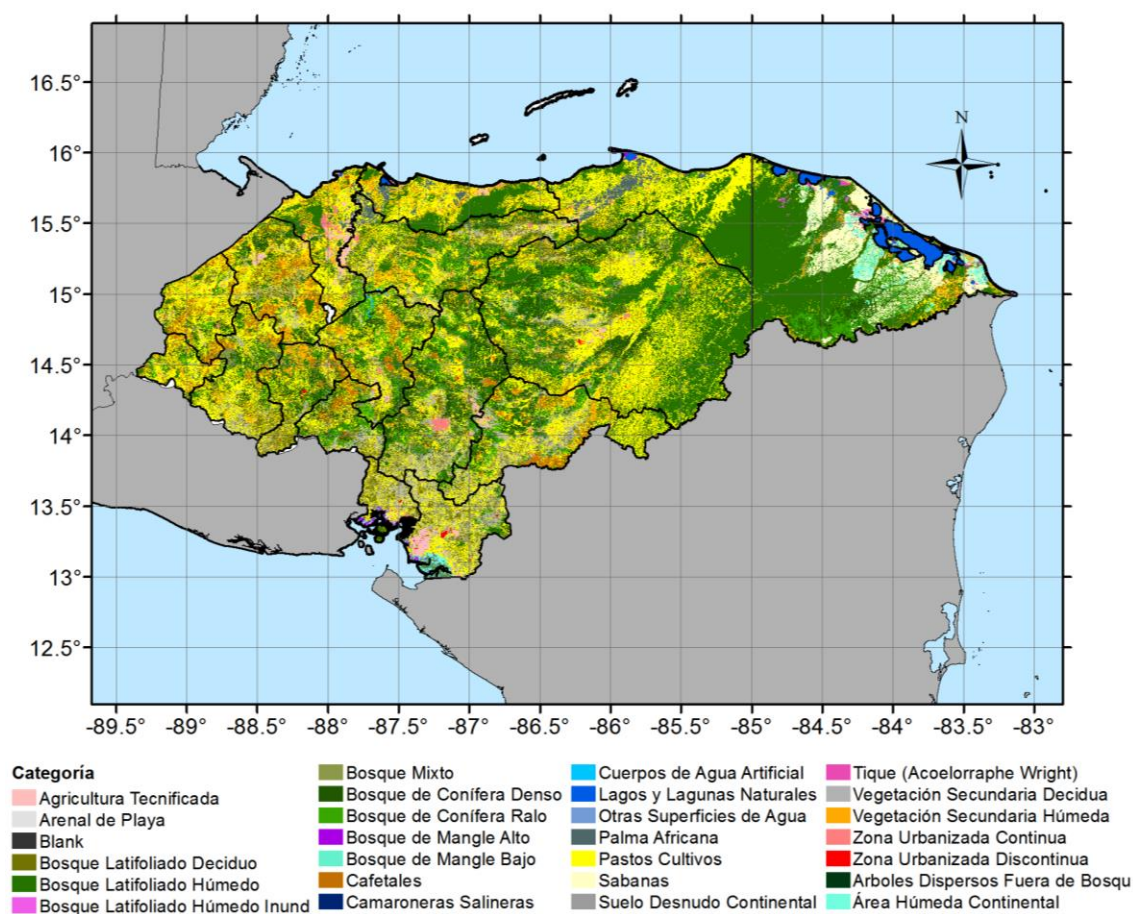


Figura 4-60. Mapa resultante de la clasificación de imágenes del Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de la República de Honduras del año 2012-2013. Fuente: Extraído y digitalizado a partir de (ICF, 2014)

Aunque estas 4 categorías son muy generales, proporcionan una distribución espacial del territorio dedicada al sector agrícola. En conjunto con la información publicada en la Encuesta Agrícola Nacional de Honduras año 2007 – 2008, fue posible obtener los porcentajes de área sembrada para cultivos anuales y permanentes para cada municipio. Por otro lado, la información de los valores de granos básicos fue extraída del Sistema Estadístico Nacional (SEN) – del reporte de *Superficie, producción y rendimiento de los granos básicos por ciclo, según cultivo y año agrícola. 1999 - 2000 / 2008-2009 / 2010-2011 / 2012-2013*. Se presenta a continuación la distribución de área sembrada para Honduras.

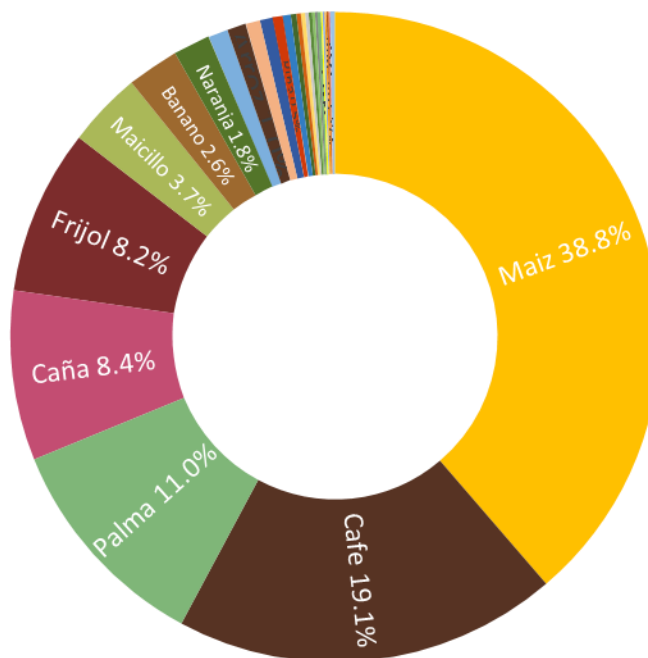


Figura 4-61. Área cultivada reportada por la Encuesta Agrícola Nacional de Honduras año 2007 – 2008 y por el Sistema Estadístico Nacional (SEN) e Instituto Nacional de Estadística (INE).

Fuente: (INE, 2008)

De la Figura 4-61 se destaca el maíz con el 38.8% como el cultivo con el mayor porcentaje de área cultivada, puesto que, constituye la base de la alimentación de la población hondureña, al igual que el frijol con un área menor de 8.2%. El cultivo del café ocupa el 19.1%, palma 11% y la caña 8.4%, todos estos productos de exportación.

La contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB) de Honduras es del 13.9% para el año 2016, donde los cultivos de café (25.6%), banano (8.0%), Palma Africana (6.6%), maíz (5.1%) y frijol (2.9%) sobresalen por su aporte al Producto Interno Bruto Agropecuario (PIBA) (ver Tabla 4-12 y Anexo A. 6.5)

A partir de la información mencionada anteriormente, se seleccionaron los siguientes cultivos para Honduras como elementos expuestos del modelo de riesgo que se muestran en la Tabla 4-12. El porcentaje de área sembrada según datos oficiales para estos 13 productos suma 97.5%, lo que indica que se consideran en el modelo de exposición los cultivos más representativos del país.

Tabla 4-12. Cultivos seleccionados como elementos expuestos para Honduras.

<sup>1</sup>Fuente: (INE, 2008). <sup>2</sup>Fuente:(UPEG, 2017)

Cultivo	% de área sembrada según ENA 2007-2008 <sup>1</sup>	Aporte al PIB Nacional (2016) <sup>2</sup>	Importancia
Maíz	38.80%	0.7%	Seguridad alimentaria
Café	19.10%	3.6%	Mayor porcentaje de área sembrada -Producto de exportación
Palma	11.00%	0.9%	Porcentaje de área sembrada -Producto de exportación - Consumo interno - ENA 2007-2008
Caña	8.40%	<1.1%*	Porcentaje de área sembrada - Producto de exportación - Consumo interno - ENA 2007-2008
Fríjol	8.20%	0.4%	Seguridad alimentaria
Sorgo o Maicillo	3.70%	0.1%	Seguridad alimentaria
Cítricos (Naranja)	1.80%	<1.9%**	Consumo Interno - ENA 2007-2008
Plátano/Banano	3.60%	1.1%	Producto de exportación - ENA 2007-2008
Arroz	1.00%	0.1%	Seguridad alimentaria
Melón	0.70%	<1.9%**	Actividad tradicional
Piña	0.50%	<1.9%**	Consumo Interno -Producto de exportación - ENA 2007-2008
Sandía	0.40%	<1.9%**	Actividad tradicional
Mango	0.30%	<1.9%**	Cultivo que tiene importancia en el país- es de alto consumo - ENA 2007-2008
<b>Total</b>	<b>97.5%</b>	<i>Del total del área cultivada en el país</i>	

\*Pertenece al 1.1% de Otros Cultivos y Actividades Agrícolas. \*\* Pertenece al 1.9% de Tubérculos, Hortalizas, Legumbres y Frutas. \*\*\* Pertenece al 0.5% de cereales.

La Tabla 4-13 muestra la comparación entre el área sembrada reportada por la Encuesta Agrícola Nacional 2007 - 2008 y el área sembrada resultante en el modelo de exposición de cultivos de este estudio. Se puede ver que el modelo de exposición ajusta de forma precisa las áreas sembradas por producto a escala nacional, con un área total cultivada de 922,741 ha, con una diferencia global de 3 ha entre los datos del censo y el modelo de exposición. Sin embargo, se tiene en consideración que la localización de estos productos no tiene la misma precisión por falta de información local, y se aproximó a la unidad de cultivo de 5km x 5km. Las mayores áreas son para maíz, café y palma, que están localizados en una amplia zona del país.

Tabla 4-13. Comparación área reportada en documento oficial y área resultante en los mapas de exposición de cultivos para Honduras.

Cultivo	Área sembrada según EAN 2007-2008 (ha)	Área sembrada en modelo de exposición (ha)	Diferencia (ha)
Maíz*	332,934	332,955	-21
Café	185,175	185,187	-12
Palma	106,670	106,671	-1
Caña	81,675	81,680	-5
Fríjol*	98,831	98,821	10
Sorgo o Maicillo *	40,764	40,762	2
Naranja	17,711	17,704	7

Cultivo	Área sembrada según EAN 2007-2008 (ha)	Área sembrada en modelo de exposición (ha)	Diferencia (ha)
Plátano/Banano	34,567	34,561	6
Arroz*	6,418	6,419	-1
Melón	6,783	6,778	5
Piña	4,413	4,410	3
Sandía	4,118	4,119	-1
Mango	2,679	2,674	5
<b>Total</b>	<b>922,738</b>	<b>922,741</b>	<b>-3</b>

\*Área reportada por Sistema Estadístico Nacional (SEN) e Instituto Nacional de Estadística (INE).

La siguiente tabla muestra el área cultivada por producto por departamento en Honduras y el área total asignada en los respectivos modelos de exposición de cultivos. No se consideró dentro del modelo de exposición de cultivos el área en Islas de la Bahía.

Tabla 4-14. Resultado de área cultivada por departamento en Honduras para diferentes productos.

Departamento	Maíz (ha)	Café (ha)	Palma (ha)	Caña (ha)	Frijol (ha)	Sorgo (ha)	Cítricos (ha)	Banano-Plátano (ha)	Arroz (ha)	Melón (ha)	Piña (ha)	Sandía (ha)	Mango (ha)
Atlántida	1,172	-	28,468	-	105	-	-	8,574	-	-	2,528	-	-
Choluteca	25,727	102	-	18,482	5,088	10,983	-	65	-	5,179	-	2,683	1,033
Colón	1,525	-	52,236	-	37	-	4,189	767	817	-	-	-	-
Comayagua	21,331	18,713	-	5,807	9,672	26	-	661	1,115	-	-	-	1,380
Copán	23,287	31,984	-	1,367	8,972	-	-	309	200	-	-	-	-
Cortés	20,225	2,342	7,353	30,110	1,675	-	-	15,545	1,860	-	1,882	-	-
El Paraíso	34,353	32,801	-	1,384	15,801	3,686	-	185	-	-	-	-	-
Francisco Morazán	31,885	6,767	-	8,829	18,551	4,255	-	598	-	-	-	-	-
Gracias a Dios	-	-	-	-	-	-	-	-	1,015	-	-	-	-
Intibucá	12,869	7,704	-	924	4,157	5,408	-	291	425	-	-	-	-
La Paz	11,182	18,160	-	28	2,117	2,061	-	70	-	-	-	-	-
Lempira	28,015	16,879	-	1,496	7,607	7,342	-	365	253	-	-	-	-
Ocotepeque	4,834	14,444	-	109	411	-	-	90	53	-	-	-	-
Olancho	41,378	5,335	-	673	12,584	2,037	3,013	433	184	-	-	591	-
Santa Barbara	32,533	29,956	-	8,828	6,456	-	-	686	204	-	-	-	-
Valle	8,098	-	-	-	248	4,964	-	-	-	1,599	-	818	261
Yoro	34,541	-	18,614	3,643	5,340	-	10,502	5,922	293	-	-	27	-
<b>Total</b>	<b>332,955</b>	<b>185,187</b>	<b>106,671</b>	<b>81,680</b>	<b>98,821</b>	<b>40,762</b>	<b>17,704</b>	<b>34,561</b>	<b>6,419</b>	<b>6,778</b>	<b>4,410</b>	<b>4,119</b>	<b>2,674</b>



A continuación, se presentan los mapas de localización para cada uno de los productos priorizados para Honduras. En cada mapa se presenta el área, en hectáreas, de cultivo por cada pixel de 5km de la malla de resolución.

## Maíz

Las zonas productoras del cultivo de maíz se encuentran en los departamentos de Choluteca, Comayagua, Copán, Cortés, El Paraíso, Francisco Morazán, Lempira, Olancho, Santa Bárbara y Yoro. Por otro lado, en las zonas del suroccidente del país que conforman el corredor seco la producción se desarrolla con fines alimenticios y solo se comercializa cuando existen excedentes. La mayoría de las siembras se realizan a pequeña escala, en secano y con métodos manuales (FEWS NET, 2015; van der Zee et al., 2012). Los municipios ubicados en la zona forestal cercanos a la Sierra de La Paz que se encuentran sobre los 1,200 m.s.n.m. (Santa Elena, Guana, Esquipulas del Norte, Mangulile, La Unión, Yocón, Marales), realizan siembras de maíz de ciclo largo, mientras que para el resto del territorio en ciclo corto (FEWS NET, 2015).

El modelo de exposición se conformó con el promedio de la superficie total de maíz de los años agrícolas de 1999-2000 al 2012-2013, reportadas por el Sistema Estadístico Nacional (SEN) e Instituto Nacional de Estadística (INE). El departamento de Olancho cuenta con la mayor superficie sembrada correspondiente al 12.4% del total, seguido de los departamentos de Yoro (10.4%), El Paraíso (10.3%), Santa Barbara (9.8%), Francisco Morazán (9.6%) y Lempira (8.4%).

La siembra realizada en época de primera (81.5%) es mayor respecto a la de postrera (18.5%), ya que las condiciones climáticas de primera favorecen el cultivo de maíz. El cultivo de maíz que se realiza en asocio ya sea con frijol o con sorgo se encuentra localizado sobre la región suroccidente principalmente en época de primera. La siembra de postrera que se realiza en monocultivo se concentra en los departamentos de Cortés (19.9%), Yoro (19.7%), Santa Bárbara (17.9%) y Choluteca (13.9%).

El resultado del modelo de exposición para el cultivo de maíz en Honduras se presenta en la Tabla 4-15 y en la Figura 4-62, Figura 4-63 y Figura 4-64.

Tabla 4-15 Base de datos modelo de elementos expuestos de maíz para Honduras.<sup>18</sup>

Producto	Área cultivada (ha)	Tipo Cultivo	Sistema de siembra	Estacionalidad
Maíz monocultivo de primera	225,752	Anual	Monocultivo	Primera
Maíz monocultivo de postrera	57,377	Anual	Monocultivo	Postrera
Maíz asociado de primera	45,731	Anual	Asociado	Primera
<b>TOTAL</b>	<b>328,860</b>			

<sup>18</sup> Un total de 4,075 ha de maíz asociado de postrera no se consideraron en el análisis debido a que no cumplían con el criterio de área mínima por unidad de cultivo de 25 ha para ser distribuidas sobre el territorio de Honduras.

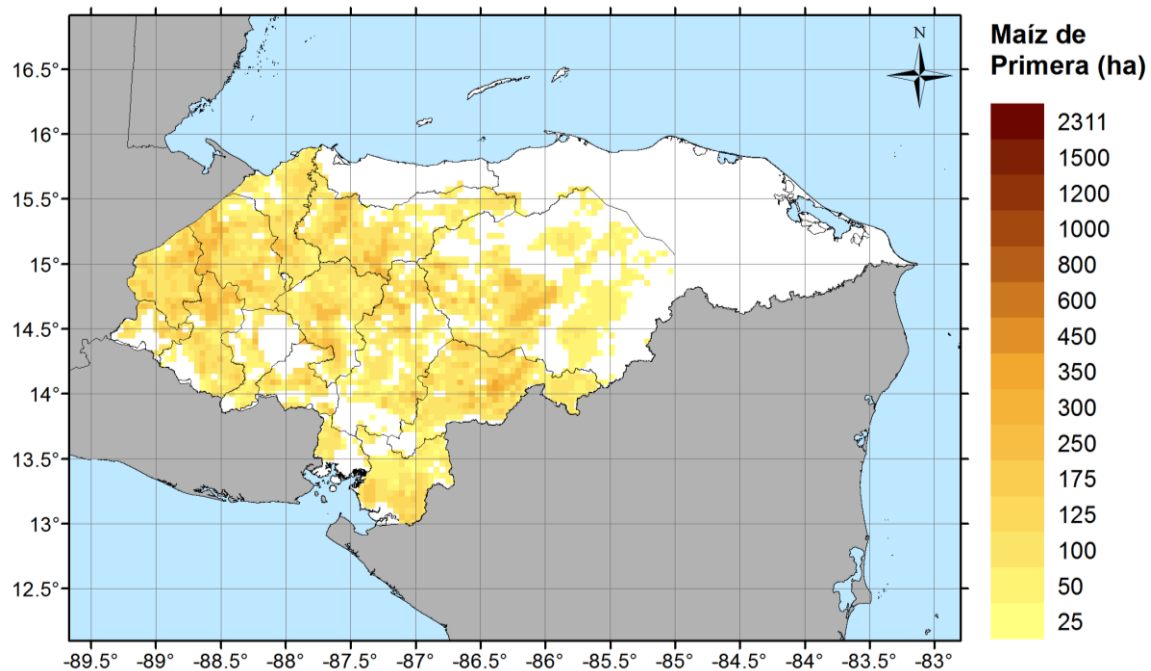


Figura 4-62. Mapa de localización de siembras de maíz para temporada de primera en Honduras  
(Fuente: Elaboración propia)

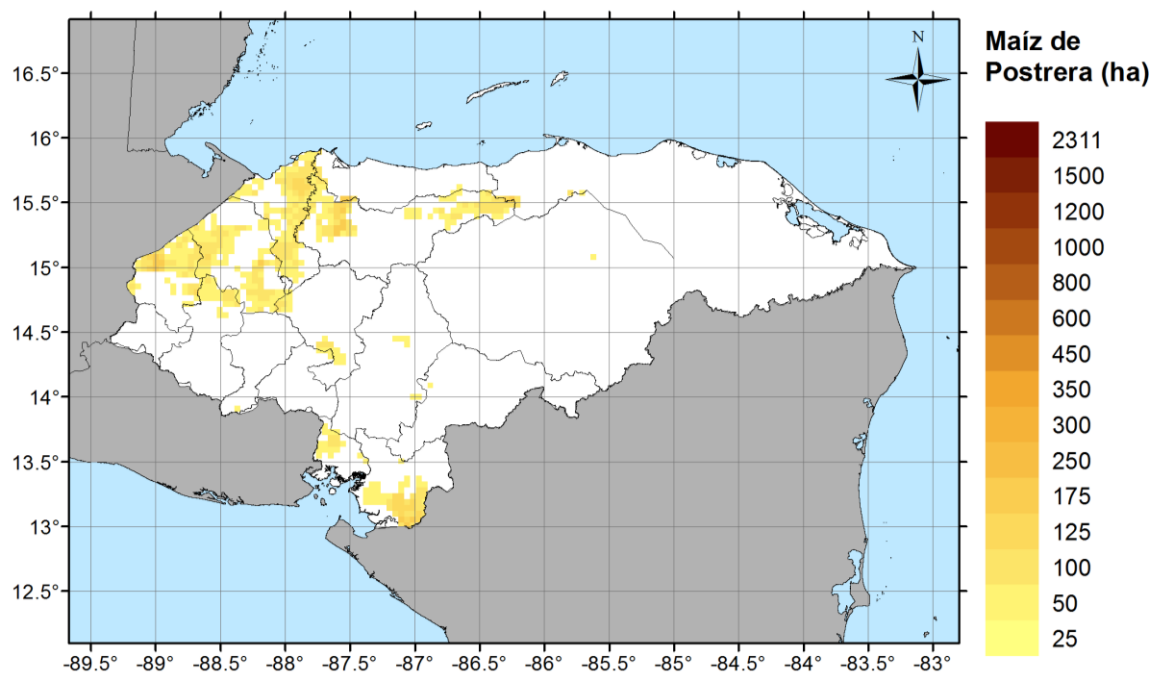


Figura 4-63. Mapa de localización de siembras de maíz para temporada de postrera en Honduras  
(Fuente: Elaboración propia)

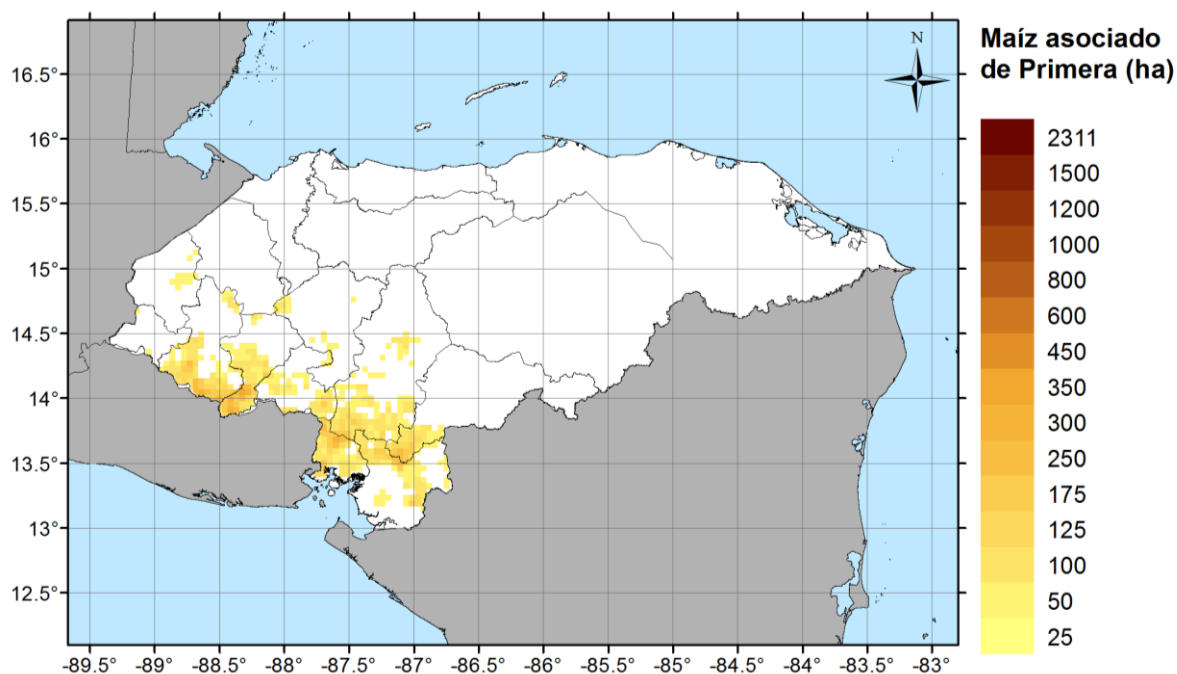


Figura 4-64. Mapa de localización de siembras de maíz asociado en temporada de primera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Café

El cultivo de café se extiende en el centro del país desde el extremo occidental hasta el oriental entre los 1,000 y 1,600 msnm, identificándose 6 regiones cafeteras. La región de Copán (Copán, Ocotepeque, Parte de Lempira, Cortés y Santa Barbara) y región Comayagua se encuentran entre 1,000 y 1,500 msnm, empezando la época de siembra en noviembre para la región de Copán y en diciembre para la región de Comayagua hasta el mes de marzo. La región de Opalaca entre los 1,100 y 1,500 msnm. (Santa Barbara, Intibucá y Lempira) con ciclo de cosecha entre noviembre y febrero, y la región de Montecillos entre los 1,200 y 1,600 msnm (La Paz, Comayagua, Santa Barbara e Intibucá) con ciclo de cosecha desde diciembre hasta abril. Las regiones El Paraíso (El Paraíso y parte de Choluteca y Olancho) y Agalta (Olancho, Yoro) se encuentran entre los 1,000 y 1,400 msnm., presentando la época de cosecha entre los meses de diciembre y marzo (IHCAFE, 2018).

La distribución espacial del cultivo fue tomada de la cobertura de “Café” dispuesta en el Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de la República de Honduras y los valores de superficie sembrada fueron ajustados a los valores reportados por el Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. El 61.3% de la superficie cultivada se encuentra distribuida entre los departamentos de El Paraíso (17.7%), Copán (17.3%), Santa Bárbara (16.2%) y Comayagua (10.1%).

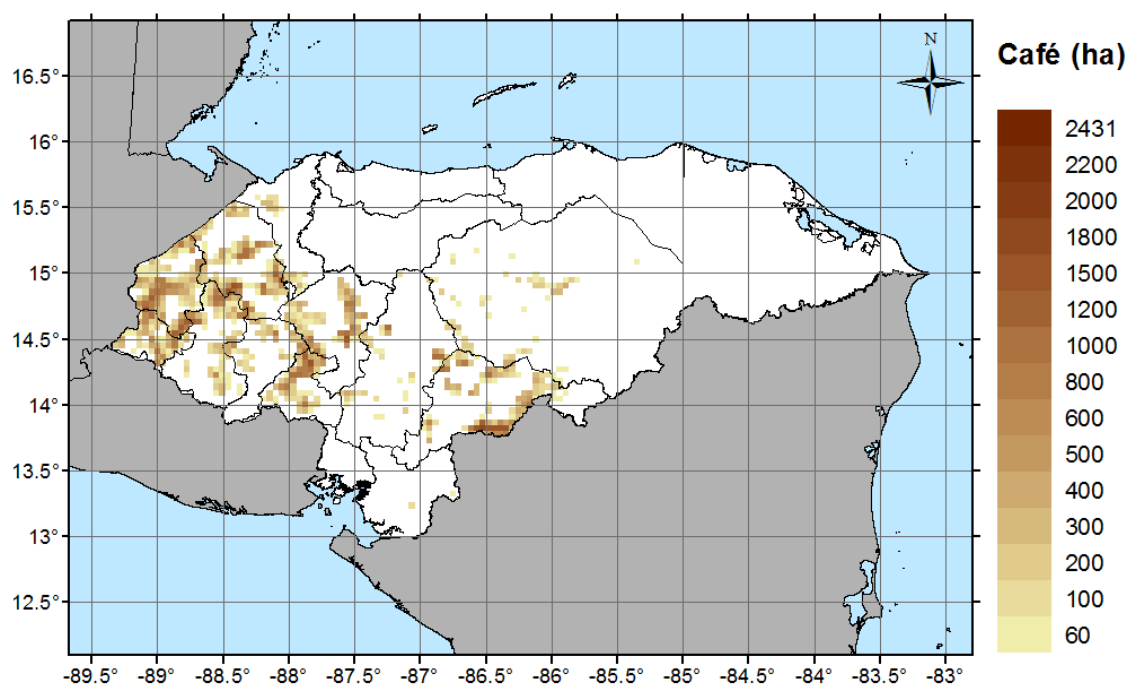


Figura 4-65. Mapa de localización de siembras de café en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Palma africana

La superficie cultivada de palma africana a nivel nacional se estimó en 106,670 ha, concentradas a lo largo del litoral atlántico generalmente sobre grandes extensiones de tierra de uso comercial en los departamentos de Colón (49%), Atlántida (26.7%), Yoro (17.4%) y Cortés (6.9%). Los cultivos de palma han incrementado dadas las condiciones agroecológicas de la zona que son particularmente adecuadas para el cultivo.

La distribución espacial del cultivo fue tomada de la cobertura de “Palma africana” dispuesta en el Atlas Municipal Forestal y Cobertura de la Tierra de la República de Honduras y los valores de superficie sembrada fueron ajustados a los valores reportados por el Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008.

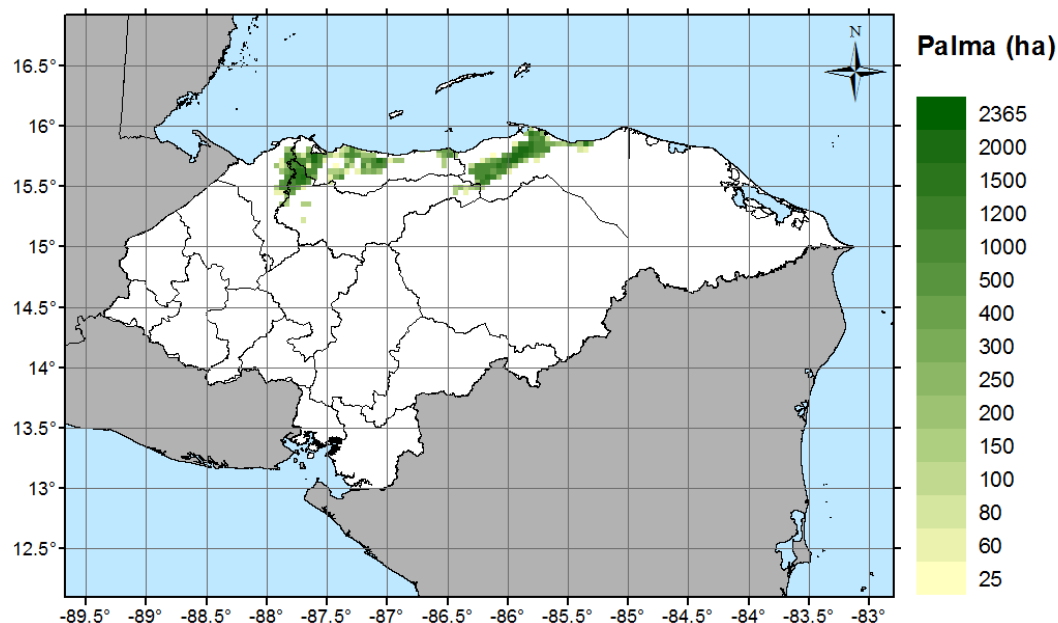


Figura 4-66. Mapa de localización de siembras de palma africana en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Caña

En el noroccidente del país, se encuentran las plantaciones a gran escala de caña de azúcar, en los departamentos de Cortés, Yoro, Santa Bárbara y Comayagua, concentrando el 59.1% del área agrícola. La región centro sur (principalmente Choluteca, Francisco Morazán, Olancho) concentra aproximadamente el 40.8% de área restante. El área cultivada de caña fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 (CIAT, 2001).

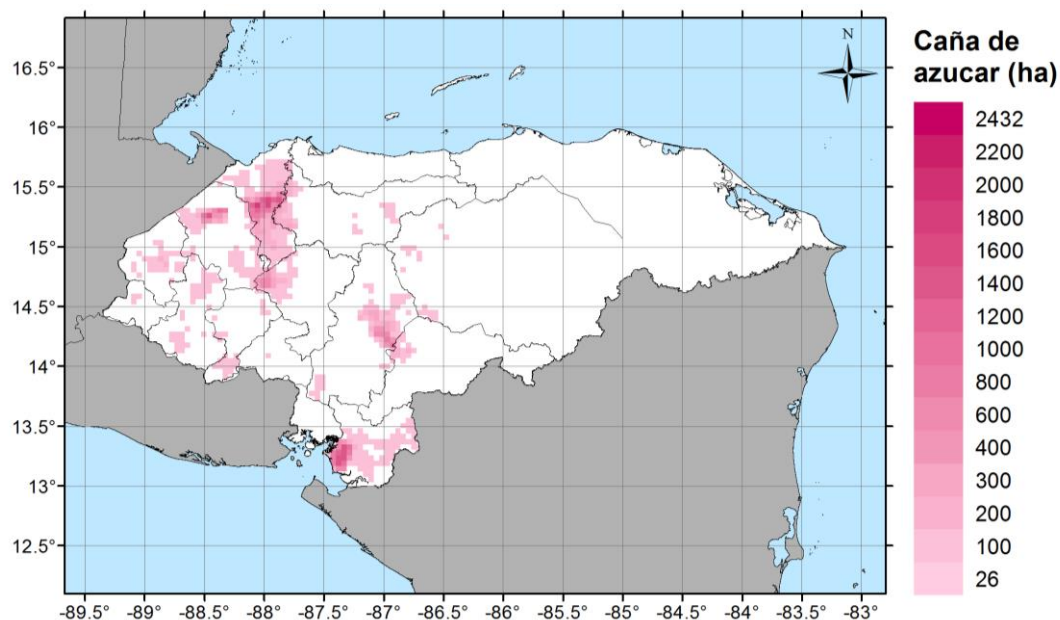


Figura 4-67. Mapa de localización de siembras de caña en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

## Fríjol

El fríjol es el segundo grano básico en Honduras después del maíz en términos de superficie sembrada como en seguridad alimentaria, ya que, constituye la base de la alimentación de la población hondureña. (FEWS NET, 2015)

La superficie sembrada en el ciclo de postrera (68.7%) es mayor en comparación al ciclo de primera (31.3%), ya que las condiciones agroclimáticas de la segunda siembra favorecen el cultivo de fríjol, reduciendo el riesgo al daño del grano a causa del exceso de lluvia. Para la época de primera la región nororiente y centro – oriente aportan la mayor producción, y para la época de postrera también contribuyen las anteriores regiones más la región centro occidental (UPEG, 2015). El resultado del modelo de exposición para el cultivo de fríjol en Honduras se presenta en la Tabla 4-16 y las Figura 4-68, Figura 4-69 y Figura 4-70.

Tabla 4-16. Base de datos modelo de elementos expuestos de fríjol para Honduras.<sup>19</sup>

Producto	Área cultivada (ha)	Tipo Cultivo	Sistema de siembra	Estacionalidad
Fríjol monocultivo de primera	24,190	Anual	Monocultivo	Primera
Fríjol monocultivo de postrera	53,189	Anual	Monocultivo	Postrema
Fríjol asociado de postrera	18,434	Anual	Asociado	Postrema
<b>TOTAL</b>	<b>95,813</b>			

El cultivo de fríjol se desarrolla en excedencia sobre la región centro - oriente del país, sobre los departamentos de Francisco Morazán (18.8%), El Paraíso (16%), Olancho (12.7%), Comayagua (9.8%) y Copán (9.1%). Por otro lado, la producción del cultivo de fríjol asociada a las áreas sobre corredor seco en la región suroccidente es desarrollada a nivel de subsistencia.

El área cultivada de fríjol fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008.

<sup>19</sup> Un total de 2,997 ha de fríjol asociado de primera no se consideraron en el análisis debido a que no cumplían con el criterio de área mínima por unidad de cultivo de 25 ha para ser distribuidas sobre el territorio de Honduras.

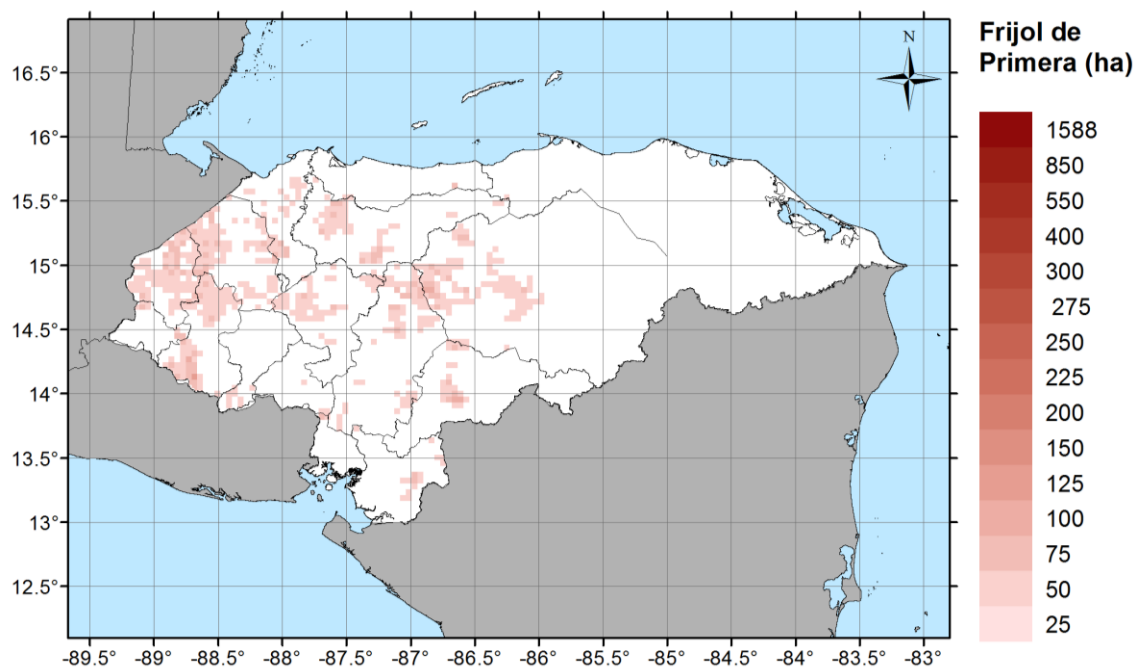


Figura 4-68. Mapa de localización de siembras de frijol en temporada de primera en Honduras  
(Fuente: Elaboración propia)

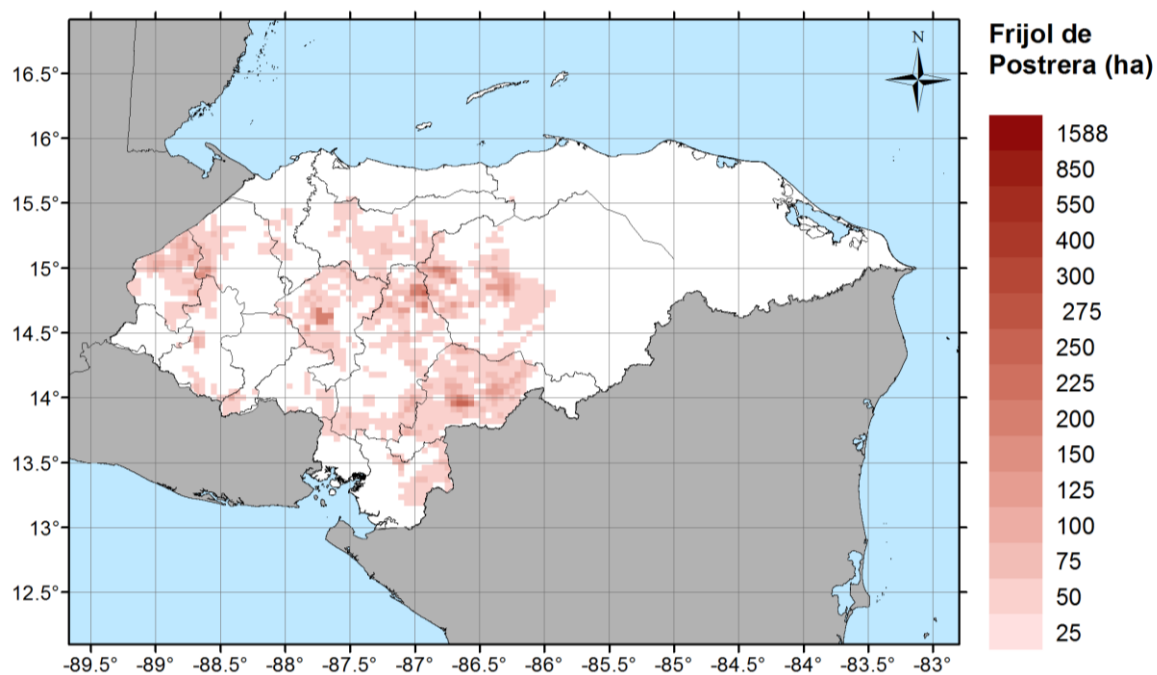


Figura 4-69. Mapa de localización de siembras de frijol en temporada de postrera en Honduras  
(Fuente: Elaboración propia)

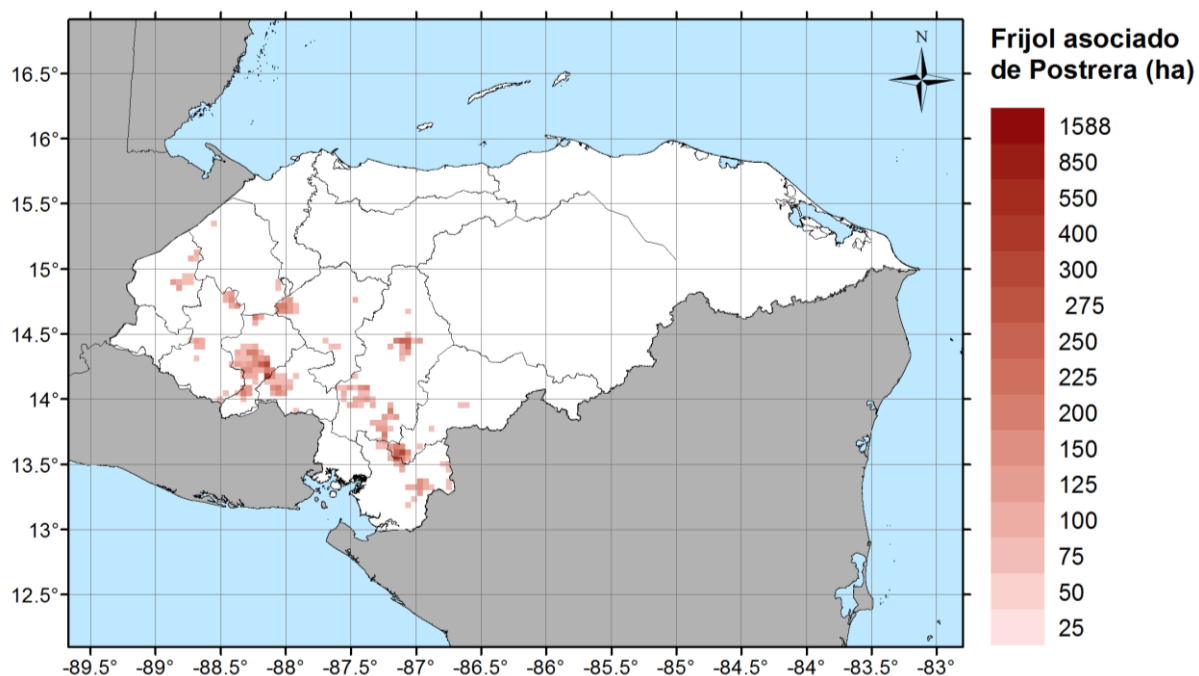


Figura 4-70. Mapa de localización de siembras de frijol asociado en temporada de primera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Sorgo o maicillo

La superficie cultivada de sorgo a nivel nacional se estimó en 40,762 ha, de las cuales 25,694 ha se siembra en asocio y 15,068 ha en monocultivo. El área sembrada en época de primera corresponde al 69.7% del total cultivado, del cual el 44% corresponde al sorgo asociado y el 26% restante a monocultivo, en cuanto al área sembrada en época de postera le corresponde el 30.2%, donde el 19% es en asocio y 11% en monocultivo.

La siembra de sorgo se realiza en la zona suroccidente, en los municipios asociados al corredor seco, ya que este cultivo es resistente a las sequías. El departamento de Choluteca concentra el 27% del área respecto al total, seguido por Lempira con el 18.6%, Intibucá 12.7%, Valle 12.2% y Francisco Morazán 10.4%, los cuales concentra el 80% de la superficie sembrada.

El área cultivada de sorgo fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008.



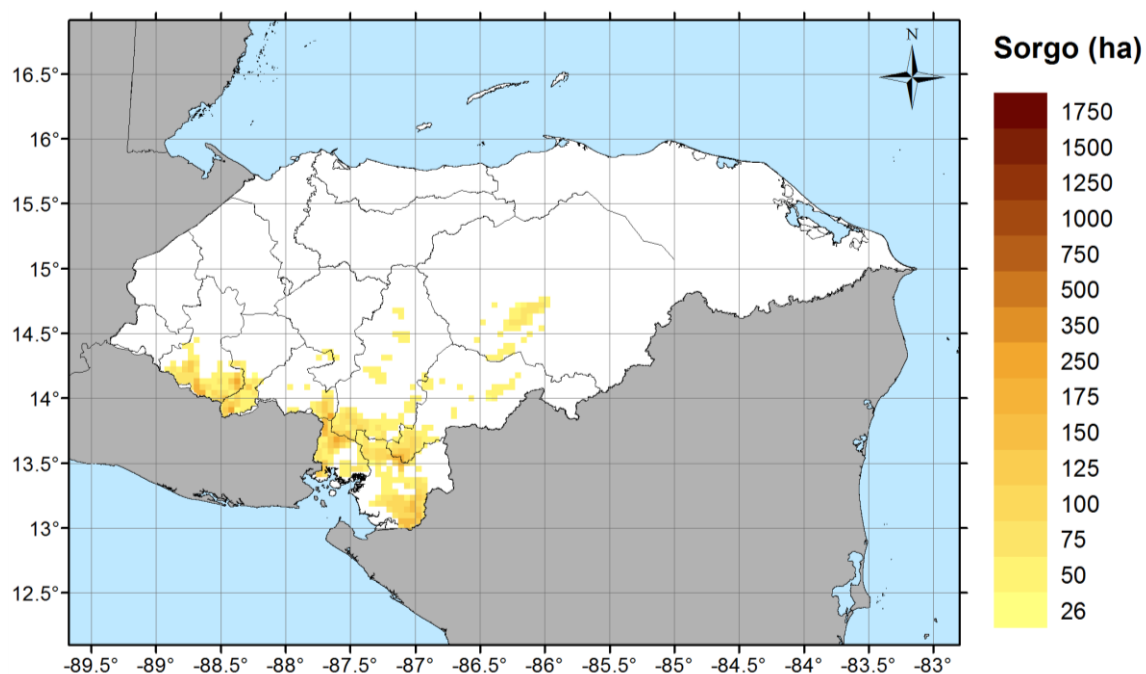


Figura 4-71. Mapa de localización de siembras de sorgo en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

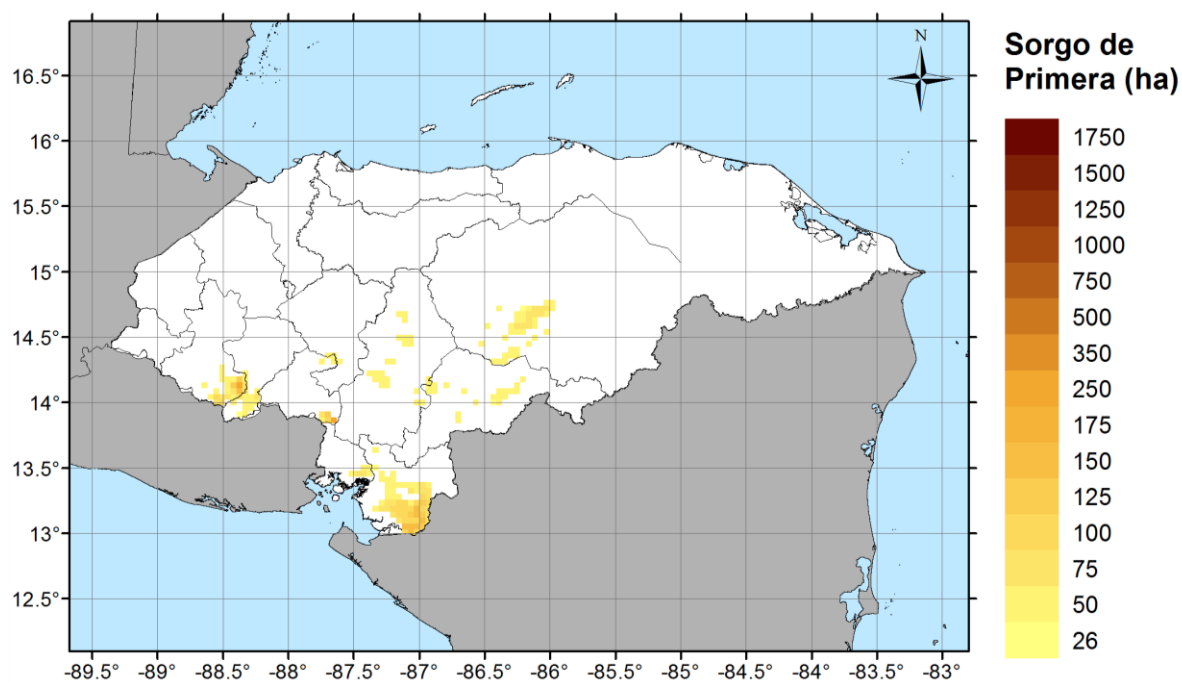


Figura 4-72. Mapa de localización de siembras de sorgo en temporada de primera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

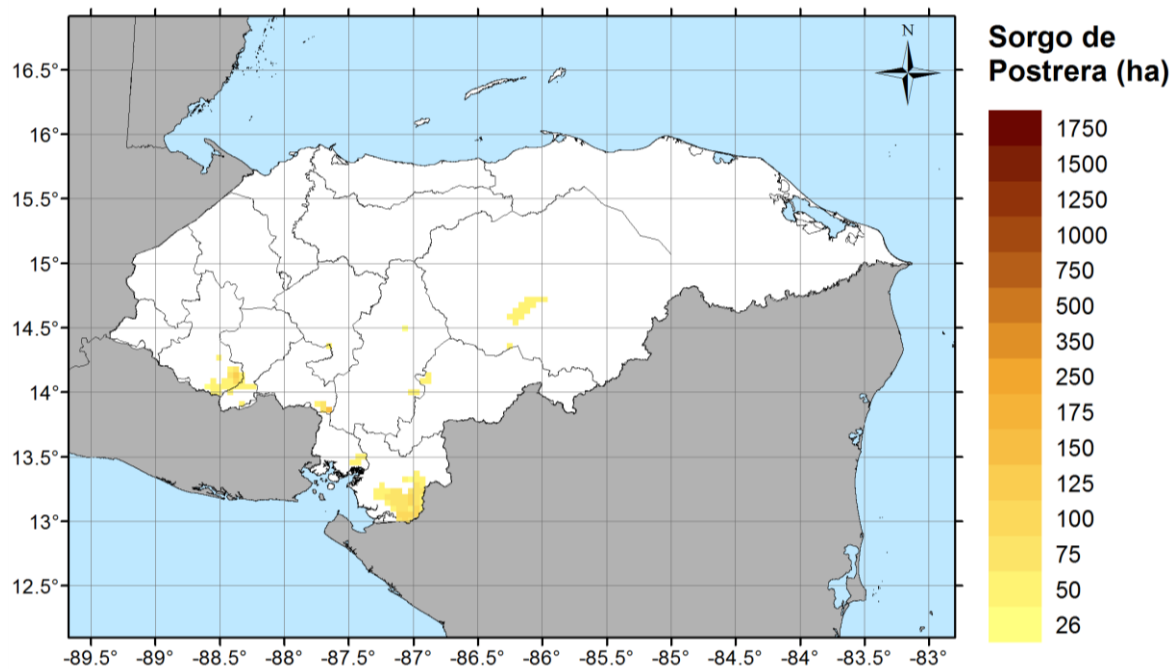


Figura 4-73. Mapa de localización de siembras de sorgo en temporada de postrera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

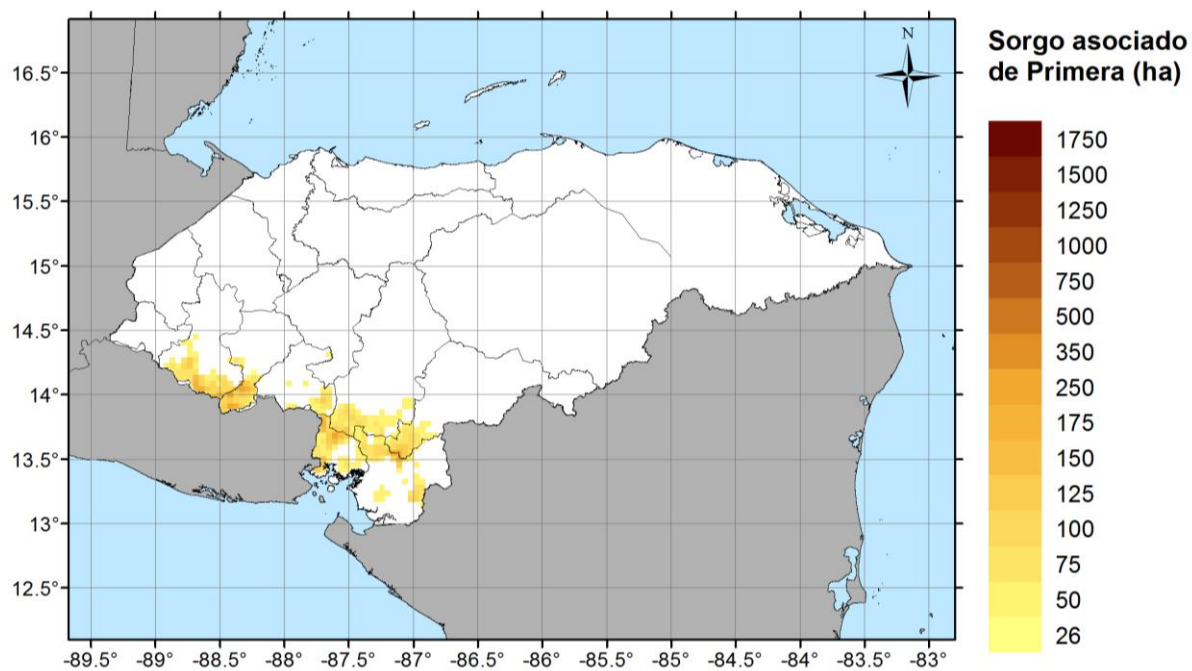


Figura 4-74. Mapa de localización de siembras de sorgo asociado en temporada de primera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

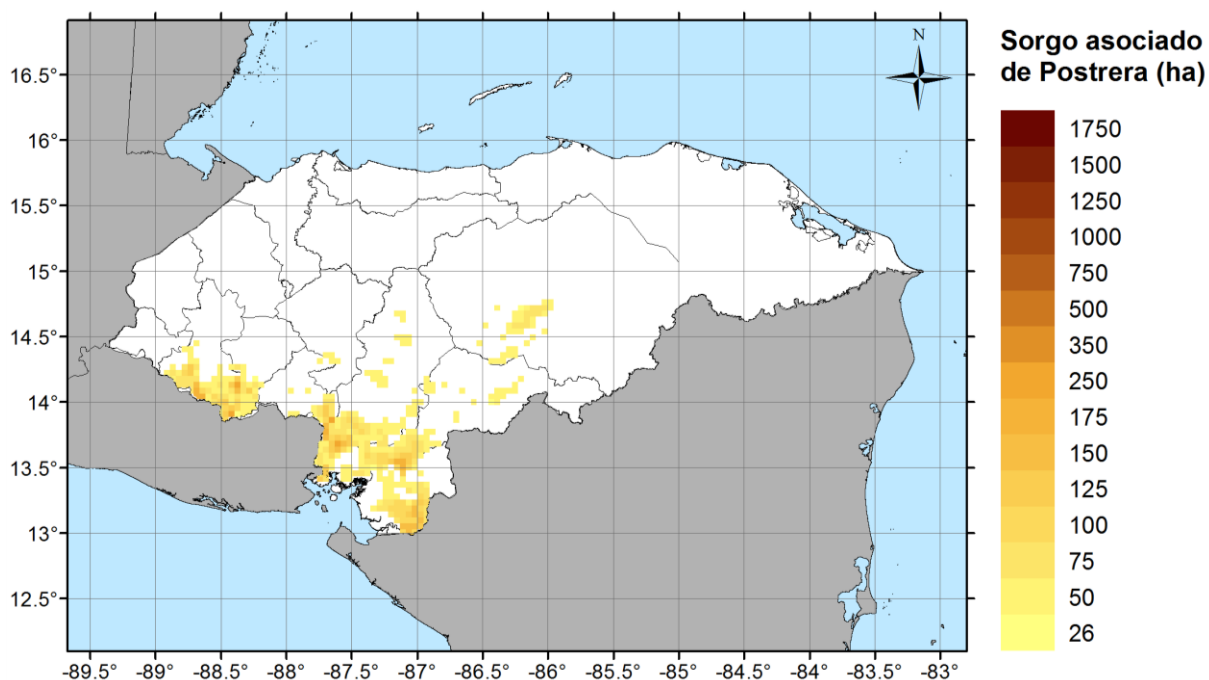


Figura 4-75. Mapa de localización de siembras de sorgo asociado en temporada de postrera en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Cítricos

De acuerdo con los datos proporcionados por la Encuesta Agrícola Nacional – ENA, para el periodo 2007–2008, el total del área de cítricos que se cosechó en Honduras fue de 19,582 ha, de las cuales 17,711 ha corresponden a naranja dulce (90.4%), 1,311 ha al cultivo de limón (6.7 %), y finalmente la toronja con 560 ha (2.9%). Por lo anterior, se consideró el cultivo de Naranja como el cultivo representativo para Honduras.

Sobre el litoral Atlántico se encuentra concentrada la superficie del cultivo de naranja, especialmente en Sonaguera en el departamento de Colón, reconocido como la cuna del cultivo en el país. El municipio se encuentra fuertemente influenciado por el Valle del Aguán conformado por los municipios de Olanchito, Jocón, Arenal del departamento de Yoro, estipulas del norte de Olancho y Saba de Colón donde también se cultiva la naranja.

El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 2008 y distribuida en las principales zonas de producción del cultivo.

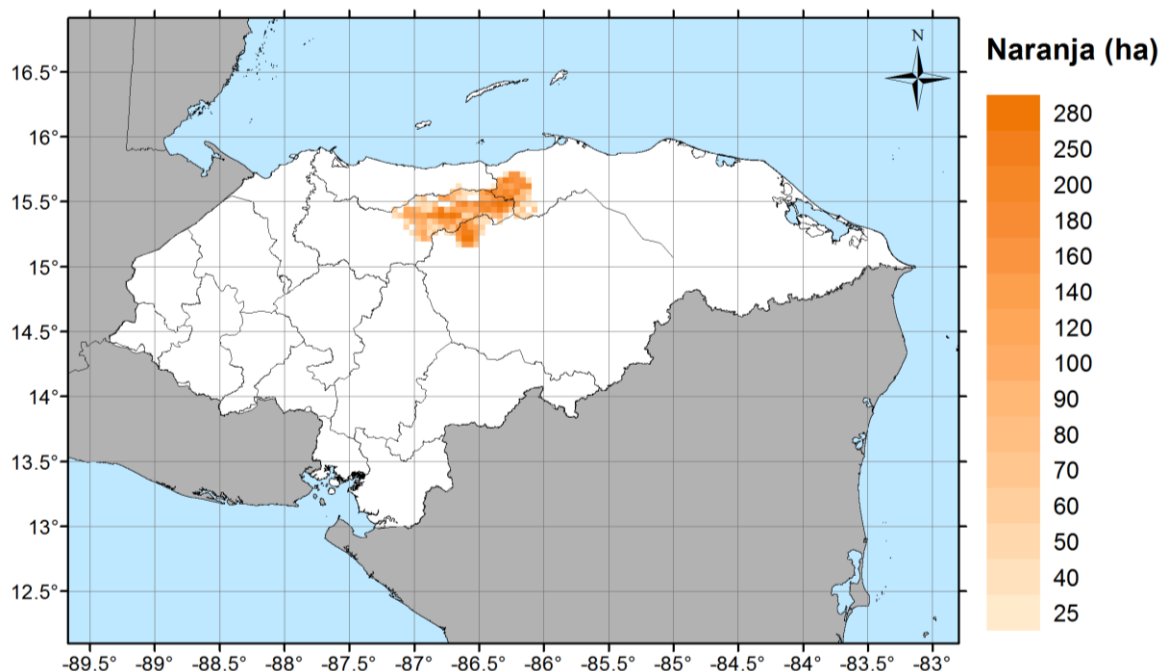


Figura 4-76. Mapa de localización de siembras de naranja en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Plátano-Banano

El banano es cultivado por grandes, medianos y pequeños productores, el mayor número de explotaciones son de pequeños productores, donde el 65% cuentan con superficies cultivadas menores que 5 ha que se distribuyen en casi todos los departamentos del país, con un aporte a la producción total estimada entre el 3 y el 5% (INE, 2008). Las grandes plantaciones de banano se realizan sobre los valles fértiles de la región noroccidente del país, las cuales aportan la mayor producción la cual es destinada al mercado externo y los excedentes se comercializan en el mercado local (FEWS NET, 2015). Por otro lado, el plátano se caracteriza por ser un cultivo tradicional dedicado principalmente al consumo interno, sembrado principalmente en la zona norte de Honduras.

El área cultivada de banano y plátano fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. El resultado del modelo de exposición para el cultivo de banano corresponde a un área total de 25,097 ha ( ver Figura 4-77) y para el plátano a 9,464 ha ( ver Figura 4-78 ).

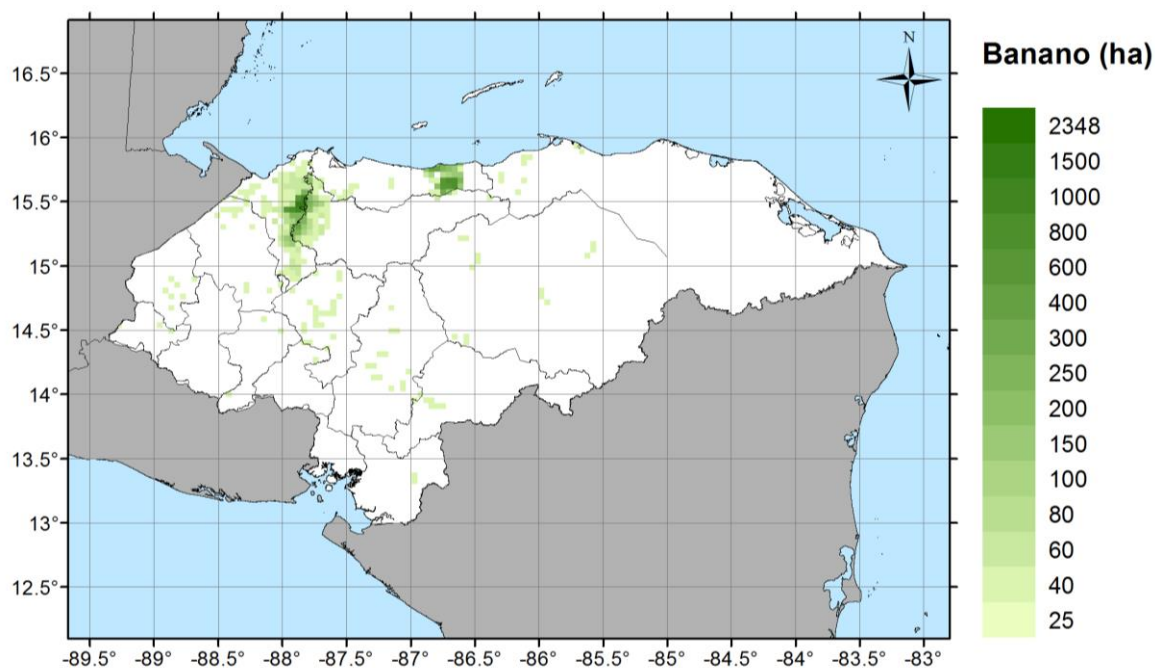


Figura 4-77. Mapa de localización de siembras de banano en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

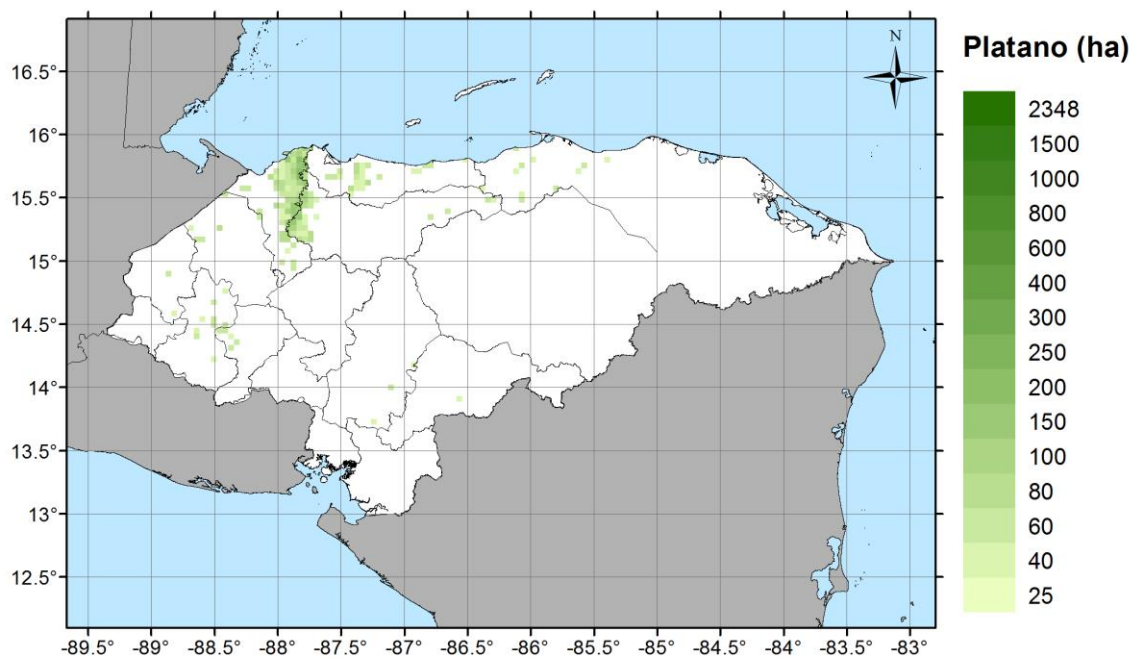


Figura 4-78. Mapa de localización de siembras de plátano en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Arroz

El arroz y el frijol constituyen la base de la alimentación en las zonas a lo largo de la costa Caribe, las cuales se caracterizan por ser zonas productoras del cultivo en los departamentos de Atlántida y

Colón, en Gracias a Dios se dedican a la agricultura de subsistencia. En la región noroccidente del país también se cultiva arroz (Comayagua, Intibucá, Copán, Cortés, Olancho y Yoro), sin embargo, la producción no alcanza a cubrir el consumo nacional.

El área cultivada de arroz fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008.

En este estudio se considera que el método de siembra de arroz para toda la región es seco. En este modelo no se considera el cultivo de arroz irrigado o inundado. El arroz seco es el tipo de cultivo que más se siembra en la región de estudio (Castañeda, 2008; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), 2003, p. 8) y es susceptible a la escasez de lluvias.

El cultivo de arroz para los tres países no se ha de diferenciar entre la siembra de primera o de postrera. En consecuencia, el área y localización de ambas temporadas fueron consideradas en un único producto (ver Figura 4-79 para el caso de Honduras), el cual fue utilizado para la evaluación del riesgo por sequía.

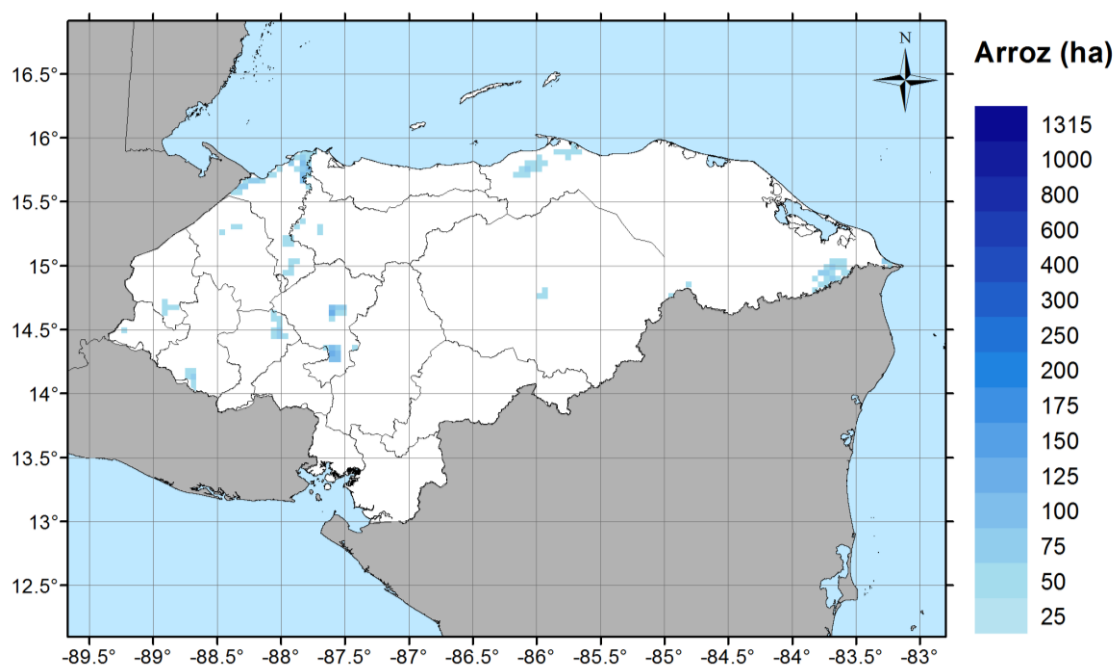


Figura 4-79. Mapa de localización de siembras totales de arroz en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

## Melón

El cultivo de melón se siembra de forma localizada sobre la región sur del país en los departamentos de Choluteca (76%) y Valle (23.6%) gracias a las condiciones agroecológicas de la zona. La producción se desarrolla a gran escala y es destinada a la exportación (ProHonduras, 2016a). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 y distribuida en las principales zonas de producción del cultivo.

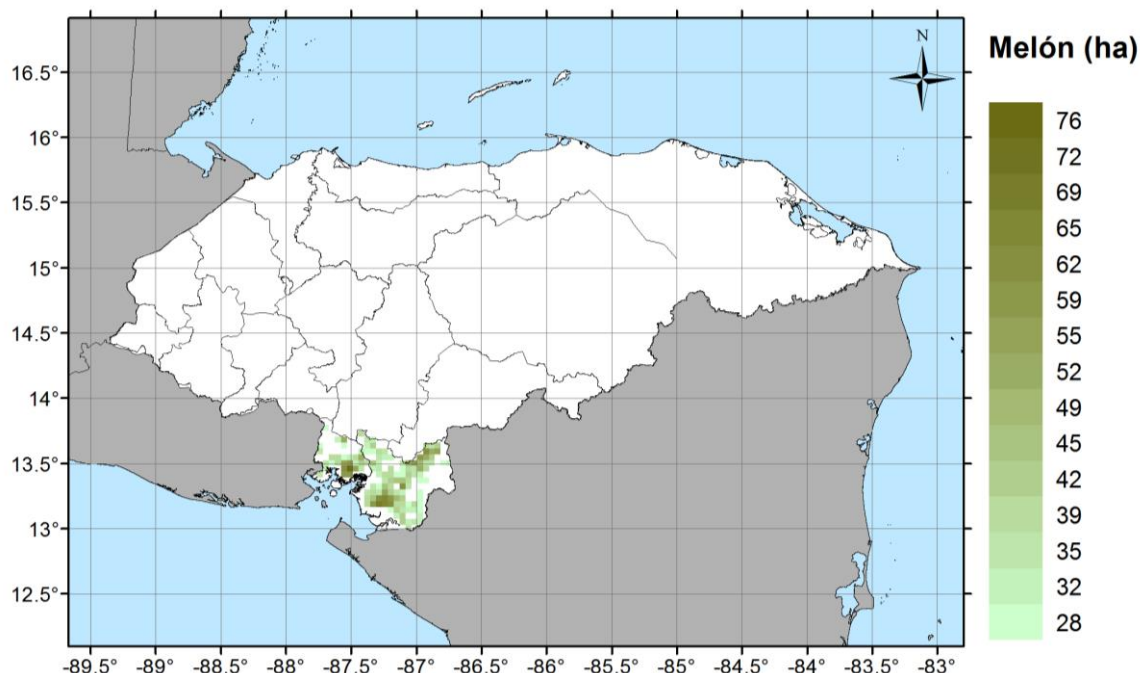


Figura 4-80. Mapa de localización de siembras de melón en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Piña

La mayor zona de producción de piña en Honduras se encuentra en el municipio de El Porvenir, en el departamento de Atlántida con 2,528 ha (57.3%) dedicadas a la exportación. Como productores nacionales sobresalen el Corredor Cofradía-San Pedro Sula con el 14% y Santa Cruz de Yojoa con el 28.3% del total en el departamento de Cortés. En el caso del departamento de La Paz, el área sembrada de piña se estima en 14.5 ha (UPEG, 2016). Al considerar la restricción de área mínima de 25 ha sembradas en 2,500 ha, que se aplica en la conformación de la base de elementos expuestos en este estudio, esta zona no se considera en el análisis.

El área cultivada de piña fue repartida sobre el territorio con base en la distribución municipal reportada en el Atlas de Honduras – Datos Mitch del 2001 generado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008.

Al momento de evaluar el riesgo, fue necesario realizar unos ajustes a los elementos expuestos de los cultivos para los tres países. Al respecto es importante anotar que el cultivo de piña no fue considerado en la evaluación de riesgo por sequía por restricciones de la metodología, ya que sólo se pueden evaluar cultivos cuyo ciclo de desarrollo sea menor a un año y la piña crece en casi tres.



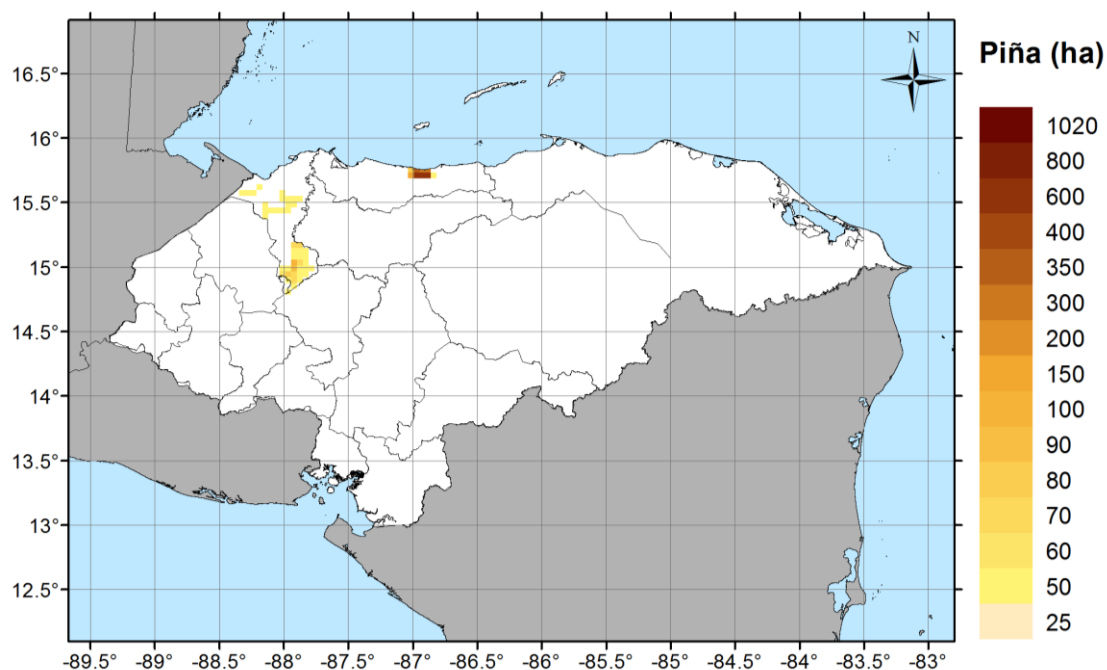


Figura 4-81. Mapa de localización de siembras de piña en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### **Sandía**

Al igual que el melón, la sandía se da en las principales zonas de la región sur del país (alrededor de 3,500 ha), gracias a las condiciones agroecológicas favorables para el cultivo. En ocasiones las áreas se encuentran tecnificadas con el fin de mejorar los rendimientos y garantizar la exportación del fruto (ProHonduras, 2016b). También se siembra sandía en los departamentos de Olancho, Francisco Morazán y Yoro en menor proporción. El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 y distribuida en las principales zonas de producción del cultivo.



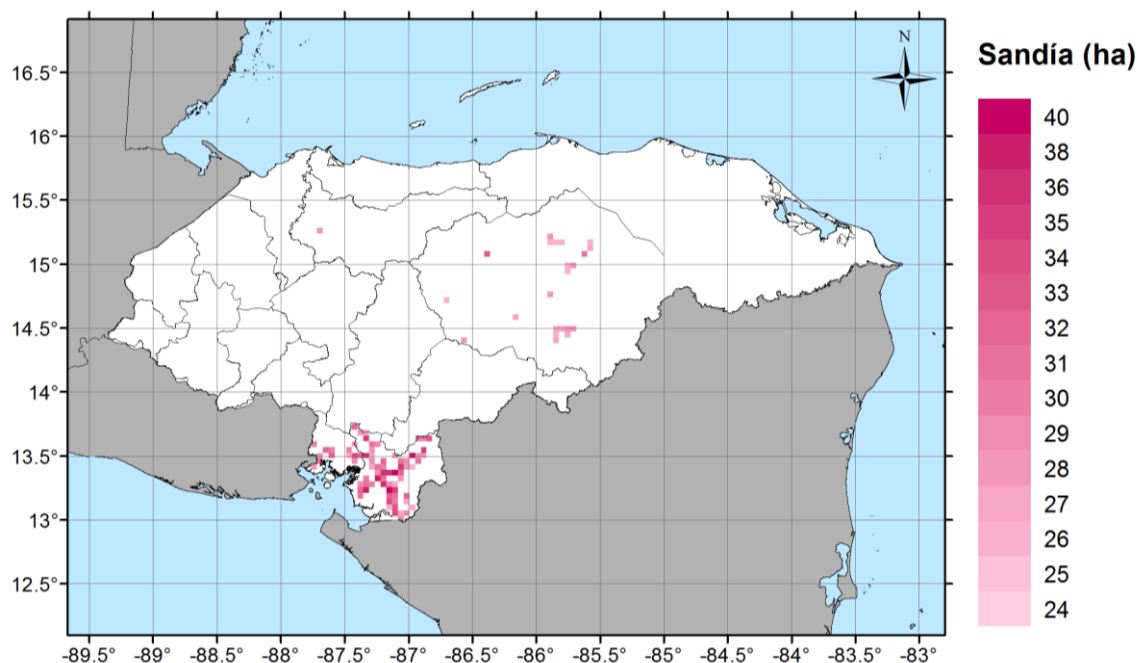


Figura 4-82. Mapa de localización de siembras de sandía en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### Mango

El mango es cultivado en todo el país como huerto casero o planta dispersa, que por la escala de este estudio no se consideran. Con respecto a las regiones donde se realiza la siembra en plantaciones compactas, sobresalen dos zonas, por reunir las mejores condiciones agroecológicas para el cultivo del mango en sus diversas variedades (INE, 2008). La primera es el Golfo de Fonseca conformado por Santa Ana de Yusguare, Langué, Marcovia, Orocuina, siendo este último municipio el mayor productor de la zona. La región se caracteriza por concentrar la mayor cantidad de productores del país y presentar bajos niveles de tecnificación (Swisscontact, 2014).

Por el contrario, la región del valle de Comayagua, que se extiende en los departamentos de Comayagua y La Paz, es considerada como la zona que más contribuye a la producción de mango a escala comercial en el país (Swisscontact, 2014). El área sembrada fue ajustada al valor reportado por la Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008 y distribuida en las principales zonas de producción del cultivo.

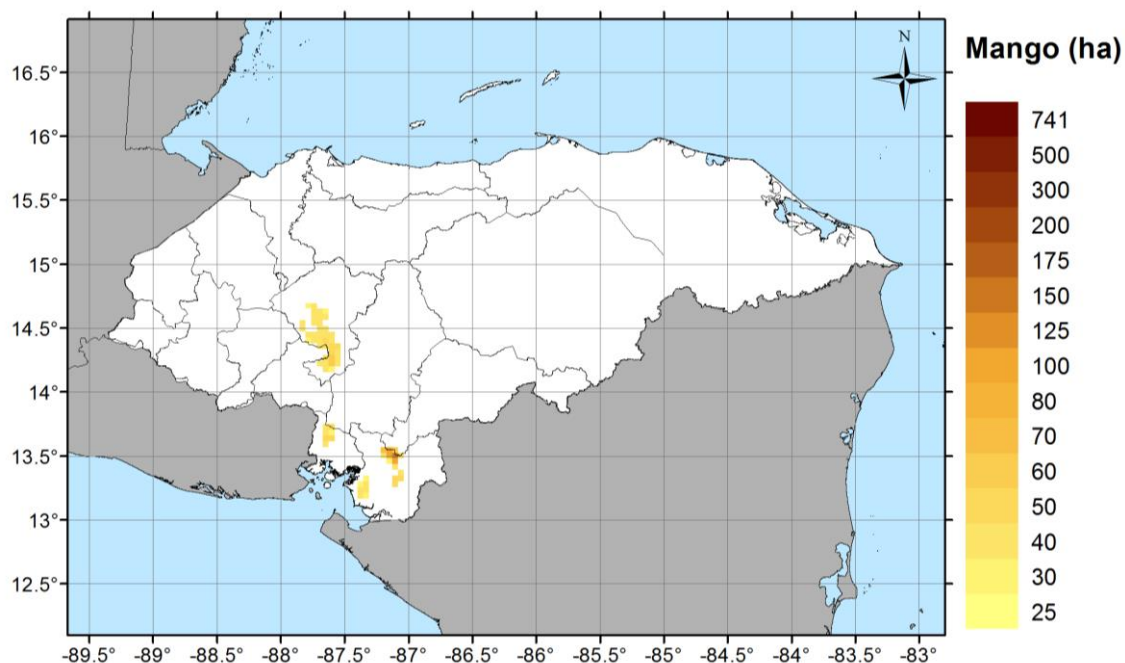


Figura 4-83. Mapa de localización de siembras de mango en Honduras (Fuente: Elaboración propia)

#### 4.1.6 Resumen cultivos para los tres países

La Tabla 4-17 muestra el resumen de los productos considerados para cada país y el área total de las unidades de cultivos por producto. Las áreas sembradas totales junto con su distribución geográfica se utilizarán en la evaluación de riesgo por sequía.

Tabla 4-17. Resumen de áreas cultivadas por producto por país en el modelo de exposición.

Producto	El Salvador	Guatemala	Honduras
Arroz	2,644	17,060	6,419
Banano	-	63,627	25,097
Café	152,345	565,963	185,187
Caña	64,614	360,303	81,680
Cítricos	5,886	7,986	17,704
Fríjol	10,852	252,159	95,813
Maíz	139,539	870,030	328,860
Mango	-	12,649	2,674
Melón	-	13,120	6,778
Palma	-	111,949	106,671
Papa	-	21,004	-
Plátano	-	11,891	9,464
Sandia	2,477	-	4,119
Sorgo	20,651	-	40,762
Tomate	813	13,294	-
Asociados *	116,922	-	-
<b>Total</b>	<b>516,743</b>	<b>2,321,035</b>	<b>911,228</b>

\*El área sembrada de los productos asociado será tomada en cuenta una vez por cada cultivo

## 4.2 Estacionalidad de cultivos

Un parámetro de entrada específico para cada región de análisis y tipo de planta es el tiempo en el cual se completa el ciclo de desarrollo del cultivo. Dentro de la modelación de la vulnerabilidad de las plantas, es importante definir, en términos de días calendario, las diferentes etapas de crecimiento del cultivo, desde su siembra hasta la madurez, como se muestra en la Figura 4-84. Además, se debe contar con información sobre la fecha típica de siembra y cosecha de cada producto en los países de estudio. Estos datos van a ser luego utilizados en el módulo de vulnerabilidad, que relaciona el desarrollo día a día del cultivo con las series diarias de precipitación y temperatura, para evaluar posibles reducciones en el rendimiento de la cosecha debido a condiciones de déficit de agua.

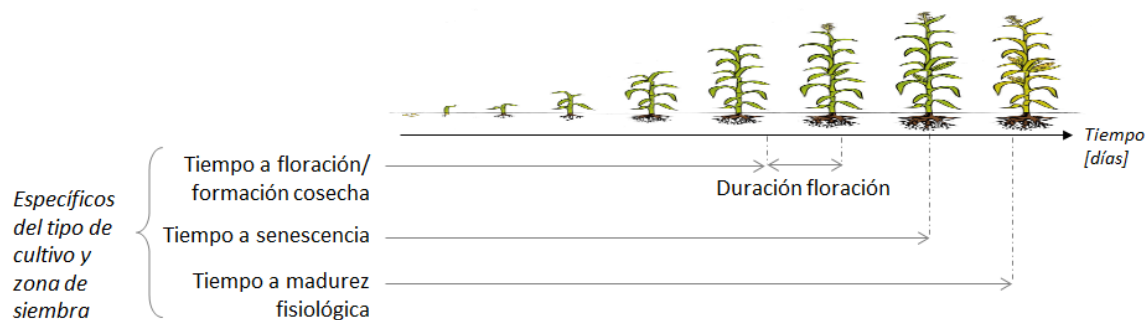


Figura 4-84. Esquema de etapas de crecimiento de una planta.

Para el caso de El Salvador, Guatemala y Honduras, al estar ubicados en una zona intertropical con temperatura promedio cercana a 22°C, la producción agrícola se realiza a lo largo del año. La siembra de los cultivos no permanentes coincide con el inicio de las temporadas lluvias de la zona, que se caracteriza por el régimen bimodal de dos máximos de lluvia al año. La primera temporada de lluvias se presenta en los meses de mayo y junio, y la segunda se presenta entre septiembre y octubre. Esta condición define la siembra en temporada de primera (mayo-junio) y temporada de postrera (septiembre-octubre). En términos generales, las épocas de siembra y cosecha de cultivos no permanentes se muestran en la Figura 4-85. Esta información fue traducida y compilada del portal web de FEWS NET (<http://fews.net/es/central-america-and-caribbean/>) para la región de Centro América y el Caribe, que genera datos a escala nacional.

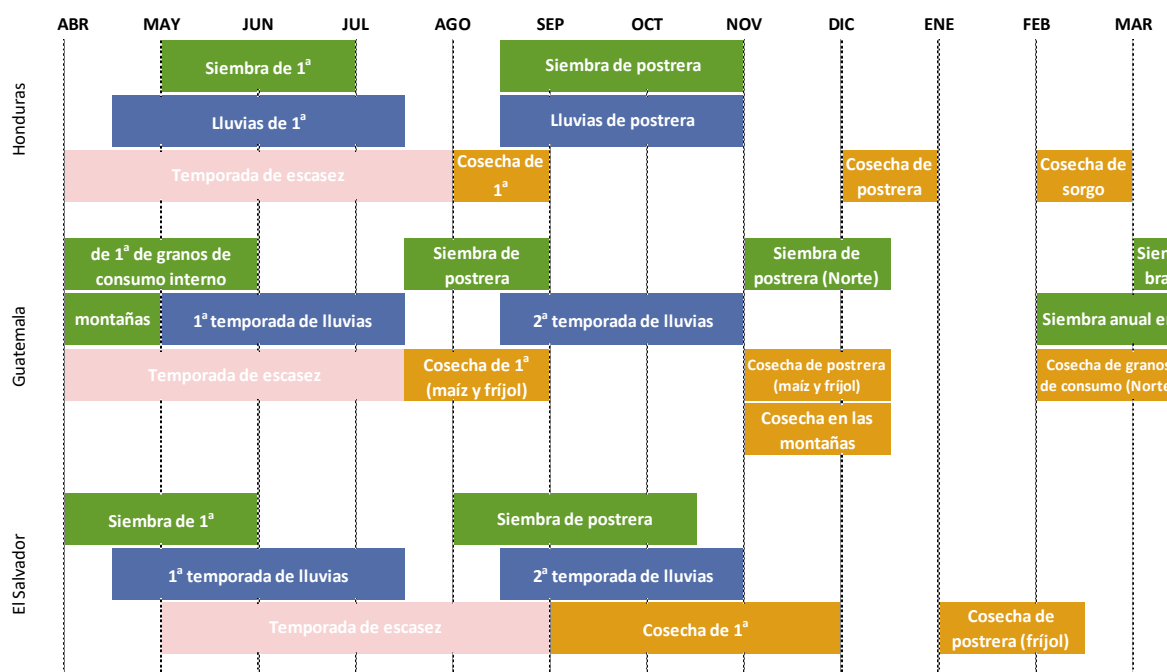


Figura 4-85. Calendario estacional general para los tres países. (Adaptado de FEWS NET, s.f.)

La figura anterior muestra para cada país (Honduras arriba, Guatemala en el medio y El Salvador abajo) las épocas de siembra (barras verdes), las épocas de cosecha (barras naranjas), las temporadas de escasez de productos (barras rosadas) y las épocas de lluvia (barras azules), en un año agrícola típico que inicia en abril y termina en marzo del año siguiente. Como se puede ver en el calendario nacional de cultivos, las épocas de siembra y cosecha tienden a coincidir entre los tres países.

Aunque esta es una buena aproximación para definir el calendario de cultivos, se hizo una extensa búsqueda de información para mejorar la resolución de la información, tanto por tipo de cultivo como por país y zona climática. A continuación, se presentan las épocas típicas de siembra y cosecha para cada uno de los cultivos con los que se está trabajando.

#### 4.2.1 Cultivos Transitorios

Como se ha mencionado, El Salvador, Guatemala y Honduras comparten características de la estacionalidad del clima (periodos de lluvia y canícula), así como las regiones utilizadas para los diferentes cultivos. En términos generales existen dos temporadas de lluvia (de mayo a agosto y de septiembre a noviembre), y esto determina las temporadas de siembra y cosecha, llamadas en los países siembra de primera (con el comienzo de las lluvias en mayo - junio) y siembra de postrera o segunda (en la segunda temporada de lluvia) y para algunos cultivos en diferentes zonas existe una tercera época conocida como siembra de apante. Estas condiciones climáticas definen la siembra de cultivos no permanentes o transitorios y la cantidad de ciclos de siembra-cosecha que se dan en un año típico.

Los cultivos transitorios se caracterizan porque su ciclo de crecimiento tiende a ser menor a un año, y después de la cosecha deben volver a sembrarse para producir nuevamente. Algunos de los cultivos transitorios considerados en este estudio son el maíz, el frijol, el sorgo (o maicillo), arroz y algunas frutas como la sandía y el melón. Los calendarios de crecimiento para estos cultivos se presentan a continuación.

## **Maíz**

El calendario de cultivo de maíz para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-86. En esta figura se muestra la temporada de siembra de primera, postrera y apante, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país.

### *El Salvador*

Para el cultivo del Maíz se pueden realizar 3 siembras en el año, las variaciones del inicio de las épocas de siembra están marcadas por el gradiente altitudinal. La siembra de primera para las zonas entre los 0 y 400 m.s.n.m. debe realizarse en el periodo comprendido entre el 15 y 30 de mayo, mientras que para las zonas entre los 400 a 900 m.s.n.m. el periodo va desde el 15 de mayo y se prolonga hasta el 15 de junio. La siembra de postrera se da especialmente en la región oriental del país y para las zonas entre los 400 a 900 msnm entre el 15 y el 31 de agosto (Flores, 2014).

La siembra de apante está sujeta a las condiciones de humedad residual del suelo que se tengan disponibles después de la segunda estación lluviosa en los terrenos a cultivar, siendo posible la siembra gracias a que permanecen inundados en esa estación. Son considerados los meses de siembra desde diciembre hasta febrero. Por otro lado, si cuenta con sistemas de riego se recomienda sembrar entre el 1 de diciembre hasta el 15 de enero considerando los requerimientos y necesidades del agricultor (Flores, 2008).

### *Guatemala*

El desarrollo de la siembra y la cosecha se encuentra influenciado por las condiciones locales dentro del territorio. En zonas en donde se dispone de riego es factible la siembra en cualquier época del año, de lo contrario, las características que diferencian la región del trópico bajo con respecto al altiplano juegan un papel importante en el inicio de la siembra.

La región del trópico (0 - 1400 msnm) presenta dos épocas de siembra. La principal época es la de primera, la cual se realiza entre los meses de mayo a junio y su cosecha se da entre septiembre e inicios de octubre dependiendo de la variedad. La siembra de segunda se da entre agosto y septiembre con cosecha en diciembre (FEWS NET, 2010). Por otro lado, la región del altiplano (1400 - 3000 msnm) inicia la siembra de primera más temprano que la región del trópico bajo en la segunda quincena de abril y la siembra de segunda se realiza entre abril y mayo. En esta región de Guatemala las épocas de siembra presentan diferencias asociadas a los inicios de las lluvias, la altitud, el tipo y sistema de cultivo, el ciclo vegetativo es de mayor duración por lo que la cosecha en esta zona se da en los meses de diciembre (Fuentes-López, 2002).

En la región de Péten la época de siembra de primera se realiza en los meses de abril y mayo, en esta región la cosecha de primera coincide con la del trópico en septiembre, sin embargo, la segunda siembra se hace en época de apante entre la última semana de noviembre hasta la primera quincena de diciembre, con cosecha en los meses de marzo y abril del siguiente año.

### *Honduras*

Para el cultivo de maíz se pueden realizar 2 siembras en el año. La siembra de primera es considerada como la mejor época para sembrar maíz en el país, ya que se realiza en la época en donde los días de luz son más largos (mayo hasta junio). En algunas regiones como la Costa Norte puede extenderse hasta el 15 julio. Por otro lado, la época de siembra en la zona sur es más corta, debido a que está sujeta al tiempo de duración de las lluvias que también es corto. Siembras después el periodo recomendado trae la exposición del cultivo a diferentes enfermedades que pueden alterar el rendimiento (Cruz, 2013). La siembra de postrera está determinada por las últimas lluvias de primera, en la zona de la Costa Norte el periodo se extiende hasta la primera quincena de enero. Para la región occidente y el departamento de Olancho la siembra se realiza entre octubre y

noviembre. En la región sur el periodo de siembra es más estricto por lo que se recomienda sembrar entre el 15 de agosto y el 15 de septiembre (Lafitte, 2013).

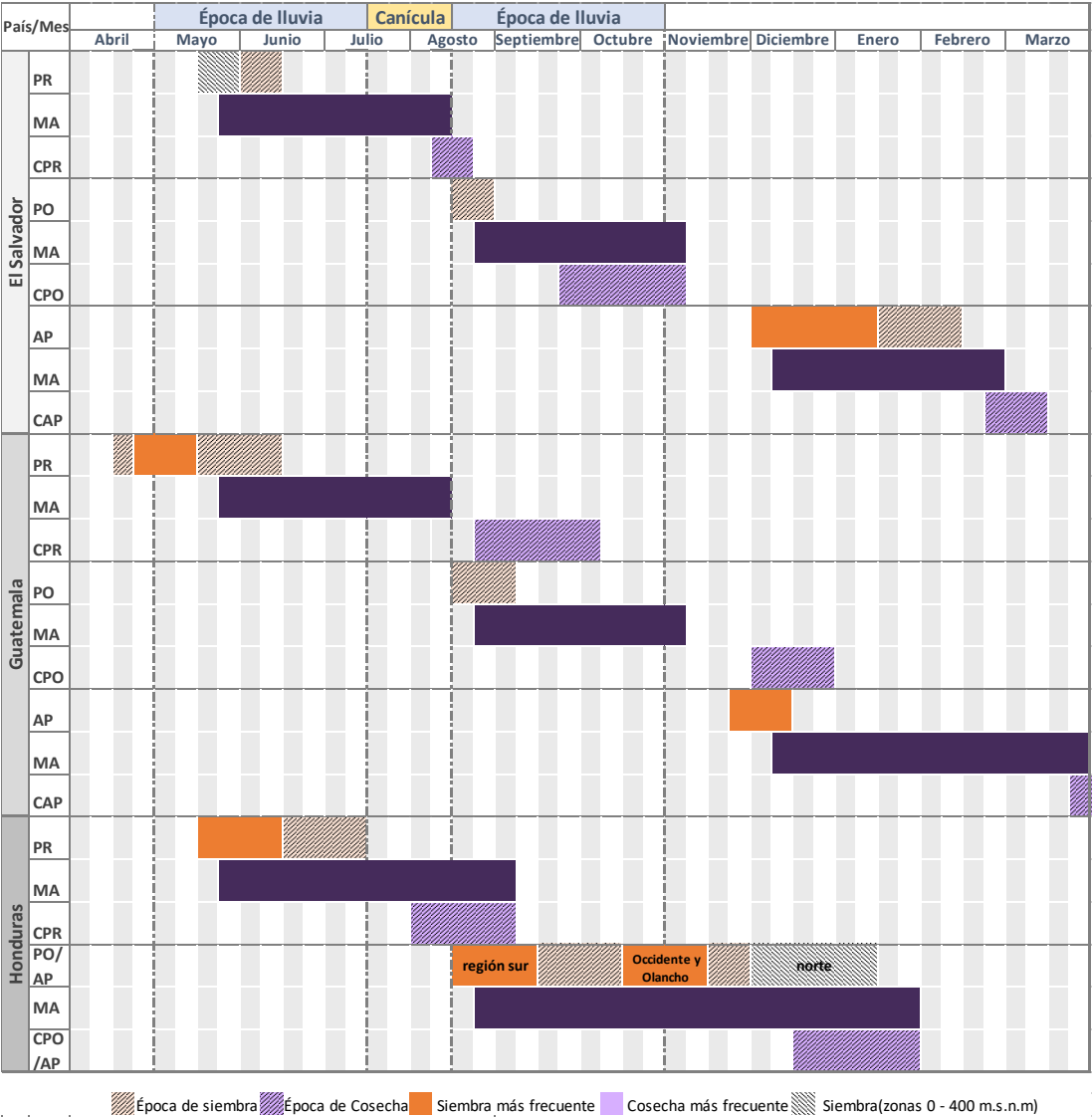


Figura 4-86. Calendario estacional para el cultivo de maíz. (MA-manejo agronómico, PR-Siembra de primera, PO-Siembra de postrera, AP-siembra apante, CPR-cosecha de primera, CPO-cosecha de segunda, CAP-cosecha apante)

Fríjol

El calendario de cultivo de fríjol para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-87. En esta figura se muestra la temporada de siembra de primera, postrera y apante, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país.

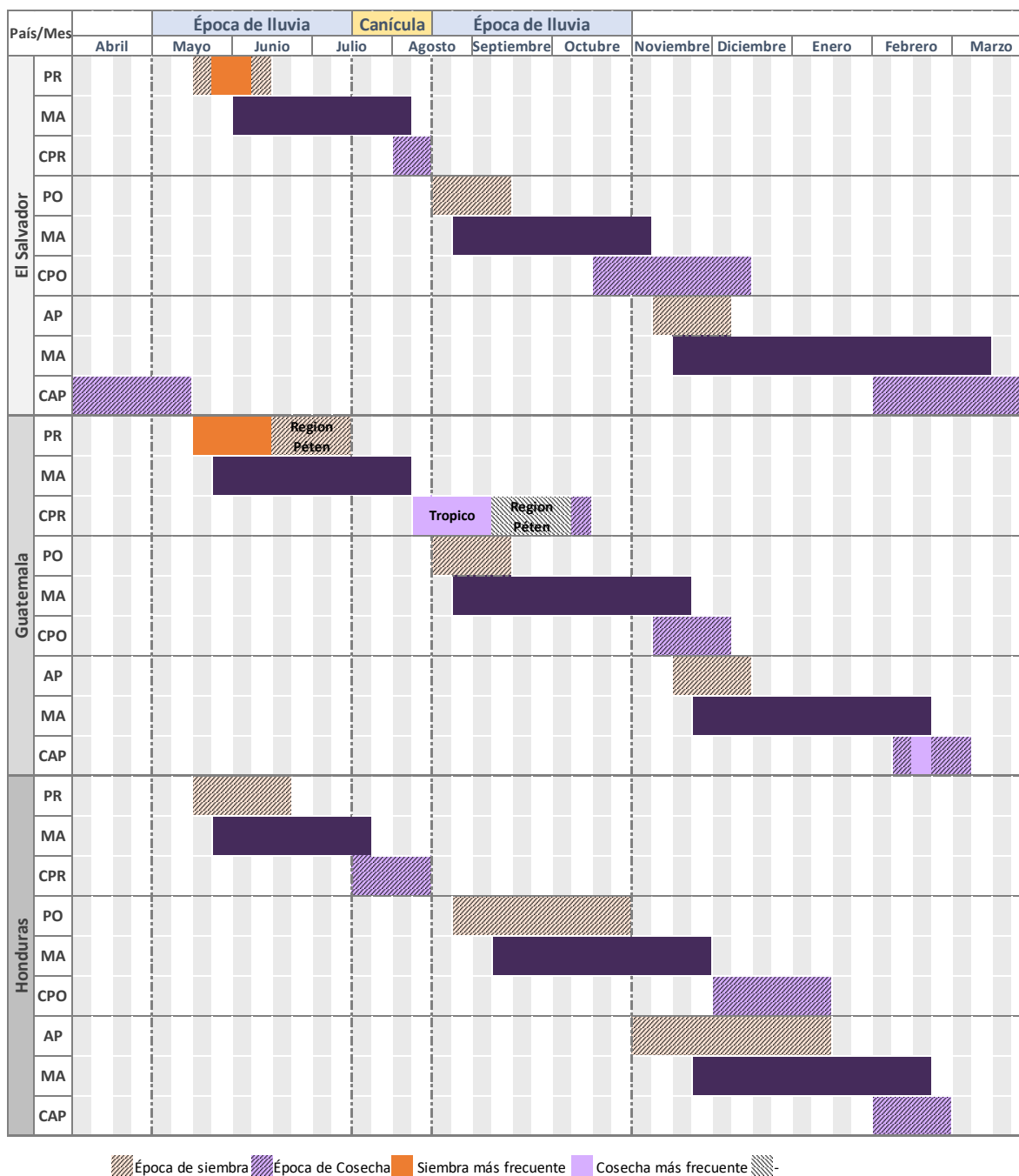


Figura 4-87. Calendario estacional para el cultivo de frijol. (MA-manejo agronómico, PR-Siembra de primera, PO-Siembra de postrera, AP-siembra apante, CPR-cosecha de primera, CPO-cosecha de segunda, CAP-cosecha apante)

#### El Salvador

Se puede cultivar frijol en 3 épocas en el año, si se encuentra bajo condiciones normales de lluvia (CENTA, 2013). La siembra de primera inicia desde el 15 de mayo hasta el 15 de junio con cosecha en la primera quincena de agosto. La siembra de postrera inicia el 15 de agosto hasta el 15 de septiembre y la cosecha se desarrolla entre los meses de octubre y diciembre, esta última siembra

se recomienda realizarla en especial para los municipios de la zona oriental, siempre y cuando se cuente con suficiente humedad (CENTA, 2008). La siembra de apante se puede realizar en los meses de noviembre y diciembre, en esta época el cultivo requiere sistemas de riego, por lo cual, se recomienda realizarla entre el 15 de noviembre y el 15 de diciembre (MAG, 2016).

#### *Guatemala*

Al igual que el maíz, el desarrollo de la siembra y la cosecha se encuentra influenciado por las condiciones locales dentro del territorio. En la región del trópico (0 - 1400 msnm) existen dos épocas de siembra, la primera inicia a partir del 15 de mayo hasta el 15 de junio, con cosecha entre la segunda y tercera semana de agosto para la variedad *ICTA LIGERO*, mientras que para la variedad *VAINA MORADA*, la cosecha se extiende hasta la primera semana de septiembre. La segunda siembra se realiza del 15 de agosto al 15 de septiembre, obteniendo la cosecha entre la segunda semana de noviembre y la primera de diciembre (Orozco Barrios, 2014). En la región del altiplano (1400 - 3000 msnm) se da una sola época de siembra que inicia a partir de la tercera semana de mayo hasta la segunda semana de junio y se cosecha generalmente en la segunda semana de octubre (MAGA & USAID, 2018).

En la región de Peten y franja transversal del norte presenta un retraso en el inicio de la siembra de primera que se da a partir de la tercera semana de junio hasta la segunda de julio y presenta una segunda siembra en la época de apante entre la tercera semana de noviembre hasta la segunda semana de diciembre con cosechas entre la segunda semana de febrero hasta la primera de marzo del siguiente año, esta cosecha se conoce como la cosecha de apante (MAGA & USAID, 2018).

#### *Honduras*

Se pueden realizar 2 siembras en el año, las variaciones del inicio de las épocas de siembra del cultivo de frijol están fuertemente influenciadas por la época de lluvias. En zonas en donde se cuenta con sistemas de riego la siembra se puede realizar durante todo el año, pero se recomienda que la cosecha no concuerde con los meses más lluviosos.

El inicio de la siembra de primera coincide con el inicio de la primera temporada de lluvia en el mes de mayo, según la mayoría de los productores la época de siembra se encuentra entre el 15 de mayo y el 20 de junio, la cosecha coincide con el periodo de canícula entre julio y agosto. La siembra de postrera se da en los meses de octubre y noviembre, esta época es donde más producción de frijol se genera asociada entre el 70% y 80% del área total cultivada en el año. El cultivo es susceptible al exceso de agua, lo que puede verse reflejado en daños en el grano, por lo que es recomendable esta época para sembrarlo porque presenta menos lluvias (LARDIZABAL, ARIAS, & SEGURA, 2013).

La época de postrera tardía o época de apante, se realiza entre los meses de noviembre a enero, en las regiones húmedas del Litoral Atlántico, influenciadas por el Mar Caribe y corresponde alrededor de un 15% del área total cultivada en el año agrícola (COPECO, 2016).

#### **Arroz**

El cultivo de arroz puede ser secano (método de siembra por surco y al voleo) o por inundación (método de siembra por trasplante). El arroz secano es el tipo de cultivo que más se siembra en la región de estudio (Castañeda, 2008; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), 2003, p. 8) y es susceptible a la escasez de lluvias; en consecuencia, este tipo de cultivo fue el que se consideró como elemento expuesto.

El calendario de cultivo de arroz para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-88. En esta figura se muestra la única temporada de siembra, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país.



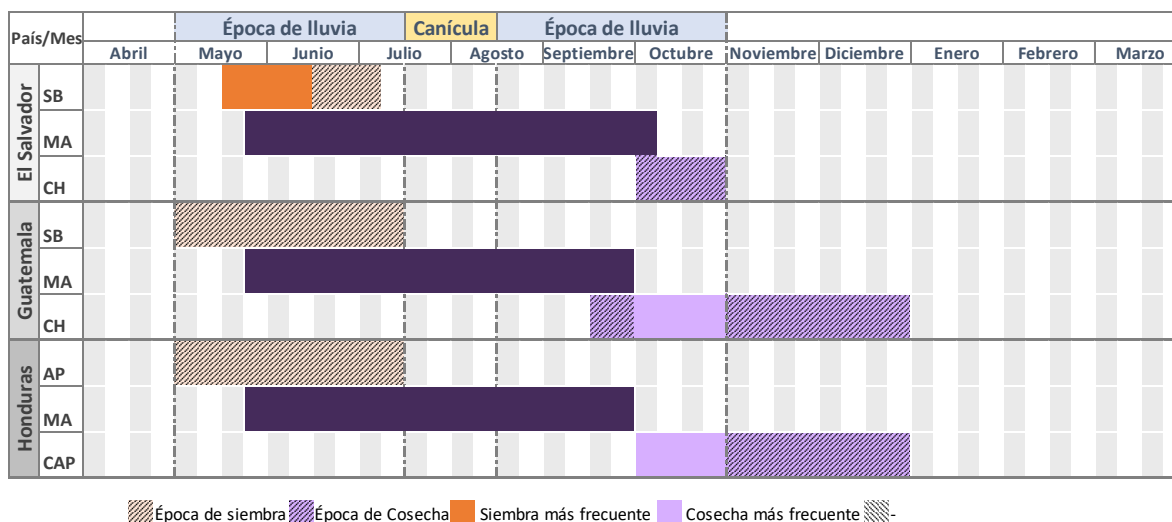


Figura 4-88. Calendario estacional para el cultivo de arroz. (SB-siembra, MA-manejo agronómico, CH-cosecha).

#### El Salvador

El arroz seco se siembra a principios de la primera estación lluviosa entre la segunda quincena de mayo y la primera de junio (Guerrero & Castaneda, 2018). Existen diferentes variedades que permiten una mayor flexibilidad en la siembra por ejemplo, La variedades como CENTA A-9, A-10 (Castañeda, 2008), permite sembrarla hasta la tercera semana de junio e incluso variedades como CENTA A-8 permite la siembra hasta la primera quincena de julio. La cosecha generalmente se da en octubre (Guerrero & Castaneda, 2006). La siembra bajo riego se recomienda hacerla en los meses de diciembre y enero (CENTA, 2013); en este estudio no se considera la siembra de arroz bajo riego.

#### Guatemala

El arroz es recomendable sembrarlo a partir del 1 de mayo hasta el 15 de julio, el arroz necesita entre 100 y 135 días para madurar, por lo que la cosecha se espera entre los meses de octubre y diciembre (Deguate, 2014a; MAGA, 2018).

#### Honduras

La siembra del arroz seco está determinada por el inicio de la época lluviosa. Diferentes estudios han demostrado que las mejores fechas de siembra son los meses de mayo, junio y la segunda quincena de julio. En otros meses del año se puede realizar siembra, pero se obtienen bajos rendimientos especialmente en los meses de octubre y noviembre (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA), 2003).

#### Sorgo

El calendario de cultivo de sorgo para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-89. En esta figura se muestra la temporada de siembra de primera y postrera, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país.

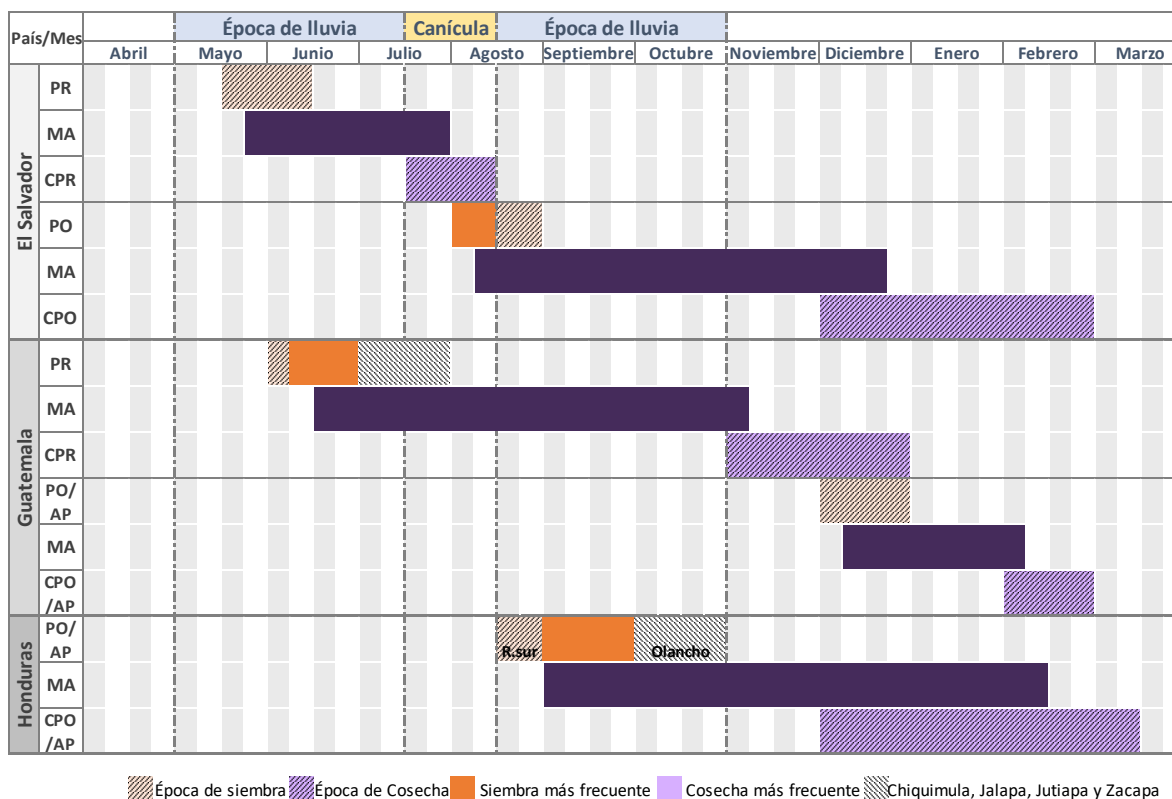


Figura 4-89. Calendario estacional para el cultivo de sorgo. (MA-manejo agronómico, PR-Siembra de primera, PO-Siembra de postrera, AP-siembra apante, CPR-cosecha de primera, CPO-cosecha de segunda, CAP-cosecha apante).

### El Salvador

Se pueden realizar dos siembras en el año. La siembra de primera se realiza entre la segunda quincena de mayo y primera de junio al establecerse las lluvias; sin embargo, esta época no es la más apropiada para la producción de grano, porque el cultivo es susceptible a que las lluvias dañen la cosecha y es necesario que la cosecha deba secarse con maquinaria para que no se descomponga o germine. Por el contrario, la época de postrera es la mejor para realizar la siembra. Se recomienda efectuarla entre la primera quincena de agosto, para cosecharlo en época seca sin necesidad de secado artificial. Cuando el cultivo de sorgo es asociado con maíz, se recomienda la siembra entre el 1 al 15 de junio y si es en relevo la siembra se recomienda del 1 al 15 agosto. En época de apante se puede sembrar bajo riego o humedad residual en la primera semana de diciembre, evitando que la cosecha coincida con la temporada de lluvias (Zeledón et al., 2007).

### Guatemala

Según el MAGA, la época de siembra bajo condiciones normales del sorgo es entre los meses de junio y septiembre, en este último mes inicia el ciclo de alta cosecha hasta febrero del siguiente año. Para la región oriental del país, en especial para los municipios del departamento de Chiquimula y una parte de los municipios de los departamentos de Jalapa, Jutiapa y Zacapa (Zona 8 de medios de vida), se cultiva sorgo en época de primera en los meses de junio y julio y con cosecha en los meses de noviembre a diciembre. Para los municipios que pertenece al corredor seco, en especial para los municipios de la Zona 9 de medios de vida, la siembra de primera se da en los meses de mayo a junio, con cosecha entre la segunda quincena de diciembre y la primera de enero del siguiente año (MAGA, 2018).

## Honduras

Al ser un país extenso, el desarrollo de la siembra y la cosecha se encuentra influenciado por las condiciones locales dentro del territorio. Para el departamento de Olancho, la zona de Yoro y Valle de Jamastrán, la siembra se recomienda en el mes de octubre para un mayor rendimiento, mientras que para la región sur se recomienda iniciar antes en la última quincena de agosto. La cosecha se da una vez el cultivo alcanza su estado de madurez, por lo general entre el 15 de febrero y el 15 de marzo (Fenagh, 2012; Villeda & Araujo, 2012).

## Sandía

El calendario de cultivo de sandía para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-90. En esta figura se muestra la temporada de siembra, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país.

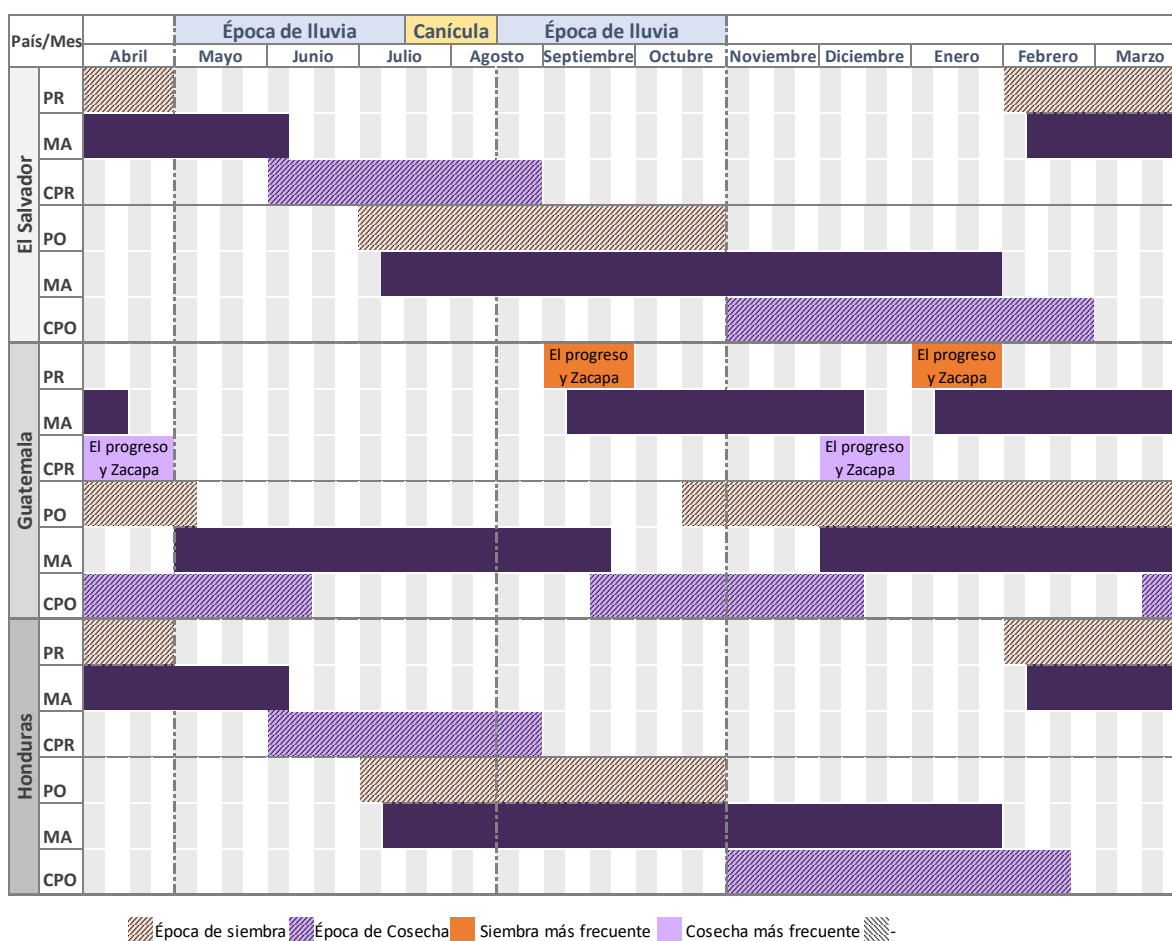


Figura 4-90. Calendario estacional para el cultivo de sandía. (MA-manejo agronómico, PR-Siembra de primera, PO-Siembra de postrera, AP-siembra apante, CPR-cosecha de primera, CPO-cosecha de segunda, CAP-cosecha apante).

## El Salvador

La sandía presenta una primera época de siembra entre los meses de febrero a abril, la mayor producción se cosecha en los meses julio y agosto. La segunda siembra se realiza entre julio y octubre, y se cosecha entre noviembre y febrero (Calderón, 2011; Docplayer, 2018).

#### Guatemala

La sandia se cultiva a partir de la segunda quincena de octubre hasta la primera quincena de mayo del siguiente año. Se presentan dos ciclos de alta cosecha, el primero entre la segunda quincena de marzo hasta mediados de junio y el segundo ciclo desde la segunda quincena de septiembre hasta la segunda semana de diciembre (MAGA, 2018).

Al oriente del país se encuentran grandes extensiones de cultivos de sandía, en especial en los territorios que se encuentran dentro del corredor seco de los departamentos de El Progreso y Zacapa que conforman la Zona de medios de vida 7. En esta región del país se presentan 2 épocas de siembra, la primera en el mes de enero con cosecha en abril, la segunda en el mes de septiembre con cosecha en el mes de diciembre (SECRETARÍA DE SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL, 2009).

#### Honduras

Se pueden realizar al menos 2 siembras en el año, la primera siembra se efectúa entre los meses de febrero y abril y la segunda desde los meses de julio a octubre, aunque se puede sembrar durante todo el año (European et al., 1995; Turruella et al., 2002).

#### Melón

El calendario de cultivo de maíz para Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-91. En esta figura se muestra la temporada de siembra de primera, postrera y apante, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha. Este calendario es el resultado de la evaluación de la información disponible por país. En El Salvador no se reportan grandes extensiones de cultivos de melón.

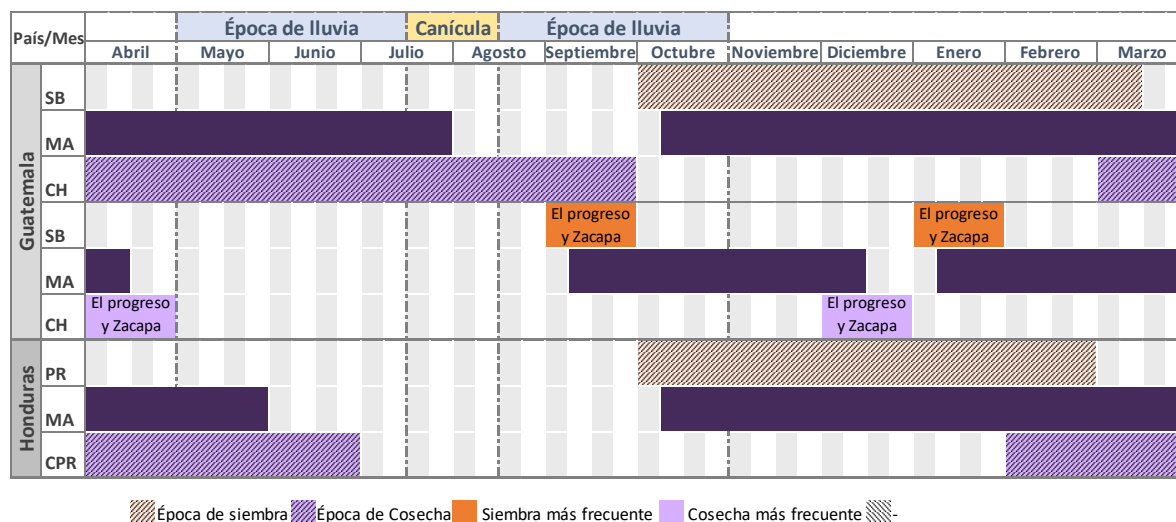


Figura 4-91. Calendario estacional para el cultivo de melón. (SB-siembra, MA-manejo agronómico, CH-cosecha).

#### Guatemala

En general, la siembra del melón se puede efectuar desde los meses de octubre hasta la primera quincena de marzo del siguiente año (Deguate, 2014b). Las zonas del oriente del país dedicadas al

cultivo de sandía en los departamentos El Progreso y Zacapa, también tienen grandes extensiones de cultivo de melón, el cual, presenta el mismo comportamiento estacional (MAGA, 2018).

#### Honduras

La mejor época de siembra es de octubre a febrero, con posibilidad de extenderse hasta la primera semana de mayo, en zonas en donde no se establecen completamente las lluvias en el mes (Angel Casaca, 2005).

#### Tomate

El calendario de cultivo de tomate para El Salvador, Guatemala y Honduras se presenta en la Figura 4-92. En esta figura se muestra la temporada de siembra de primera, postrera y apante, con su respectivo tiempo de manejo agronómico (o de desarrollo del cultivo) y la fecha estimada de cosecha.

Para los 3 países, el cultivo de tomate se puede sembrar durante todo el año, dependiendo de la variedad de la semilla, y la elección de la fecha de la siembra. Sembrar al finalizar el invierno permite obtener mejores rendimientos, ya que se puede disminuir la susceptibilidad del cultivo ante las diferentes plagas. En Guatemala los ciclos de alta cosecha se dan a partir de la segunda quincena de enero hasta finales de mayo, y entre los meses de agosto y septiembre (MAGA, 2018, Cerrato & Lardizabal, 2009a; Pérez et al., 2001) .

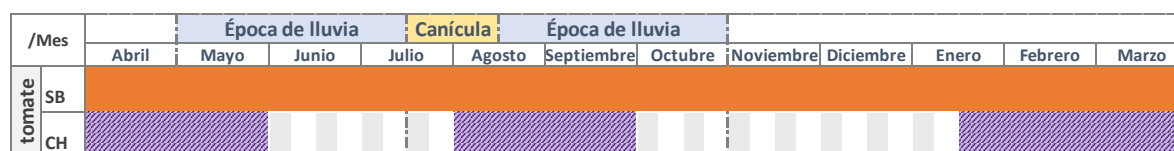


Figura 4-92. Calendario estacional para el cultivo de tomate. (SB-siembra, CH-cosecha).

#### 4.2.2 Cultivos Permanentes

Como se muestra en la sección anterior, las épocas de siembra y cosecha son similares para los 3 países. Para considerar la estacionalidad de los cultivos permanentes, es necesario enfatizar en la determinación de la fecha de cosecha durante el año agronómico. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), ha establecido las épocas de siembra y cosecha para Guatemala bajo condiciones normales de clima, las cuales se consideraron análogas para Honduras y El Salvador. Siendo así, el calendario de cultivos permanentes se muestra a continuación en la Figura 4-93. Los cultivos incluidos son banano, plátano, palma de aceite, café, caña de azúcar, cardamomo, hule, naranja (aplica para cítricos en general), mango y piña. En este caso, el área verde resaltada como época de siembra puede hacer también referencia al inicio de la floración en plantas frutales como la naranja o el mango, que ocurre después de una temporada larga de tiempo seco.



Figura 4-93. Calendario estacional para los cultivos permanentes. Adaptado de (MAGA, 2018)

Con la información de localización de cultivos, su área sembrada y su estacionalidad, se completa la base de datos de elementos expuestos para el caso de evaluación del riesgo por sequía en el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras.

#### 4.3 Rendimientos

El rendimiento de un cultivo dentro del modelo de elementos expuestos se define como la producción total en toneladas de un cultivo cosechado por una hectárea de tierra cultivada. A partir de las consideraciones que se hicieron para conformar la base de datos de elementos expuestos, los rendimientos de referencia que se utilizan en el modelo son consistentes con el total de producción alcanzada para el año de referencia con respecto al área sembrada para ese mismo año, reportada en los censos o encuestas agrícolas. Los valores de área sembrada y producción utilizados fueron tomados de cifras oficiales, para el año de referencia asociado a la distribución de espacial de los cultivos como se muestra a continuación.

- Para el caso de El Salvador los rendimientos de referencia son calculados como la relación entre la producción anual y el total de área sembrada, a escala nacional del año agrícola

2007-2008, para todos los cultivos a partir de la información reportada por el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008.

- Para el caso de Guatemala se tiene como rendimientos de referencia para todos los cultivos, los reportados a escala nacional por el documento “El Agro en Cifras 2016” (MAGA, 2016) para el año agrícola 2010 -2011.
- Para el caso de Honduras se tiene como rendimientos de referencia los calculados como la relación entre la producción anual y el total de área sembrada, a escala nacional, para los diferentes cultivos del año agrícola 2007-2008 reportados por el Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. Esta encuesta no reporta información para granos básicos por lo que fue tomada del Sistema Estadístico Nacional (SEN) e Instituto Nacional de Estadística (INE).

En la Tabla 4-18 se presentan los valores de rendimiento, a escala nacional, para todos los cultivos de los tres países. Los valores en blanco en la tabla indican que este producto no se incluyó en la base de datos de elementos expuestos de cada país.

Tabla 4-18. Rendimientos de referencia (Ton/ha) utilizados en el modelo de exposición para los tres países. <sup>1</sup>Fuente:(MINEC, 2009). <sup>2</sup>Fuente:(MAGA, 2016). <sup>3</sup>Fuente:(INE, 2008).

<b>Producto</b>	<b>El Salvador 2007 - 2008<sup>1</sup></b>	<b>Guatemala 2010-2011<sup>2</sup></b>	<b>Honduras 2007-2008<sup>3</sup></b>
Arroz	6.7	2.9	3.2
Banano	-	40.8	27.5
Café	0.5	1.0	0.7
Caña	86.8	77.2	74.5
Cítricos	15.1	22.0	13.4
Frijol	0.8	0.9	0.7
Maíz	2.4	2.0	1.6
Mango	-	12.2	8.8
Melón	-	21.4	30.2
Palma	-	15.8	13.4
Papa	-	25.6	-
Plátano	-	16.4	7.2
Sandía	15.7	-	28.6
Sorgo o Maicillo	1.1	-	1.1
Tomate	24.1	34.2	-

Sobre las condiciones de clima para los años de referencia para cada país, se puede considerar que son años sin evidencia de eventos de sequía extremos. En el caso de la precipitación, la Figura 4-94 muestra la precipitación anual promedio para la región del Norte de Centro América y los valores para el año 2007 que es de 1826 mm y para el año 2010 de 2216mm. Es importante recordar que estos valores de precipitación anual promedio para la región se obtuvieron de la base de datos CHIRPS. Entonces, la precipitación para el año 2007, que es el año de referencia de los rendimientos para El Salvador y Honduras, está por debajo de la media pero por encima del percentil 25. Por otro lado, para el año 2010, el valor promedio de la precipitación anual está muy por encima de la media, lo que indica que fue un año más lluvioso de lo normal y los rendimientos de este año que se usen como referencia pueden reflejar condiciones de más lluvia. Los valores de temperatura media se

mantienen muy cercanos, para el 2007 el valor de temperatura media fue de 24.8°C y para el 2010 fue de 24.9°C, considerando que la media multianual de temperatura es de 24.7°C se puede considerar que las condiciones de temperatura media no varían. Este análisis se hizo para variables anuales, puede que las condiciones de temperaturas extremas diarias no reflejen el mismo comportamiento.

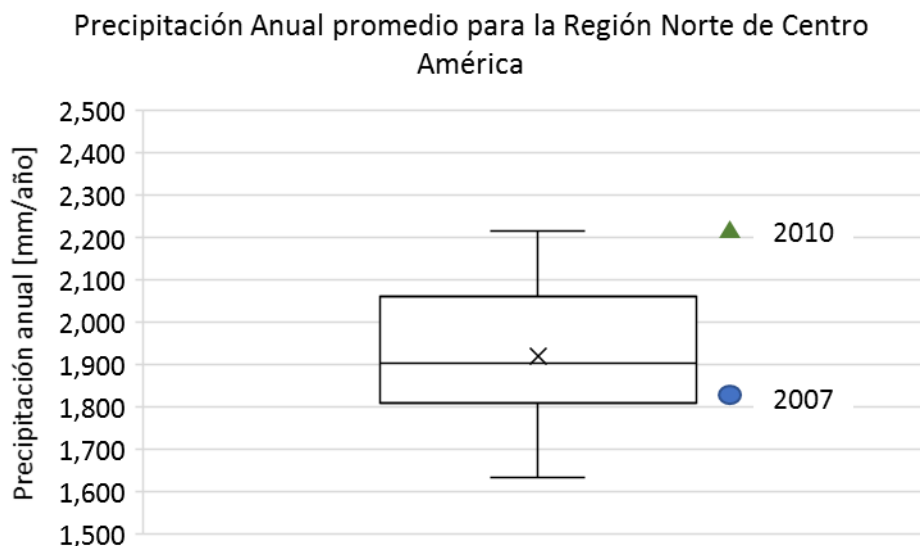


Figura 4-94. Diagrama de caja para precipitación anual promedio de la Región Norte de Centroamérica y valores de precipitación de años 2007 y 2010. (Fuente: elaborado a partir de información de base de datos de CHIRPS para el rango 1981-2010).

La Figura 4-95, Figura 4-96 y Figura 4-97 muestra el análisis de los registros históricos de rendimiento y su comparación con el rendimiento de referencia seleccionado para El Salvador, Guatemala y Honduras, respectivamente.

Para El Salvador se cuenta con registros de rendimiento entre 1998 y 2016. Los diagramas de caja muestran que los rendimientos de referencia de maíz, frijol y sorgo están por debajo de la media de los valores reportados; en el caso del arroz, el rendimiento de referencia está por encima de la media. La variación temporal de los rendimientos muestra como los rendimientos no muestran una tendencia clara (de incremento o disminución con el tiempo), sin embargo, se mantienen cercanos al rendimiento de referencia seleccionado. En el caso del Sorgo el rendimiento se obtuvo con las áreas sembradas y la producción del censo de 2007-2008 que son menores a la información reportada por el Ministerio de Economía, que es la fuente de información de registros históricos de rendimiento. Para Guatemala se cuenta con registros de rendimiento entre 2008 y 2016. Los valores de rendimiento para maíz, frijol y arroz reportan una leve tendencia al alza, como se muestra en la variación anual de rendimientos, pero son muy estables, razón por la que el diagrama de cajas es muy angosto. El rendimiento de referencia seleccionado se encuentra por debajo de los rendimientos de los últimos años. Para Honduras se cuenta con registros entre 1999 y 2012. Los valores de rendimiento seleccionado para maíz, frijol, sorgo y arroz se encuentran muy cercanos a la media y se ubican por debajo de los rendimientos de los últimos años.



## El Salvador

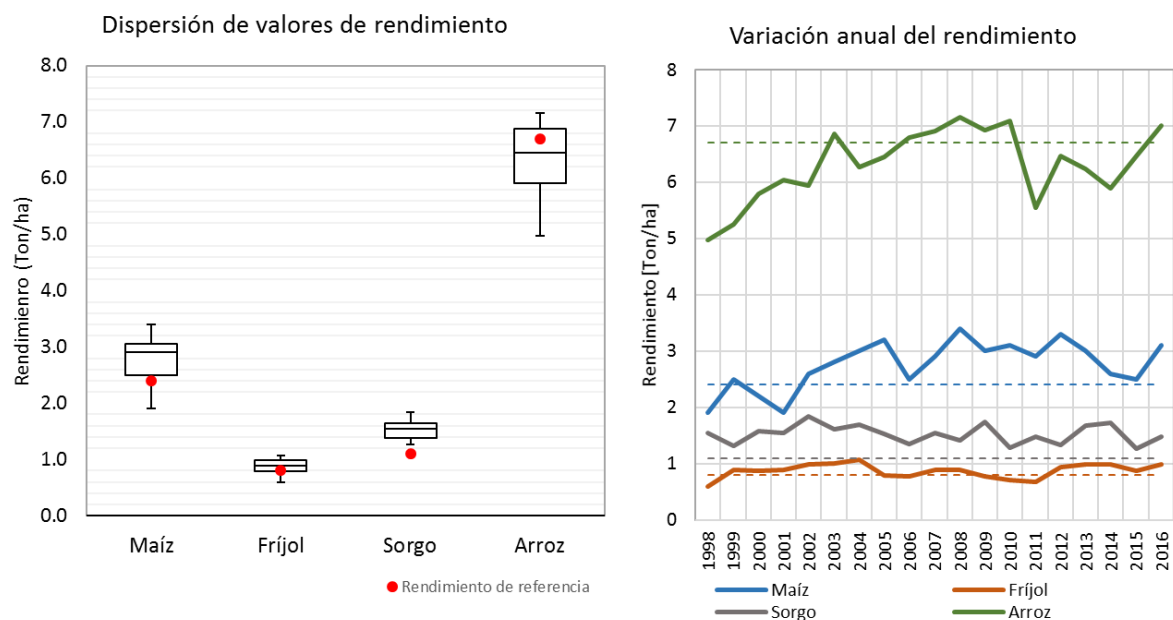


Figura 4-95. Dispersión y variación temporal de valores de rendimiento a escala nacional para granos básicos para El Salvador (Fuente: Elaborado a partir de información del Ministerio de Economía)

## Guatemala

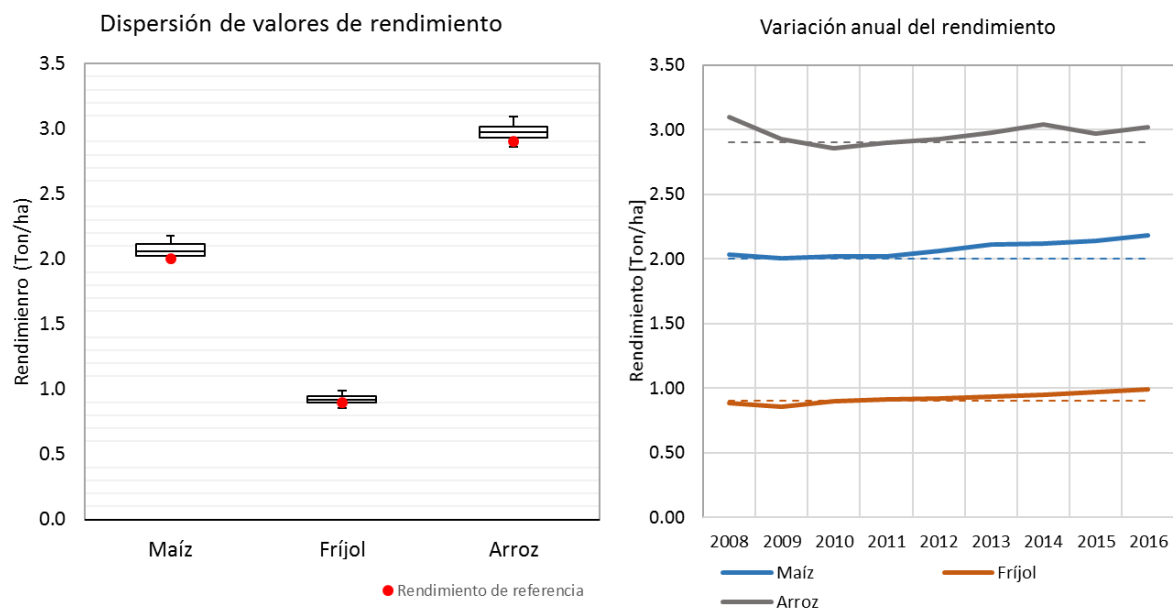


Figura 4-96. Dispersión y variación temporal de valores de rendimiento a escala nacional para granos básicos para Guatemala (Fuente: Elaborado a partir de información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación)

## Honduras

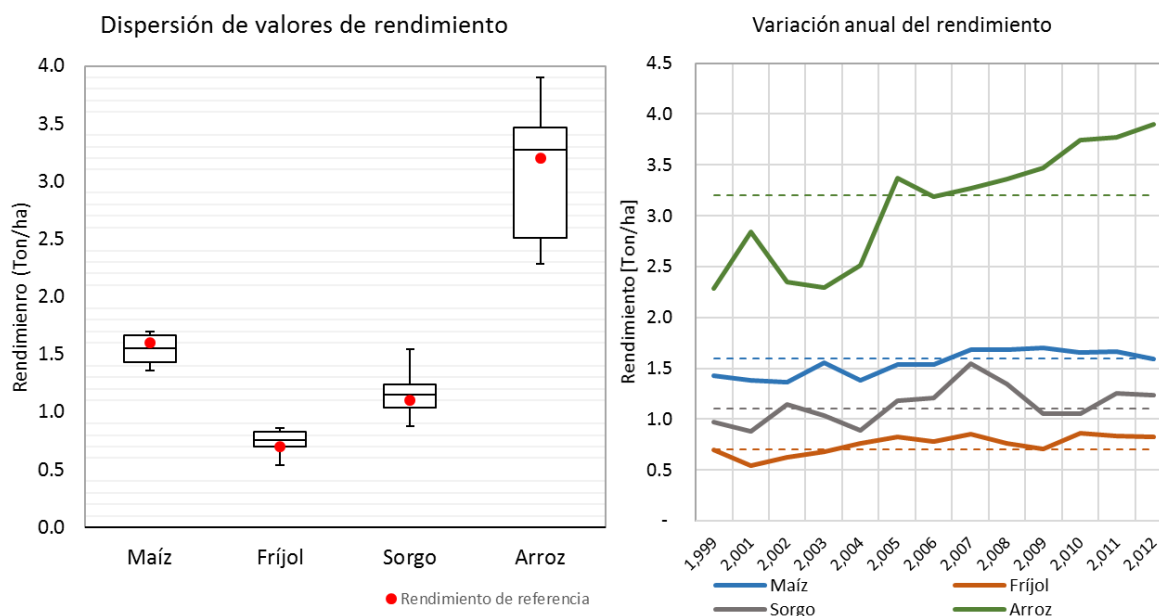


Figura 4-97. Dispersión y variación temporal de valores de rendimiento a escala nacional para granos básicos para Honduras (Fuente: Elaborado a partir de información del Instituto Nacional de Estadística)

En el caso de los cultivos diferentes a granos básicos, no se contó con suficiente información para realizar este análisis a detalle y se utilizó la información de los años del censo o encuesta nacional agrícola correspondiente a cada país. La selección del rendimiento de referencia se hace a partir de la relación entre la producción y el área sembrada total del país reportado en los censos o encuestas agrícolas, de esta forma se considera la información más completa publicada por los países que reflejen los rendimientos según prácticas agrícolas locales. Los censos y encuestas agrícolas son esfuerzos importantes que hacen los países para consolidar la información del sector con la más alta resolución posible.

### 4.4 Avalúos

Para cuantificar las pérdidas generadas al momento de exponer los cultivos a los escenarios que definen la amenaza por sequía, es necesario realizar una valoración económica de la producción obtenida por cultivo, para ello se consideró el valor unitario en dólares americanos (USD) de una tonelada producida por cada país para cada cultivo.

La valoración económica utilizada en este estudio se define como el precio al productor, sin considerar los costos de transporte, almacenamiento, procesamiento, comercialización o impuestos. Es decir, el precio al productor no cubre ningún otro costo después de que la cosecha sale del sitio de producción.

Los detalles de la metodología para definir el avalúo de cada producto por país se presentan en el Anexo A. 6.6. En términos generales, el precio pagado al productor reportado por FAOSTAT (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/PP>) cumple con los criterios anteriormente mencionados y fue seleccionado como el valor de referencia para el avalúo de los cultivos de El Salvador y Honduras. El indicador utilizado de FAOSTAT es el *Producer Prices – Annual* que se encuentra en la sección de *Prices*. Esta información se obtiene por país, por elemento (*Producer Price (USD/tonne)*), por cultivo o producto y año de interés.

Sin embargo, esta información no se encontró disponible para Guatemala siendo necesario considerar otra alternativa como el costo de producción de una tonelada de los diferentes productos agrícolas como valor de referencia para este país. El valor estimado abarca el costo de insumos, la mano de obra directa, y los costos indirectos. La información detallada de las fuentes y consideraciones hechas para estimar los avalúos de Guatemala se muestran en la Tabla 4-19.

Tabla 4-19. Valor del Avalúo del año de referencia por producto para Guatemala en el modelo de exposición. <sup>2</sup>Fuente:(BANGUAT, 2018a)

Producto	Año de referencia	Avalúo año de referencia	Unidades	Tasa de Inflación % <sup>2</sup>	Avalúo traído al 2017 USD/Ton	Observaciones	Fuente
Arroz	2016	274	quetzales/quintal	4.3	591	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Café*	2016	127	USD/quintal	-	2,823	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Caña*	2015	87	quetzales/Ton corta	3.7	18	Costo producción	(Gómez, 2017)
Cítricos*	2016	1,963	quetzales/Ton	4.3	195	Precio al mayorista, según SIMA el peso de una naranja promedio es 257g y el del limón de 138g	(MAGA, 2016)
Fríjol	2007	327	quetzales/quintal	4.8	1,409	Costo producción	(Hernández, 2009)
Maíz	2012	136	quetzales/quintal	3.8	542	Costo producción	(Sánchez, 2014)
Mango	2006	28.36	quetzales/caja	5	388	Costo producción	(Solorzano, 2009)
Melón	2016	401.25	quetzales/ciento	4.3	307	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Palma	2015	347	quetzales/Ton	3.7	51	Costo producción	(Aparicio, 2018)
Papa	2016	191.32	quetzales/quintal	4.3	413	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Plátano	2016	120.3	quetzales/ciento	4.3	314	Precio al mayorista, según SIMA el peso de un banano promedio es 381g	(MAGA, 2016)
Banano	2015	26.49	quetzales/Caja de 41.5 lb	3.7	257	Costo producción, según SIMA el peso de un banano promedio es 257g	(Morataya, 2018)
Tomate	2016	124.38	quetzales/Caja de 50 lb	4.3	545	Precio al mayorista, 1 lb = 453.592g	(MAGA, 2016)

\*Para el café se consideró el equivalente de un dólar al 31 de diciembre del 2016 es de 1.02 dólares al 31 de diciembre del 2017.

\*Para Cítricos se consideró el promedio del precio pagado al mayorista de naranja (58.11 quetzales/ciento) y limón (229.82 quetzales/millar).

\*Para la caña de azúcar se consideró que 1 Tonelada corta equivale a 0.907 Toneladas métricas. Se tomó como referencia para todos los cultivos el tipo de cambio al 31 de diciembre de 2017, donde 1 Quetzal equivale a 0.136 USD.

Se considero que 1 Quintal equivale a 0.046 Toneladas métricas.

El resultado de la estimación realizada por producto para los tres países se presenta en la Tabla 4-20. Los valores en blanco en la tabla indican que este producto no se incluyó en la base de datos de elementos expuestos de cada país. La información recopilada de los diferentes precios por cultivo se encuentra asociada a un año específico para el cual fue reportada. Con el fin de actualizar y homogenizar la información de valor expuesto de los tres países, los precios al productor se ajustaron por el valor de inflación, de cada país, para reportar precios actuales correspondientes al año 2017. En el Anexo A. 6.6 se presenta la metodología utilizada para considerar la variación de los precios en el tiempo.

Tabla 4-20. Resumen del avalúo en USD/Tonelada por producto por país en el modelo de exposición.

<b>Producto</b>	<b>El Salvador<sup>1</sup> [USD/Ton]</b>	<b>Guatemala<sup>2</sup> [USD/Ton]</b>	<b>Honduras<sup>1</sup> [USD/Ton]</b>
Arroz	421	591	657
Café	3,051	2,823	3,916
Caña	36	18	29
Cítricos	188	195	172
Frijol	1,100	1,409	1,534
Maíz	354	542	506
Mango	-	388	439
Melón	-	307	333
Palma	-	51	222
Papa	-	413	-
Plátano	-	314	395
Banano	-	257	431
Sandía	162	-	320
Sorgo o Maicillo	336	-	508
Tomate	717	545	-

<sup>1</sup>. Fuente: FAOSTAT 2018

<sup>2</sup>. Fuente: Ver Tabla 4-19

## 5 VULNERABILIDAD DE CULTIVOS A LA SEQUÍA

Según la UNISDR, el concepto de vulnerabilidad incluye las condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de un elemento expuesto al impacto de las amenazas (UNISDR, 2015b). Dentro de la metodología propuesta, la vulnerabilidad de los cultivos evalúa las características fenológicas de las plantas que determinan su respuesta biológica a la falta de agua. Generalmente, para enfrentar eventos de disminución de humedad en el suelo, las plantas cierran los estomas de sus hojas para reducir la pérdida de agua por transpiración, lo que implica reducir su nivel de fotosíntesis, ritmo de crecimiento y rendimiento final (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2, 2015). La susceptibilidad de los cultivos determina su respuesta biológica a la falta de agua, por lo que cultivos resistentes a sequía tienen una tasa de pérdida de rendimiento menor que cultivos que demandan mucha agua en su ciclo de crecimiento. En otras palabras, la susceptibilidad de los cultivos define su rendimiento ante una situación de déficit hídrico.

La modelación de la vulnerabilidad se realiza siguiendo la metodología de cálculo del rendimiento definida por la FAO. La vulnerabilidad se define en términos de la pérdida de rendimiento que sufre el cultivo durante un período prolongado de escasez de agua. Dado que se aplica un modelo agronómico de respuesta de cultivos, no se emplearán curvas o funciones de vulnerabilidad. El modelo de respuesta de cultivos al consumo de agua de FAO ha sido ampliamente utilizado en el desarrollo de los programas de riego y en general en la administración de cultivos. La metodología propuesta por este grupo consultor es la única actualmente que utiliza un modelo de esta complejidad en la evaluación probabilista del riesgo de sequía.

### 5.1 Rendimiento como función del consumo de agua

Con el objetivo de mejorar la eficiencia y la productividad del uso del agua en cultivos, la división de Tierra y Agua de la FAO ha desarrollado una línea de investigación sobre la gestión eficaz del agua en la agricultura de secano e irrigada. El objetivo general es aumentar los ingresos de los agricultores mejorando el rendimiento agrícola, respondiendo a la creciente demanda de alimentos y a los limitados recursos hídricos. El enfoque inicial para modelar la relación entre el rendimiento de los cultivos y el consumo de agua se encuentra publicado en el documento de FAO: *Irrigation and Drainage paper No. 33 Yield response to water* (Doorenbos, Kassam, Bentvelsen, Branscheid, & Plusje, 1979). Este es un enfoque simplificado, en donde la pérdida relativa de rendimiento en cualquier cultivo  $\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right)$ , se relaciona proporcionalmente a la reducción relativa en el consumo de agua en términos de la evapotranspiración  $\left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right)$ , por medio de un coeficiente de proporcionalidad ( $K_y$ ), que es específico para cada tipo de cultivo y fase fenológica.

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad \text{Ec. 5-1}$$

en donde  $Y$  es el rendimiento real,  $Y_x$  es el máximo rendimiento, el cual depende de la genética del cultivo y las condiciones climáticas, y se calcula asumiendo que los factores agronómicos (agua, fertilizantes, plagas y enfermedades) no son limitantes.  $ET$  es la evapotranspiración real, calculada para condiciones específicas de precipitación y temperatura, y  $ET_x$  es la máxima evapotranspiración, calculada asumiendo que los requerimientos de agua del cultivo están totalmente satisfechos.

Este es un enfoque apropiado para propósitos de planificación general y evaluación rápida (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012) y puede aplicarse a todos los cultivos agrícolas (herbáceos, árboles y vides), usando el valor apropiado de  $K_y$ . Este coeficiente, que es específico de los cultivos y varía a lo largo de la temporada de crecimiento, incluye los procesos biológicos, físicos y químicos involucrados en la producción de biomasa. La Figura 5-1 muestra la función lineal de producción de

agua para el maíz. En términos generales, si  $K_y > 1$ , se trata de un cultivo muy sensible al estrés hídrico, mientras que si  $K_y < 1$ , se trata de un cultivo más tolerante al déficit de agua. Adicionalmente, los cultivos en estado vegetativo o de maduración son más resistentes que los cultivos en etapas de floración o de formación de rendimiento.

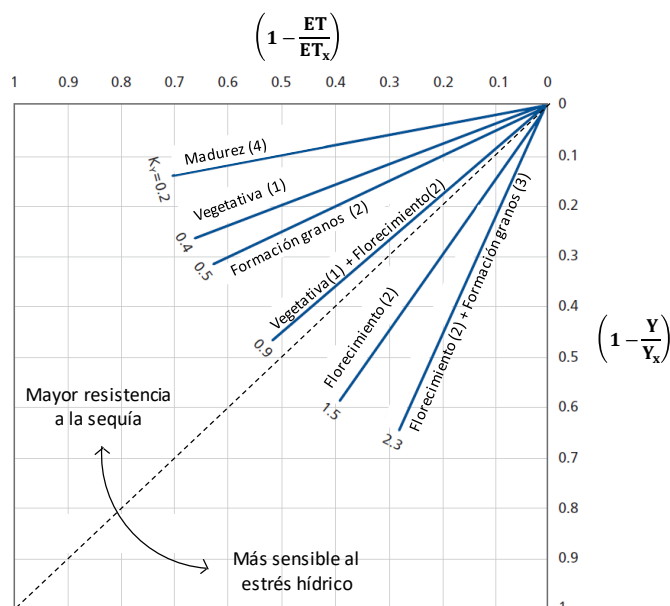


Figura 5-1. Funciones de agua-rendimiento para el maíz (Adaptado de Steduto et al., 2012, p. 8)

Utilizando la Ec. 5-1 como punto de partida, la FAO desarrolló un modelo avanzado de respuesta de rendimiento como función del consumo de agua, el cual se encuentra publicado en el documento *Irrigation and Drainage Paper No. 66 Crop yield response to water* (Steduto et al., 2012). Este nuevo enfoque permite calcular la biomasa de los cultivos con base en la cantidad de agua transpirada y el rendimiento del cultivo como la proporción de biomasa que entra en las partes cosechables de las plantas. Algunas de las características del modelo de la FAO, que son interesantes para la evaluación del riesgo de sequía, son:

- El modelo considera la relación proporcional entre el estrés hídrico y la reducción de la producción de biomasa. En consecuencia, la reducción de la producción de biomasa está relacionada con la reducción de los rendimientos y las pérdidas económicas asociadas con el peligro de sequía.
- El modelo de la FAO incluye el efecto de las anomalías de la humedad del suelo y la respuesta fisiológica de los cultivos al déficit hídrico.
- El modelo calcula la producción de biomasa en una escala de tiempo diaria, para representar mejor la dinámica de la respuesta del cultivo al agua en diferentes etapas de crecimiento. Esta característica es conveniente porque los parámetros meteorológicos, utilizados para calcular el riesgo de sequía, también tienen una escala de tiempo diaria.
- Como la producción de biomasa se calcula a partir de las series de precipitación y temperatura, el modelo puede introducir el efecto de los escenarios de cambio climático. Se incluye también la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.
- La FAO ha establecido parámetros estándar para los cultivos, con sus correspondientes procedimientos de calibración y validación.
- Es posible incorporar modificadores asociados a prácticas agrícolas (por ejemplo, riego o fertilización), en función de la información disponible.

El modelo de respuesta de cultivos tiene cuatro componentes principales: el clima (en términos de temperatura, precipitación, demanda por evaporación y concentración de dióxido de carbono), los cultivos (procesos de desarrollo, crecimiento y rendimiento), el suelo (balance de agua y sal) y el manejo y administración (prácticas agrícolas). Cada uno de los componentes se explica brevemente a continuación, según lo contenido en Steduto et al. (Steduto et al., 2012).

### 5.1.1 Clima

La temperatura influye en el desarrollo de los cultivos y la precipitación es determinante para el balance hídrico del suelo en la zona radicular y el estrés hídrico. Por lo tanto, las principales variables climáticas para el modelo son las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire, las precipitaciones diarias totales y la demanda evaporativa de la atmósfera, expresadas como evapotranspiración. Para el caso del modelo de evaluación del riesgo de sequía aplicado en este estudio, todas estas variables climáticas se calculan previamente en la evaluación de la amenaza y se utilizan para calcular los indicadores de sequía.

Adicionalmente, la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se incluye en la evaluación, ya que es un aspecto que afecta la expansión del cultivo y la conductancia estomática. Los valores por defecto de las concentraciones anuales de  $\text{CO}_2$  se miden en el Observatorio Mauna Loa, en Hawái ([www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/)). Para el caso de la evaluación prospectiva de riesgo, se utiliza la concentración de dióxido de carbono para el último año disponible en la evaluación base y para la evaluación de los modelos con cambio climático se usan las proyecciones de concentración de dióxido de carbono según el escenario de RCP (trayectoria representativa de concentración) analizada.

### 5.1.2 Cultivo

Los cultivos se modelan en términos de los procesos biológicos, físicos y químicos que determinan su rendimiento. El modelo permite evaluar cómo los cultivos crecen y se desarrollan a lo largo de su ciclo de crecimiento específico, creciendo el follaje, profundizando sus raíces y acumulando biomasa. Todas las etapas fenológicas (o etapas de crecimiento) se consideran en el modelo: vegetativo, floración, formación de rendimiento y maduración (como se muestra en la Figura 5-1), incluyendo etapas fenológicas distintas para cultivos herbáceos o forrajeros.

La fenología se refiere a las etapas de desarrollo de los cultivos y su duración, que se puede definir en días de grado de crecimiento (GDD – *Growing Degree Days*) o días calendario. La cobertura vegetal (CC – *Canopy Cover*) es la representación de la cantidad de follaje, la cual se considera proporcional a la cantidad de agua transpirada y la cantidad de biomasa producida. El subcomponente de profundidad de enraizamiento modela el proceso en el cual las raíces se profundizan a una tasa relativa constante mientras que la planta está creciendo hasta la fase de formación de rendimiento. El modelo puede incluir los efectos de capas de suelo o nivel freático superficial que restringen de crecimiento de las raíces.

En la Figura 5-2 se muestran las curvas de la cobertura vegetal y profundidad de la raíz. La curva en la parte superior representa el desarrollo de la cobertura vegetal a partir de la expansión (CGC: coeficiente de crecimiento vegetal – *Canopy Growth Coefficient*) y la disminución (CDC: coeficiente de disminución vegetal – *Canopy Decline Coefficient*). La cobertura vegetal se expresa como una fracción de suelo sombreado por las hojas o partes aéreas de las plantas, siendo su nivel máximo (CCx) específico del cultivo. La segunda curva representa la profundidad de enraizamiento efectiva, desde su valor mínimo (Zn) en el momento de la siembra hasta su valor máximo (Zx) en la fecha que se alcanza la madurez del cultivo. Este conjunto de curvas representa el desarrollo del cultivo y su interacción con los sistemas de suelo y aire.

El modelo permite calcular la transpiración de los cultivos separadamente de la evaporación del suelo. El subcomponente de transpiración de cultivos determina el uso de agua de la planta cuando no hay estrés que limite la apertura estomática, característica que es específica del tipo de cultivo y cambia durante su desarrollo. La evaporación del suelo considera la pérdida de agua de la superficie del suelo húmedo no sombreado por la vegetación. Los dos últimos subcomponentes, producción de biomasa y rendimiento cosechable, se pueden resumir en las ecuaciones Ec. 5-2 y Ec. 5-3.

La producción de biomasa se define como:

$$B = WP * \sum Tr \quad \text{Ec. 5-2}$$

en donde  $B$  es la biomasa producida acumulada,  $Tr$  es la transpiración del cultivo sumada durante el período de producción de la biomasa y  $WP$  es el parámetro de productividad del agua medido como la cantidad de biomasa seca (kilogramos) por unidad de área ( $m^2$ ) y de agua transpirada (mm). La robustez del modelo depende de la naturaleza conservadora del  $WP$  que permanece constante en un rango de ambientes, cuando se normaliza para demandas evaporativas.

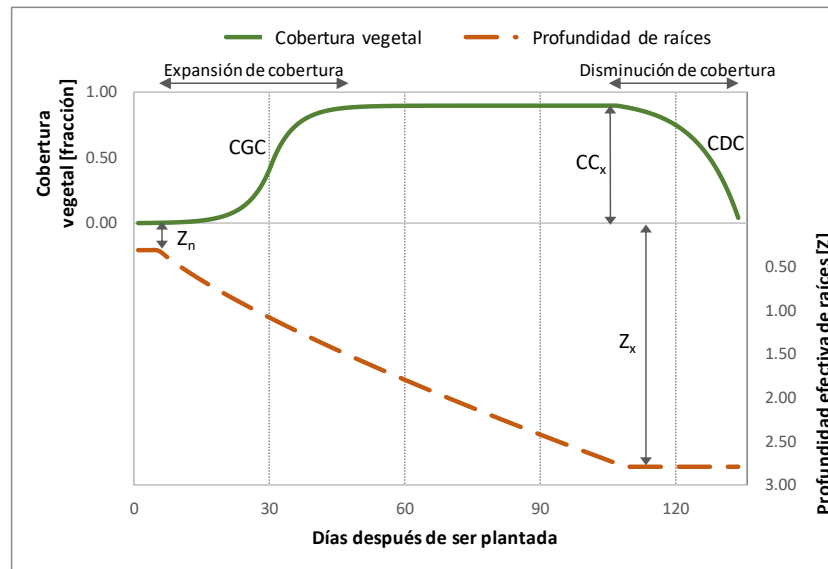


Figura 5-2. Representación esquemática del desarrollo en el tiempo de la cobertura vegetal y la profundidad de enraizamiento (Adaptado de Steduto et al., 2012, p. 23)

Finalmente, se utiliza un índice de cosecha  $HI$  para estimar el rendimiento  $Y$  de la biomasa producida  $B$ . Al hacer esta distinción entre la biomasa y el rendimiento, se pueden evaluar por separado los efectos de las condiciones climáticas sobre la producción de biomasa y la cosecha.

$$Y = HI * B \quad \text{Ec. 5-3}$$

La Figura 5-3 muestra la función del cambio del índice de cosecha  $HI$  en el tiempo para cultivos de frutas o granos, para el período de formación del rendimiento (fase de floración hasta la madurez fisiológica).  $HI$  comienza a partir de cero, en un crecimiento lento pero acelerado seguido por una tasa de aumento constante hasta que se alcanza el rango superior  $HI_o$ . Este nivel superior es el índice de cosecha de los cultivos en condiciones óptimas, es específico del tipo de cultivo y se dispone de datos para su calibración.



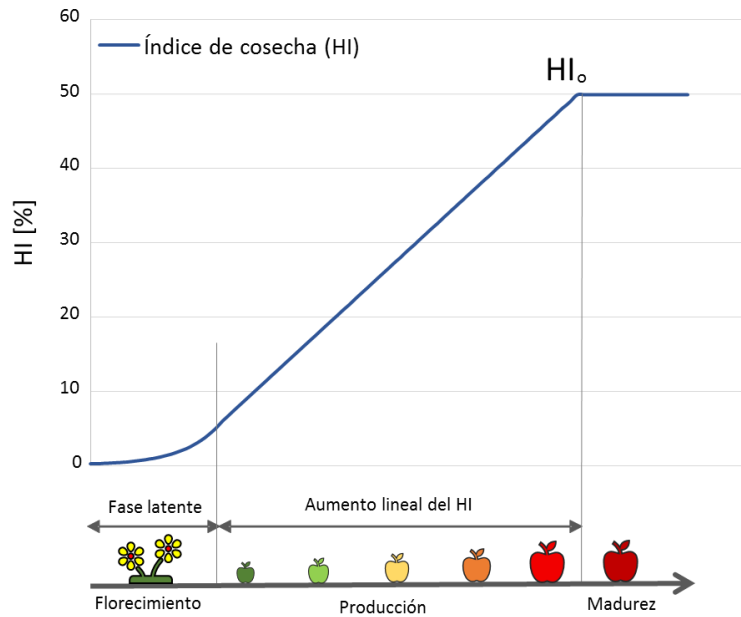


Figura 5-3. Representación esquemática del cambio en el tiempo del índice de cosecha (HI) para cultivos de frutas o granos (Adaptado de Steduto et al., 2012, p. 27)

### 5.1.3 Suelo

El componente de suelo incluye su perfil en profundidad y las características del nivel freático dentro del sistema radicular de la planta, expresando la región radicular como un volumen de control en donde se estiman los balances de agua y sal. El suelo puede ser subdividido en capas de profundidad variable, cada una con diferentes características físicas como el contenido de agua en el suelo saturado, el límite superior de agua contenida o capacidad de campo (FC – *Field Capacity*), el punto de marchitamiento permanente (PWP – *Permanent Wilting Point*) o límite inferior del nivel de agua, y la conductividad hidráulica del suelo saturado ( $K_{sat}$ ). Estos valores son las entradas para determinar la evaporación del suelo, el drenaje interno, la percolación profunda, el escurrimiento superficial y la capilaridad. El nivel freático debe caracterizarse en términos de su profundidad y salinidad.

La Figura 5-4 muestra una representación simplificada del modelo del sistema radicular, donde  $D_r$  representa el agotamiento de la raíz y  $W_r$  es la profundidad equivalente del agua. El agua disponible total (TAW – *Total Available Water*) es la cantidad de agua retenida en la zona de raíces entre la capacidad de campo (límite superior) y el punto de marchitamiento permanente (límite inferior).

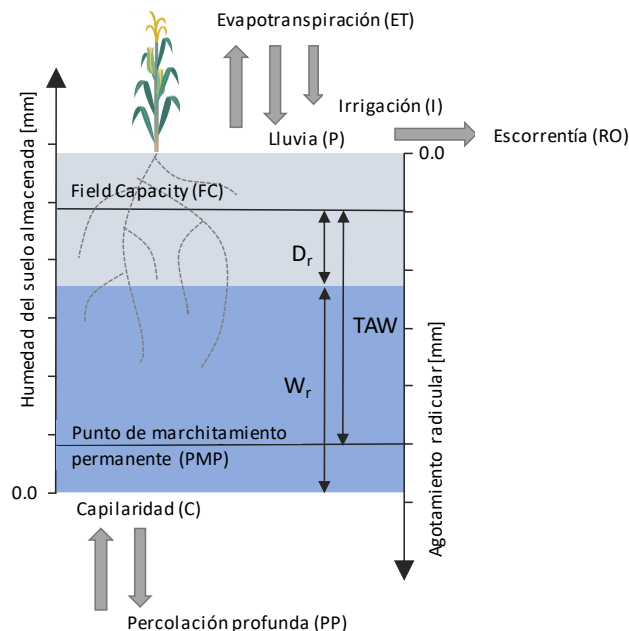


Figura 5-4. Representación esquemática del volumen de control de la zona radicular (Adaptado de Steduto et al., 2012, p. 28)

El balance hídrico dentro de la zona radicular se calcula día a día, y para cualquier momento del desarrollo del cultivo. Los caudales de agua entrantes considerados en el modelo son provistos por las lluvias, el riego y la capilaridad. Por otro lado, los flujos de agua salientes considerados en el modelo son el escurrimiento, la evapotranspiración y la percolación profunda.

#### 5.1.4 Manejo

El modelo tiene la capacidad de incorporar las prácticas de manejo en la respuesta del rendimiento de los cultivos al agua, incluyendo el riego y manejo de campo. Las opciones de manejo de riego incluyen la selección de métodos de aplicación de agua y la definición de programas de riego. Las opciones de manejo de campo incluyen la fertilización del suelo, la cobertura del suelo para evitar la evaporación y el uso de protecciones para controlar el escurrimiento superficial. Este tipo de características serán incluidas en la modelación en la medida en que la información necesaria esté disponible.

### 5.2 La dinámica de la respuesta de los cultivos al estrés hídrico

Las condiciones de estrés hídrico son representadas por un coeficiente de estrés ( $K_s$ ) y un umbral para los indicadores de estrés.  $K_s$  es un modificador que cuantifica la intensidad del efecto que produce el estrés hídrico en los procesos de crecimiento específicos para un cultivo y etapa de crecimiento. Como se observa en la Figura 5-5, los valores de  $K_s$  varían entre 0 (estrés total) y 1 (sin estrés), siguiendo una función lineal o convexa (el grado de curvatura se establece durante la calibración del modelo). Los umbrales para el estrés hídrico están relacionados con el agotamiento del agua del suelo, mientras que los umbrales asociados al estrés por temperatura del aire están relacionados con los grados de crecimiento.

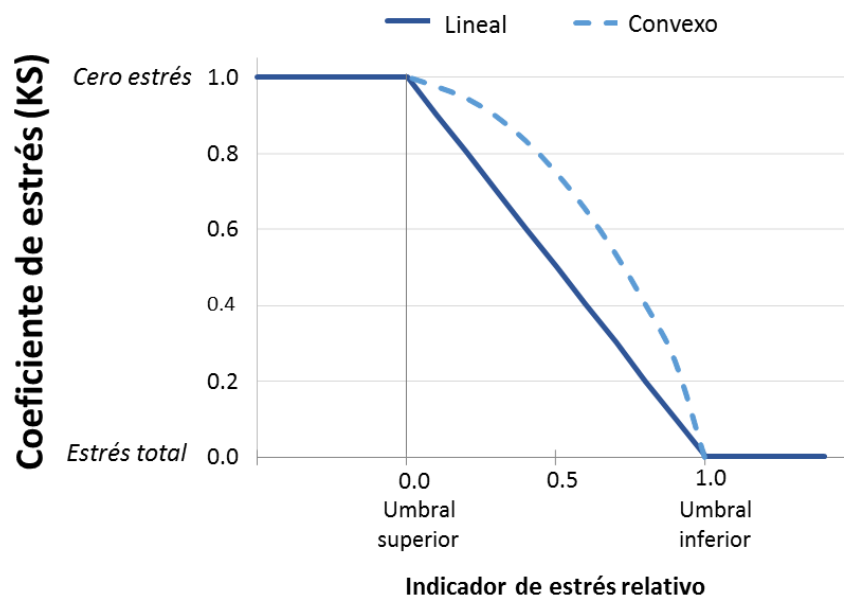


Figura 5-5. Función del coeficiente de estrés (Ks) (Adaptado de Steduto et al., 2012, p. 32)

El modelo permite calcular los efectos del déficit hídrico (entendido como falta de agua en la región radicular del suelo) en el crecimiento de la cobertura vegetal, la conductancia estomática, la senescencia temprana, la profundización de la raíz y el índice de cosecha. La Figura 5-6 muestra estos cinco procesos (líneas punteadas), dentro del esquema general de desarrollo de rendimiento bajo estrés hídrico. Un resumen general del proceso de cálculo se presenta a continuación. Nótese que todos los pasos del proceso se calculan en intervalos de tiempo diarios.

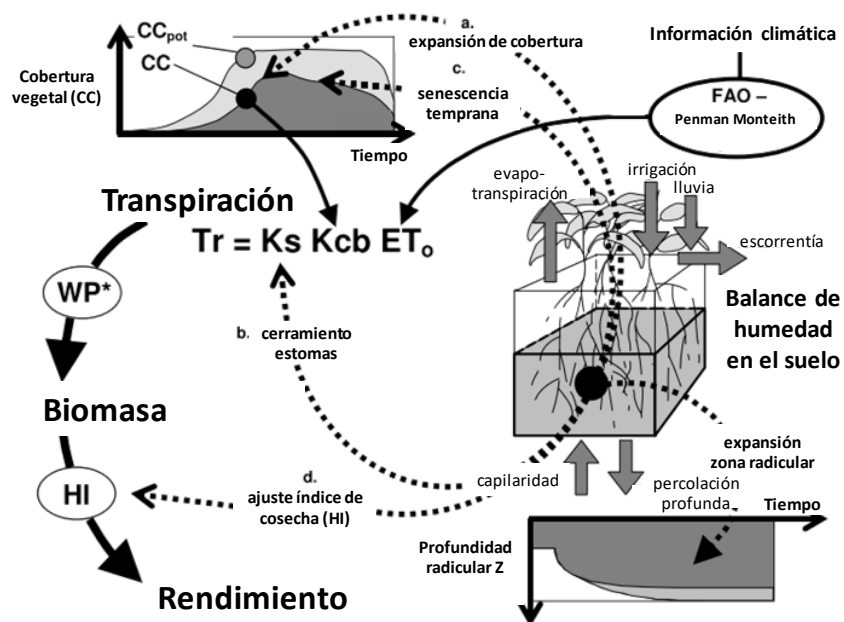


Figura 5-6. Representación esquemática de la respuesta del cultivo al estrés hídrico (Adaptado de Raes et al., 2011)

1. *Balance del agua en el suelo:* determina la cantidad de agua almacenada en la zona radicular, contabilizando los flujos de agua entrante y saliente. El crecimiento del cultivo no se ve afectado y no hay estrés hídrico ( $K_s = 1$ ) entre el nivel de capacidad de campo (FC) y el nivel superior de agotamiento de la zona de raíz. En el otro extremo, entre el umbral inferior en el agotamiento de la zona de raíz y el punto de marchitamiento permanente hay tensión total ( $K_s = 0$ ) y el crecimiento del cultivo se ve completamente impactado. A medida que se reduce el agua almacenada en el volumen de control del suelo, el coeficiente de estrés disminuye.
2. *Expansión de la cobertura vegetal:* Se simula el efecto del déficit hídrico en la expansión de la cobertura, mediante la reducción del coeficiente de crecimiento vegetal (CGC) por el coeficiente de estrés hídrico para la expansión de cobertura  $K_{s,exp,w}$ , y modificando el coeficiente de disminución de cobertura por coeficiente de estrés hídrico de senescencia temprana  $K_{s,sen}$ .

Por una parte, cuando el agotamiento de la zona radicular está por debajo de los umbrales superiores de contenido de agua,  $K_{s,exp,w}$  se hace menor que 1 y la cobertura reduce su tasa de expansión. Cuando el agotamiento de la zona radicular está por debajo del límite inferior,  $K_{s,exp,w} = 0$  y se detiene el desarrollo de la cobertura. Por otra parte, cuando el estrés hídrico es severo (agotamiento de la zona radicular cerca del punto de marchitamiento permanente), se desencadena la senescencia temprana. El grado de senescencia está descrito por  $K_{s,sen}$ . La cobertura vegetal máxima no puede ser alcanzada bajo condiciones de estrés hídrico, o podría alcanzarse en una última etapa de la temporada, como se muestra en la Figura 5-8.

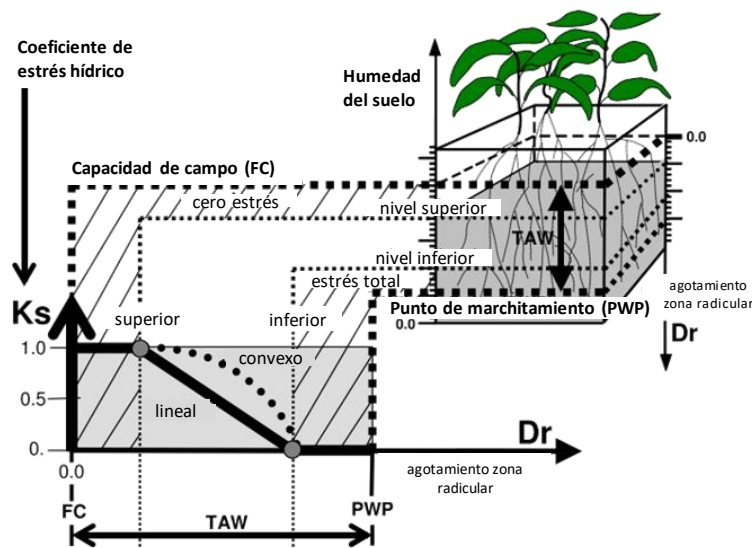


Figura 5-7. Representación esquemática del coeficiente de estrés hídrico (Adaptado de Raes et al., 2011)

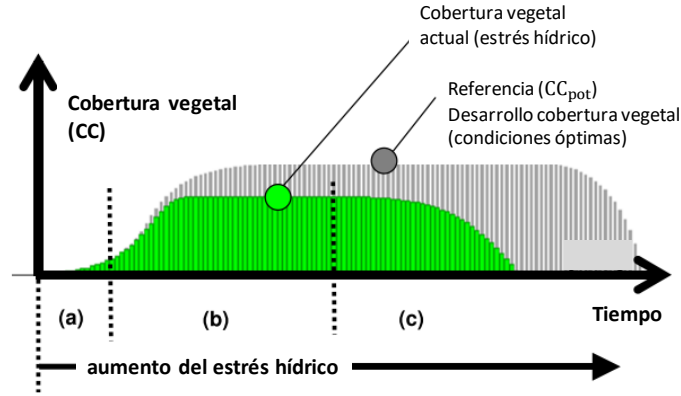


Figura 5-8. Representación esquemática de la expansión de la cobertura vegetal, bajo condiciones óptimas (gris) y bajo estrés hídrico (verde). (Adaptado de Raes et al., 2011)

3. *Transpiración*: se calcula la potencia de evaporación de la atmósfera considerando un coeficiente de cultivo  $K_{cb}$  y el coeficiente de estrés hídrico  $K_s$ , como se muestra en la ecuación Ec. 5-4. La evapotranspiración potencial ( $ET_o$ ) se calcula usando la ecuación de Penman-Monteith de FAO (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998).

$$Tr = K_s(K_{cb}CC^*)ET_o \quad \text{Ec. 5-4}$$

El coeficiente de transpiración del cultivo  $K_{cb}$  es un parámetro que debe ser ajustado continuamente en función de la cobertura vegetal simulada, con el fin de considerar los efectos de envejecimiento y senescencia. El coeficiente de estrés hídrico  $K_s$ , utilizado en caso de escasez de agua es un coeficiente de estrés por cierre estomático  $K_{s,sto}$ , también con valores entre 1 (sin estrés) y 0 (total estrés).

4. *Biomasa arriba de la superficie*: La relación entre la biomasa producida y el agua consumida por un cultivo específico se conoce es la productividad del agua (WP), la cual tiende a ser lineal para una condición climática dada, como se muestra en la ecuación Ec. 5-5. Para incluir condiciones climáticas alteradas, se emplea la productividad del agua normalizada  $WP^*$  en la simulación del desarrollo de biomasa sobre el suelo. Utilizando el parámetro normalizado, el modelo puede aplicarse a diferentes regiones y estaciones. La normalización se realiza para la concentración atmosférica de  $CO_2$  y la demanda evaporativa de la atmósfera (Dirk Raes, Steduto, Hsiao, & Fereres, 2011).

La producción de biomasa arriba de la superficie se calcula, para un paso de tiempo diario, de la siguiente manera:

$$B = K_{sb}WP^* \sum_i \frac{Tr_i}{ET_{o_i}} \quad \text{Ec. 5-5}$$

en donde la productividad del agua normalizada  $WP^*$  se multiplica por la relación entre la transpiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia del día de cálculo  $\frac{Tr_i}{ET_{o_i}}$  (expresión que se agrega durante todo el periodo de desarrollo del cultivo), y por el coeficiente de estrés por temperatura  $K_{sb}$ . Este coeficiente decrece a medida que la temperatura disminuye, y alcanza un valor de cero cuando hace demasiado frío y se detiene el crecimiento vegetal.

5. *Rendimiento*: Como se mencionó anteriormente, el rendimiento se calcula de multiplicar la biomasa sobre el suelo por un índice de cosecha, que depende del tipo de cultivo. Para considerar el estrés hídrico, debe ajustarse el índice de cosecha de su valor de referencia

$HI_o$  en condiciones óptimas, a su valor en condiciones reales, mediante la inclusión del factor  $f_{HI}$ :

$$Y = f_{HI} * HI_o * B \quad \text{Ec. 5-6}$$

El índice de cosecha puede ajustarse al déficit hídrico y a las variaciones de la temperatura del aire, y depende de la etapa del cultivo y la intensidad del estrés durante la temporada de crecimiento.

### 5.3 Información de entrada al modelo de vulnerabilidad

En esta sección se describe la información requerida para aplicar el modelo de respuesta a agua de los cultivos, que define la vulnerabilidad en esta metodología de evaluación de riesgo por sequía en la región del Triángulo Norte de Centro América. La información de entrada se agrupa en variable climáticas, variables del cultivo y suelo.

#### 5.3.1 Clima: Series meteorológicas diarias

Las variables climáticas requeridas por el modelo de vulnerabilidad son series diarias de precipitación, temperatura máxima, media y mínima, evapotranspiración y concentración anual estimada de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en la atmósfera. Las variables climáticas que usar en el módulo de vulnerabilidad son el resultado de la simulación estocástica de variables climáticas del módulo de amenaza, de esta misma metodología. Para conocer más sobre la metodología y los resultados, se recomienda consultar la Sección 3 de este informe. A continuación, se hace un breve resumen de la metodología.

##### 5.3.1.1 Series diarias de precipitación y temperatura

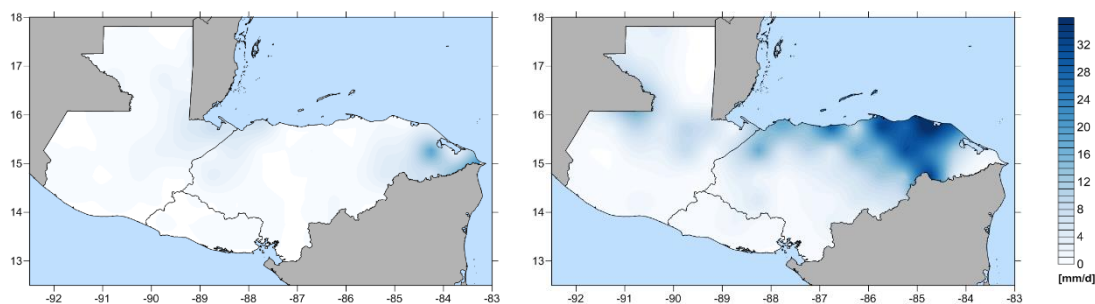
La metodología de generación estocástica de series de clima propuesta utiliza distribuciones paramétricas de probabilidad para definir conjuntos de datos climáticos históricos y estimar la probabilidad de ocurrencia de un determinado valor de precipitación o temperatura fuera del rango de observaciones históricas. La metodología toma cada día o grupo de 10 días del año hidrológico en un análisis separado, y encuentra la distribución de probabilidad que se ajusta mejor a los registros históricos. Posteriormente, se generan números aleatorios para la precipitación diaria y la temperatura para un determinado número de años de simulación, usando los parámetros de las distribuciones seleccionadas. Estas series generadas aleatoriamente se correlacionan en el tiempo y en el espacio para representar las condiciones climáticas de la región de análisis.

Para el caso de los países del Triángulo del Norte, se generaron series estocásticas de precipitación y temperatura para 1,000 años equivalentes. Estos 1,000 años de series de precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) no corresponden a un pronóstico, son valores aleatorios que han sido correlacionados para que se ajusten y representen el clima del área de estudio y brinden más información (comparado con la poca información histórica) sobre posibles eventos de sequía, que no se han presentado aún. Una de las ventajas de la metodología de generación estocástica de series climáticas es la obtención de valores atípicos extremos, que hacen referencia a valores de precipitación por encima de los máximos de los registros históricos, y valores de temperatura por fuera del rango medio registrado en estaciones. Esto quiere decir que las series modeladas incluyen valores de precipitación y temperatura que no se han presentado, pero pueden ocurrir con una baja probabilidad, en el futuro.

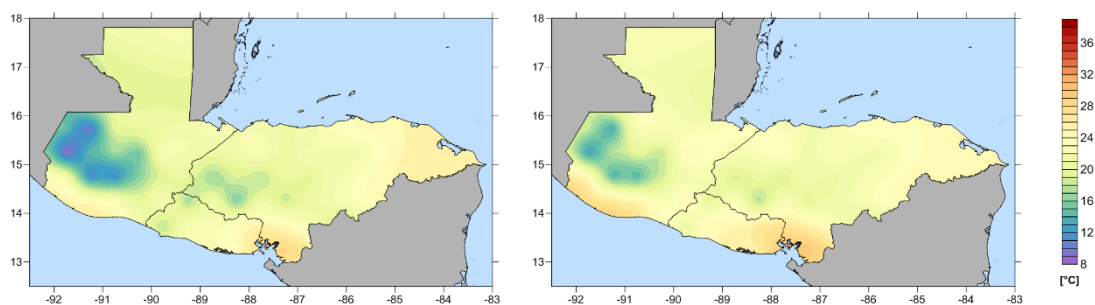
El resultado de las series de clima generadas estocásticamente se puede representar en forma de mapa, al hacer una interpolación espacial utilizando la metodología kriging. Con esto se puede obtener un mapa diario donde se define un valor de precipitación total diaria o temperatura media, máxima o mínima en cualquier punto dentro de los límites de El Salvador, Guatemala y Honduras. En la Figura 5-9 se muestran los mapas de parámetros de clima para dos días aleatorios, que son

ejemplos de los mapas que se usan como base en el modelo de vulnerabilidad. Para cada unidad cultivada se determina el valor de precipitación y temperatura a partir de su ubicación.

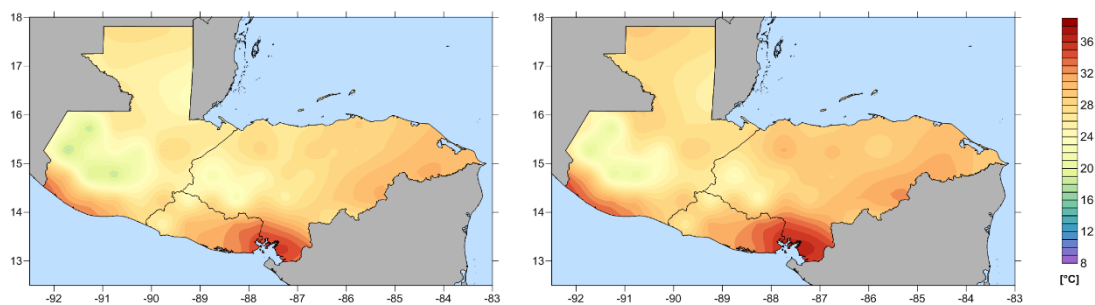
#### Precipitación



#### Temperatura Media



#### Temperatura máxima



#### Temperatura mínima

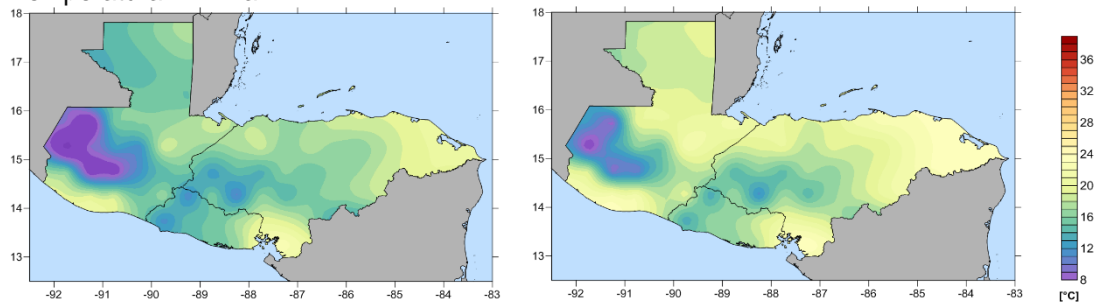


Figura 5-9. Comparación de mapas de valores diarios de parámetros climáticos para dos días simulados: precipitación total diaria, temperatura media, máxima y mínima de referencia total diaria.

### 5.3.1.2 Series diarias de evapotranspiración

El cálculo de la evapotranspiración de referencia, que también es un parámetro de entrada al modelo de vulnerabilidad, se hace siguiendo el Manual *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements* (Allen et al., 1998), que es considerado un método estándar y es el más recomendado. Incluso es el método que la FAO tiene implementado en su modelo AquaCrop. En la Figura 5-10 se muestra el mapa de evapotranspiración de referencia total diaria para dos días aleatorios calculados a partir de las series de temperatura diaria generadas estocásticamente. Para cada unidad cultivada se determina el valor evapotranspiración a partir de su ubicación.

La evapotranspiración de referencia es el potencial de evaporación de la atmósfera; se calcula en una superficie vegetal uniforme sin restricciones hídricas. La superficie de referencia es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23 (Allen et al., 1998); es independiente del tipo de cultivo, de su desarrollo o de su manejo. Al no tener restricciones en el contenido de agua, las características del suelo tampoco influyen en su resultado.

Es importante señalar que la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) es diferente a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) y a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ). La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) considera características particulares según el tipo de cultivo que se esté evaluando (resistencia del cultivo, albedo, anatomía de las hojas, características de los estomas, propiedades aerodinámicas, entre otros). Por otro lado, la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ) considera cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes a condiciones óptimas de suelo y agua, presencia de enfermedades o fertilización que implican cambios en el rendimiento de la cosecha.

Evapotranspiración de referencia

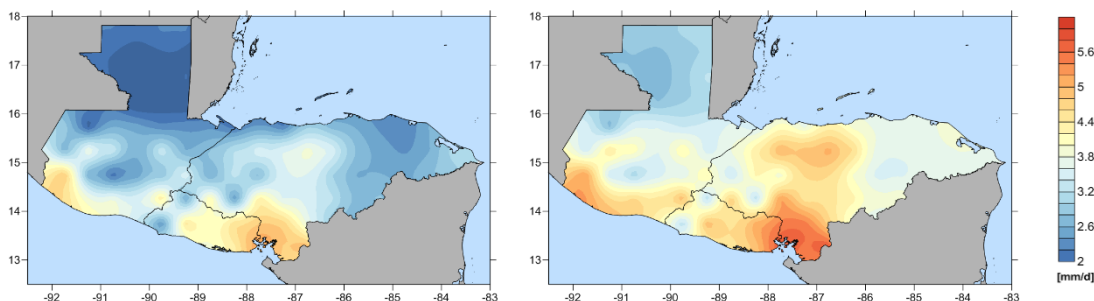


Figura 5-10. Comparación de mapas de valores diarios de evapotranspiración para dos días simulados.

### 5.3.1.3 Concentración de dióxido de carbono

Como se mencionó en la Sección 5.1.1, el modelo de AquaCrop considera el efecto de la concentración de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en la atmósfera por ser parte del metabolismo de las plantas. En el proceso de fotosíntesis, las plantas capturan el  $CO_2$  de la atmósfera y lo reducen a carbono, que usan como sustento (junto con hidrógeno y oxígeno). Bajo concentraciones más altas de  $CO_2$ , la mayoría de las especies de plantas muestran un incremento en su tasa de fotosíntesis, mayor crecimiento, menor uso de agua y menor concentración de nitrógeno y proteínas en sus tejidos (Taub, 2010). Entonces, con el aumento de las concentraciones de  $CO_2$  en la atmósfera, el efecto en la agricultura será en términos de producción que puede ser mayor y calidad del producto que puede disminuir.



La información requerida para proveer al modelo de respuesta de cultivos es el valor de la concentración anual media de CO<sub>2</sub> medida en partes por millón (ppm). Para el caso de la evaluación prospectiva de riesgo, se utiliza la concentración de CO<sub>2</sub> media anual para 2017 que es 404.99 ppm<sup>20</sup> (Dlugokencky & Tans, 2018). Para la evaluación de los modelos con cambio climático se usan las proyecciones de concentración de dióxido de carbono según el escenario de RCP (trayectoria representativa de concentración) analizada, según las proyecciones del IPCC, como se muestra en la Figura 5-11.

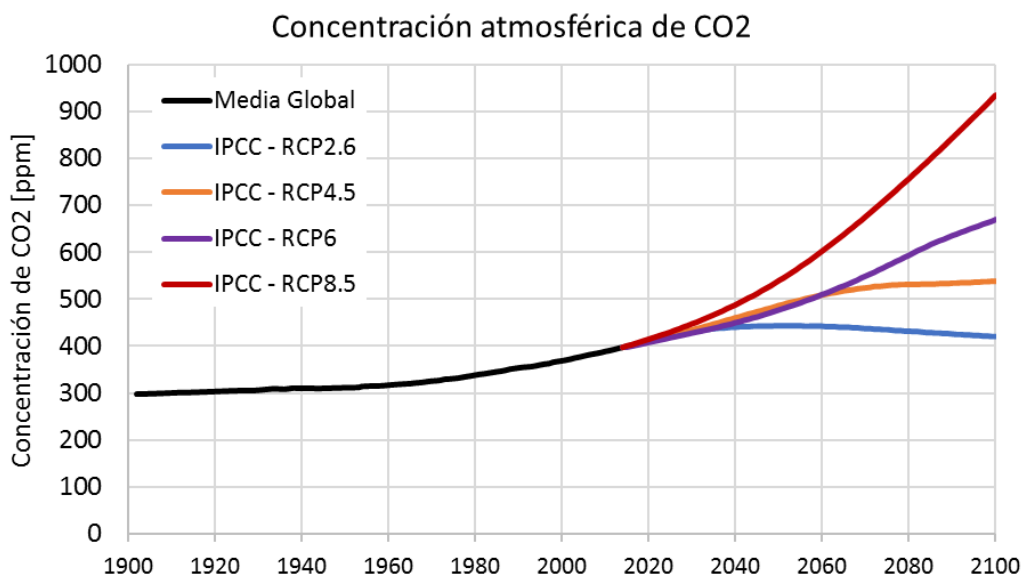


Figura 5-11. Concentraciones medias anuales de CO<sub>2</sub> proyectadas según escenarios del Assessment Report 5 del IPCC (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IPCC AR5 (Dlugokencky & Tans, 2018))

En el Anexo A. 7 se presentan los valores de concentración de dióxido de carbono media global para la serie medida entre 1980 y 2017 y las proyecciones hasta el año 2100. Los valores de concentración media global de CO<sub>2</sub> en la atmósfera son medidos en el observatorio Mauna Loa en Hawái por su ubicación, que asegura un aire puro alejado de fuentes de contaminación (está ubicado en un área remota del Océano Pacífico a una altitud de 3397 msnm). Estudios de clima global y cambio climático prefieren este tipo de mediciones para incluirlos en modelos de circulación, porque reflejan las concentraciones promedio de la atmósfera global.

### 5.3.2 Cultivos: Parámetros agronómicos

La información de entrada también incluye las variables necesarias para parametrizar cada tipo de cultivo, según los requerimientos del modelo de AquaCrop. Esta información ingresa al modelo en archivos de texto plano, uno para cada tipo de cultivo, manteniendo el orden de la lista de los parámetros. A continuación, se presenta una descripción detallada de los diferentes parámetros y sus unidades. También se incluyen valores por defecto para aquellos parámetros que son independientes del tipo de cultivo o suelo. Para mayor información sobre los parámetros que utilizar AquaCrop se recomienda consultar el manual de usuario y artículos publicados por los autores del modelo (Allen et al., 1998; FAO, 2017; D. Raes et al., 2017; Dirk Raes et al., 2011; Steduto et al., 2012).

<sup>20</sup> Ver [http://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2\\_annmean\\_gl.txt](http://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_gl.txt)

### 5.3.2.1 Tipo de parámetros de cultivos

Los parámetros de los cultivos utilizados en el modelo de respuesta al agua se clasifican como parámetros conservativos y parámetros no conservativos, como se explica a continuación.

#### Parámetros conservativos:

Son aquellos que no sufren variaciones considerables en el tiempo, bajo diferentes condiciones de manejo, por ubicación geográfica o clima. Se supone que no cambian entre tipo de cultivos. Algunos de estos parámetros incluyen los umbrales de estrés y productividad hídrica normalizada de biomasa.

En la Tabla 5-1 se muestra la lista de parámetros conservativos que definen las condiciones iniciales del modelo de AquaCrop. Para este estudio el modelo de respuesta del cultivo al agua se limita a evaluar condiciones de estrés hídrico (falta de agua en el desarrollo de la planta, y no incluye procesos de estrés por fertilidad o salinidad del suelo); aunque el modelo de AquaCrop está en capacidad de evaluarlo si la información está disponible. Es por esta razón que los parámetros asociados a la respuesta del cultivo a fertilidad y salinidad del suelo no se consideran en este estudio y el campo de estos parámetros se establece en 25 y -9, respectivamente, para que el modelo reconozca que no se incluyen estas evaluaciones en el momento de ejecutar el análisis. Sin embargo, estos parámetros se incluyen porque el programa que se usa para la evaluación de riesgo, Drought Pro, está en capacidad de hacer las evaluaciones considerando estrés por salinidad y baja fertilidad del suelo. Los demás parámetros incluidos en esta tabla indican al modelo qué tipo de cultivo está evaluando y si la unidad de tiempo del análisis está en términos de días calendario o grados de crecimiento.

En cuanto al tipo de cultivo, se considera que:

- Vegetales de hoja: no se considera la etapa de florecimiento. Incluye cultivos como espinaca o lechuga.
- Frutales/Granos: Si cuentan con una etapa de florecimiento. Incluye cultivos como el maíz o tomate.
- Tubérculos y raíces: se considera un periodo de formación de la raíz o tubérculo. Incluye cultivos como la papa o la zanahoria.

Tabla 5-1. Parámetros que definen el modelo de AquaCrop.

Variable	Descripción	Valor
Tipo del cultivo	1: Vegetales de hoja 2: Frutales/Granos 3: Tubérculos y raíces	
Determinación del ciclo de crecimiento	0: Grados crecimiento GDD 1: Días calendario	
Método de siembra	0: Trasplante 1: Siembra directa	
Respuesta de la expansión de la cobertura Respuesta de la expansión máxima de la cobertura Respuesta de la productividad hídrica Respuesta del declive de la cobertura Respuesta del cierre de estomas	Aplica para modelación de la fertilidad del suelo	25 (Si no se considera)
Conductividad eléctrica del suelo en la que el cultivo empieza a afectarse Conductividad eléctrica del suelo en la que el cultivo detiene su desarrollo	Aplica para modelación de la salinidad del suelo	-9 (Si no se considera)

La Tabla 5-2 muestra otro conjunto de parámetros que son independientes del tipo de cultivo o método de siembra. Para todos estos parámetros se presentan los valores adoptados por defecto que se aplican en este estudio, según las recomendaciones publicadas por los autores del modelo de AquaCrop, por la FAO e investigadores (Allen et al., 1998; D. Raes, P. Steduto, T. C. Hsiao, 2017; FAO, 2018; Monfreda, Ramankutty, & Foley, 2008).

Tabla 5-2. Parámetros conservativos de cultivos considerados en este estudio

Variable	Descripción	Valor
Disminución de factores de agua en suelo se ajusta por ETo	1: Ajuste por ETo	1
Acumulado de ETo durante periodo de estrés a ser excedido antes que se dispare la senescencia	0: No se considera	0
Estrés por fertilidad del suelo considerado para la calibración	Porcentaje [0,100]	50
Máxima extracción de agua en el cuarto superior de la zona radicular	m3/m3/día	Anuales: 0.048 Perennes: 0.024
Máxima extracción de agua en el cuarto inferior de la zona radicular	m3/m3/día	Anuales: 0.012 Perennes: 0.006
Máxima disminución de CGC entre estaciones	-9: No aplica	-9
Número de estaciones en el que se alcanza la máxima disminución de CGC	-9: No aplica	-9
Factor de forma para la disminución del CGC	-9: No aplica	-9
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2 durante formación de cosecha	Porcentaje [0,100]	100 Frijol: 90
Desempeño del cultivo bajo concentraciones elevadas de CO2	Porcentaje [0,100]	50
Distorsión de la cobertura por estrés debido a salinidad del suelo	Rango: 0: ninguno a 100: muy fuerte	25
Respuesta calibrada del estrés de estomas por salinidad del suelo	Rango: 0: ninguno a 200: extremo	100

Los valores asignados a los parámetros conservativos del cultivo son aquellos que los autores de la metodología de la FAO recomiendan y se consideran los valores de referencia para aplicar la metodología. Estos son valores que han demostrado buenos resultados en múltiples evaluaciones en el mundo al calibrar los resultados del modelo con mediciones en campo.

#### Parámetros específicos y no conservativos:

Son aquellos que requieren un ajuste según tipo de cultivo o condiciones ambientales diferentes a los definidos en la calibración. Estos son los parámetros que se deben conocer para conformar la base de datos de cultivos que mejor se ajusta a las condiciones del área de estudio. Ahora bien, no siempre es posible encontrar información oficial o de fuentes confiables que reporten valores tan específicos, por lo que en caso de no encontrar información específica de cultivos y su adaptación a las condiciones de suelo y ambientales de la región del Triángulo Norte, se hará uso de parámetros reportados en la literatura y publicados por la FAO (Ver <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>).

La Tabla 5-3 muestra los parámetros específicos del cultivo agrupados por categorías: parámetros afectados por el método de siembra, parámetros fenológicos o parámetros afectados por las condiciones del suelo. Estos mismos parámetros se presentan de forma esquemática en la Figura 5-12, en un diagrama que representa la curva del crecimiento en el tiempo, de la cobertura verde de la planta (zona verde) y del sistema radicular (zona anaranjada). En este diagrama se señalan los

tiempos para alcanzar cada una de las etapas fenológicas medidas desde el momento de la siembra. También se señalan los valores de crecimiento máximo potencial de la cobertura ( $CC_x$ ) y la profundidad máxima potencial que pueden alcanzar las raíces ( $Z_x$ ).

Tabla 5-3. Parámetros específicos del cultivo por categoría

<b>Parámetros afectados por método de siembra y manejo</b>	Método de siembra: Siembra directa o trasplante.
	Densidad de plantas: determina la cobertura inicial ( $CC_0$ ) y máxima ( $CC_x$ )
	Tiempo para alcanzar el 90% de germinación.
<b>Fenología de cultivos</b>	Tiempo para alcanzar la cobertura máxima ( $CC_x$ )
	Tiempo para inicial senescencia
	Tiempo para alcanzar la madurez fisiológica
	Tiempo para el inicio de floración/formación de cosecha
	Duración de la floración
<b>Parámetros afectados por las condiciones del suelo</b>	Profundidad máxima efectiva de zona radicular ( $Z_x$ )
	Tasa de profundización de raíces o tiempo para alcanzar profundidad máxima ( $Z_x$ )

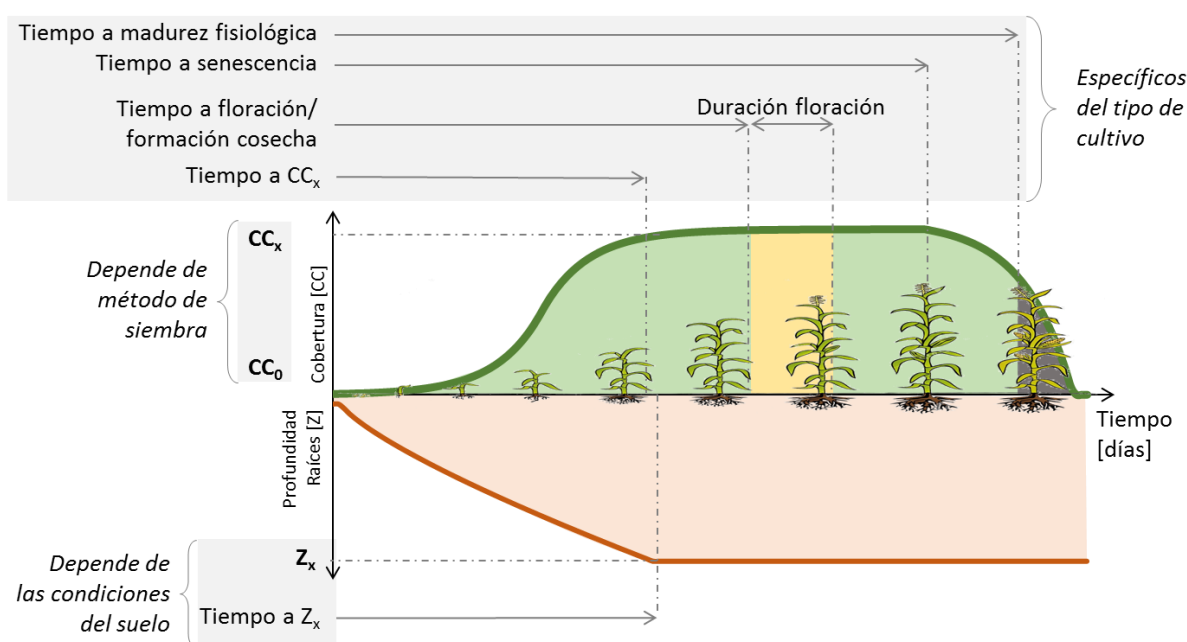


Figura 5-12. Parámetros de cultivos que dependen del tipo de planta y condiciones ambientales (FAO, 2017)

Otros parámetros específicos del tipo de cultivo se presentan en la Tabla 5-4. Estos parámetros se deben definir para cada tipo de cultivo que se considera en el análisis de vulnerabilidad. Los tipos de cultivo de interés para el estudio se definen a partir de criterios de seguridad alimentaria, importancia para la economía del país y área sembrada; los cultivos seleccionados para El Salvador, Guatemala y Honduras se presentan en la Sección 4.

Tabla 5-4. Parámetros específicos según tipo de cultivo

Símbolo	Variable	Descripción
	Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado
Tbase	Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C
Tupper	Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C
GDD_lo	Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)
Do	Plantas por hectárea	# plantas/ha
Ao	Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha
CCx	Cobertura verde máxima	fracción [0,1]
dT.GDD	Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento) -9: Si modelo usa días calendario
d.germinacion	Tiempo desde siembra hasta germinación	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)
d.flor	Tiempo desde siembra hasta floración	-1: Cultivos permanentes
d.flores	Duración de etapa de floración	
d.sen	Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia	
d.mad	Tiempo desde siembra hasta madurez	
d.Zx	Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular	
Zn	Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros
Zx	Profundidad de raíces máxima efectiva (Figura 5-2)	en metros
n	Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]
Kcbx	Coeficiente del cultivo Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	Sin unidades # %/día 0.15 o 0.3
CGC	Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)
CDC	Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)
HIo	Índice de Cosecha de referencia (Figura 5-3)	Porcentaje [0,100]
dHI	Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica
p exp,upper	Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura (Figura 5-5)	Umbral superior fracción [0,1]
p exp,lower	Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]
Ks exp,w	Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta
p sto	Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]
Ks sto	Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta
p sen	Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]
Ks sen	Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta

Símbolo	Variable	Descripción
p pol	Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]
	Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol 0: Arroz 5: Otros cultivos tolerantes a encharcamiento
f cc	Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]
d.cos	Exceso de frutas potenciales Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	Porcentaje [0,100] # días
WP*	Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2 Cultivo tipo C3: entre 13 y 18 C4: entre 28 y 33
f yield	Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha Incremento máximo permitido de in HI especificado	[-] -9: No aplica [-] -9: No aplica Porcentaje [0,100] -9: No aplica

Los valores de los parámetros no conservativos se determinan a partir de estudios en campo, en los que se evalúan las condiciones de crecimiento de la planta bajo diferentes escenarios de disponibilidad hídrica. Este tipo de ensayos en campo están por fuera del alcance de este proyecto. Por esta razón, para la evaluación de pérdidas en el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras se utilizan parámetros calibrados y validados por fuentes externas. Algunas fuentes de información global consultadas son:

- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación: Es la organización que fomenta el uso de AquaCrop para evaluar el impacto del ambiente y la gestión de cultivos en la producción de alimentos. Esta organización publica parámetros de diferentes cultivos que han sido previamente utilizados en modelos de AquaCrop en el mundo. Para más información consultar: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>
- Manual de Usuario AquaCrop (Steduto et al., 2012): En las Secciones 3.4 y 4.1 de este manual se presentan valores de cultivos parametrizados que han sido usados previamente en modelos de AquaCrop.
- Artículos académicos publicados en revistas especializadas y tesis de investigación (Monfreda et al., 2008; Poppe, 2016)

Para el caso específico de cada país, se consultó el ministerio encargado del sector agrícola, así como publicaciones de los centros de investigación en agricultura locales y gremios de productores. Algunas de estas fuentes consultadas, por país, son:

#### El Salvador

- MAG – Ministerios de Agricultura y Ganadería (<http://www.mag.gob.sv/>)
- CENTA – Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal ([www.centa.gob.sv](http://www.centa.gob.sv))

#### Guatemala:

- MAGA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación ([www.maga.gob.gt](http://www.maga.gob.gt))

- ICTA: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola ([www.icta.gob.gt](http://www.icta.gob.gt))
- GREPALMA: Gremial de pamicultores de Guatemala (<http://www.grepalma.org/>)

Honduras:

- SAG – Secretaría de Agricultura y Ganadería ([www.sag.gob.hn](http://www.sag.gob.hn))
- DICTA – Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ([www.dicta.hn](http://www.dicta.hn))

Adicionalmente, se consultaron referencias específicas para cada uno de los productos. Estas referencias son artículos de revistas especializadas y reportes de institutos de investigación tanto de El Salvador, Honduras y Guatemala como de reportes a nivel global. La lista de referencias por cultivos se muestra en la Tabla 5-5. Los principales parámetros que se obtuvieron de estas referencias son las temperaturas base y máxima para asegurar el crecimiento del cultivo, las fechas de siembra y duración del ciclo fenológico, la densidad de siembra (número de plantas por hectárea) y rendimientos de referencia. Muchos de estos parámetros coinciden en los tres países, dada la similitud en condiciones climáticas y prácticas agrícolas. Se consultaron múltiples referencias para asegurar que la información esté completa para toda el área de estudio.

Tabla 5-5. Lista de referencias específicas consultadas por cultivo

Producto	Referencia
Maíz	Cruz, 2013; Flores, 2014; Fuentes López, 2002
Fríjol	Atilio & Reyes, 2008; Escoto, 2011; Villatoro, Catillo, & Franco, 2011
Arroz	Castañeda, 2008; Deguate, 2014; Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA, 2003
Sorgo	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA, 2005; Zeledón et al., 2007
Plátano/Banano	Anacafé, 2016; Carr, 2009; Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal [CENTA], 2010; INE, 2008a; Rodríguez & Guerrero, 2002
Caña	Carr & Knox, 2011
Café	Carr, 2001
Palma	Carr, 2011; Cristancho, 2015
Sandía	Casaca, 2005 a
Cítricos	Carr, 2012a
Piña	Carr, 2012b
Tomate	Pérez et. Al 2001
Papa	Román, M., & Hurtado, G. 2002.
Melón	Casaca, 2005b

En los Anexos se presentan los parámetros para cada uno de los productos de interés para este estudio y que son utilizados para implementar el módulo de vulnerabilidad. Estos productos se seleccionaron a partir de los criterios presentados en la Sección 4. En la tabla se indica si el producto se considera para El Salvador, Guatemala y Honduras dentro de la base de elementos expuestos generadas para cada país.

Tabla 5-6. Parámetros de cultivos y su participación en la base de datos de elementos expuestos por país.

Producto	Anexo	El Salvador	Guatemala	Honduras
Arroz	A. 8.3.1	SI	SI	SI
Café	A. 8.3.2	SI	SI	SI
Caña	A. 8.3.3	SI	SI	SI
Cítricos	A. 8.3.4	SI	SI	SI
Frijol	A. 8.3.5	SI	SI	SI
Maíz	A. 8.3.6	SI	SI	SI
Mango	A. 8.3.7	-	SI	SI
Melón	A. 8.3.8	-	SI	SI
Palma	A. 8.3.9	-	SI	SI
Papa	A. 8.3.10	-	SI	-
Piña	A. 8.3.11	-	SI	SI
Plátano/Banano	A. 8.3.12	-	SI	SI
Sandía	A. 8.3.13	SI	-	SI
Sorgo	A. 8.3.14	SI	-	SI
Tomate	A. 8.3.15	SI	SI	-

### 5.3.2.2 Comparación preliminar de los modelos de vulnerabilidad de cultivos

A partir de los modelos de vulnerabilidad de cultivos, presentados en el Anexo A. 8, se hizo una prueba preliminar para evaluar la respuesta de los cultivos al agua. Esta prueba tiene como objetivo evaluar la sensibilidad de los parámetros en la modelación y no es un resultado de la evaluación de riesgo. En este caso, se evaluaron los cultivos de granos básicos (maíz, arroz, frijol y sorgo) y la palma considerando que fueron sembrados bajo las mismas condiciones de clima (se usaron las mismas series de precipitación, temperatura y evapotranspiración de referencia) y en el mismo tipo de suelo, asumiendo que estaba en condiciones de capacidad de campo al inicio de la modelación. Con los resultados de estas pruebas se puede identificar el papel que juegan los parámetros de cultivos de entrada, para diferenciar los diferentes cultivos y sus particulares ciclos de desarrollo. A continuación, se muestran los efectos de modelar estos cultivos en términos del crecimiento de la cobertura, la generación de biomasa, la variación del índice de cosecha con el tiempo, el aumento de la cosecha y la relación entre la productividad de agua y el tipo de cultivo.

#### Coeficientes Cobertura

La Figura 5-13 muestra el ciclo de crecimiento y decaimiento de la cobertura para el maíz y el frijol (izquierda) y para el maíz y la palma (derecha), y la Tabla 5-7 presenta los parámetros que definen la curva de crecimiento y decaimiento, y muestra los valores para los cultivos incluidos en la comparación. De estas gráficas se puede ver como para los granos básicos, el ciclo fenológico del frijol es más corto que para el maíz aunque alcanzan fracciones de coberturas máximas de 0.96 para el maíz y 0.99 para el frijol. El tiempo de emergencia del frijol es menor y la curva de crecimiento parece más lenta (menor pendiente). En el caso de la palma, al ser un cultivo permanente, el modelo considera que alcanza la cobertura máxima rápidamente y lo mantienen por el tiempo que requiere el producto en generar un fruto.



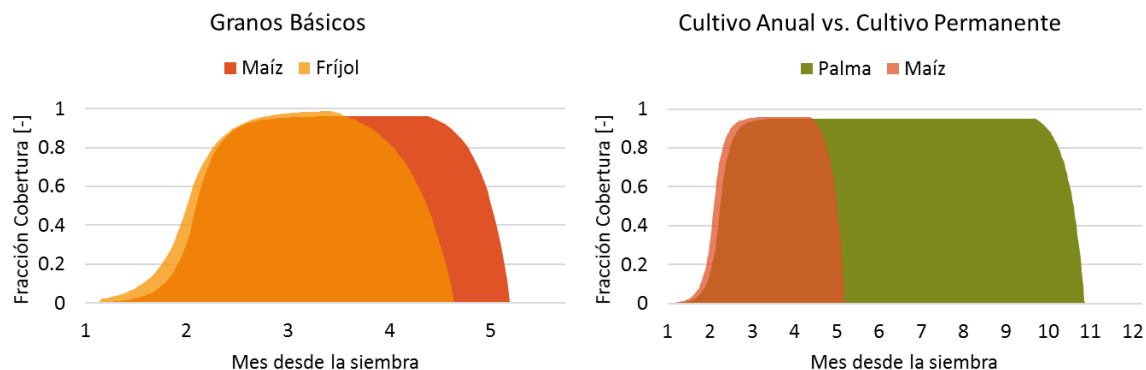


Figura 5-13. Desarrollo la cobertura verde con el tiempo. A la derecha, comparación entre cultivos de ciclo corto y a la izquierda la comparación entre cultivos de ciclo corto y ciclo largo.

Tabla 5-7. Parámetros que definen el crecimiento de la cobertura y sus valores para maíz, frijol y palma

Símbolo	Variable	Descripción	Maíz	Frijol	Palma
CGC	Coeficiente de crecimiento de la cobertura	1/día	0.16312	0.11903	0.15637
CDC	Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	1/día	0.11691	0.07728	0.08
CCx	Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.96	0.99	0.95

### Generación de Biomasa

La Figura 5-14 muestra el ciclo de desarrollo de la biomasa para el maíz y el frijol (izquierda) y para el maíz y la palma (derecha). La generación de biomasa depende de su valor de productividad hídrica  $WP^*$ , que indica cuántos gramos de biomasa acumula la planta por cada milímetro de agua que transpira.

En el caso de los cultivos de ciclo corto, la generación de biomasa es acelerada, por lo que las pendientes de las curvas son más altas, mientras que para cultivos de ciclo largo como la palma, la biomasa se acumula en un mayor tiempo. El corte vertical a la derecha de las curvas de todos los cultivos indica que la planta ha llegado a su punto de madurez y se retira completamente del área, por lo que la biomasa alcanza el valor de cero.

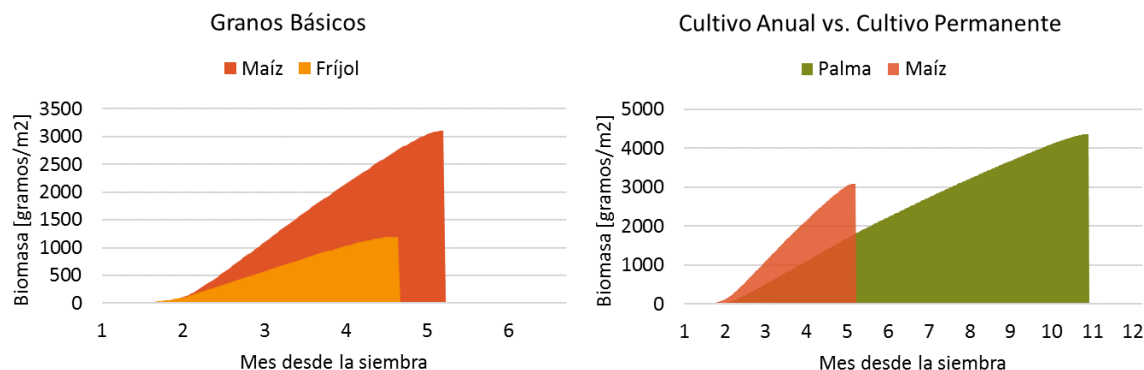


Figura 5-14. Desarrollo la biomasa con el tiempo. A la derecha, comparación entre cultivos de ciclo corto y a la izquierda la comparación entre cultivos de ciclo corto y ciclo largo.

### Desarrollo Índice de Cosecha (HI)

En cuanto al desarrollo del Índice de Cosecha, el incremento del índice hasta alcanzar el valor de referencia ( $HI_0$ ) se muestra en la Figura 5-15. La Tabla 5-8 incluye los parámetros que definen este índice. Por ejemplo, como se puede ver en la tabla, el índice de cosecha de referencia y el tiempo desde la floración hasta alcanzar el  $HI_0$  son iguales para el maíz y el frijol, sin embargo en la gráfica se muestra que ocurren en momentos diferentes por las diferencias en la temporalidad del ciclo fenológico de estos dos cultivos. El maíz tiene un ciclo más largo, es decir le toma más días desde la siembra hasta alcanzar la madurez, que el frijol. Por otro lado, al comparar el desarrollo del HI del maíz y la palma, se puede ver como la palma requiere casi de tres veces el número de días para llegar al índice de cosecha de referencia, comparado con el maíz, lo que genera que la pendiente de la curva sea menor.

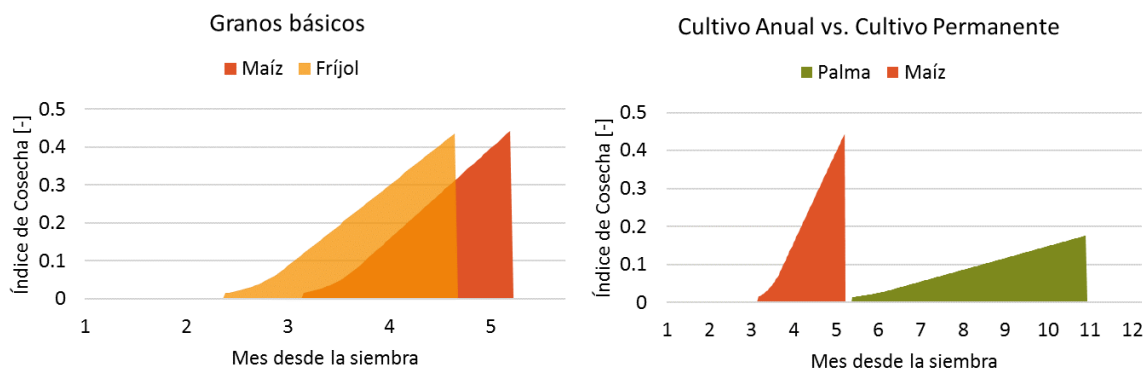


Figura 5-15. Desarrollo del Índice de Cosecha con el tiempo. A la derecha, comparación entre cultivos de ciclo corto y a la izquierda la comparación entre cultivos de ciclo corto y ciclo largo.

Tabla 5-8. Parámetros que definen el desarrollo del Índice de Cosecha y sus valores para maíz, frijol y palma

Símbolo	Variable	Descripción	Maíz	Frijol	Palma
$HI_0$	Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	45	45	20
$dcos$	Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	61	61	57

## Rendimiento

El rendimiento del cultivo depende directamente de la biomasa acumulada y el Índice de Cosecha. En la Figura 5-16 se muestra cómo va incrementando el rendimiento del cultivo con el tiempo, medido desde el momento de la siembra. En el caso del frijol y el maíz, el máximo rendimiento se alcanza en menos de 5 meses, mientras que cultivos de ciclo largo toman hasta 11 meses como es el caso de la palma. El corte vertical a la derecha de las curvas de todos los cultivos indica que la planta ha llegado a su punto de madurez y se retira completamente del área, por lo que el rendimiento alcanza el valor de cero.

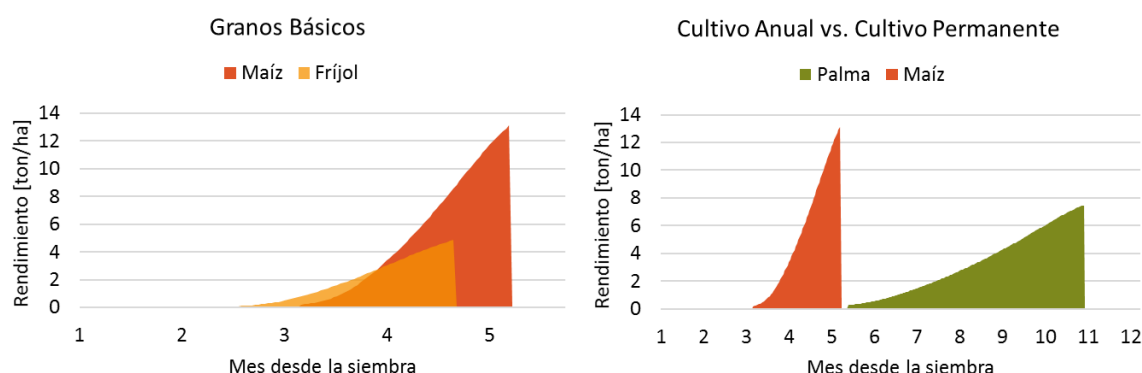


Figura 5-16. Acumulación de rendimiento con el tiempo. A la derecha, comparación entre cultivos de ciclo corto y a la izquierda la comparación entre cultivos de ciclo corto y ciclo largo.

Estos valores de rendimiento son de referencia, son el resultado de una prueba bajo supuestos de condiciones climáticas y del suelo que no necesariamente se ajustan a las condiciones en el área de estudio. Estos rendimientos son resultados para una unidad teórica de área cultivada y no son comparables con promedios nacionales de rendimientos por tipo de cultivo.

En el modelo de evaluación de riesgo, el rendimiento se verifica con los valores reportados en censos o encuestas nacionales agropecuarias para representar de forma precisa las condiciones locales del estudio.

## Relación entre productividad hídrica y transpiración

La relación entre la biomasa producida y el agua consumida por un cultivo específico se conoce es la productividad del agua (WP), la cual tiende a ser lineal para una condición climática dada. Al normalizar este valor (WP\*), a partir de la concentración de CO<sub>2</sub> y la demanda evaporativa de la atmósfera, se puede aplicar el modelo en diferentes regiones o zonas climáticas. Diferentes estudios reportados en el Manual de Usuario de AquaCrop (D. Raes et al., 2017) han mostrado como a partir de los valores de WP\* se pueden agrupar los cultivos en dos clases principales. La clasificación corresponde a la distinción hecha para cultivos tipo C4 con valores de WP entre 30 y 35 g/m<sup>2</sup> y cultivos tipo C3 con valores de WP\* entre 15 y 20 g/m<sup>2</sup>. La clasificación de plantas tipo C3 y C4 está relacionada con los procesos de fotosíntesis. Las plantas tipo C3, como el arroz y el frijol, deben transpirar mayor cantidad de agua para aumentar su biomasa, ya que el proceso de fotosíntesis es menos eficiente que en las plantas tipo C4 como son el maíz y el sorgo. Es así como plantas tipo C4 son más eficientes en condiciones climáticas secas y de alta temperatura.

La Figura 5-17 muestra la relación lineal que hay entre la biomasa acumulada (eje vertical) y la transpiración acumulada del cultivo (eje horizontal). La gráfica permite ver el comportamiento conservativo del parámetro WP\* y diferencias cultivos como el maíz y el sorgo, tipo C4, de cultivos como el frijol y el arroz, tipo C3.

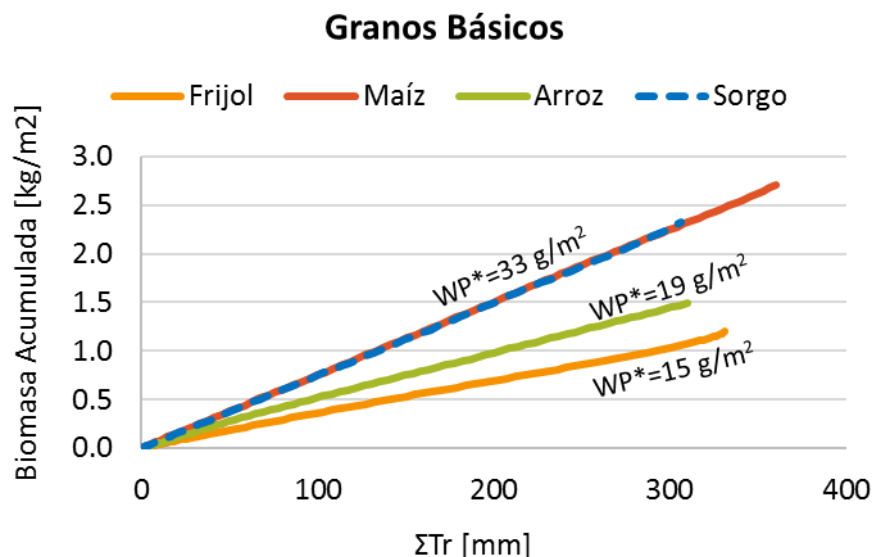


Figura 5-17. Relación entre biomasa acumulada y transpiración acumulada, por cultivo. Se resalta el valor de la WP\* o productividad hídrica normalizada por ET<sub>0</sub> y CO<sub>2</sub>

Es importante notar que los resultados presentados en esta sección son resultados preliminares para un caso hipotético de modelo de vulnerabilidad en condiciones climáticas y de propiedades del suelo iguales para todos los cultivos. Estos resultados no son producto de la evaluación de riesgo completa; sin embargo, permiten ver cómo los parámetros utilizados en el módulo de vulnerabilidad son útiles para diferenciar las diferentes especies de cultivo, desde la duración de su ciclo como la generación de biomasa cosechable para contar con información precisa para la evaluación de riesgo.

### 5.3.2.3 Verificación de rendimientos promedios anuales nacionales

Con el fin de complementar el análisis de resultados preliminares, se procedió a verificar los resultados de rendimientos promedio nacionales. Estos rendimientos se obtienen al calcular la producción obtenida en cada unidad de tierra cultivada analizada, luego totalizando valores de producción y área cultivada a escala nacional. El propósito de esta verificación es mostrar cómo los valores de rendimiento por producto obtenidos con la metodología implementada en este estudio coinciden con los rendimientos reportados por agencias nacionales oficiales en cada país.

Los valores de rendimiento obtenidos con la aplicación de la metodología descrita en este documento, son el resultado de la conformación de base de elementos expuestos que define la fecha de siembra, el área sembrada y localización de cada tipo de cultivo (Ver Sección 4) con el modelo de vulnerabilidad de respuesta de los cultivos a la disponibilidad del agua que describe cada producto a partir de parámetros fenológicos específicos para el tipo de planta (Ver Sección 5.3.2) y el modelo de tipo de suelos definido en detalle para cada país (Ver Sección 5.3.3). Esta combinación de elementos expuestos y su vulnerabilidad con las series de clima históricas (para los años de referencia) permiten calcular los rendimientos nacionales promedio por producto para cada país.

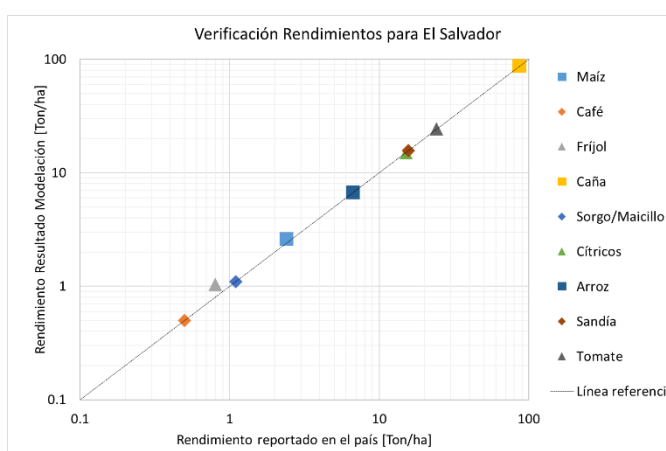
Los resultados para El Salvador se presentan en la Figura 5-18. En este caso los valores de rendimiento reportados se obtuvieron del IV Censo Agropecuario 2007-2008, de donde también se obtuvieron los valores de área sembrada utilizados en este estudio para conformar la base de datos expuestos (Ver Sección 4.1.3). Para obtener los rendimientos del modelo se utilizó el clima histórico (precipitación diaria y temperatura) correspondiente a los mismos años del censo.

Los resultados para Guatemala se presentan en la Figura 5-19. En este caso los valores de rendimiento reportados se obtuvieron del documento El Agro en Cifras publicado para el año agrícola 2010-2011, fechas con registros históricos de precipitación y temperatura disponibles. En este caso la conformación de la base de datos se hizo con la versión del documento El Agro en Cifras para 2014-2015 (Ver Sección 4.1.4), años para los cuales no se tienen registros de clima disponibles.

Finalmente, los resultados para Honduras se presentan en la Figura 5-20. En este caso los valores de rendimiento reportados se obtuvieron de la Encuesta Agrícola Nacional para el año agrícola 2007-2008, de donde también se obtuvieron los valores de área sembrada utilizados en este estudio para conformar la base de datos expuestos (Ver Sección 4.1.5). Para obtener los rendimientos del modelo se utilizó el clima histórico (precipitación diaria y temperatura) correspondiente a los años 2007-2008.

Las tablas y las gráficas de resultados para los tres países muestran que los valores de rendimiento coinciden entre los reportados en el censo y los calculados para el mismo año agropecuario en todos los casos. Esta verificación permite concluir que el modelo de exposición y vulnerabilidad, acoplado a series históricas de clima, permite estimar de forma cercana los rendimientos obtenidos según las condiciones particulares de cada país. El buen ajuste de los rendimientos reportados y modelados también es el resultado de la selección de parámetros de cultivos y suelo que describen los complejos procesos físicos, químicos y biológicos relacionados con el desarrollo del cultivo bajo condiciones de déficit hídrico, y justifican el uso de la metodología implementada en este estudio.

Producto El Salvador	Rendimiento [ton/ha]	
	Modelo	Reportes país *
Maíz	2.6	2.4
Café	0.5	0.5
Fríjol	1.0	0.8
Caña	87	86.8
Sorgo/Maicillo	1.1	1.1
Cítricos	15	15.1
Arroz	6.7	6.7
Sandía	15.7	15.7
Tomate	24.4	24.1



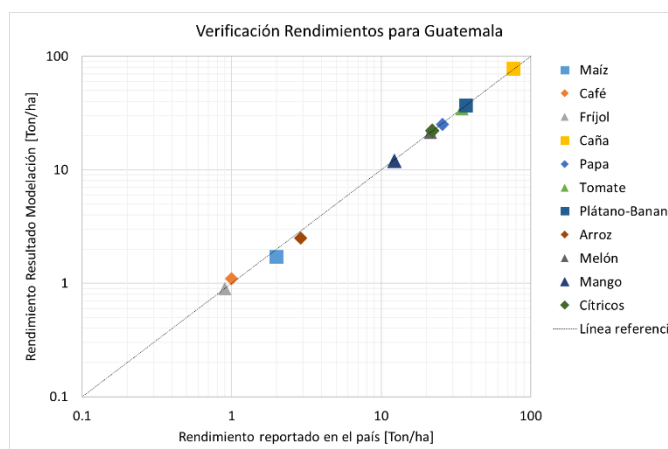
\* Valores reportados en el IV Censo Agropecuario 2007 – 2008

Figura 5-18. Verificación de rendimientos modelados y reportados para nueve productos agrícolas priorizados en El Salvador

Producto Guatemala	Rendimiento [ton/ha]	
	Modelo	Reportes país *
Maíz	1.7	2
Café	1.1	1
Fríjol	0.9	0.9
Caña	77.4	77.2
Papa	25.1	25.6
Tomate	34.4	34.8
Plátano-Banano	36.8	37
Arroz	2.5	2.9
Melón	21.4	21.4
Mango	12	12.2
Cítricos	22.2	22

\* Valores reportados en *El Agro en Cifras - Año Agrícola 2010-2011*

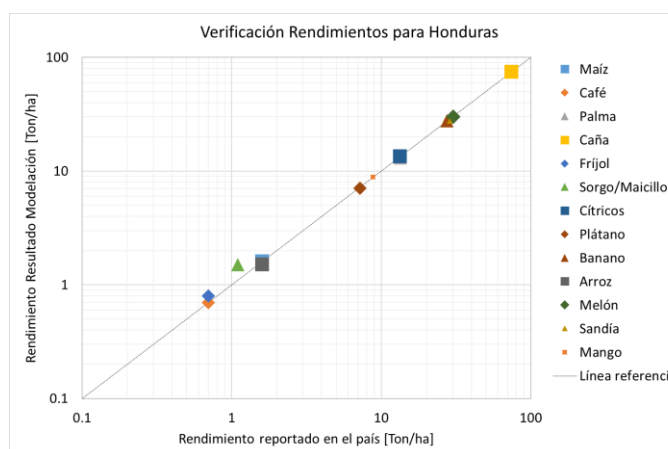
Figura 5-19. Verificación de rendimientos modelados y reportados para 11 productos agrícolas priorizados en Guatemala



Producto Honduras	Rendimiento [ton/ha]	
	Modelo	Reportes país *
Maíz	1.6	1.6
Café	0.7	0.7
Palma	13.1	13.4
Caña	74.4	74.5
Fríjol	0.8	0.7
Sorgo/Maizillo	1.5	1.1
Cítricos	13.5	13.4
Plátano	7.1	7.2
Banano	27.7	27.5
Arroz	1.5	1.6
Melón	30.2	30.2
Mango	8.9	8.8

\* Valores reportados en *Encuesta Agrícola Nacional Año Agrícola 2007-2008*

Figura 5-20. Verificación de rendimientos modelados y reportados para 12 productos agrícolas priorizados en Honduras



### 5.3.3 Suelo: Características agronómicas

La información de entrada al modelo de vulnerabilidad de cultivos incluye las variables necesarias para parametrizar el suelo, que sirve de soporte para el crecimiento de las plantas. El modelo que se aplica en este estudio toma un volumen de referencia del suelo, en la que se ubica la zona radicular, y estima su balance hídrico para determinar la cantidad de agua que tiene disponible la planta. Con esto se evalúan las interacciones suelo-planta-atmósfera que permiten modelar el crecimiento de cultivos y su rendimiento. La información requerida incluye el tipo de suelo, textura,

perfil en profundidad y nivel freático. Para el cálculo de la escorrentía se calcula el número de curva a partir de la información de uso y tipo de suelo. Este procedimiento se muestra de forma esquemática en la Figura 5-21, en la que también se indica el tipo de información de entrada y los resultados, con la referencia a los mapas y tablas que se presentan en este documento.

El modelo de respuesta de cultivos al agua para El Salvador, Guatemala y Honduras es un modelo a escala nacional. Al ser una resolución de trabajo gruesa, en el modelo de vulnerabilidad no se incluyen parámetros de afectación local como presencia de múltiples horizontes de suelo o variaciones en el nivel freático. En el caso del perfil de suelo se supone un perfil homogéneo para la profundidad máxima que alcanzan las raíces según cultivo, no se considera la presencia de barreras físicas que limiten la profundización de las raíces.

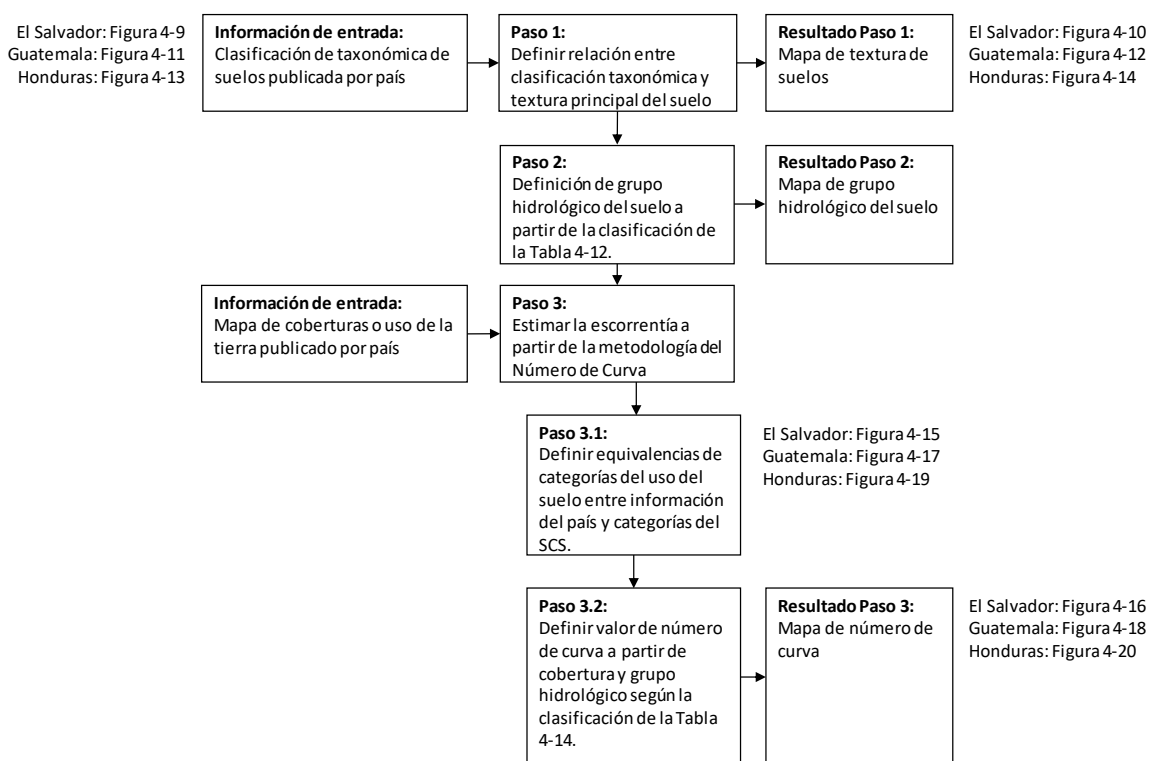


Figura 5-21. Esquema metodología aplicada para determinar características del suelo necesarias en el módulo de vulnerabilidad para evaluar riesgo por sequía en el sector agrícola.

### 5.3.3.1 Almacenamiento y disponibilidad de agua en el suelo

Los parámetros necesarios para estimar la capacidad de suelo de almacenar y retener agua se muestran en la Figura 5-22. Dependiendo del nivel del agua en el suelo se define la disponibilidad del agua para la planta. Es así como después de una lluvia, el agua puede quedar en exceso de la cual una fracción se convierte en escorrentía y la otra fracción se infiltra por fuerzas gravitacionales. Esta agua infiltrada pasa de un nivel de saturación (en el cual no hay contenido de aire en el suelo) al nivel que tiene el suelo de retener el agua o capacidad de campo (Field capacity en inglés). A medida que el agua se infiltra en el suelo, las plantas pierden la posibilidad de usar el agua, hasta llegar al punto de marchitamiento definitivo, en el que la planta no cuenta con agua disponible y no se puede recuperar. El rango de agua disponible para la planta se ubica entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, en el que el suelo es capaz de retener el agua. Entonces el modelo de

vulnerabilidad evalúa si el contenido de agua en el suelo se ubica dentro del rango de agua disponible que tiene la planta y ajusta el desarrollo del cultivo según las condiciones de estrés hídrico que sufra.

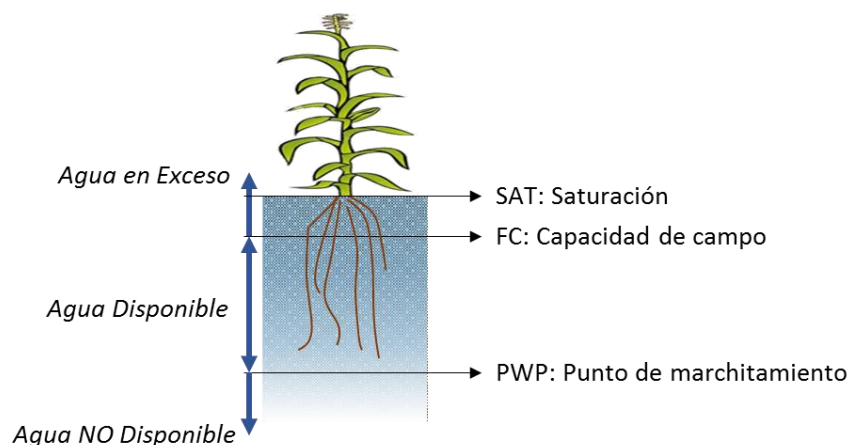


Figura 5-22. Esquema de la disponibilidad del agua en el suelo

La capacidad de retener el agua en el suelo depende en gran medida de su textura. Como el suelo es un medio poroso, dependiendo del tamaño de los espacios entre partículas, el suelo está en capacidad de almacenar más o menos agua. El tamaño de las partículas del suelo, o textura se define según su contenido de arena, limo y arcilla. Es así como suelos arenosos tienen poca capacidad de retener agua por su estructura de partículas gruesas con macroporos<sup>21</sup>. De otro lado suelos de partículas finas retienen el agua en microporos y tienen una mayor capacidad de campo (Sheppard & Hoyle, 2018). Esta relación se puede ver de forma esquemática en la Figura 5-23, en la que se presenta el porcentaje de volumen de agua para la capacidad de campo según la textura de suelo, desde arenas con partículas gruesas hasta arcilla de partículas finas. En la figura se puede ver como la capacidad campo o de retener agua en el suelo aumenta a medida que las partículas de suelo son más finas. Sin embargo, para que el agua sea disponible para las plantas, el contenido de agua en el suelo debe mantenerse sobre el punto de marchitamiento. Como se ve en la figura, el punto de marchitamiento también aumenta en la medida que la textura del suelo es más fina. Esto se debe a que, aunque hay mayor volumen de agua retenida del suelo fino, la fuerza que se ejerce para mantener el agua en los microporos es muy alta y las plantas no tienen capacidad de succionarla. Entonces, para propósitos agrícolas es preferible cultivar en suelos de textura media, tipo francos o franco limosos, que tienen una alta disponibilidad de agua para las plantas.

<sup>21</sup> Se entiende como poro el espacio entre partículas de suelo. En suelos de partículas gruesas como las arenas, los poros son de mayor tamaño que en suelos de partículas finas como las arcillas.



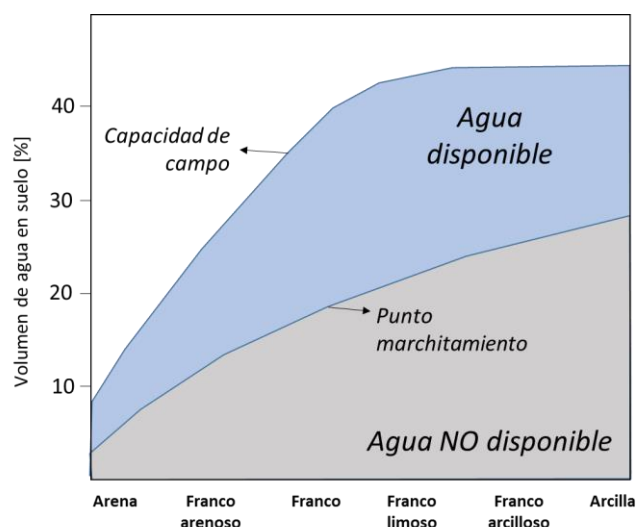


Figura 5-23. Esquema de retención de agua según tipo de suelo (Sheppard & Hoyle, 2018)

Los valores de contenido volumétrico de agua en suelo para condiciones de saturación, capacidad de campo y punto de marchitamiento se determinan a partir de evaluaciones locales. El modelo AquaCrop suministra valores por defecto para estos parámetros, en caso de no contar con información del área de interés (Dirk Raes et al., 2011). Estos valores se utilizan en este estudio y se presentan en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9. Valores de parámetros de contenido volumétrico de agua por defecto en el modelo AquaCrop

Tipo suelo	SAT [%vol]	FC [%vol]	PWP [%vol]
arena	36	13	6
arenoso franco	38	16	8
franco arenoso	41	22	10
franco	46	31	15
franco limoso	46	33	13
limoso	43	33	9
franco arcillo arenoso	47	32	20
franco arcilloso	50	39	23
franco arcillo limoso	52	44	23
arcillo arenoso	50	39	27
arcillo limoso	54	50	32
arcilla	55	54	39
impermeable	0.5	0.3	0.1

La determinación de la textura del suelo se hace a partir de las fracciones de arcilla, limo y arenas que lo compongan. Esta clasificación por tipo que se muestra en la tabla anterior se obtiene a partir del triángulo de clase textural del suelo, publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA por sus siglas en inglés. Este esquema se presenta en la Figura 5-24.

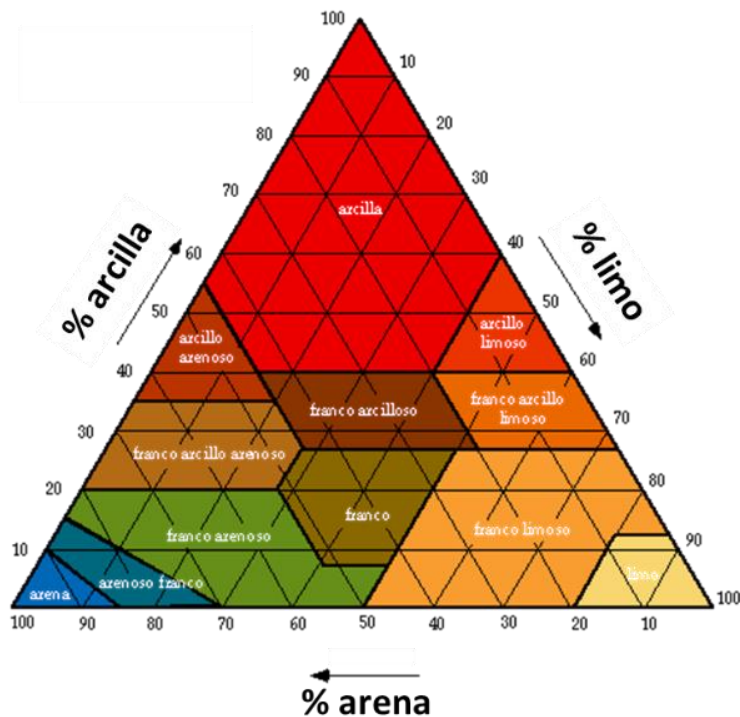


Figura 5-24. Triángulo de clases texturales básicas de suelos según el tamaño de partículas. Elaborado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

En el caso de El Salvador, Guatemala y Honduras, era importante establecer la textura del suelo en todas las regiones de cada país para poder asociarlas a los valores por defecto del contenido volumétrico de agua de la Tabla 5-9. Esta relación se hizo a partir de la clasificación de suelos particular para cada país, como se muestra a continuación.

#### **El Salvador**

A partir de la información consignada en el documento de “Clasificación de suelos por división política de El Salvador” (Romero, 2012) de resolución 1:900.000 se obtuvo información sobre la pedología de suelos y posterior clasificación de suelos del país según clases definidas por el Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos, SCS (Soil Survey Staff, 2014). El mapa de suelos según la clase taxonómica principal se muestra en la Figura 5-25.

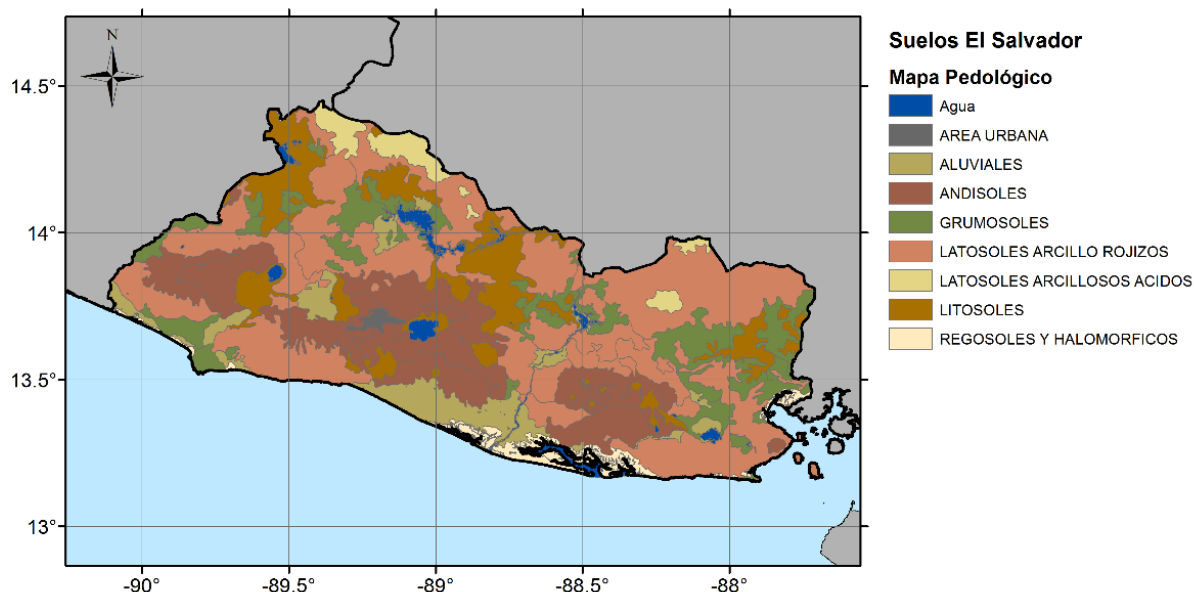


Figura 5-25. Mapa de suelos de El Salvador (Romero, 2012)

La Tabla 5-10 muestra la relación entre la clase taxonómica incluida en el mapa publicado por las agencias oficiales y las texturas de suelo utilizadas en este informe (Tabla 5-9). La relación se hizo a partir de las definiciones de las clases taxonómicas incluidas en el documento “Keys to Soil Taxonomy” (Soil Survey Staff, 2014).

Tabla 5-10. Relación clase taxonómica con textura de suelo para El Salvador.

CLASE	NOMBRE	CODIGO	Txt_Simmons
0	Litosoles	Li	arcillo arenoso
0	Grumosoles	G	arcilla
0	Regosoles y halomorficos	RyH	franco arcillo limoso
1	Aluviales	Al	franco limoso
2	Grumosoles	G	arcilla
3	Andisoles	An	franco arenoso
4	Latosoles arcillo rojizos	Lar	franco arcilloso
5	Regosoles y halomorficos	RyH	franco arcillo arenoso
6	Litosoles	Li	arcillo arenoso
7	Latosoles arcillosos acidos	Laa	franco arcilloso
8	Área urbana		impermeable

Luego de relacionar el mapa de la Figura 5-25 y los valores de reclasificación de la Tabla 5-10, se obtuvo el mapa de texturas de suelo para El Salvador que se muestra en la Figura 5-26.



La Tabla 5-11 muestra la relación entre la clase taxonómica de orden principal en Guatemala y las texturas de suelo utilizadas en este informe (Tabla 5-9). La relación se hizo a partir de las definiciones de las clases taxonómicas incluidas en el documento “Keys to Soil Taxonomy” (Soil Survey Staff, 2014). A partir de esta clasificación, se procedió a reclasificar el tipo de suelo por unidad, que puede estar compuesto de múltiples órdenes de suelo, para obtener una clasificación más detallada. La Tabla 5-12 muestra la relación entre la unidad taxonómica, que se muestra en el mapa de la Figura 5-27 con la clasificación establecida en la Tabla 5-11.

Tabla 5-11. Relación clase taxonómica con textura de suelo para Guatemala.

Orden	Suborden	Código	Textura
Alfisol	Aquafals	Lq	arcillo arenoso
	Udafals	Ld	arcillo arenoso
	Ustafals	Ls	arcillo arenoso
Andisol	Aquands	Dq	franco limoso
	Udadnds	Dd	franco limoso
	Ustands	Ds	franco limoso
	Vitrands	Dv	franco limoso
Entisol	Aquents	Eq	arena
	Fluvents	Ef	arena
	Orthents	Eo	arena
	Psamments	Ep	arena
Histosol	Fibrists	Hi	arcillo limoso
	Hemists	Hh	arcillo limoso
Inceptisol	Aquepts	Pq	franco arenoso
	Udepts	Pd	franco arenoso
	Usteps	Ps	franco arenoso
Mollisol	Aquolls	Mq	franco limoso
	Rendolls	Mr	franco limoso
	Udolls	Md	franco limoso
	Ustolls	Ms	franco limoso
Ultisol	Aquult	Uq	franco arcilloso
	Humult	Um	franco arcilloso
	Udult	Ud	franco arcilloso
	Ustult	Us	franco arcilloso
Vertisol	Aquerts	Vq	arcilla
	Uderts	Vd	arcilla
	Usterts	Vs	arcilla

El mapa de textura de suelos para Guatemala, que es el resultado de la reclasificación del mapa de taxonomía del suelo, se muestra en la Figura 5-28.

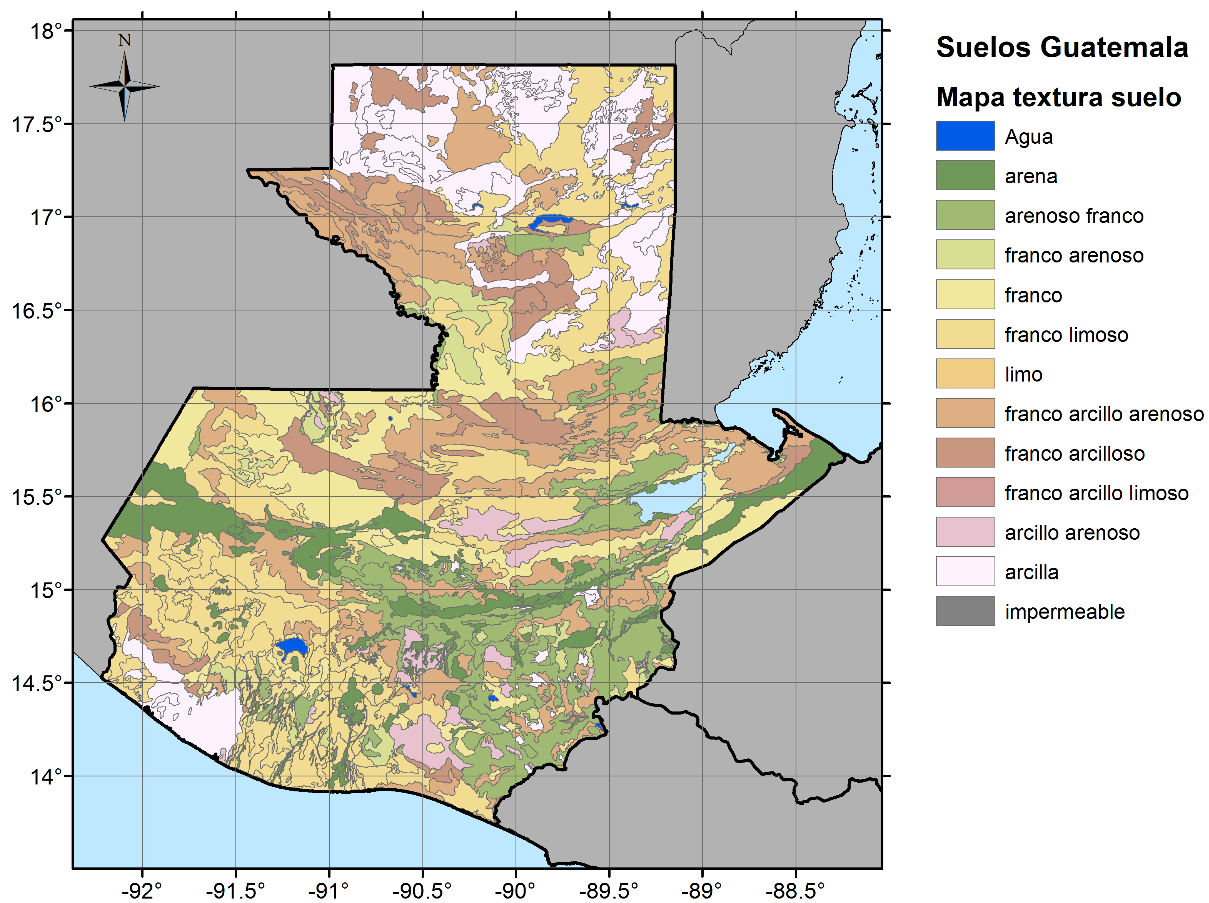


Figura 5-28. Mapa de textura de suelos para Guatemala (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5-12. Relación clase taxonómica con textura de suelo para Guatemala por unidad.

Unidad	Textura	Unidad	Textura	Unidad	Textura
AGUA	Agua	Ep-Eo	arena	Pq	franco arenoso
Dd	franco limoso	Ep-Hi	franco arcillo arenoso	Pq-Eq	arenoso franco
Dd-Ds	franco limoso	Ep-Ms	franco limoso	Pq-Eq-Eo	arenoso franco
Dd-Ds-Ld	franco limoso	Ep-Ms-Ps	franco limoso	Pq-Ms	franco arenoso
Dd-Dv	franco limoso	Eq	arena	Pq-Ps	franco arenoso
Dd-Eo	franco limoso	Eq-Eo	arena	Pq-Ud	franco
Dd-Ld	franco arcillo arenoso	Eq-Mq	franco limoso	Pq-Ud-Ld	franco
Dd-Pd	franco	Eq-Pq	arenoso franco	Ps	franco arenoso
Dd-Pq	franco	Eq-Pq-Ef	arenoso franco	Ps-Ds	franco
Dd-Ud	franco limoso	Ld	arcillo arenoso	Ps-Ds-Ls	franco
Dq	franco limoso	Ld-Eo	arcillo arenoso	Ps-Eo	arenoso franco
Ds	franco limoso	Ld-Pd	franco arcillo arenoso	Ps-Eo-Ms	arenoso franco
Ds-Eo	franco limoso	Ld-Pd-Ud	franco arcillo arenoso	Ps-Eo-Vs	arenoso franco
Ds-Eo-Ps	franco limoso	Ld-Ud	arcillo arenoso	Ps-Ls	franco arcillo arenoso
Ds-Ep	franco limoso	Ld-Vd	arcilla	Ps-Ls-Eo	franco arcillo arenoso
Ds-Ls	franco arcillo arenoso	Lq-Vd	arcilla	Ps-Mr	franco
Ds-Ls-Eo	franco arcillo arenoso	Ls	arcillo arenoso	Ps-Ms	franco
Ds-Ps	franco	Ls-Ps	franco arcillo arenoso	Ps-Pq-Ep	franco arenoso
Ds-Ps-Eo	franco	Ls-Us	arcillo arenoso	Ps-Ud	franco
Ds-Us	franco limoso	Ls-Vs	arcilla	Ps-Us	franco
Dv	franco limoso	Md	franco limoso	Ps-Vs	franco arcillo arenoso
Dv-Dd	franco limoso	Md-Dd	franco limoso	Ps-Vs-Eo	franco arcillo arenoso
Dv-Dd-Pd	franco limoso	Md-Ef	franco limoso	Ud	franco arcillo arenoso
Dv-Ds-Ep	franco limoso	Md-Ep	franco limoso	Ud-Eo	franco arcillo arenoso
Dv-Ep	franco limoso	Md-Ms	franco limoso	Ud-Ld	arcillo arenoso
Dv-Ep-Eo	franco limoso	Mq	franco limoso	Ud-Pd	franco
Dv-Ls	franco arcillo arenoso	Mr	franco limoso	Ud-Pd-Dd	franco
Ef	arena	Mr-Eo	franco limoso	Ud-Um	franco arcillo arenoso
Ef-Ep	arena	Mr-Eo-Vd	franco limoso	Ud-Um-Pd	franco arcillo arenoso
Ef-Md	franco limoso	Mr-Ld-Pd	franco arcillo arenoso	Ud-Vd	franco arcillo arenoso
Eo	arena	Mr-Pd	franco	Um-Ps	franco
Eo-Dd	franco limoso	Mr-Vd	franco arcillo arenoso	Uq-Ud	franco arcillo arenoso
Eo-Ds	franco limoso	Ms	franco limoso	Us-Ls	arcillo arenoso
Eo-Dv	franco limoso	Ms-Ef-Ps	franco limoso	Vd	arcilla
Eo-Dv-Dd	franco limoso	Ms-Ep	franco limoso	Vd-Mr	franco arcillo arenoso
Eo-Ef	arena	Ms-Md	franco limoso	Vd-Pd	franco arcillo arenoso
Eo-Ep	arena	Ms-Md-Ep	franco limoso	Vd-Vq	arcilla
Eo-Ep-Eq	arena	Ms-Mq	franco limoso	Vd-Vs	arcilla
Eo-Ep-Ps	arena	Ms-Vs	franco arcillo arenoso	Vq	arcilla
Eo-Eq	arena	Pd	franco arenoso	Vq-Lq	arcilla
Eo-Md-Vs	franco limoso	Pd-Dd	franco	Vq-Mr	franco arcillo arenoso
Eo-Mr	franco limoso	Pd-Dd-Ld	franco	Vq-Pq-Eo	franco arcillo arenoso
Eo-Mr-Ud	franco limoso	Pd-Eo	arenoso franco	Vq-Vd	arcilla
Eo-Pd	arenoso franco	Pd-Eo-Dd	arenoso franco	Vs	arcilla
Eo-Pq	arena	Pd-Eo-Eq	arenoso franco	Vs-Eo	arcillo arenoso
Eo-Ps	arenoso franco	Pd-Eo-Ud	arenoso franco	Vs-Ls	arcilla
Eo-Ps-Ls	arenoso franco	Pd-Eq	arenoso franco	Vs-Ls-Ps	arcilla
Eo-Vs	arcillo arenoso	Pd-Ld	franco arcillo arenoso	Vs-Ms	franco arcillo arenoso
Eo-Vs-Ps	arcillo arenoso	Pd-Mr	franco	Vs-Ms-Ps	franco arcillo arenoso
Ep	arena	Pd-Ud-Eo	franco	Vs-Ps-Eo	franco arcillo arenoso
Ep-Ef	arena	Pd-Ud-Ld	franco	Vs-Vq	arcilla
Ep-Ef-Ps-Eo	arena	Pd-Vd	franco arcillo arenoso		

## Honduras

En el caso de Honduras, no se obtuvo un mapa de suelos con clases según taxonomía. En este caso se obtuvo la clasificación de suelos a partir del documento “Los suelos de Honduras. Informe al Gobierno de Honduras” (Simmons, 1969). El mapa de suelos de Honduras se muestra en la Figura 5-29.

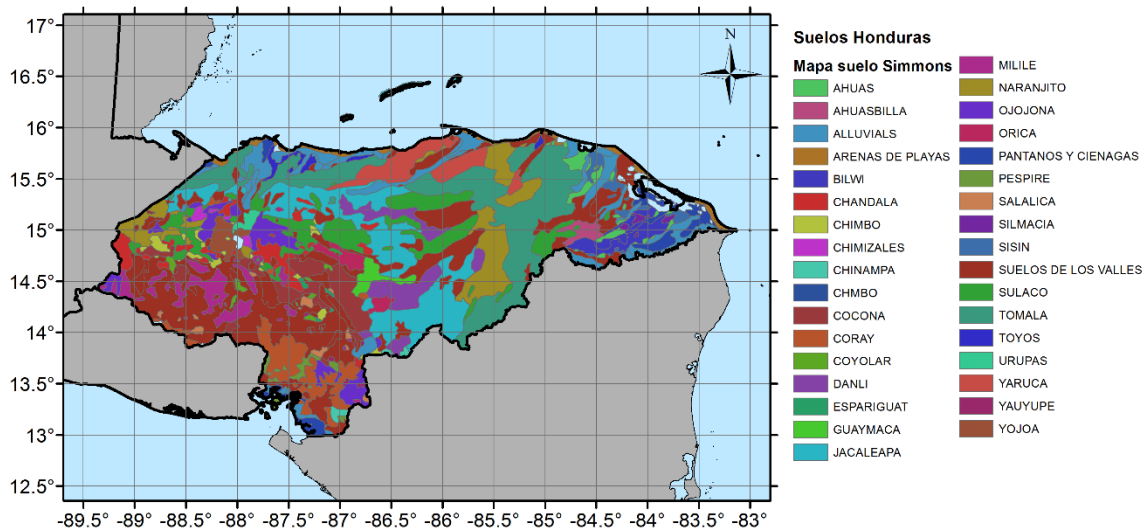


Figura 5-29. Mapa de suelos de Honduras según clasificación hecha por Simmons

A partir de la información consignada en el documento “Los suelos de Honduras” (Simmons, 1969) y las clases de textura utilizadas en este estudio (Tabla 5-9) se definió la reclasificación de cada uno de los polígonos del mapa según lo consignado en el Tabla 5-13. El resultado del mapa de texturas de suelos para Honduras se presenta en la Figura 5-30.

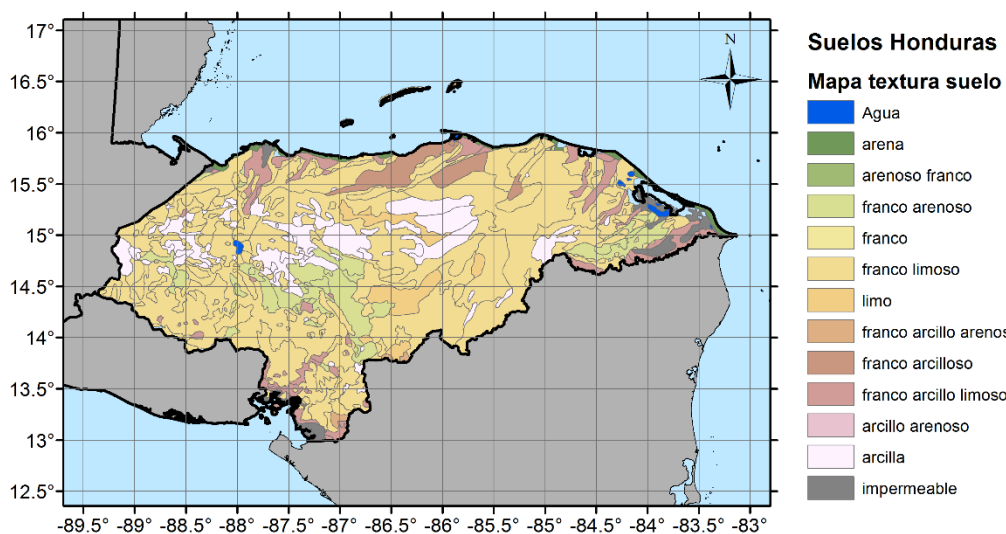


Figura 5-30. Mapa de textura de suelos para Honduras (Fuente: Elaboración propia)



Tabla 5-13. Relación de clase de suelo de Simmons con tipo de textura para Honduras

Símbolo	Tipo	Suelo	Nombre de suelo	Textura
AF	II		Suelos Aluviales Textura fina bien drenada	franco limoso
AG	II		Suelos Aluviales Textura Gruesa bien drenados	franco arenoso
AM			Suelos Aluviales Textura fina bien drenados	franco arcillo limoso
AP			Arenas de Playas	arena
AS			Suelos Aluviales sin diferenciación	franco arcillo limoso
PM			Pantanos y Ciénagas	impermeable
SV			Suelos de los Valles	
Ah	V	red-yell Latosols	AHUAS	franco limoso
Aw	VII	red Latosols	AHUASBILLA	franco limoso
Bw	VII	red Latosols	BILWI	franco arenoso
Cha	IV&VII	Rendzina	CHANDALA	arcilla
Chi	IV&VII	Lithosol	CHIMBO	franco limoso
Chn	IV&VII	red-yell Podzols	CHINAMPA	franco arcillo arenoso
Chz	IV&VII	yell-red Podzols	CHIMIZALES	franco limoso
Co	VII	Grumosol	COCONA	franco arenoso
Cr	VI	Lithosol	CORAY	franco limoso
Cy	V	Lithosol	COYOLAR	franco arenoso
Da	IV&VII	red-yell Podzols	DANLI	limo
Es	VII	Lithosol	ESPARIGUAT	franco arenoso
Gu	VII	red-yell Podzols	GUAYMACA	franco limoso
Ja	VII	Lithosol	JACALEAPA	franco limoso
Mi	II&VII	Andosols	MILILE	franco limoso
Na	IV&VII	red-yell Podzols	NARANJITO	franco limoso
Oj	VII	Lithosol	OJOJONA	franco limoso
Or	VII	Lithosol	ORICA	franco arenoso
Pe	IV&VI	Basalt	PESPIRE	franco arcillo limoso
Sa	IV&VI	Non-calcic	SALALICA	franco arcillo limoso
Si	V	red Latosol	SILMACIA	franco limoso
Ss	V		SISIN	franco limoso
Su	IV&VII	Lithosol	SULACO	arcilla
Ta	IV&VII	Latosols	TOMALA	franco limoso
To	IV&VII	Latosols	TOYOS	franco limoso
Ur	III&IV	Volcanic Lavas	URUPAS	franco limoso
Ya	VII	Lithosol	YARUCA	franco arcilloso
Yo	III&VI	Andosols	YOJOA	franco limoso
Yu	V	Grumosol	YAUYUPE	arcilla

### 5.3.3.2 Estimación de la escorrentía

Dentro del balance hídrico en el volumen de control del suelo se debe considerar tanto los flujos de entrada (precipitación, irrigación, capilaridad) como los flujos de salida (escorrentía, evapotranspiración y percolación profunda), y con esto estimar la cantidad de agua almacenada y disponible para la planta. Para calcular el caudal de escorrentía se requiere asignar valores a la conductividad hidráulica saturada y el número de curva (o factor de escurrimiento) definido por el Soil Conservation Service de los Estados Unidos, que es la metodología seleccionada para determinar los volúmenes de escorrentía.

La conductividad hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) determina el drenaje interno del perfil de suelo, las pérdidas por percolación profunda y la cantidad de agua infiltrada en la zona radicular, y la escorrentía superficial después de la lluvia (Dirk Raes et al., 2011). En caso de no contar con información detallada del área de análisis, el modelo AquaCrop suministra valores por defecto de la conductividad hidráulica saturada para cada tipo de textura de suelo, estos valores recomendados se muestran en la Tabla 5-14. Estos valores fueron utilizados en el presente estudio, al no contar con información local.

Tabla 5-14. Valores de parámetros hidrológicos del suelo por defecto en el modelo AquaCrop (Dirk Raes et al., 2011)

Tipo suelo	Ksat [mm/d]	Grupo hidrológico
arena	3000	A
arenoso franco	2200	A
franco arenoso	1200	A
franco	500	B
franco limoso	575	B
limoso	500	B
franco arcillo arenoso	225	C
franco arcilloso	125	C
franco arcillo limoso	150	C
arcillo arenoso	35	D
arcillo limoso	100	D
arcilla	35	D
impermeable	0	D

En esta tabla también se presenta el grupo hidrológico del suelo que indica la capacidad de infiltración del suelo. Más información sobre cada grupo hidrológico del suelo se presenta en la Tabla 5-15.

Tabla 5-15. Capacidad de infiltración según grupo hidrológico del suelo  
(Fuente: Soil Conservation Service, 1986, Dirk Raes et al., 2011)

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h

El factor de escurrimiento o número de curva es un indicador global de la cantidad de agua que será absorbida o transpirada por los suelos superficiales. Se obtiene como función del uso de la tierra, la cobertura vegetal y las condiciones de infiltración y transpiración del suelo superficial. La metodología del US Soil Conservation Service consiste en calcular el agua perdida por escurrimiento (RO) a partir de la precipitación (P) y el agua que se alcanza a infiltrar antes que ocurra el escurrimiento ( $I_a$ ). Eso se hace a partir del potencial máximo que tiene el suelo de retención de agua (S) que se calcula en función del número de curva (CN). Siguiendo las ecuaciones Ec. 5-7 y Ec. 5-8 se procede a calcular la escurrimiento:

$$RO = \frac{[P - I_a]^2}{P + S - I_a} \quad \text{Ec. 5-7}$$

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad \text{Ec. 5-8}$$

Según recomendaciones de los autores de AquaCrop (D. Raes et al., 2017), se considera que  $I_a = 0.05S$ . Esta condición está implementada en el modelo por defecto.

La estimación del número de curva se hace a escala nacional, a partir de la información consignada en los mapas de textura de suelo (Figura 5-26, Figura 5-28 y Figura 5-30) desarrollados en este estudio y los mapas coberturas y uso de suelo para cada país suministrados por agencias nacionales. Haciendo uso de la Tabla 5-16, que presenta los valores de CN usados para las diferentes coberturas y grupo hidrológico del suelo existentes (Soil Conservation Service, 1986) se obtienen los mapas de número de curva de escurrimiento para cada país teniendo en cuenta una condición de humedad de suelo antecedentes intermedia.

Tabla 5-16. Valores de CN para diferentes coberturas (usos de la tierra) y tipos de suelo

USO DE LA TIERRA O CUBIERTA	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	45	66	77	83
	Normal, transpiración media	36	60	73	79
	Espeso o alta transpiración	25	55	70	77
Caminos	De tierra	72	82	87	89
	Superficie dura	74	84	90	92
Bosques Naturales	Muy ralo o baja transpiración	56	75	86	91
	Ralo, baja transpiración	46	68	78	84
	Normal, transpiración media	36	60	70	76
	Espeso, alta transpiración	26	52	62	69
	Muy espeso, alta transpiración	15	44	54	61
Descanso (sin cultivo)	Descanso (sin cultivo)	77	86	91	94
Cultivo de surco	Surcos rectos	70	80	87	90
	Surcos en curvas de nivel	67	77	83	87
	Terrazas	64	73	79	82
Cereales	Surcos rectos	64	76	84	88
	Surcos en curvas de nivel	62	74	82	85
	Terrazas	60	71	79	82
Leguminosas (sembrada con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación.	Surcos rectos	62	75	83	87
	Surcos en curvas de nivel	60	72	81	84
	Terrazas	57	70	78	82
Pastizal	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel, pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel, normal	25	59	75	83
	Curvas de nivel, bueno	6	35	70	79
Potrero (permanente)	Normal	30	58	71	78
Superficie impermeable	Impermeable	100	100	100	100

### El Salvador

A partir del mapa de uso del suelo de la República de El Salvador publicado en 2010 por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) se estimó en valor del número de curva. Los resultados de reclasificación de uso de suelos (según categorías del Soil Conservation Service) y del número de curva para El Salvador se presentan a continuación. Las equivalencias entre categorías de uso del suelo se presentan en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17. Equivalencias entre categorías de uso del suelo del mapa del MAG y categorías de uso de suelo del Soil Conservation Service para El Salvador

Tipo de uso	Uso de suelo de la República de El Salvador Año 2010	Categorías de uso de suelo
	Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG	Soil Conservation Service
Bosques	Bosque Caducifolio	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque Siempre Verdes	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque de Galería	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque de Mangle	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosques Mixto	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosques de Coníferas	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosques mixtos semi caducifoleos	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Plantaciones de Bosques Monoespecífico	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Sistemas Agroforestales	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
Cultivos anuales y permanentes	Café	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Árboles Frutales	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Caña de Azúcar	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Cultivo de Piña	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Granos Básicos	Cereales - Surcos rectos
	Hortalizas	Leguminosas (sembrada con maquinaria o al voleo) o potrero de rotación. - Surcos rectos
	Mosaico de Cultivos y Pastos	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Otros Cultivos Irrigados	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Pastos Cultivados	Pastizal - Bueno
	Pastos Naturales	Pastizal - Normal
	Platanales y Bananeras	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Cultivos Anuales Asociados	Cereales - Surcos rectos
	Cultivos Permanentes Herbáceos	Cultivo de surco - Surcos rectos
Vegetación diversa	Espacios con Vegetación Escasa	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)
	Morrales en potreros	Pastizal - Normal
	Praderas Pantanosas	Superficie impermeable - Impermeable
	Vegetación Arbustiva Baja	Bosques (sembrados y cultivados) - Ralo, baja transpiración
	Vegetación Arbustiva de playa	Bosques Naturales - Muy ralo o baja transpiración
	Vegetación Esclerófila o Espinoza	Bosques Naturales - Muy ralo o baja transpiración
	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	Superficie impermeable - Impermeable
	Vegetación herbácea natural	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Viveros de Plantas Ornamentales y Otras	Bosques Naturales - Muy ralo o baja transpiración
	Zonas Ecotonales	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Zonas Verdes Urbanas	Pastizal - Normal
	Palmeras Oleíferas	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
Infraestructura	Aeropuertos	Superficie impermeable - Impermeable
	Instalaciones Deportivas y Recreativas	Superficie impermeable - Impermeable
	Tejido Urbano Continuo	Superficie impermeable - Impermeable
	Tejido Urbano Discontinuo	Superficie impermeable - Impermeable
	Tejido Urbano Precario	Superficie impermeable - Impermeable
	Tejido Urbano Progresivo	Superficie impermeable - Impermeable
	Zonas Comerciales o Industriales	Superficie impermeable - Impermeable
	Zonas Portuarias	Superficie impermeable - Impermeable
	Zonas de Extracción Minera	Superficie impermeable - Impermeable
	Zonas en Construcción	Superficie impermeable - Impermeable
	Áreas Turísticas y Arqueológicas	Caminos - De tierra

Tipo de uso	Uso de suelo de la República de El Salvador Año 2010	Categorías de uso de suelo
	Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG	Soil Conservation Service
Recursos hídricos	Escombreras, Vertederos y Rellenos	Superficie impermeable - Impermeable
	Roqueda, lavas	Superficie impermeable - Impermeable
	Estuarios	Superficie impermeable - Impermeable
	Lagos, lagunas y lagunetas	Superficie impermeable - Impermeable
	Lagunas costeras y esteros	Superficie impermeable - Impermeable
	Mares y océano	Superficie impermeable - Impermeable
	Marismas interiores	Superficie impermeable - Impermeable
	Perímetro acuícola	Superficie impermeable - Impermeable
	Playas, dunas y arenales	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)
	Ríos	Superficie impermeable - Impermeable
	Salinas	Superficie impermeable - Impermeable
Terrenos agrícolas	Terrenos Principalmente Agrícola	Cultivo de surco - Surcos rectos

La Figura 5-31 muestra el mapa de coberturas ajustado a las categorías de la tabla anterior. En la Figura 5-32 se presentan los resultados para el número de curva según lo consignado en la Tabla 5-16.

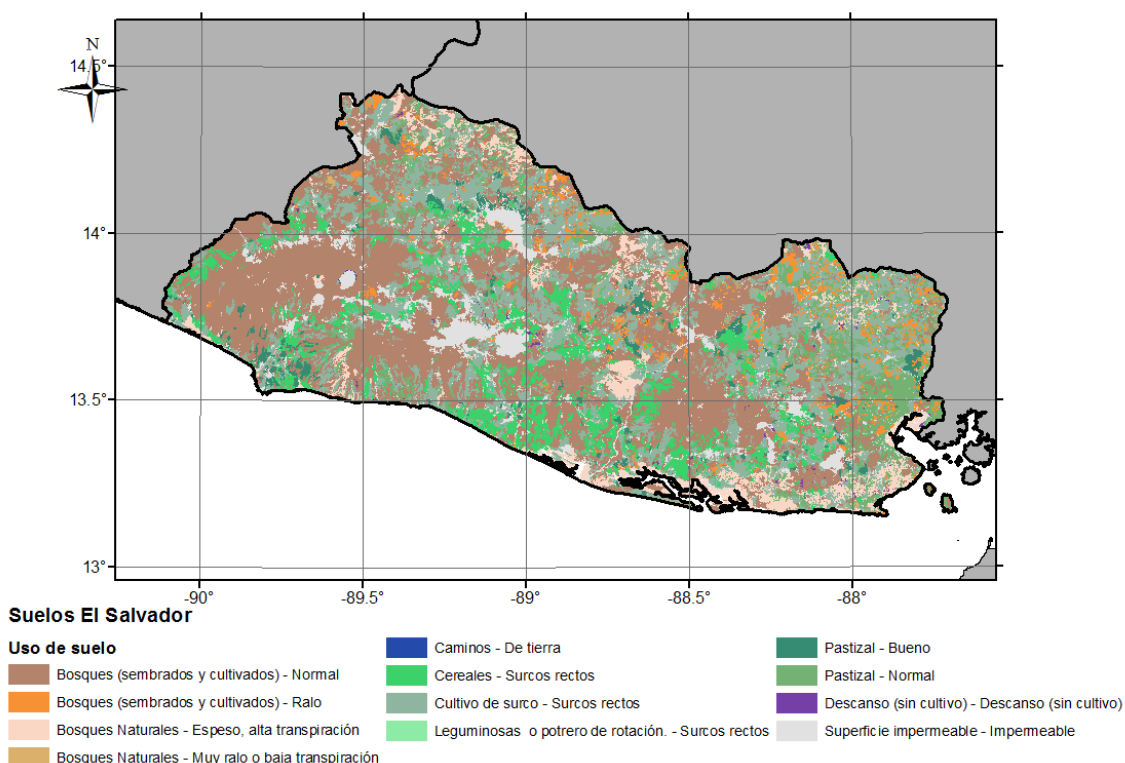


Figura 5-31. Mapa de cobertura de suelos de El Salvador  
(Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación de la Tabla 4-15)

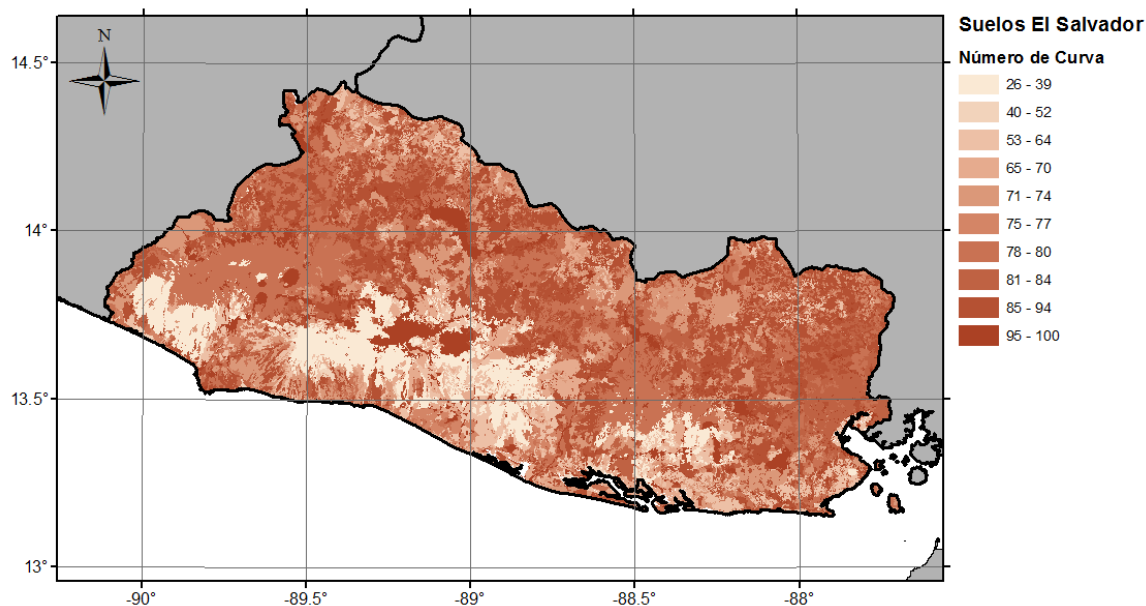


Figura 5-32. Mapa de número de curva para El Salvador (Fuente: Elaboración propia)

### Guatemala

A partir del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra de escala 1:50,000 publicado en 2010 por la Dirección de Información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos (DIGEGR) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) se estimó en valor del número de curva. Los resultados de reclasificación de uso de suelos (según categorías del Soil Conservation Service) y del número de curva para Guatemala se presentan a continuación. Las equivalencias entre categorías de uso del suelo se presentan en la Tabla 5-18.

Tabla 5-18. Equivalencias entre categorías de uso del suelo del mapa del MAGA y categorías de uso de suelo del Soil Conservation Service para Guatemala

Tipo de uso	Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra. Escala 1:50,000. Año 2010	Categorías de uso de suelo
	Dirección de Información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos (DIGEGR). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA.	Soil Conservation Service
Bosques	Bosque Latifoliado	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosque de coníferas	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosque mixto	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque manglar	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Otras tierras forestales	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Matorrales y/o guariles	Pastizal - Normal
	Espacios con escasa/ninguna vegetación (playas, lavas, badlands y otros)	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)
Territorios agrícolas	Cultivos anuales (granos básicos, arroz y hortalizas)	Cereales - Surcos rectos
	Cultivos permanentes	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Zonas agrícolas heterogéneas	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Pasto cultivado	Pastizal - Bueno
	Pasto natural	Pastizal - Normal

Zonas húmedas	Áreas inundables, humedales y otras	Superficie impermeable - Impermeable
Cuerpos de agua	Ríos, lagos, lagunas, estuarios y otros	Superficie impermeable - Impermeable
Territorios artificializados	Tejido urbano, lotificación, industrias y otros	Superficie impermeable - Impermeable
	Áreas Turísticas y Arqueológicas	Caminos - De tierra
	Espacios con Vegetación Escasa	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)

La Figura 5-33 muestra el mapa de coberturas ajustado a las categorías de la tabla anterior. En la Figura 5-34 se presentan los resultados para el número de curva según lo consignado en la Tabla 5-16.

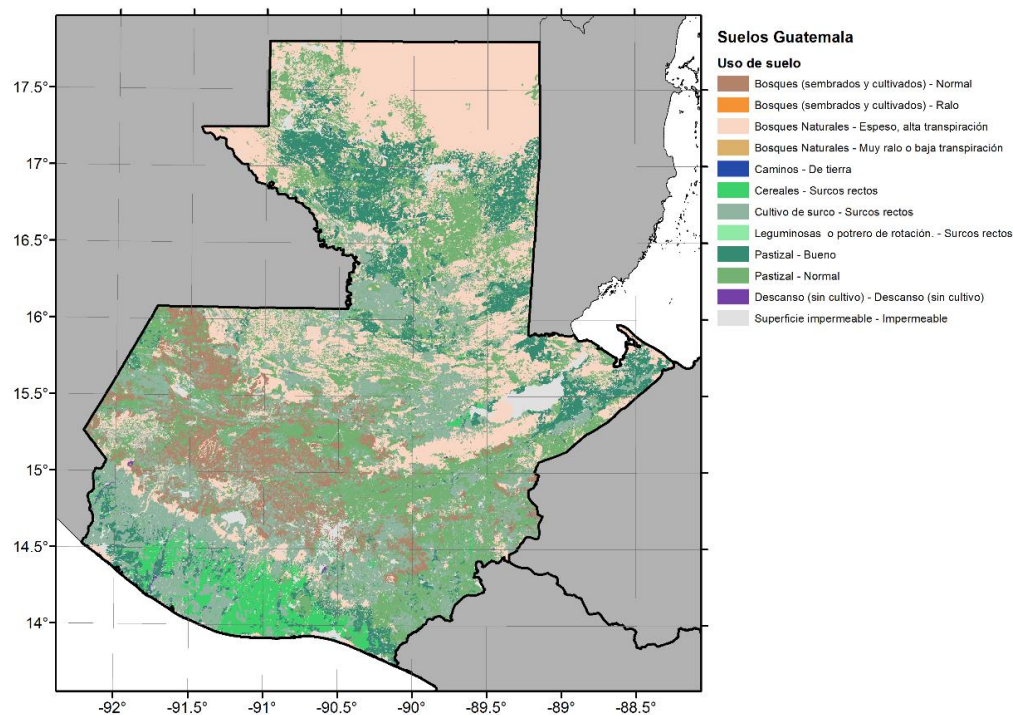


Figura 5-33. Mapa de cobertura de suelos de Guatemala  
(Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación de la Tabla 4-16)

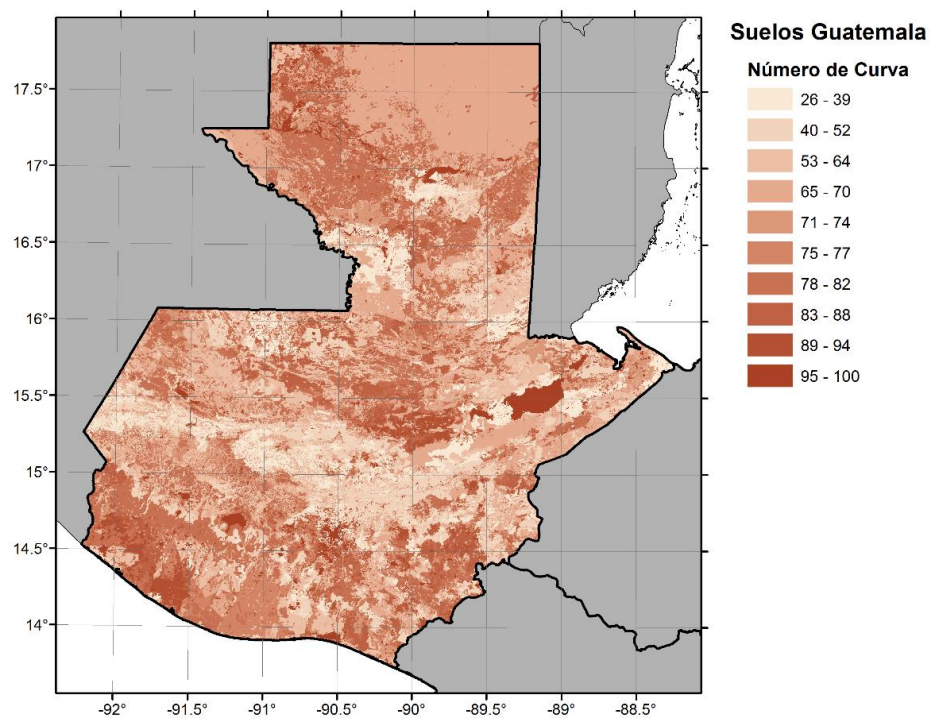


Figura 5-34. Mapa de número de curva para Guatemala (Fuente: Elaboración propia)



## Honduras

A partir del mapa forestal y cobertura de la tierra publicado por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) se estimó en valor del número de curva. Los resultados de reclasificación de uso de suelos (según categorías del Soil Conservation Service) y del número de curva para Honduras se presentan a continuación. Las equivalencias entre categorías de uso del suelo se presentan en la Tabla 5-19.

Tabla 5-19. Equivalencias entre categorías de uso del suelo del mapa del ICF y categorías de uso de suelo del Soil Conservation Service para Honduras

Tipo de uso	Mapa Forestal y Cobertura de la Tierra	Categorías de uso de suelo
	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre ICF	Soil Conservation Service
Bosque	Bosque Latifoliado Húmedo	Bosques Naturales - Muy espeso, alta transpiración
	Bosque Latifoliado Deciduo	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosque de Conífera Denso	Bosques (sembrados y cultivados) - Espeso o alta transpiración
	Bosque de Conífera Ralo	Bosques (sembrados y cultivados) - Ralo, baja transpiración
	Bosque Mixto	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque Mangle Alto	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Bosque de Mangle Bajo	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Bosque Latifoliado Húmedo Inundable	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
Agroforestal	Cafetales	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
Agropecuario	Agricultura Tecnificada	Cultivo de surco - Surcos rectos
	Camaroneras/salinerías	Superficie impermeable - Impermeable
	Palma Africana	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Pastos/Cultivos	Pastizal - Bueno
Otros usos	Árboles Dispersos Fuera de Bosque	Bosques (sembrados y cultivados) - Ralo, baja transpiración
	Área Húmeda Continental	Superficie impermeable - Impermeable
	Arena de Playa	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)
	Tique	Bosques (sembrados y cultivados) - Normal, transpiración media
	Sabanas	Pastizal - Normal
	Suelo Desnudo Continental	Descanso (sin cultivo) - Descanso (sin cultivo)
	Vegetación Secundaria Decidua	Bosques Naturales - Espeso, alta transpiración
	Vegetación Secundaria Húmeda	Bosques Naturales - Muy espeso, alta transpiración
	Zona Urbanizada Discontinua	Superficie impermeable - Impermeable
	Zona Urbanizada Continua	Superficie impermeable - Impermeable
Cuerpos de agua	Cuerpos de Agua Artificial	Superficie impermeable - Impermeable
	Lagos y Lagunas Naturales	Superficie impermeable - Impermeable
	Otras Superficies de Agua	Superficie impermeable - Impermeable

La Figura 5-35 muestra el mapa de coberturas ajustado a las categorías de la tabla anterior. En la Figura 5-36 se presentan los resultados para el número de curva según lo consignado en la Tabla 5-16.

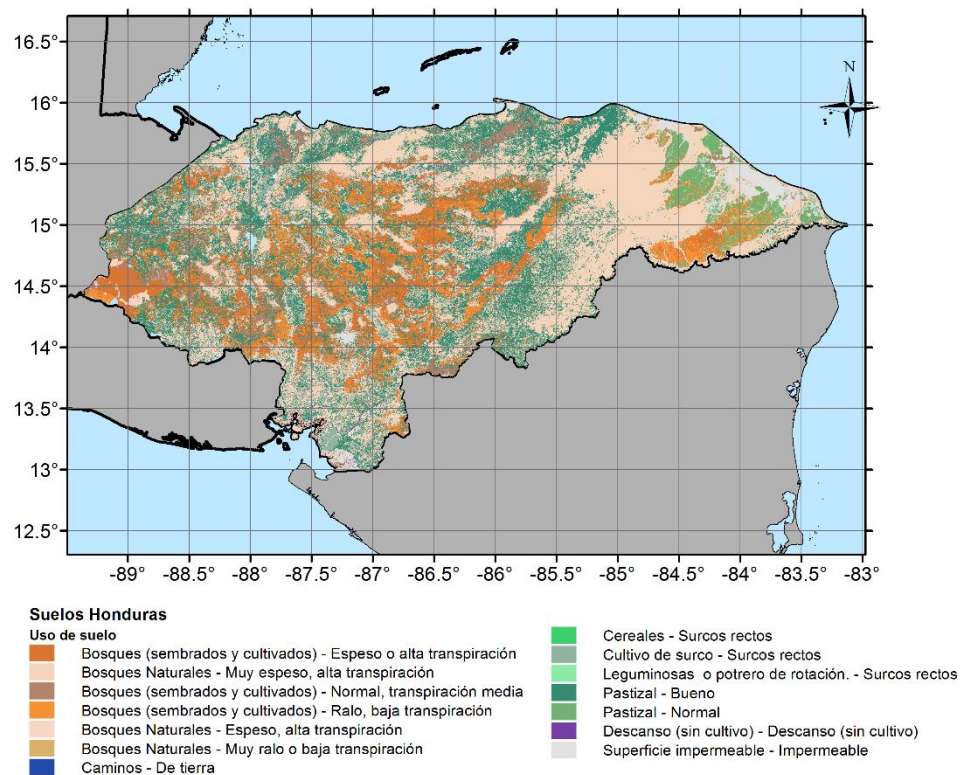


Figura 5-35. Mapa de cobertura de suelos de Honduras  
(Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación de la Tabla 4-17)

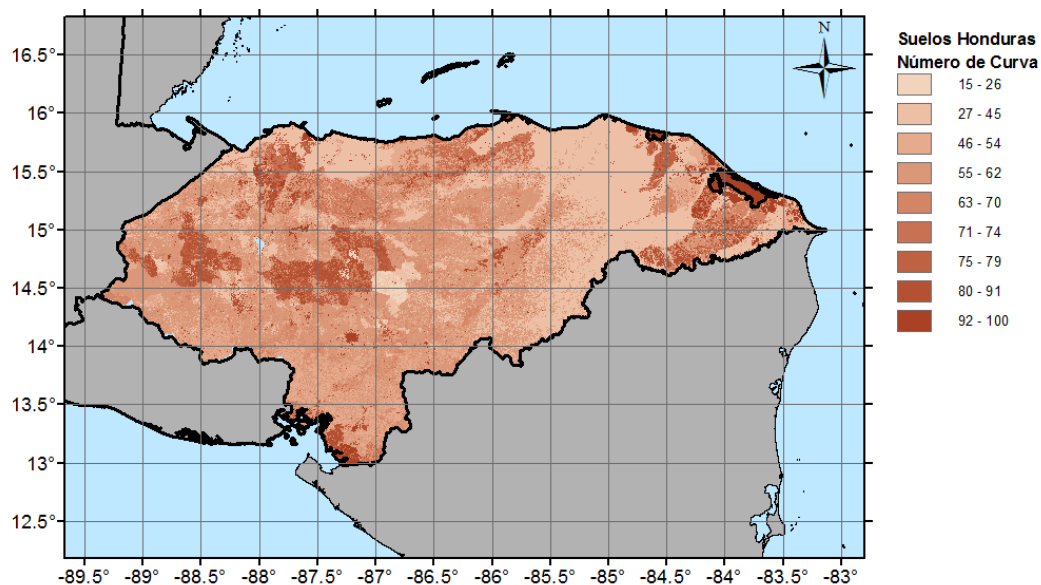


Figura 5-36. Mapa de número de curva para Honduras (Fuente: Elaboración propia)

### 5.3.3.3 Parámetros de suelos usados en modelación

#### Parámetros conservativos:

Son aquellos que no sufren variaciones considerables en el tiempo, bajo diferentes condiciones de manejo, por ubicación geográfica o clima. Se supone que no cambian entre tipo de suelos. En la Tabla 5-20 se muestra la lista de parámetros que definen las propiedades conservativas del suelo para el modelo de AquaCrop. Se presentan los valores por defecto utilizados en el caso de no tener información más detallada para incluir en el modelo.

Tabla 5-20. Parámetros para el suelo que definen el modelo de AquaCrop.

Campo	Descripción	Valor por defecto	Unidad	Criterio de selección
EvapZsurf	Espesor de la capa evaporativa del suelo superficial que está en contacto directo con la atmósfera (m)	0.04	[m]	1
EvapZmin	Mínimo espesor de la capa evaporativa completa del suelo	0.15	[m]	1
EvapZmax	Máximo espesor de la capa evaporativa completa del suelo	0.3	[m]	1
Kex	Coefficiente de evaporación máxima del suelo	1.1	[-]	1
fevap	Factor de forma que describe la reducción en la evaporación con la disminución del contenido de agua en la capa superficial del suelo	4	[-]	1
fWrelExp	Contenido relativo de agua en la capa superficial del suelo en la cual la profundidad de la capa evaporativa se expande	0.4	[-]	1
fwcc	Coefficiente que representa la reducción de la evaporación en el suelo por el efecto de protección de las hojas secas caídas	50	[-]	1
AdjREW	Define si el valor de REW (agua evaporable) se define por el usuario	0	[-]	2
REW	Valor definido por el usuario de agua evaporable (solo se usa si AdjREW es 1)	0	[mm]	2
AdjCN	Define si el valor de número de curva (CN) se ajusta diariamente según las condiciones de humedad del suelo.	1	[-]	1
zCN	Espesor de la capa de suelo que se usa para calcular el contenido de humedad del suelo para ajustar el CN	0.3	[m]	1
zGerm	Espesor de la capa de suelo que se usa para calcular el contenido de humedad del suelo y determinar si puede ocurrir la germinación.	0.3	[m]	1
zRes	Profundidad de una capa restrictiva del suelo que pueda inhibir el crecimiento de las raíces.	-999	[-]	3
fshapecr	Factor de forma que describe el efecto de nivel freático superficial en el contenido de agua	16	[-]	1
Thickness	Usamos un espesor estándar para todos los tipos de suelo	3	[m]	3
NumComp	Número de compartimientos en lo que se divide el espesor total del suelo para hacer cálculos de flujo de agua	10	[-]	3

#### Criterios de selección del parámetro por defecto:

1. Estos parámetros han sido calibrados en estudios previos que utilizan la metodología de la FAO de respuesta de cultivos al agua implementada en el programa AquaCrop. Una lista amplia de estos estudios en los que se ha aplicado la metodología de AquaCrop puede ser consultada en la siguiente página web: <http://www.fao.org/aquacrop/applications/es/>.
2. Para el alcance de este estudio se considera que el valor de volumen de agua evaporable no está disponible para ser incluido en el modelo, por lo que los valores asignados a estos parámetros (AdjREW y REW) son igual a cero, para evitar que el usuario deba ingresar un valor. La metodología de la FAO incluye otras formas de calcular estos parámetros a partir de la información ingresada por el usuario y no afecta el resultado final del modelo (Para detalles de esta metodología consultar el manual de cálculo de AquaCrop (D. Raes et al., 2017)).
3. Para el objetivo de este estudio se trabaja en escala nacional. Por ser una resolución gruesa, no es posible incluir parámetros medidos en campo en lo que se refiere a posibles capas restrictivas de suelo que impidan el crecimiento de las raíces o diferencias entre espesor de la capa de suelo. Estos valores se

usan para aplicaciones locales en cultivos pequeños en los que se puedan hacer estudios detallados para conocer las condiciones locales del suelo. La medida de espesor de suelo se definió constante en el marco de este estudio.

### Parámetros específicos y no conservativos:

Son aquellos que requieren un ajuste según tipo de suelo, que en el marco de este estudio está asociado a la textura de la capa principal. La Tabla 5-21 muestra la lista de parámetros que son específicos según el tipo de suelo y su uso. Se incluyen parámetros como el Número de Curva que se utiliza para el cálculo de volúmenes de escorrentía, así como parámetros de capacidad de almacenamiento de agua.

Tabla 5-21. Parámetros no conservativos del suelo que definen el modelo de AquaCrop.

Campo	Descripción	Valor por defecto	Unidad
CN	Número de curva	El valor de CN se toma según el mapa por país.	[-]
SAT	Contenido de agua en suelo saturado	Ver Tabla 4-22	[%vol]
FC	Contenido de agua en suelo a capacidad de campo		[%vol]
PWP	Contenido de agua en suelo en punto de marchitamiento		[%vol]
Ksat	Conductividad hidráulica en saturación		[mm/d]
Textura	Descripción del suelo - nombre		[-]
TXT	Código de textura		[-]
InitialWC	Contenido inicial del suelo	Se supone que el suelo está en capacidad de campo	[-]

La Tabla 5-22 muestra la relación entre el tipo de textura, definido en la Sección 4.3.1, con los parámetros específicos del suelo en relación con el almacenamiento de agua en el suelo y su disponibilidad para las plantas. La categoría *impermeable* hace referencia a zonas urbanas y la categoría *agua* hace referencia a cuerpos de agua tipo lagos o reservorios.

Tabla 5-22. Relación textura del suelo con parámetros de contenido de agua y grupo hidrológico.

Textura	TXT	SAT [%vol]	FC [%vol]	PWP [%vol]	TAW [%vol]	Ksat [mm/d]	Grupo
Arena	0	36	13	6	70	3000	A
Arenoso franco	1	38	16	8	80	2200	A
Franco arenoso	2	41	22	10	120	1200	A
Franco	3	46	31	15	160	500	B
Franco limoso	4	46	33	13	200	575	B
Limoso	5	43	33	9	240	500	B
Franco arcillo arenoso	6	47	32	20	120	225	C
Franco arcilloso	7	50	39	23	160	125	C
Franco arcillo limoso	8	52	44	23	210	150	C
Arcillo arenoso	9	50	39	27	120	35	D
Arcillo limoso	10	54	50	32	180	100	D
Arcilla	11	55	54	39	150	35	D
Impermeable	12	0.5	0.3	0.1	2	0	D
Agua	-1	0.5	0.3	0.1	2	0	D

Con esta información se completan los parámetros de suelo que serán usados en el módulo de vulnerabilidad de la evaluación de riesgo probabilista por sequía en El Salvador, Guatemala y Honduras.

## 6 EVALUACIÓN PROSPECTIVA DE RIESGO POR SEQUÍA EN EL SALVADOR, GUATEMALA Y HONDURAS

En esta sección se presenta el resultado de la evaluación probabilista de riesgo por sequía en el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras. La estimación cuantitativa del riesgo se hace en términos de pérdidas económicas probables asociadas a la reducción en la producción agrícola durante periodos de estrés hídrico. Los resultados que se presentan a continuación son derivados del modelo de amenaza, la base de datos de exposición y el modelo de vulnerabilidad descrito anteriormente, y son el producto de las suposiciones hechas durante el proceso, que también se han descrito en este informe.

### Pérdidas por evento

Antes de presentar los resultados de riesgo para el portafolio completo de cada país, a continuación se hace un análisis de los que se entiende como pérdidas por evento asociadas a la reducción en el rendimiento de producción de cultivos. La Figura 6-1 muestra la comparación del rendimiento alcanzado en un cultivo de frijol en Guatemala bajo los efectos de un evento de sequía. El mapa de la izquierda muestra el rendimiento máximo alcanzado en cada unidad de tierra cultivada, que no supera en la mayoría de los casos 0.5 ton/ha. El mapa de la derecha muestra el rendimiento óptimo para cada unidad de tierra cultivada, que en el caso del frijol es de 1 ton/ha, que dentro del alcance de este estudio se consideró homogéneo en todas las regiones del país. Entonces, se puede ver cómo el rendimiento potencial no se alcanza durante eventos de déficit hídrico.

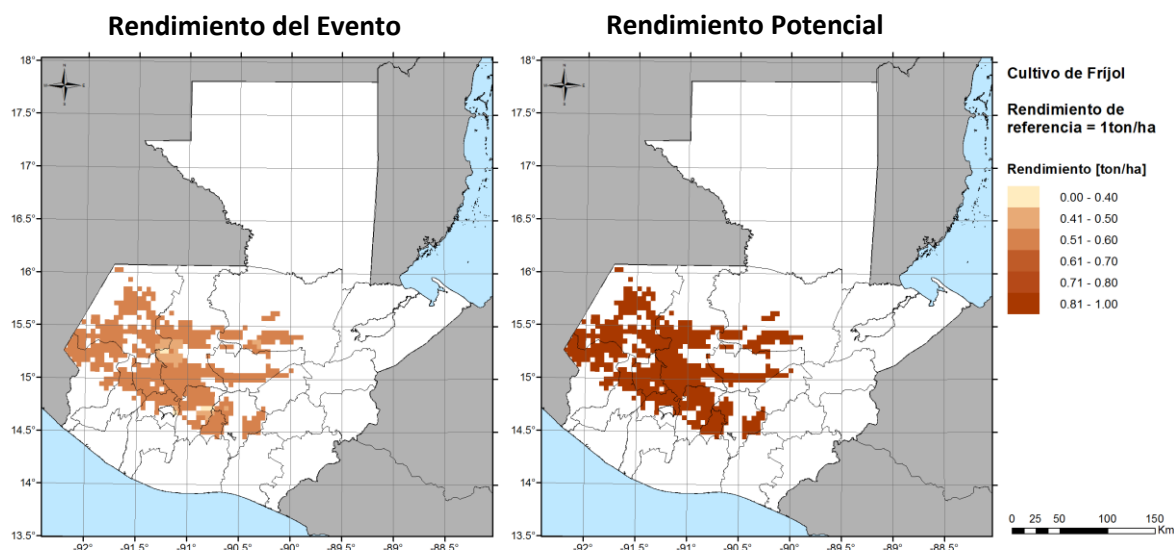


Figura 6-1. Rendimiento del evento vs. rendimiento potencial para el cultivo de frijol en Guatemala.  
(Fuente: Elaboración propia)

Como se menciona en la metodología de evaluación de riesgo por sequía, la pérdida económica en una unidad cultivada, para un escenario específico, se calcula como:

$$P_i = A \cdot PV \cdot (Y_x - Y_i) \quad 6-1$$

en donde  $P_i$  es la pérdida económica para el escenario  $i$ ,  $A$  es el área de la unidad de tierra cultivada,  $PV$  es la valoración económica del cultivo,  $Y_x$  es el rendimiento máximo (calculado bajo condiciones óptimas) y  $Y_i$  es el rendimiento para el escenario  $i$  bajo condiciones de déficit hídrico. Al calcular la pérdida para cada

unidad de tierra cultivada del cultivo de frijol, se obtiene el mapa de la Figura 6-2, en la que se puede ver cuáles son las áreas de mayores pérdidas para ese evento en particular.

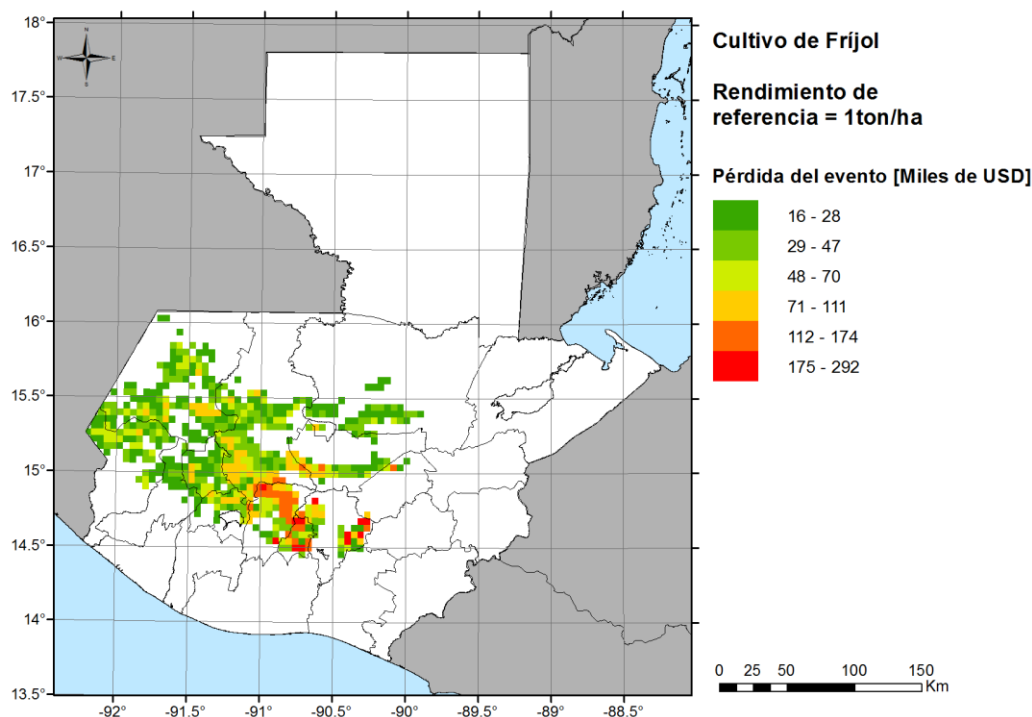


Figura 6-2. Pérdidas calculadas por unidad de tierra cultivada de frijol para un evento de sequía en Guatemala. (Fuente: Elaboración propia)

Para calcular la curva de excedencia de pérdidas (y otras métricas de riesgo) se debe calcular las pérdidas por unidad de tierra cultivada para todos los eventos de sequía y para todos los cultivos incluidos en el portafolio y agregarlas de forma apropiada (considerando que son variables aleatorias). A continuación se presentan los resultados de la evaluación prospectiva de riesgo para todo el portafolio de cultivos por país.

Primero se presenta una breve comparación de los resultados de pérdida anual esperada y pérdida máxima probable para los tres países. Luego, se presenta de forma detallada los resultados de riesgo por sequía para cada país, incluyendo los resultados del portafolio de cultivos completo y desagregado. Para cada país se presenta los resultados de evaluación de riesgo bajo escenarios de cambios climático. Por último, se presenta un análisis del impacto de la sequía en el sector agrícola de cada país, evaluando tanto las pérdidas económicas como las reducciones en producción.

En el marco de este estudio la PAE o pérdida anual esperada se relaciona con pérdidas de flujos económicos que pueden tener un impacto en la economía de un país. Por otro lado la PPAE o pérdida de producción anual esperada es la relación entre la PAE y el avalúo del producto. La PPAE está relacionada con la reducción en la cosecha en términos de peso, son toneladas que se dejan de producir bajo condiciones de estrés hídrico y se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$PPAE = \frac{PAE}{Avalúo} \quad 6-2$$

La PAE está relacionada con impactos económicos mientras que la PPAE tiene mayores impactos en aspectos de seguridad alimentaria, por ejemplo, puede indicar cuál es el déficit de producción que pueda

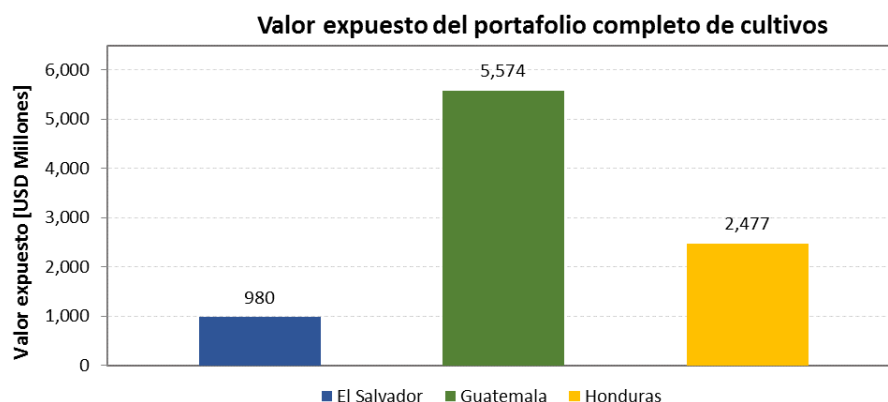


implicar la necesidad de importar alimentos para mantener la disponibilidad de alimento dentro del país. En la Sección 2.6 se hace una breve explicación de la interpretación de estos resultados.

## 6.1 Evaluación de riesgo físico para la región del Triángulo Norte de Centro América

La Figura 6-3, la Figura 6-4 y la Figura 6-5 muestra los resultados comparativos para los tres países en términos de valor expuesto, área total sembrada en el país, pérdida anual esperada y pérdida máxima probable del portafolio completo de cultivos para El Salvador, Guatemala y Honduras, bajo condiciones de clima actual. Guatemala es el país con el portafolio de mayor valor expuesto, mayor a \$5,574 millones de dólares, mientras que El Salvador tienen el portafolio más pequeño con \$980 millones de dólares. En términos de área sembrada, Guatemala tiene más de 2.3 millones de hectáreas de cultivos dentro del portafolio expuesto, mientras que Honduras tiene algo más de 911 mil hectáreas y El Salvador 633 mil hectáreas.

Al evaluar las pérdidas relativas al valor expuesto, es Honduras la que alcanza mayor PAE con 5.66%, mientras que para Guatemala es de 3.52% y para El Salvador de 3.77%. Esto indica que es Honduras el país que mayor riesgo sufre sobre su sector agrícola ante eventos amenazantes de sequía, y por el otro lado, Guatemala presenta el menor riesgo a pesar de contar con el portafolio de mayor valor y mayor área sembrada. También se presenta la pérdida anual esperada relativa al área sembrada de cada país. En este sentido, las pérdidas esperadas en El Salvador son \$58 USD/ha, para Guatemala son \$84 USD/ha y En Honduras \$154 USD/ha. Esto muestra que las condiciones de vulnerabilidad de Honduras son considerablemente más altas que en los otros dos países.



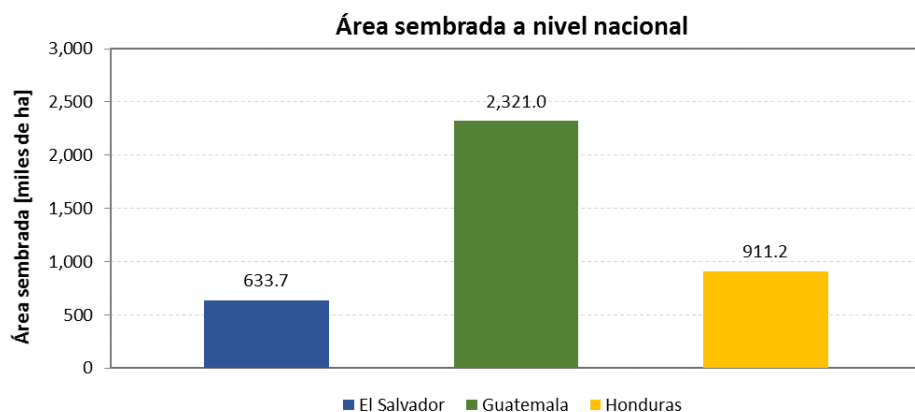


Figura 6-3. Comparación del valor expuesto (arriba) y del área sembrada a nivel nacional (abajo) del portafolio de cultivos completo para los tres países.

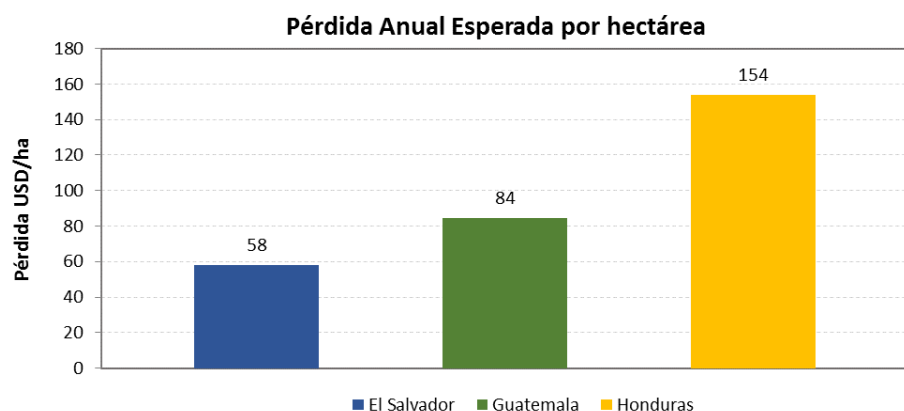
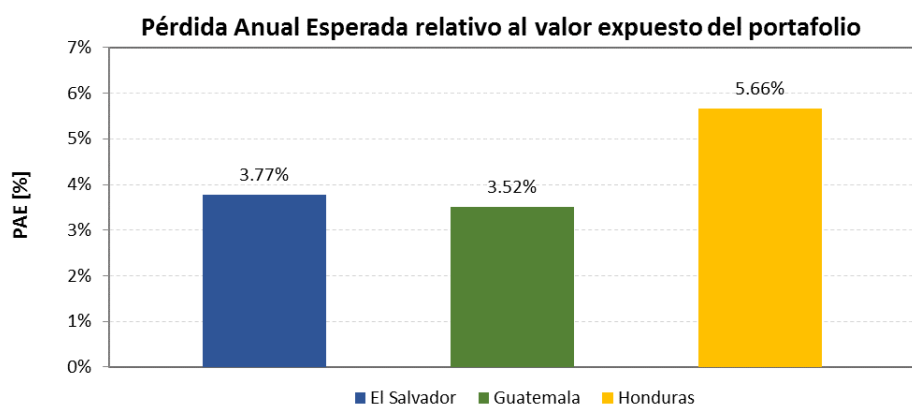


Figura 6-4. Comparación del valor de pérdida anual esperada relativa al valor expuesto (arriba) y al área sembrada total del país (abajo) del portafolio de cultivos completo para los tres países.

Las curvas que se presentan en la Figura 6-5 muestran cómo se alcanza valores de pérdida máxima probable en periodos de retorno pequeños y mantiene su nivel de pérdida constante para periodos de retorno altos. Esto puede indicar que la sequía como efecto amenazante genera pérdidas muy altas con mucha frecuencia, que está asociado también a la naturaleza transitoria de los cultivos como elementos



expuestos a esta amenaza. A pesar de que las curvas de pérdidas para Guatemala y Honduras son muy parecidas en cuanto a la pérdida que se alcanza para diferentes periodos de retorno, es importante indicar que en términos relativos, las pérdidas para Honduras son superiores al 30% respecto a su valor expuesto, mientras que en Guatemala estas pérdidas alcanzan el 17% de su valor expuesto. Esto quiere decir que el riesgo es más alto para Honduras, a pesar de alcanzar valores netos de pérdida en el mismo orden de magnitud. Las pérdidas para El Salvador están entre el 15 y 20% del su valor expuesto, para periodos de retorno hasta de 200 años.

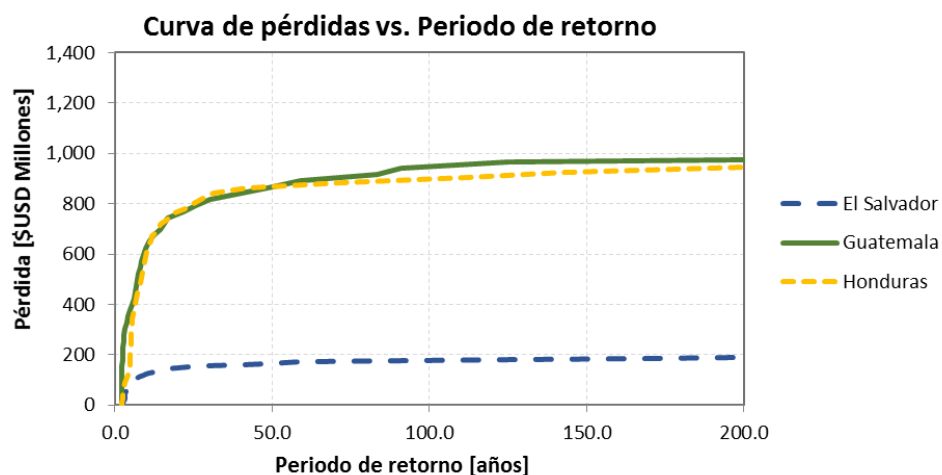


Figura 6-5. Comparación de las curvas de pérdidas vs. periodo de retorno para el portafolio de cultivos completo de los tres países.

## 6.2 Evaluación de riesgo físico para El Salvador

A continuación, se presentan los resultados de riesgo para la evaluación de riesgo por sequía en el sector agrícola en El Salvador. Para el total nacional y desagregado para cada producto considerado como elemento expuesto, se presenta la Pérdida Anual Esperada (valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras) y la curva de Pérdida Máxima Probable (relaciona las pérdidas a su correspondiente periodo de retorno).

En la Tabla 6-1 se muestran los resultados principales para la evaluación de riesgo por sequía en la agricultura de El Salvador. El portafolio completo de productos agrícolas está avaluado en \$979.8 millones de dólares, de los cuales el valor de pérdida anual esperada se estima en más de \$36.9 millones de dólares, lo que equivale al 3.77% de su valor expuesto. Esta tabla también muestra los valores de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, que varían entre 15 y 19.5% del valor expuesto total. Estos valores de PML se obtienen de la curva que se presenta en la Figura 6-6, que relaciona los valores de pérdida con una completa serie de años de periodo de retorno.

La Figura 6-7 muestra las curvas de probabilidad de excedencia a) de superar una pérdida en el siguiente años y b) de superar una pérdida en el siguiente evento amenazante. Por ejemplo, la probabilidad de exceder una pérdida de \$100 millones de dólares el siguiente año es de 20% mientras que la probabilidad de exceder esa misma pérdida en cualquier evento de sequía del conjunto simulado elegido al azar es de 38%.

Tabla 6-1. Resultados de riesgo para el portafolio completo en El Salvador

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$979.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$36.9
	%	3.77%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$146.895	15.0
50	\$166.265	17.0
100	\$179.013	18.3
200	\$190.379	19.5

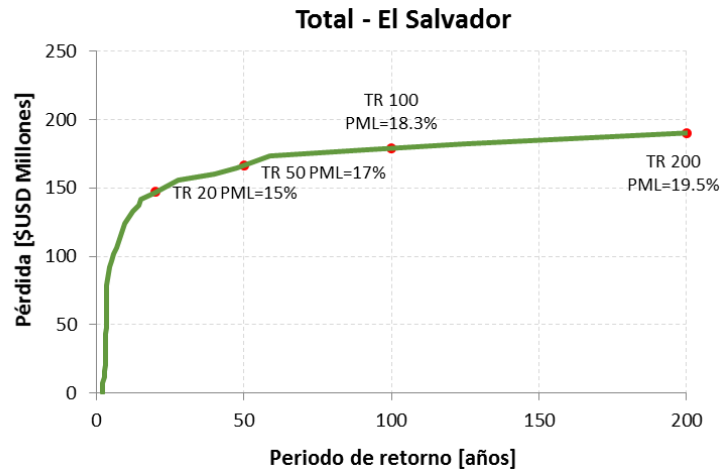


Figura 6-6. Curva de pérdidas vs. periodo de retorno para el portafolio completo en El Salvador.

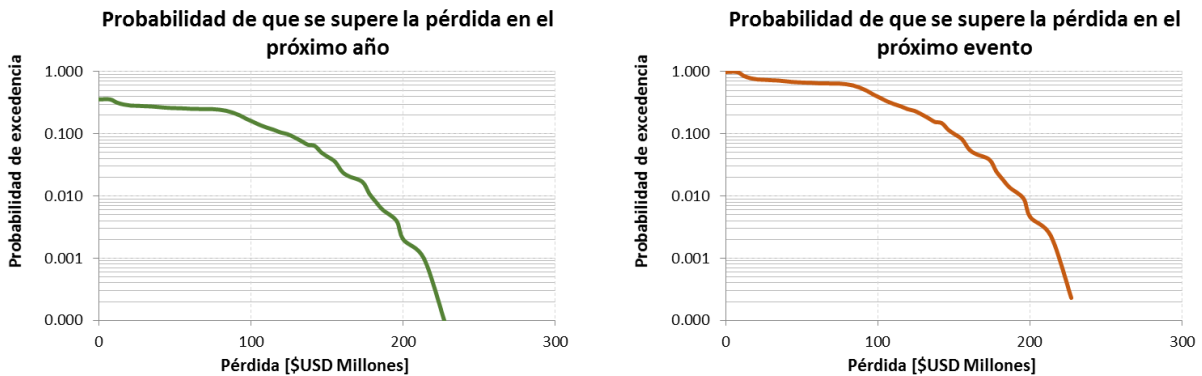


Figura 6-7. Curvas de probabilidad de excedencia de una pérdida para el portafolio completo en El Salvador. A la izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente año. A la izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente evento de sequía.

### 6.2.1 Pérdidas por tipo de cultivo

En la Tabla 6-2 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y en la Tabla 6-3 los resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por los cultivos que conforman el portafolio de El Salvador. Las cifras de valor expuesto muestran que los cultivos más importantes, en términos económicos, son el café, la caña, el maíz y el frijol. Los productos que reportan las PAE más altas son el sorgo de primera temporada de siembra y el maíz de primera temporada de siembra, tanto en monocultivo como asociado a otros productos. Por el otro lado, el café que es cultivo de mayor valor expuesto reporta una PAE de 1.94%, por debajo de la PAE nacional (3.77%). LA caña es el producto de menor PAE con 0.63% y valores de PML también bajos para todos los periodos de retorno, que se ubican entre 5 y 10%, con respecto a su valor expuesto.

En términos generales, todos los productos tienen valores altos de PML para los periodos de retorno determinados, el sorgo y el maíz de primera, que para 100 años de periodo de retorno superan el 40% de PML relativa.

Tabla 6-2. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos para El Salvador.

Producto	Valor Expuesto [USD millones]	PAE [USD millones]	PAE Relativo
Arroz	\$ 7.8	\$ 0.1	0.85%
Café	\$ 278.9	\$ 5.4	1.94%
Caña	\$ 201.9	\$ 1.3	0.63%
Cítricos	\$ 26.1	\$ 1.8	6.85%
Fríjol asociado a Maíz Postrera	\$ 4.3	\$ 0.1	1.82%
Fríjol asociado a Maíz Primera	\$ 65.0	\$ 5.3	8.08%
Fríjol Postrera	\$ 12.3	\$ 0.2	1.44%
Fríjol Primera	\$ 0.9	\$ 0.1	6.45%
Maíz asociado a Fríjol Postrera	\$ 4.3	\$ 0.1	1.28%
Maíz asociado a Fríjol Primera	\$ 64.7	\$ 6.2	9.58%
Maíz asociado a Sorgo Postrera	\$ 8.7	\$ 0.1	1.11%
Maíz asociado a Sorgo Primera	\$ 63.0	\$ 6.4	10.08%
Maíz Postrera	\$ 64.1	\$ 0.9	1.41%
Maíz Primera	\$ 103.9	\$ 2.4	2.31%
Sandía	\$ 8.9	\$ 0.7	7.47%
Sorgo asociado a Maíz Postrera	\$ 4.4	\$ 0.1	1.21%
Sorgo asociado a Maíz Primera	\$ 31.7	\$ 4.9	15.45%
Sorgo Postrera	\$ 10.5	\$ 0.1	1.28%
Sorgo Primera	\$ 2.0	\$ 0.3	13.50%
Tomate	\$ 16.4	\$ 0.8	4.84%
<b>Total - El Salvador</b>	<b>\$ 979.8</b>	<b>\$ 36.9</b>	<b>3.77%</b>

Tabla 6-3. Resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por cultivos para El Salvador.

Producto	PML [USD millones]							
	20	%	50	%	100	%	200	%
Arroz	\$0.3	4.1	\$0.7	8.9	\$0.9	11.1	\$1.2	15.3
Café	\$39.1	14.1	\$48.4	17.4	\$55.3	19.9	\$62.5	22.5
Caña	\$10.0	5.0	\$12.4	6.2	\$15.3	7.6	\$18.8	9.4
Cítricos	\$9.5	36.4	\$9.5	36.4	\$9.5	36.4	\$9.5	36.4
Frijol asociado a Maíz Postrera	\$0.5	11.3	\$0.6	14.7	\$0.7	16.1	\$0.8	18.3
Frijol asociado a Maíz Primera	\$18.8	29.0	\$19.7	30.3	\$20.6	31.8	\$20.8	32.0
Frijol Postrera	\$1.1	9.0	\$1.3	10.8	\$1.5	12.3	\$1.6	13.4
Frijol Primera	\$0.2	23.7	\$0.2	25.1	\$0.2	26.4	\$0.2	28.2
Maíz asociado a Frijol Postrera	\$0.3	7.5	\$0.4	10.4	\$0.5	12.0	\$0.6	13.4
Maíz asociado a Frijol Primera	\$22.8	35.2	\$23.9	37.0	\$24.6	38.1	\$25.1	38.8
Maíz asociado a Sorgo Postrera	\$0.5	6.2	\$0.9	10.0	\$1.0	11.2	\$1.1	12.6
Maíz asociado a Sorgo Primera	\$23.5	37.3	\$24.5	38.9	\$25.2	40.1	\$25.4	40.4
Maíz Postrera	\$5.3	8.3	\$6.3	9.8	\$7.6	11.9	\$9.8	15.3
Maíz Primera	\$12.6	12.2	\$16.5	16.0	\$18.3	17.7	\$21.8	21.0
Sandía	\$3.1	34.7	\$3.4	37.5	\$3.4	38.1	\$3.6	40.1
Sorgo asociado a Maíz Postrera	\$0.3	7.4	\$0.6	13.4	\$0.8	17.6	\$1.0	22.7
Sorgo asociado a Maíz Primera	\$17.9	56.5	\$18.2	57.4	\$18.3	57.8	\$18.6	58.7
Sorgo Postrera	\$0.8	7.9	\$1.4	13.2	\$1.6	15.4	\$2.2	21.0
Sorgo Primera	\$1.5	74.8	\$1.6	80.0	\$1.6	81.5	\$1.6	82.9
Tomate	\$4.3	26.5	\$4.8	29.4	\$5.1	31.4	\$5.4	33.0
<b>Total - El Salvador</b>	<b>\$146.9</b>	<b>15.0</b>	<b>\$166.3</b>	<b>17.0</b>	<b>\$179.0</b>	<b>18.3</b>	<b>\$190.4</b>	<b>19.5</b>

En el Anexo A. 11.1 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y pérdida máxima probable, así como las curvas de pérdidas vs. periodo de retorno y probabilidad de excedencia de la pérdida en el próximo año para cada uno de los productos y temporalidades considerados en la estimación de riesgo para El Salvador.

## 6.2.2 Efectos del cambio climático en el riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

La Figura 6-8 muestra, para los diferentes escenarios de clima considerados, las proyecciones de cambio en precipitación y temperatura en cada una de las 148 estaciones virtuales consideradas en el estudio. Esta gráfica permite concluir que para el escenario RCP2.6 en algunas de las estaciones se esperan lluvias por encima de lo registrado en el escenario base (punto verde ubicado en el punto 0,0 de la gráfica), mientras que para el escenario RCP4.5 y RCP8.5 se proyectan menores lluvias. También se puede afirmar que los diferentes escenarios de cambio climático proyectan incremento de la temperatura en todos los casos.

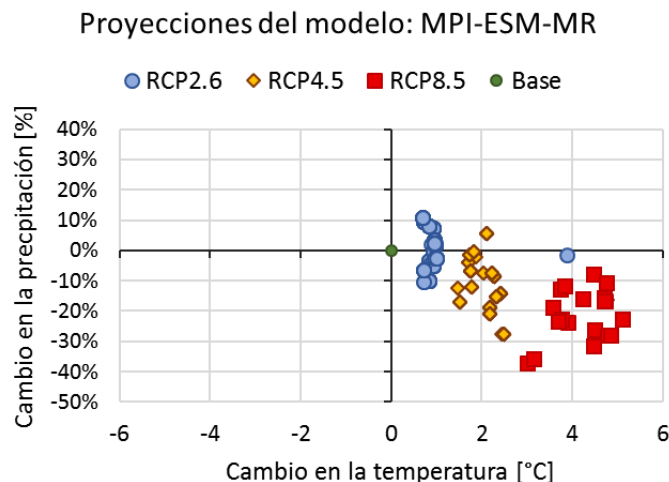


Figura 6-8. Proyecciones medias anuales de cambio en precipitación (eje vertical) y cambio en temperatura (eje horizontal) según modelo MPI-ESM-MR para tres escenarios de RCP para las 148 estaciones virtuales.

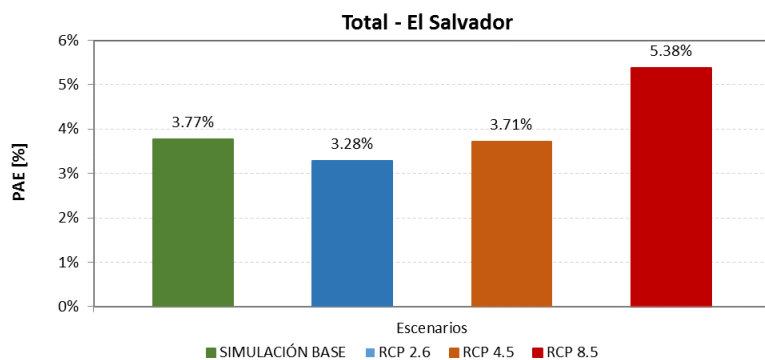
Esta relación entre las proyecciones de cambios en precipitación total diaria y temperatura media anual son útiles para interpretar los resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de El Salvador, que se muestran de forma resumida en la Tabla 6-4 y detalles comparativos de las curvas de riesgo en la Figura 6-9. Los resultados permiten ver como para el escenario RCP2.6 la PAE es de 3.28%, inferior a los otros tres escenarios de clima, incluyendo el clima base cuya PAE es de 3.77%. Esto indica que las mayores precipitaciones que se observan en el escenario RCP2.6 definen condiciones que favorecen el rendimiento de cultivos, por lo que sus pérdidas son menores. Por el contrario, para los escenarios RCP8.5 la PAE es mayor que en el escenario de clima base, con valor 5.38%. Es decir, la combinación de mayores temperaturas y menor precipitación configuran condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos por lo que no alcanzan el rendimiento óptimo y son mayores las pérdidas en las áreas cultivadas de cada producto. En términos de riesgo físico, el escenario RCP4.5 no implica incrementos en las pérdidas anuales esperadas asociadas a la producción del sector agropecuario, pero si se presentan incrementos en las pérdidas máximas probables para diferentes periodos de retorno, como se muestra a continuación.

La Tabla 6-4 también muestra el resultado de PML para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, para los cuatro escenarios de clima evaluados. Las curvas que definen estos valores puntuales de PML se muestra en la Figura 6-9. Como en el caso de la PAE, para el escenario de RCP 2.6 los valores de PML para cualquier periodo de retorno son más bajos que los resultados de clima base, RCP4.5 o RCP8.5. Así mismo, los valores para el escenario RCP8.5 son los más altos para todos los periodos de retorno (hasta 28.5% relativo a su valor expuesto). Ahora bien, para periodos de retorno bajos menores a 10 años, la diferencia entre escenarios de clima base y RCP 4.5 no es clara, lo que parece indicar que, aunque para el escenario RCP4.5 se tienen precipitaciones menores hasta el 10% comparado con el clima base, el aumento de dos grados de temperatura favorece la transpiración de las plantas e incrementa su producción de biomasa y cosecha que implica menores pérdidas asociadas a alta frecuencia de eventos. El aumento de la transpiración parece tener un efecto positivo mayor que el efecto de déficit hídrico por menores lluvias y en consecuencia menor valor de pérdida.

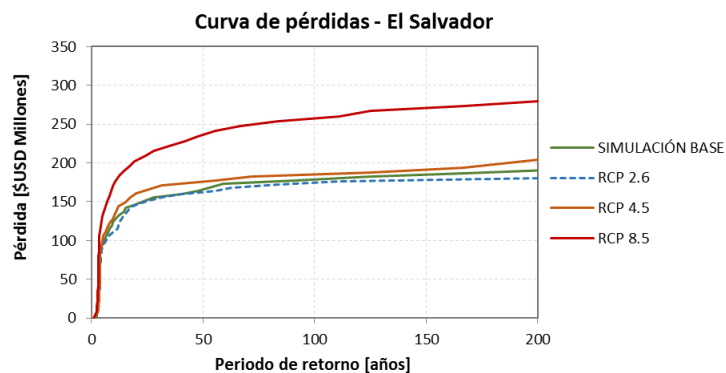
Tabla 6-4. Resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de El Salvador para los escenarios de clima base y con cambio climático RCP 2.6, 4.5 y 8.5

<b>Valor Expuesto</b>	USD Millones	979.8	<b>Total - El Salvador</b>					
<b>Resultados</b>	<b>SIMULACIÓN BASE</b>		<b>RCP 2.6</b>		<b>RCP 4.5</b>		<b>RCP 8.5</b>	
<b>PAE</b>	USD Millones	36.9	USD Millones	32.2	USD Millones	36.4	USD Millones	52.7
	%	3.77%	%	3.28%	%	3.71%	%	5.38%
<b>PML</b>								
<b>Periodo retorno</b>	<b>SIMULACIÓN BASE</b>		<b>RCP 2.6</b>		<b>RCP 4.5</b>		<b>RCP 8.5</b>	
<b>años</b>	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%
<b>20</b>	\$146.9	15.0	\$146.6	15.0	\$160.6	16.4	\$203.4	20.8
<b>50</b>	\$166.3	17.0	\$162.5	16.6	\$175.8	17.9	\$236.5	24.1
<b>100</b>	\$179.0	18.3	\$174.5	17.8	\$185.4	18.9	\$257.8	26.3
<b>200</b>	\$190.4	19.4	\$180.1	18.4	\$204.4	20.9	\$279.7	28.5

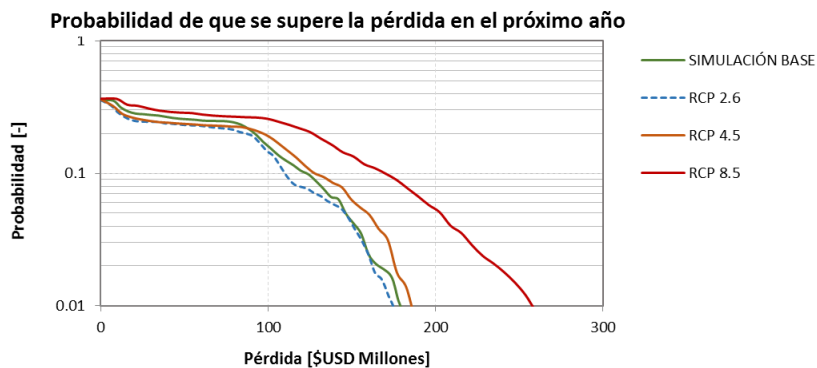
a) *Pérdida Anual Esperada*



b) *Pérdida máxima probable según período de retorno*



c) Probabilidad de excedencia de una pérdida para el siguiente año



d) Probabilidad de excedencia de una pérdida en el siguiente evento

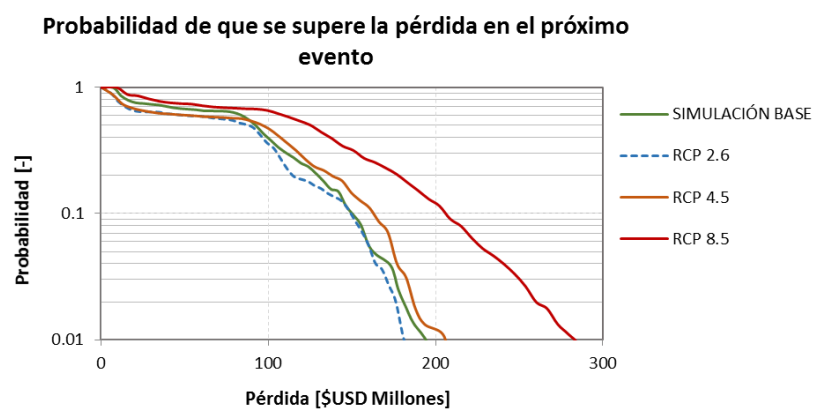


Figura 6-9. Resultados de riesgo por sequía para El Salvador comparando escenarios de clima base y proyecciones de cambio climático para RCP 2.6, 4.5 y 8.5.

La Tabla 6-5 muestra los resultados de pérdida anual esperada para cada uno de los escenarios de clima, desagregado por los cultivos considerados en el análisis. En todos los casos, las PAE incrementan para el escenario de clima RCP 8.5 con casos particulares como el maíz y el sorgo donde el incremento de la PAE, comparado al clima base, es alto. Para el caso del café, el cultivo de mayor valor expuesto, la PAE para los escenarios de cambio climático siempre está por debajo que la PAE del portafolio completo.

Tabla 6-5. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos y escenarios de clima para El Salvador.

Producto	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
Arroz	\$ 0.1	0.85%	\$ 0.05	0.60%	\$ 0.1	0.98%	\$ 0.2	2.98%
Café	\$ 5.4	1.94%	\$ 4.8	1.72%	\$ 4.8	1.73%	\$ 9.1	3.27%
Caña	\$ 1.3	0.63%	\$ 1.0	0.52%	\$ 1.6	0.81%	\$ 2.5	1.22%
Cítricos	\$ 1.8	6.85%	\$ 1.5	5.70%	\$ 1.6	6.07%	\$ 1.9	7.40%
Frijol asociado a Maíz Postrera	\$ 0.1	1.82%	\$ 0.1	2.00%	\$ 0.1	2.41%	\$ 0.1	2.90%
Frijol asociado a Maíz Primera	\$ 5.3	8.08%	\$ 4.5	6.93%	\$ 4.8	7.40%	\$ 6.0	9.27%
Frijol Postrera	\$ 0.2	1.44%	\$ 0.2	1.38%	\$ 0.2	1.47%	\$ 0.3	2.15%
Frijol Primera	\$ 0.1	6.45%	\$ 0.0	5.56%	\$ 0.1	6.04%	\$ 0.1	7.72%
Maíz asociado a Frijol Postrera	\$ 0.1	1.28%	\$ 0.1	1.22%	\$ 0.1	1.63%	\$ 0.1	3.27%
Maíz asociado a Frijol Primera	\$ 6.2	9.58%	\$ 5.3	8.21%	\$ 5.7	8.89%	\$ 7.2	11.09%
Maíz asociado a Sorgo Postrera	\$ 0.1	1.11%	\$ 0.1	1.05%	\$ 0.1	1.68%	\$ 0.3	3.65%
Maíz asociado a Sorgo Primera	\$ 6.4	10.08%	\$ 5.5	8.67%	\$ 5.9	9.41%	\$ 7.2	11.46%
Maíz Postrera	\$ 0.9	1.41%	\$ 1.0	1.50%	\$ 1.3	2.10%	\$ 3.3	5.09%
Maíz Primera	\$ 2.4	2.31%	\$ 2.1	2.00%	\$ 3.3	3.21%	\$ 6.1	5.83%
Sandía	\$ 0.7	7.47%	\$ 0.7	7.49%	\$ 0.7	7.49%	\$ 0.9	9.50%
Sorgo asociado a Maíz Postrera	\$ 0.1	1.21%	\$ 0.1	1.33%	\$ 0.1	1.76%	\$ 0.2	4.06%
Sorgo asociado a Maíz Primera	\$ 4.9	15.45%	\$ 4.2	13.35%	\$ 4.5	14.31%	\$ 5.4	17.07%
Sorgo Postrera	\$ 0.1	1.28%	\$ 0.1	1.19%	\$ 0.2	1.74%	\$ 0.5	4.45%
Sorgo Primera	\$ 0.3	13.50%	\$ 0.2	11.53%	\$ 0.3	13.80%	\$ 0.4	18.39%
Tomate	\$ 0.8	4.84%	\$ 0.7	4.33%	\$ 0.8	4.66%	\$ 1.1	6.53%
<b>Total - El Salvador</b>	<b>\$ 36.9</b>	<b>3.77%</b>	<b>\$ 32.2</b>	<b>3.28%</b>	<b>\$ 36.4</b>	<b>3.71%</b>	<b>\$ 52.7</b>	<b>5.38%</b>

### 6.2.3 Resultados de riesgo por sequía desagregados por departamento

Una vez calculados los resultados de riesgo por tipo de cultivo, se acumularon los valores de valor expuesto y pérdida anual esperada para cada departamento de El Salvador, con el fin de analizar los resultados de forma espacial y reportar pérdidas asociadas a divisiones administrativas dentro del país. Es así como se obtiene el valor expuesto del portafolio completo como la suma del valor expuesto de cada cultivo en cada departamento y las PAE para cada producto (el valor expuesto y la PAE y se pueden agregar de forma directa, a diferencia de las PML que se deben recalcular). Los resultados del valor expuesto por departamento se muestran en la Figura 6-10. Los resultados de PAE de cada departamento, para los cuatro escenarios de clima considerados, se muestran en la Tabla 6-6 y en formato de mapas en la Figura 6-11.

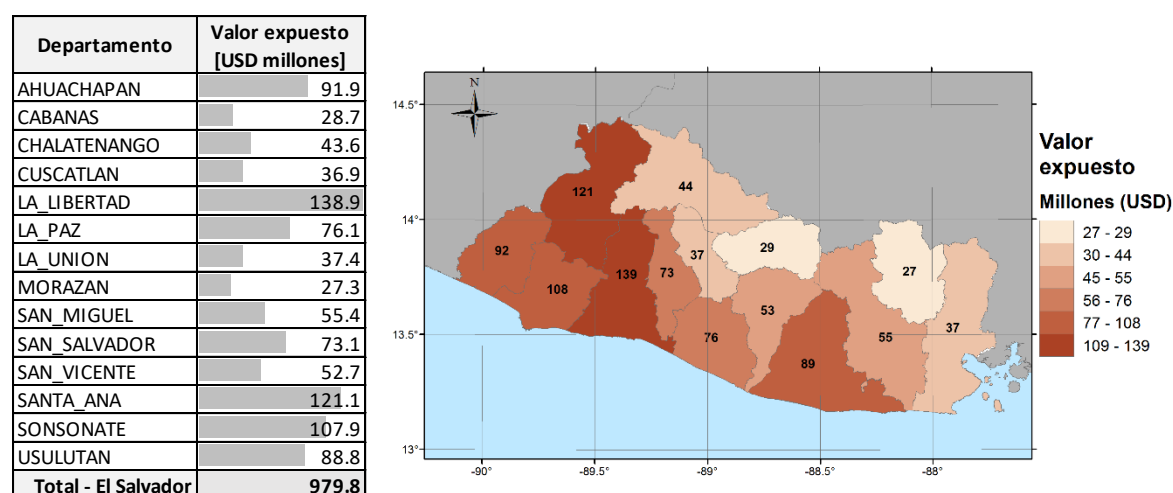


Figura 6-10. Valor expuesto en millones de USD para El Salvador.



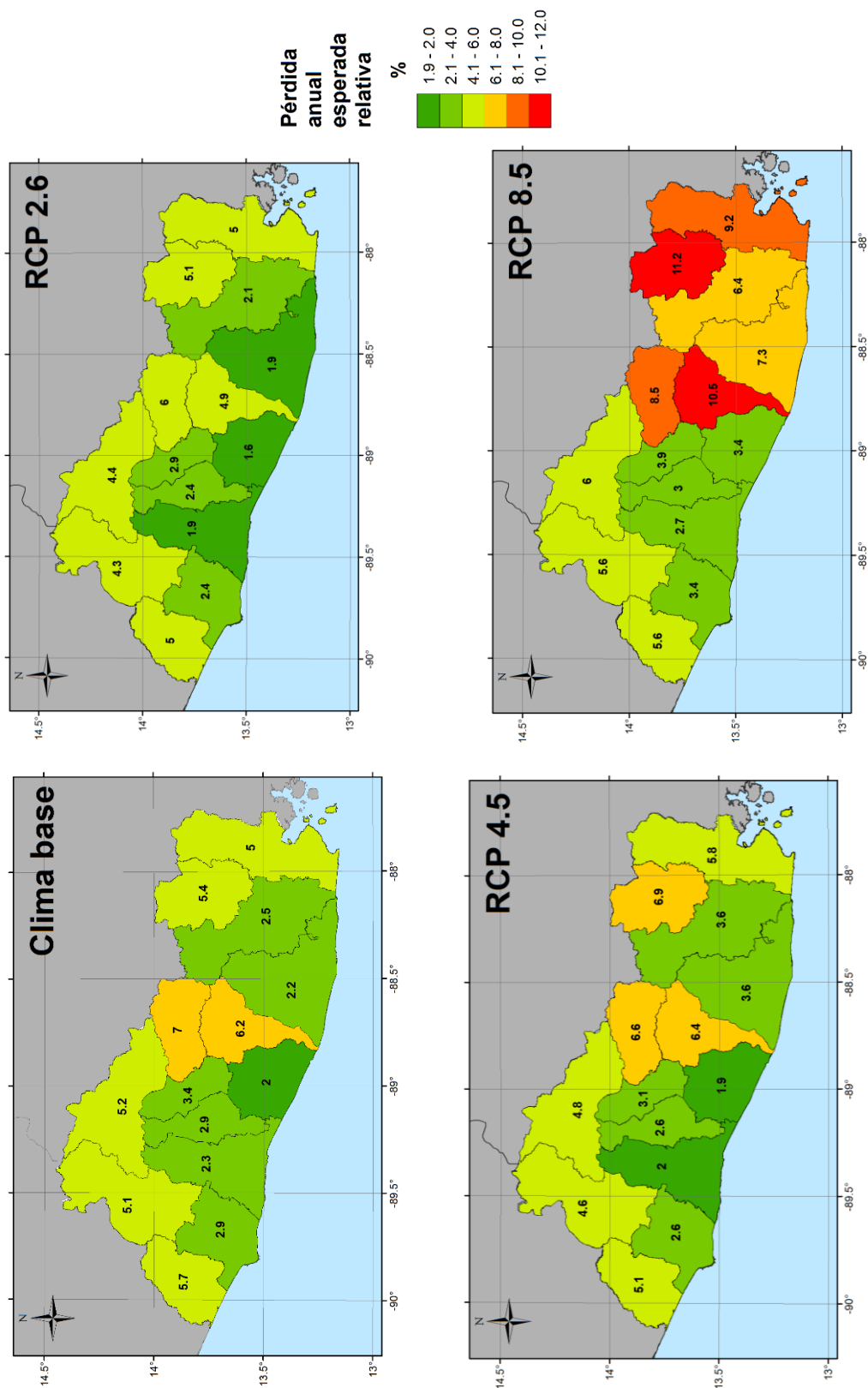


Figura 6-11. Mapas de pérdida anual esperada relativa (%) para El Salvador.

Tabla 6-6. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por departamento y escenarios de clima para El Salvador.

Departamento	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
AHUACHAPAN	\$ 5.2	5.69%	\$ 4.6	4.96%	\$ 4.7	5.14%	\$ 5.1	5.56%
CABANAS	\$ 2.0	6.97%	\$ 1.7	5.95%	\$ 1.9	6.60%	\$ 2.5	8.54%
CHALATENANGO	\$ 2.3	5.24%	\$ 1.9	4.39%	\$ 2.1	4.79%	\$ 2.6	5.95%
CUSCATLAN	\$ 1.3	3.44%	\$ 1.1	2.90%	\$ 1.1	3.09%	\$ 1.4	3.92%
LA LIBERTAD	\$ 3.2	2.29%	\$ 2.7	1.95%	\$ 2.8	2.04%	\$ 3.7	2.68%
LA PAZ	\$ 1.5	1.97%	\$ 1.2	1.62%	\$ 1.4	1.88%	\$ 2.6	3.39%
LA UNION	\$ 1.9	5.04%	\$ 1.9	4.96%	\$ 2.2	5.80%	\$ 3.5	9.23%
MORAZAN	\$ 1.5	5.41%	\$ 1.4	5.08%	\$ 1.9	6.93%	\$ 3.1	11.19%
SAN MIGUEL	\$ 1.4	2.48%	\$ 1.2	2.13%	\$ 2.0	3.55%	\$ 3.5	6.39%
SAN SALVADOR	\$ 2.1	2.90%	\$ 1.8	2.44%	\$ 1.9	2.60%	\$ 2.2	3.01%
SAN VICENTE	\$ 3.2	6.17%	\$ 2.6	4.94%	\$ 3.4	6.37%	\$ 5.5	10.52%
SANTA ANA	\$ 6.2	5.10%	\$ 5.3	4.34%	\$ 5.5	4.56%	\$ 6.8	5.59%
SONSONATE	\$ 3.1	2.88%	\$ 2.6	2.40%	\$ 2.8	2.56%	\$ 3.7	3.42%
USULUTAN	\$ 1.9	2.16%	\$ 1.6	1.86%	\$ 3.2	3.56%	\$ 6.5	7.34%

Los departamentos con mayor valor expuesto son La Libertad, Santa Ana, Sonsonate y Ahuachapán; mientras que Morazán, Cabañas y Cuscatlán tienen el valor menor expuesto. Sin embargo, Los valores más altos de PAE relativa se presentan en Morazán, al noreste del país, para todos los escenarios de clima. En términos generales, como se muestra en los mapas, los departamentos de la zona oriental del país (Usulután, San Miguel, Morazán, La Unión, San Vicente y Cabañas) reportan las PAE relativas más altas. Estos son los departamentos más cercanos a la zona conocida como el Corredor Seco Centroamericano.

#### 6.2.4 Impacto del riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

Una vez obtenidos los resultados de riesgo por sequía para El Salvador, se pueden analizar estos valores en términos de su impacto en la economía nacional, así como en la reducción esperada de la producción que puede tener algún impacto en términos de seguridad alimentaria.

En cuanto a la comparación con indicadores económicos, según reportes del Banco Mundial para 2017, el Producto Interno Bruto (PIB) de El Salvador es de \$24,805 millones de dólares (a precios actuales). La contribución nacional del sector de Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca es el 11.9% del aporte al PIB Nacional del cual cerca del 6% corresponde a actividades agrícolas únicamente (BCR, 2016). El valor expuesto del portafolio de cultivos incluido en esta evaluación de riesgo por sequía, que es de \$979.8 millones de dólares, que es equivalente al 3.95% del PIB Nacional. Esta cifra mantiene el orden de magnitud de la participación del subsector agrícola en la economía nacional.

En términos de pérdidas económicas esperadas, la Tabla 6-7 muestra la relación entre la pérdida anual esperada del portafolio completo de cultivos, para el escenario de clima base y los escenarios de cambio climático, con respecto al PIB Nacional. La PAE es el valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras. Se puede ver cómo el efecto de las sequías tiene un impacto en la economía del país. Las pérdidas anuales esperadas corresponden a 0.15% del PIB en el escenario de clima base, y se incrementa hasta casi 0.21 puntos del PIB para el escenario de RCP8.5. Esto implica que en El Salvador el riesgo por sequía de cultivos de secano, incluidos en este estudio, es considerable y es recomendable considerar la aplicación de prácticas agrícolas que permitan prevenir estas pérdidas.

Tabla 6-7. Pérdida anual esperada para el portafolio completo de cultivos de El Salvador y su relación con el PIB Nacional

El Salvador	PAE [USD Millones]	PAE/PIB <sub>2017</sub> [%]
<b>Clima Base</b>	\$36.9	0.15%
<b>RCP 2.6</b>	\$32.2	0.13%
<b>RCP 4.5</b>	\$36.4	0.15%
<b>RCP 8.5</b>	\$52.7	0.21%

Por otro lado, a partir de los resultados de este estudio se pueden estimar las pérdidas de producción anual esperada (PPAE). La PPAE equivale a la producción que se debe reservar cada año para compensar las pérdidas en producción en el futuro. Estos valores son útiles para evaluar el riesgo en términos de impactos de las sequías en la seguridad alimentaria y derivar en iniciativas que apoyen cada subsector de forma priorizada. La Tabla 6-8 muestra el resultado de pérdidas en toneladas del portafolio de granos básicos de El Salvador, considerando que son productos de la dieta básica. Una baja disponibilidad de estos alimentos tiene un impacto directo en el acceso de la población común y son los productos de mayor participación en los cultivos de subsistencia. Es así como el maíz reporta las PPAE más altas, para los cuatro escenarios de clima y en sus dos tiempos de siembra (primera en mayo y postrera en agosto). Por otro lado, el sorgo y el frijol reportan PPAE bajas en todos los escenarios de clima para temporalidades de siembra diferentes a primera (siembra en mayo). Entonces, los productos de granos básicos que típicamente se siembran en mayo están en mayor riesgo de disminuir su producción por efecto de la ocurrencia de sequías.

Tabla 6-8. Pérdida de producción anual esperada para el portafolio de granos básicos de El Salvador.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]
Arroz	158	111	181	552
Fríjol asociado a Maíz Postrera	72	79	95	114
Fríjol asociado a Maíz Primera	4,777	4,099	4,378	5,481
Fríjol Postrera	161	153	164	239
Fríjol Primera	51	44	48	61
Maíz asociado a Fríjol Postrera	156	149	199	398
Maíz asociado a Fríjol Primera	17,532	15,016	16,259	20,284
Maíz asociado a Sorgo Postrera	273	257	413	896
Maíz asociado a Sorgo Primera	17,981	15,457	16,786	20,439
Maíz Postrera	2,550	2,717	3,812	9,218
Maíz Primera	6,785	5,878	9,438	17,125
Sorgo asociado a Maíz Postrera	156	172	229	528
Sorgo asociado a Maíz Primera	14,564	12,592	13,493	16,098
Sorgo Postrera	401	371	544	1,392
Sorgo Primera	789	674	807	1,075

En cuanto a las pérdidas máximas probables, la Tabla 6-9 presenta los resultados para 100 años de periodo de retorno de la pérdida (no del evento amenazante). Entonces para una pérdida que en promedio se espera cada 100 años, para el caso crítico se estiman pérdidas en la producción de más de 75,000 toneladas en el maíz de siembra de postrera y 90,000 toneladas para el maíz de siembra de primera. En

general todos los productos considerados dentro del portafolio de granos básicos reportan altas pérdidas de producción.

Tabla 6-9. Pérdida máxima probable para 100 años de periodo para el portafolio de granos básicos de El Salvador.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]
Arroz	2,049	1,173	2,508	5,463
Fríjol asociado a Maíz Postrera	632	759	864	1,068
Fríjol asociado a Maíz Primera	18,770	17,705	19,165	21,367
Fríjol Postrera	1,364	1,402	1,514	1,897
Fríjol Primera	210	207	232	256
Maíz asociado a Fríjol Postrera	1,453	1,609	2,386	3,681
Maíz asociado a Fríjol Primera	69,626	66,745	69,917	79,259
Maíz asociado a Sorgo Postrera	2,741	2,929	5,001	7,514
Maíz asociado a Sorgo Primera	71,379	68,794	71,903	78,095
Maíz Postrera	21,415	23,498	48,200	75,398
Maíz Primera	51,751	49,260	64,667	91,576
Sorgo asociado a Maíz Postrera	2,279	2,699	2,877	5,302
Sorgo asociado a Maíz Primera	54,466	54,093	55,099	60,982
Sorgo Postrera	4,811	5,751	6,638	12,249
Sorgo Primera	4,764	4,744	4,666	5,215

### 6.3 Evaluación de riesgo físico para Guatemala

A continuación, se presentan los resultados de riesgo para la evaluación de riesgo por sequía en el sector agrícola en Guatemala. Para el total nacional y desagregado para cada producto considerado como elemento expuesto, se presenta la Pérdida Anual Esperada (valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras) y la curva de Pérdida Máxima Probable (relaciona las pérdidas a su correspondiente periodo de retorno).

En la Tabla 6-10 se muestran los resultados principales para la evaluación de riesgo por sequía en la agricultura de Guatemala. El portafolio completo de productos agrícolas está avaluado en \$5,573 millones de dólares, de los cuales el valor de pérdida anual esperada se estima en más de \$196 millones de dólares, lo que equivale al 3.52% de su valor expuesto. Esta tabla también muestra los valores de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, que varían entre 13.7 y 17.5% del valor expuesto total. Estos valores de PML se obtienen de la curva que se presenta en la Figura 6-12, que relaciona los valores de pérdida con una completa serie de años de periodo de retorno.

La Figura 6-13 muestra las curvas de probabilidad de excedencia a) de superar una pérdida en el siguiente años y b) de superar una pérdida en el siguiente evento amenazante. Por ejemplo, la probabilidad de exceder una pérdida de \$500 millones de dólares el siguiente año es de 13% mientras que la probabilidad de exceder esa misma pérdida en cualquier evento de sequía del conjunto simulado elegido al azar es de 32%.

Tabla 6-10. Resultados de riesgo para el portafolio completo en Guatemala

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$5,573.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$196.1
	%	3.52%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$760.642	13.7
50	\$867.046	15.6
100	\$947.083	17.0
200	\$973.870	17.5

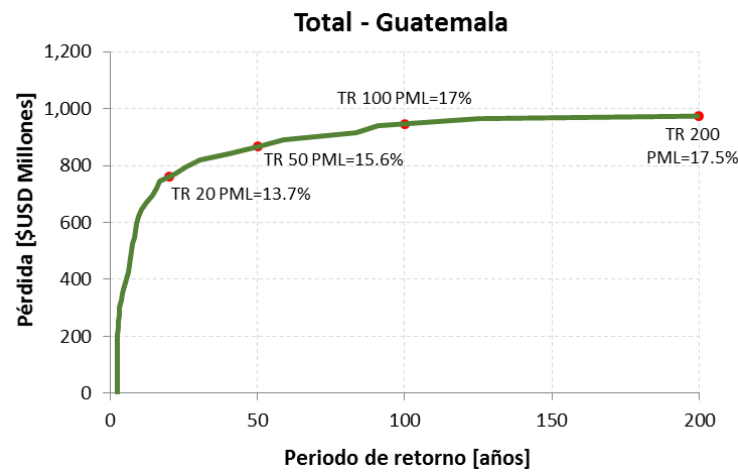


Figura 6-12. Curva de pérdidas vs. periodo de retorno para el portafolio completo en Guatemala.

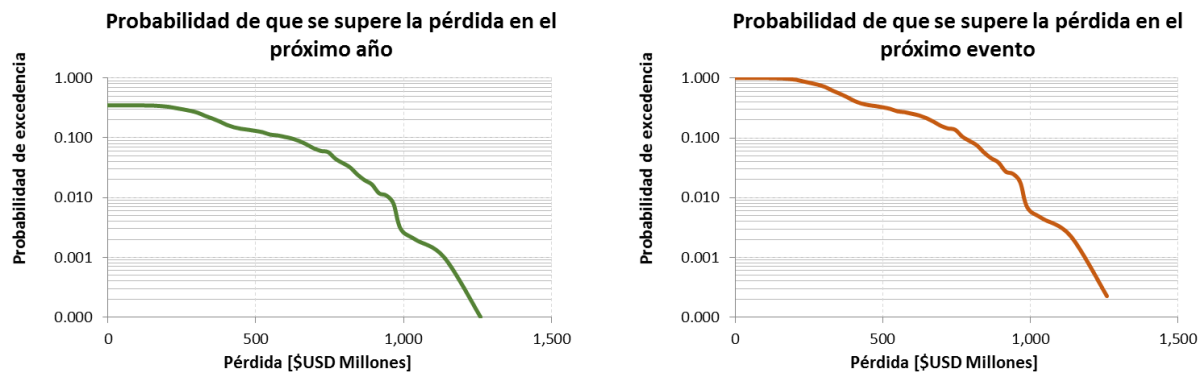


Figura 6-13. Curvas de probabilidad de excedencia de una pérdida para el portafolio completo en Guatemala. A la izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente año. A la izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente evento de sequía.

### 6.3.1 Pérdidas por tipo de cultivo

En la Tabla 6-11 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y en la Tabla 6-12 los resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por los cultivos que conforman el portafolio de Guatemala. Las cifras de valor expuesto muestran que los cultivos más importantes, en términos económicos, son el café, el banano, la caña y el maíz. Los productos que reportan las PAE más altas son el maíz, el frijol y el melón. Por el otro lado, el café que es cultivo de mayor valor expuesto reporta una PAE de 1.3%, considerablemente menor a la PAE nacional (3.5%).

En términos generales, todos los productos tienen valores altos de PML para los periodos de retorno determinados, como el melón y el maíz y frijol (de la región norte sembrado en postrera y de ciclo largo sembrado en primera), que para 100 años de periodo de retorno superan el 40% de PML relativa.

En el Anexo A. 11.2 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y pérdida máxima probable, así como las curvas de pérdidas vs. periodo de retorno y probabilidad de excedencia de la pérdida en el próximo año para cada uno de los productos y temporalidades considerados en la estimación de riesgo para Guatemala.

Tabla 6-11. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos para Guatemala.

Producto	Valor Expuesto [USD millones]	PAE [USD millones]	PAE Relativo
Arroz	\$ 30.2	\$ 1.4	4.6%
Banano	\$ 837.2	\$ 17.8	2.1%
Café	\$ 1,757.5	\$ 23.0	1.3%
Caña	\$ 666.7	\$ 26.3	3.9%
Cítricos	\$ 39.1	\$ 0.9	2.2%
Fríjol ciclo corto Postrera	\$ 105.1	\$ 2.2	2.1%
Fríjol ciclo corto Primera	\$ 70.1	\$ 2.9	4.1%
Fríjol ciclo largo Primera	\$ 60.5	\$ 9.0	14.8%
Fríjol Norte Postrera	\$ 71.8	\$ 8.5	11.9%
Fríjol Norte Primera	\$ 47.8	\$ 0.2	0.5%
Maíz ciclo corto Postrera	\$ 186.4	\$ 4.0	2.2%
Maíz ciclo corto Primera	\$ 258.9	\$ 0.4	0.2%
Maíz ciclo largo Primera	\$ 296.6	\$ 48.3	16.3%
Maíz Norte Postrera	\$ 123.7	\$ 19.1	15.4%
Maíz Norte Primera	\$ 171.8	\$ 1.3	0.7%
Mango	\$ 65.8	\$ 1.1	1.7%
Melón	\$ 101.1	\$ 17.5	17.3%
Palma	\$ 90.2	\$ 0.3	0.4%
Papa	\$ 225.5	\$ 4.6	2.0%
Plátano	\$ 85.1	\$ 3.5	4.1%
Tomate	\$ 282.6	\$ 3.7	1.3%
<b>Total - Guatemala</b>	<b>\$ 5,573.8</b>	<b>\$ 196.1</b>	<b>3.5%</b>

Tabla 6-12. Resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por cultivos para Guatemala.

Producto	PML [USD millones]							
	20	%	50	%	100	%	200	%
Arroz	\$7.8	25.8	\$10.0	33.2	\$11.6	38.4	\$13.3	44.1
Banano	\$126.7	15.2	\$158.2	18.9	\$171.4	20.5	\$181.5	21.7
Café	\$159.8	9.1	\$220.2	12.6	\$246.3	14.1	\$269.6	15.4
Caña	\$173.4	26.1	\$192.5	28.9	\$221.6	33.3	\$233.3	35.0
Cítricos	\$4.7	12.0	\$4.7	12.0	\$4.7	12.1	\$4.7	12.1
Frijol ciclo corto Postrera	\$14.3	13.6	\$16.8	16.1	\$18.1	17.3	\$19.3	18.4
Frijol ciclo corto Primera	\$10.1	14.4	\$10.3	14.7	\$10.4	14.9	\$10.5	15.0
Frijol ciclo largo Primera	\$28.4	46.9	\$28.6	47.4	\$28.9	47.8	\$29.1	48.2
Frijol Norte Postrera	\$34.6	48.2	\$38.9	54.2	\$41.2	57.4	\$43.0	59.9
Frijol Norte Primera	\$1.2	2.5	\$1.3	2.7	\$1.3	2.7	\$1.3	2.8
Maíz ciclo corto Postrera	\$23.4	12.6	\$27.2	14.6	\$28.7	15.5	\$30.8	16.6
Maíz ciclo corto Primera	\$1.9	0.8	\$2.1	0.9	\$2.2	0.9	\$2.5	1.0
Maíz ciclo largo Primera	\$127.8	43.1	\$128.2	43.3	\$128.5	43.4	\$128.7	43.4
Maíz Norte Postrera	\$72.9	59.0	\$78.6	63.6	\$81.5	66.0	\$86.1	69.7
Maíz Norte Primera	\$5.9	3.5	\$6.8	4.0	\$8.1	4.8	\$8.7	5.1
Mango	\$7.4	11.3	\$7.7	11.7	\$7.8	11.9	\$7.9	12.1
Melón	\$81.4	80.6	\$90.5	89.5	\$95.7	94.7	\$97.3	96.3
Palma	\$2.2	2.5	\$2.7	3.0	\$3.0	3.3	\$3.2	3.6
Papa	\$24.0	10.7	\$33.2	14.8	\$40.7	18.1	\$46.6	20.7
Plátano	\$21.3	25.0	\$23.7	27.9	\$25.1	29.5	\$26.3	31.0
Tomate	\$25.3	9.0	\$32.3	11.5	\$40.9	14.5	\$47.4	16.8
<b>Total - Guatemala</b>	<b>\$760.6</b>	<b>13.7</b>	<b>\$867.0</b>	<b>15.6</b>	<b>\$947.1</b>	<b>17.0</b>	<b>\$973.9</b>	<b>17.5</b>

### 6.3.2 Efectos del cambio climático en el riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

La Figura 6-14 muestra, para los diferentes escenarios de clima considerados, las proyecciones de cambio en precipitación y temperatura en cada una de las 148 estaciones virtuales consideradas en el estudio. Esta gráfica permite concluir que para el escenario RCP2.6 en algunas de las estaciones se esperan lluvias por encima de lo registrado en el escenario base (punto verde ubicado en el punto 0,0 de la gráfica), mientras que para el escenario RCP4.5 y RCP8.5 se proyectan menores lluvias. También se puede afirmar que los diferentes escenarios de cambio climático proyectan incremento de la temperatura en todos los casos.

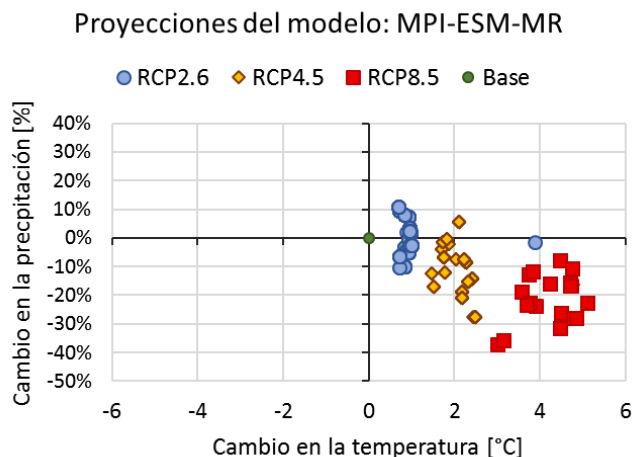


Figura 6-14. Proyecciones medias anuales de cambio en precipitación (eje vertical) y cambio en temperatura (eje horizontal) según modelo MPI-ESM-MR para tres escenarios de RCP para las 148 estaciones virtuales.

Esta relación entre las proyecciones de cambios en precipitación y temperatura son útiles para interpretar los resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de Guatemala, que se muestran de forma resumida en la Tabla 6-13 y detalles comparativos de las curvas de riesgo en la Figura 6-15. Los resultados permiten ver como para el escenario RCP2.6 la PAE es de 2.84%, inferior a los otros tres escenarios de clima, incluyendo el clima base cuya PAE es de 3.52%. Esto indica que las mayores precipitaciones que se observan en el escenario RCP2.6 definen condiciones que favorecen el rendimiento de cultivos, por lo que sus pérdidas son menores. Por el contrario, para el escenario RCP8.5 las PAE es mayor que en el escenario de clima base, con valor de 6.05%. Es decir, la combinación de mayores temperaturas y menor precipitación configuran condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos por lo que no alcanzan el rendimiento óptimo y son mayores las pérdidas en las áreas cultivadas de cada producto. Las condiciones entre clima base y el escenario de cambio climático del RCP 4.5 son muy parecidas en términos de las pérdidas anuales esperadas, que son cercanas a 3.7% en los dos casos.

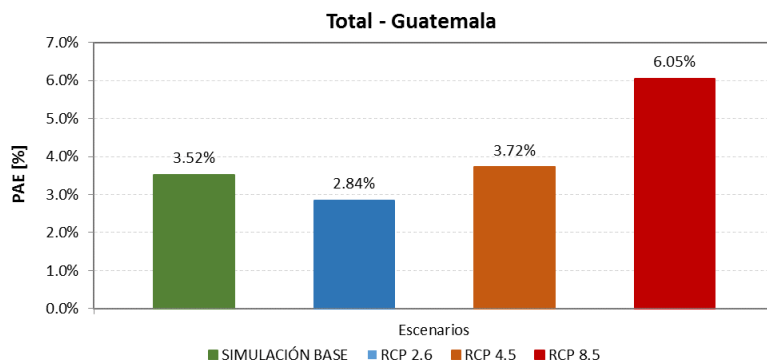
La Tabla 6-13 también muestra el resultado de PML para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, para los cuatro escenarios de clima evaluados. Las curvas que definen estos valores puntuales de PML se muestra en la Figura 6-15. Como en el caso de la PAE, para el escenario de RCP 2.6 los valores de PML para cualquier periodo de retorno son más bajos que los resultados de clima base, RCP4.5 o RCP8.5. Así mismo, los valores para el escenario RCP8.5 son los más altos para todos los periodos de retorno. Ahora bien, para periodos de retorno bajos menores a 10 años, la diferencia entre escenarios de clima base y RCP 4.5 no es clara, lo que parece indicar que, aunque para el escenario RCP4.5 se tienen precipitaciones menores hasta el 10% comparado con el clima base, el aumento de dos grados de temperatura favorece la transpiración de las plantas e incrementa su producción de biomasa y cosecha. El aumento de la transpiración parece tener un efecto positivo mayor que el efecto de déficit hídrico por menores lluvias.



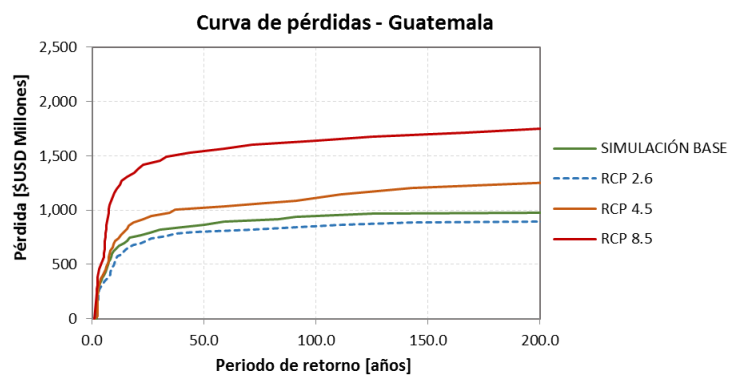
Tabla 6-13. Resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de Guatemala para los escenarios de clima base y con cambio climático RCP 2.6, 4.5 y 8.5

Valor Expuesto	USD Millones	5,573.8	Total - Guatemala					
Resultados	SIMULACIÓN BASE		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
PAE	USD Millones	196.1	USD Millones	158.2	USD Millones	207.1	USD Millones	337.4
	%	3.52%	%	2.84%	%	3.72%	%	6.05%
PML								
Periodo retorno	SIMULACIÓN BASE		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
años	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%
20	\$760.6	13.6	\$687.6	12.3	\$898.0	16.1	\$1,366.5	24.5
50	\$867.0	15.6	\$805.8	14.5	\$1,020.7	18.3	\$1,546.1	27.7
100	\$947.1	17.0	\$852.9	15.3	\$1,116.2	20.0	\$1,641.4	29.4
200	\$973.9	17.5	\$896.0	16.1	\$1,252.2	22.5	\$1,752.5	31.4

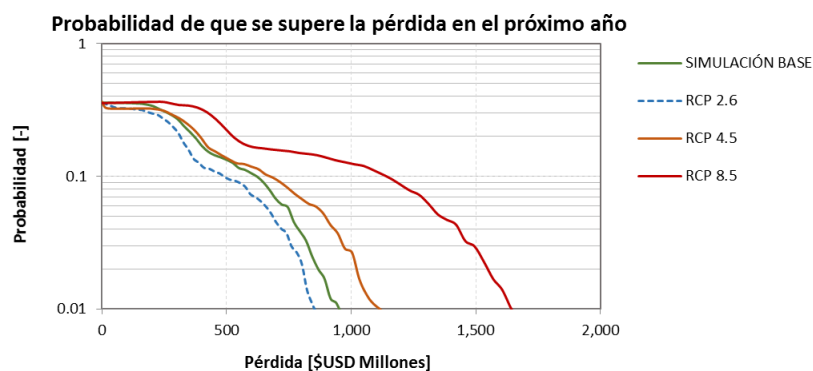
e) Pérdida Anual Esperada



f) Pérdida máxima probable según período de retorno



g) Probabilidad de excedencia de una pérdida para el siguiente año



h) Probabilidad de excedencia de una pérdida en el siguiente evento

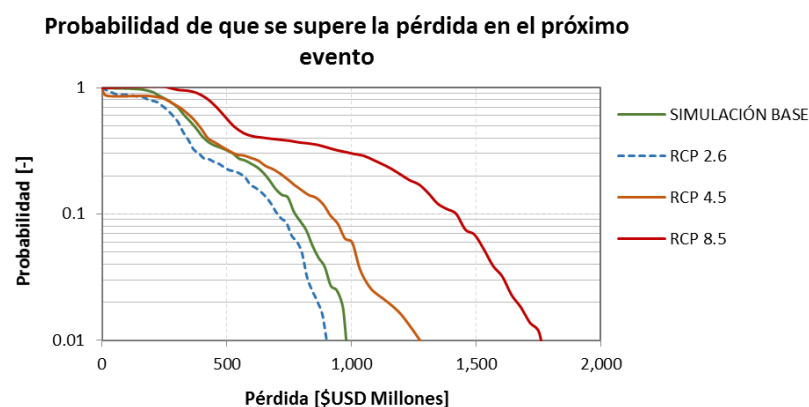


Figura 6-15. Resultados de riesgo por sequía para Guatemala comparando escenarios de clima base y proyecciones de cambio climático para RCP 2.6, 4.5 y 8.5.

La Tabla 6-14 muestra los resultados de pérdida anual esperada para cada uno de los escenarios de clima, desagregado por los cultivos considerados en el análisis. En la mayoría de los casos, las PAE incrementan para el escenario de clima RCP 8.5 con casos particulares como el plátano y el frijol donde el incremento de la PAE, comparado al clima base, es alto. Por el contrario, para productos como los cítricos se mantiene o disminuye la PAE, pasando de 2.25% para el escenario base a 2.22% al escenario de RCP8.5, lo que puede indicar que el cultivo se favorece de mayores temperaturas para producir fruto.

Tabla 6-14. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos y escenarios de clima para Guatemala.

Producto	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
Arroz	\$ 1.4	4.56%	\$ 1.1	3.74%	\$ 2.0	6.61%	\$ 2.9	9.72%
Banano	\$ 17.8	2.13%	\$ 12.5	1.50%	\$ 26.0	3.11%	\$ 58.0	6.93%
Café	\$ 23.0	1.31%	\$ 14.8	0.84%	\$ 22.6	1.28%	\$ 51.7	2.94%
Caña	\$ 26.3	3.94%	\$ 20.4	3.06%	\$ 25.7	3.86%	\$ 38.7	5.80%
Cítricos	\$ 0.9	2.25%	\$ 0.7	1.87%	\$ 0.8	1.94%	\$ 0.9	2.22%
Frijol ciclo corto Postrera	\$ 2.2	2.10%	\$ 1.9	1.77%	\$ 2.5	2.35%	\$ 3.1	2.92%
Frijol ciclo corto Primera	\$ 2.9	4.07%	\$ 2.5	3.50%	\$ 2.6	3.65%	\$ 3.1	4.40%
Frijol ciclo largo Primera	\$ 9.0	14.83%	\$ 8.0	13.22%	\$ 8.2	13.48%	\$ 10.0	16.51%
Frijol Norte Postrera	\$ 8.5	11.90%	\$ 7.0	9.77%	\$ 8.5	11.86%	\$ 11.1	15.48%
Frijol Norte Primera	\$ 0.2	0.48%	\$ 0.2	0.36%	\$ 0.3	0.56%	\$ 0.4	0.74%
Maíz ciclo corto Postrera	\$ 4.0	2.16%	\$ 3.2	1.70%	\$ 4.5	2.41%	\$ 6.5	3.48%
Maíz ciclo corto Primera	\$ 0.4	0.16%	\$ 0.9	0.36%	\$ 1.9	0.73%	\$ 9.0	3.46%
Maíz ciclo largo Primera	\$ 48.3	16.30%	\$ 43.0	14.48%	\$ 42.9	14.47%	\$ 49.8	16.81%
Maíz Norte Postrera	\$ 19.1	15.43%	\$ 16.8	13.57%	\$ 22.2	17.97%	\$ 28.4	22.94%
Maíz Norte Primera	\$ 1.3	0.73%	\$ 1.0	0.56%	\$ 1.6	0.91%	\$ 2.5	1.47%
Mango	\$ 1.1	1.70%	\$ 1.0	1.47%	\$ 1.4	2.07%	\$ 2.2	3.30%
Melón	\$ 17.5	17.32%	\$ 14.2	14.01%	\$ 19.0	18.75%	\$ 27.8	27.54%
Palma	\$ 0.3	0.36%	\$ 0.2	0.18%	\$ 0.3	0.35%	\$ 0.6	0.64%
Papa	\$ 4.6	2.04%	\$ 3.5	1.53%	\$ 6.1	2.70%	\$ 13.6	6.01%
Plátano	\$ 3.5	4.12%	\$ 3.0	3.54%	\$ 4.1	4.84%	\$ 7.7	9.06%
Tomate	\$ 3.7	1.30%	\$ 2.6	0.90%	\$ 4.1	1.45%	\$ 9.5	3.38%
Total - Guatemala	\$ 196.1	3.52%	\$ 158.2	2.84%	\$ 207.1	3.72%	\$ 337.4	6.05%

### 6.3.3 Resultados de riesgo desagregados por departamento

Una vez calculados los resultados de riesgo por tipo de cultivo, se acumularon los valores de valor expuesto y pérdida anual esperada para cada departamento de Guatemala, con el fin de analizar los resultados de forma espacial y reportar pérdidas asociadas a divisiones administrativas dentro del país. Es así como se obtiene el valor expuesto del portafolio completo como la suma del valor expuesto de cada cultivo en cada departamento y las PAE para cada producto (el valor expuesto y la PAE se pueden agregar de forma directa, a diferencia de las PML que se deben recalcular). Los resultados del valor expuesto por departamento se muestran en la Figura 6-10. Los resultados de PAE de cada departamento, para los cuatro escenarios de clima considerados, se muestran en la Tabla 6-6 y en formato de mapas en la Figura 6-11.

El departamento con mayor valor expuesto son Escuintla que agrega el 15% del valor expuesto del país; mientras que Totonicapán, Sacatepéquez y El Progreso tienen el valor menor expuesto. Sin embargo, los valores más altos de PAE relativa se presentan en Totonicapán, en el centro del país en zona montañosa, para todos los escenarios de clima. En términos generales, como se muestra en los mapas, los departamentos de la sur occidente y centro del país (Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá, Chimaltenango, Totonicapán y Quetzaltenango) reportan las PAE relativas más altas. Estos departamentos se ubican principalmente en zonas montañosas y en la costa del Océano Pacífico, zonas donde se concentran cultivos de café, papa, palma, algo de caña de azúcar y granos básicos.

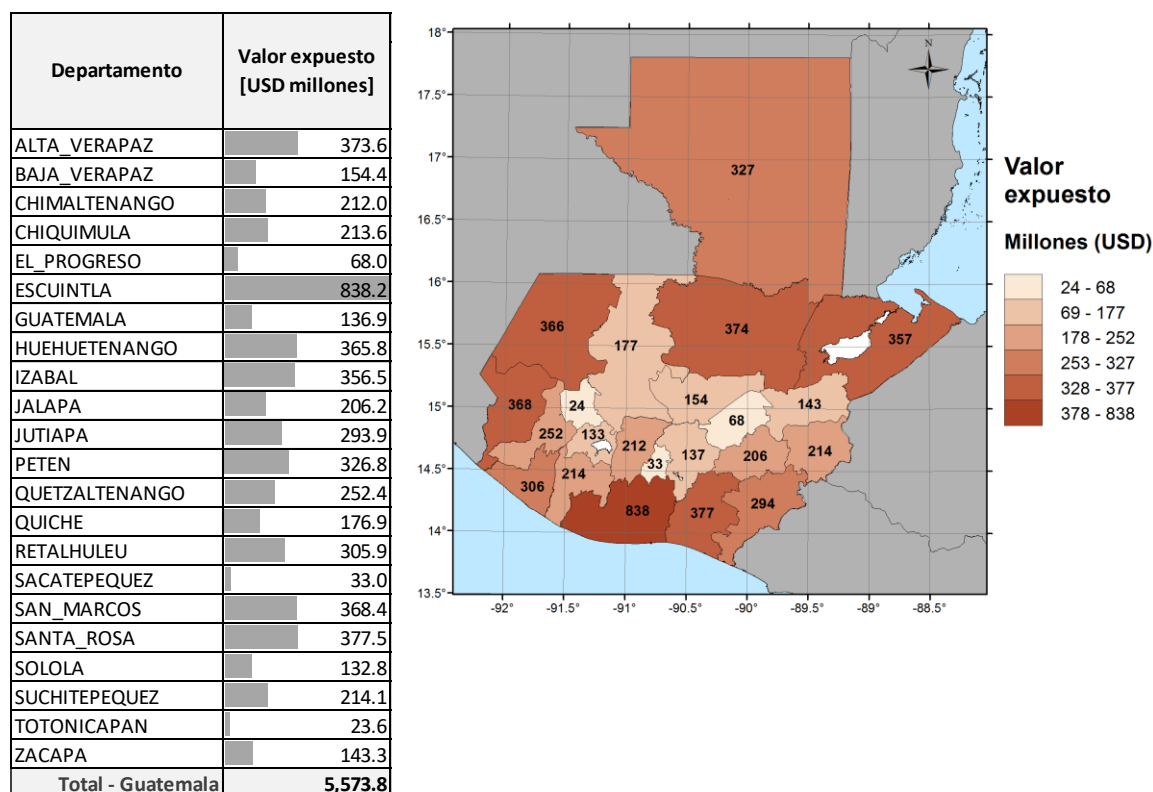


Figura 6-16. Valor expuesto en millones de USD para Guatemala.

Tabla 6-15. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por departamento y escenarios de clima para Guatemala.

Departamento	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
ALTA_VERAPAZ	14.4	3.85%	\$ 12.4	3.31%	\$ 18.1	4.84%	\$ 26.8	7.16%
BAJA_VERAPAZ	8.0	5.21%	\$ 7.1	4.58%	\$ 8.4	5.45%	\$ 11.5	7.44%
CHIMALTENANGO	12.6	5.95%	\$ 10.9	5.12%	\$ 14.5	6.82%	\$ 27.7	13.08%
CHIQUMULA	2.1	0.98%	\$ 1.4	0.65%	\$ 2.7	1.25%	\$ 6.2	2.89%
EL_PROGRESO	1.2	1.74%	\$ 0.8	1.22%	\$ 1.2	1.83%	\$ 2.7	3.96%
ESCUINTLA	17.0	2.02%	\$ 14.4	1.72%	\$ 20.9	2.49%	\$ 50.2	5.99%
GUATEMALA	5.1	3.74%	\$ 3.6	2.64%	\$ 4.6	3.36%	\$ 10.5	7.68%
HUEHUETENANGO	9.9	2.71%	\$ 8.6	2.34%	\$ 9.1	2.50%	\$ 10.9	2.97%
IZABAL	4.3	1.20%	\$ 2.8	0.79%	\$ 8.9	2.50%	\$ 18.2	5.09%
JALAPA	10.4	5.05%	\$ 7.6	3.70%	\$ 9.2	4.46%	\$ 15.5	7.50%
JUTIAPA	8.8	3.01%	\$ 6.0	2.05%	\$ 7.4	2.52%	\$ 13.6	4.64%
PETEN	16.5	5.04%	\$ 14.4	4.42%	\$ 20.1	6.16%	\$ 27.4	8.39%
QUETZALTENANGO	9.3	3.69%	\$ 8.0	3.18%	\$ 8.8	3.49%	\$ 13.1	5.21%
QUICHE	10.4	5.89%	\$ 9.2	5.20%	\$ 9.6	5.42%	\$ 11.8	6.66%
RETALHULEU	34.4	11.25%	\$ 28.9	9.44%	\$ 30.9	10.09%	\$ 38.3	12.51%
SACATEPEQUEZ	1.4	4.19%	\$ 1.2	3.67%	\$ 1.5	4.69%	\$ 3.6	10.85%
SAN_MARCOS	7.6	2.08%	\$ 6.8	1.84%	\$ 6.8	1.86%	\$ 8.0	2.18%
SANTA_ROSA	11.1	2.93%	\$ 6.4	1.71%	\$ 8.3	2.21%	\$ 18.4	4.88%
SOLOLA	4.3	3.24%	\$ 3.7	2.75%	\$ 4.7	3.55%	\$ 11.4	8.58%
SUCHITEPEQUEZ	19.5	9.13%	\$ 16.7	7.80%	\$ 18.4	8.57%	\$ 25.5	11.89%
TOTONICAPAN	3.6	15.37%	\$ 3.2	13.67%	\$ 3.2	13.63%	\$ 3.7	15.69%
ZACAPA	1.7	1.16%	\$ 0.9	0.65%	\$ 3.5	2.48%	\$ 7.7	5.36%

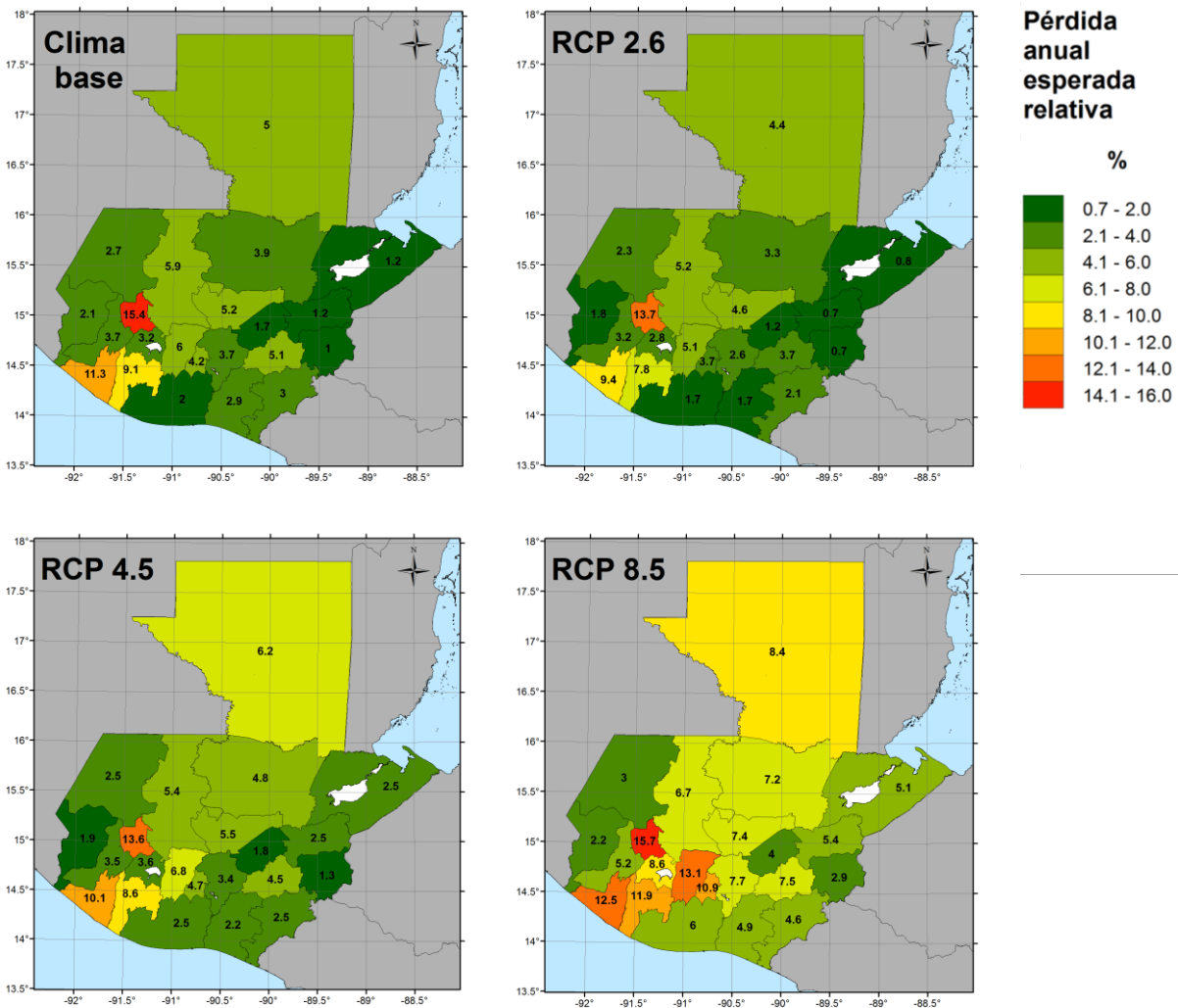


Figura 6-17. Mapas de pérdida anual esperada relativa (%) para Guatemala.

#### 6.3.4 Impacto del riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

Una vez obtenidos los resultados de riesgo por sequía para Guatemala, se pueden analizar estos valores en términos de su impacto en la economía nacional, así como en la reducción esperada de la producción que puede tener algún impacto en términos de seguridad alimentaria.

En cuanto a la comparación con indicadores económicos, según reportes del Banco Mundial para 2017, el Producto Interno Bruto (PIB) de Guatemala es de \$75,620 millones de dólares (a precios actuales). La contribución nacional del sector de Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca es el 10.1% del aporte al PIB Nacional (BANGUAT, 2018b) de los cuales el subsector agrícola se estima en 7.5% del PIB Nacional. El valor expuesto del portafolio de cultivos incluido en esta evaluación de riesgo por sequía, que es de \$5,573 millones de dólares, que es equivalente al 7.4% del PIB Nacional. Esta cifra mantiene el orden de magnitud de la participación del sector agrícola en la economía nacional.

En términos de pérdidas económicas esperadas, la Tabla 6-16 muestra la relación entre la pérdida anual esperada del portafolio completo de cultivos, para el escenario de clima base y los escenarios de cambio climático, con respecto al PIB Nacional. La PAE es el valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras. Se puede ver cómo el efecto de las sequías tiene un impacto en la economía del país, dado que las pérdidas anuales esperadas corresponden casi 0.26 puntos porcentuales del PIB en el escenario de clima base, y se incrementa hasta casi 0.45 puntos del PIB para los escenarios de RCP8.5. Esto implica que en Guatemala el riesgo por sequía de cultivos de secano, incluidos en este estudio, es considerable y es recomendable considerar la aplicación de prácticas agrícolas que permitan prevenir estas pérdidas.

Tabla 6-16. Pérdida anual esperada para el portafolio completo de cultivos de Guatemala y su relación con el PIB Nacional

Guatemala	PAE [USD Millones]	PAE/PIB <sub>2017</sub> [%]
<b>Clima Base</b>	\$ 196.1	0.26%
<b>RCP 2.6</b>	\$ 158.2	0.21%
<b>RCP 4.5</b>	\$ 207.1	0.27%
<b>RCP 8.5</b>	\$ 337.4	0.45%

Por otro lado, a partir de los resultados de este estudio se pueden estimar las pérdidas de producción anual esperada (PPAE). La PPAE equivale a la producción que se debe reservar cada año para compensar las pérdidas en producción en el futuro. Estos valores son útiles para evaluar el riesgo en términos de impactos de las sequías en la seguridad alimentaria y derivar en iniciativas que apoyen cada subsector de forma priorizada. En la Tabla 6-17 muestra el resultado de pérdidas en toneladas del portafolio de granos básicos de Guatemala, considerando que son productos de la dieta básica. Una baja disponibilidad de estos alimentos tiene un impacto directo en el acceso de la población común y son los productos de mayor participación en los cultivos de subsistencia. Es así como el maíz reporta las PPAE más altas, para los cuatro escenarios de clima en su ciclo largo de primera siembra. Por otro lado, el frijol reporta PPAE bajas en todos los escenarios de clima y temporalidades de siembra.

Tabla 6-17. Pérdida de producción anual esperada para el portafolio de granos básicos de Guatemala.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]
Arroz	2,335	1,912	3,383	4,973
Fríjol ciclo corto Postrera	1,564	1,318	1,750	2,179
Fríjol ciclo corto Primera	2,024	1,741	1,817	2,186
Fríjol ciclo largo Primera	6,371	5,677	5,791	7,092
Fríjol Norte Postrera	6,064	4,980	6,045	7,889
Fríjol Norte Primera	161	121	190	252
Maíz ciclo corto Postrera	7,415	5,851	8,274	11,951
Maíz ciclo corto Primera	758	1,717	3,488	16,518
Maíz ciclo largo Primera	89,201	79,245	79,178	91,972
Maíz Norte Postrera	35,209	30,964	41,005	52,361
Maíz Norte Primera	2,320	1,766	2,901	4,675

En cuanto a las pérdidas máximas probables, la Tabla 6-18 presenta los resultados para 100 años de periodo de retorno de la pérdida (no del evento amenazante). Entonces para una pérdida que en promedio se espera cada 100 años, para el caso crítico se estiman pérdidas en la producción de casi 237,000 toneladas en el maíz de siembra de primera y 150,000 toneladas para el maíz de siembra de postrera. En general todos los productos considerados dentro del portafolio de granos básicos reportan altas pérdidas, exceptuando el frijol de siembra de primera de ciclo corto.

Tabla 6-18. Pérdida máxima probable para 100 años de periodo para el portafolio de granos básicos de Guatemala.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]
Arroz	19,616	21,523	27,513	31,670
Fríjol ciclo corto Postrera	12,853	13,207	16,420	15,185
Fríjol ciclo corto Primera	7,395	7,255	7,416	8,835
Fríjol ciclo largo Primera	20,508	20,350	21,183	23,695
Fríjol Norte Postrera	29,598	28,030	31,270	33,648
Fríjol Norte Primera	546	420	1,311	2,234
Maíz ciclo corto Postrera	53,004	48,218	65,379	71,631
Maíz ciclo corto Primera	4,137	4,660	7,582	59,105
Maíz ciclo largo Primera	237,094	236,226	240,249	246,881
Maíz Norte Postrera	150,398	150,986	173,056	183,924
Maíz Norte Primera	14,942	12,976	22,090	30,011

#### 6.4 Evaluación de riesgo físico para Honduras

A continuación, se presentan los resultados de riesgo para la evaluación de riesgo por sequía en el sector agrícola en Honduras. Para el total nacional y desagregado para cada producto considerado como elemento expuesto, se presenta la Pérdida Anual Esperada (valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras) y la curva de Pérdida Máxima Probable (relaciona las pérdidas a su correspondiente periodo de retorno).

En la Tabla 6-19 se muestran los resultados principales para la evaluación de riesgo por sequía en la agricultura de Honduras. El portafolio completo de productos agrícolas está avaluado en \$2,477 millones de dólares, de los cuales el valor de pérdida anual esperada se estima en más de \$140 millones de dólares, lo que equivale al 5.66% de su valor expuesto. Esta tabla también muestra los valores de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, que varían entre 31 y 38% del valor expuesto total. Estos valores de PML se obtienen de la curva que se presenta en la Figura 6-18, que relaciona los valores de pérdida con una completa serie de años de periodo de retorno.

La Figura 6-19 muestra las curvas de probabilidad de excedencia a) de superar una pérdida en el siguiente años y b) de superar una pérdida en el siguiente evento amenazante. Por ejemplo, la probabilidad de exceder una pérdida de \$500 millones de dólares el siguiente año es de 11% mientras que la probabilidad de exceder esa misma pérdida en cualquier evento de sequía del conjunto simulado elegido al azar es de 25%.

Tabla 6-19. Resultados de riesgo para el portafolio completo en Honduras

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$2,476.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$140.1
	%	5.66%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$767.056	31.0
50	\$867.855	35.1
100	\$897.907	36.3
200	\$945.490	38.2

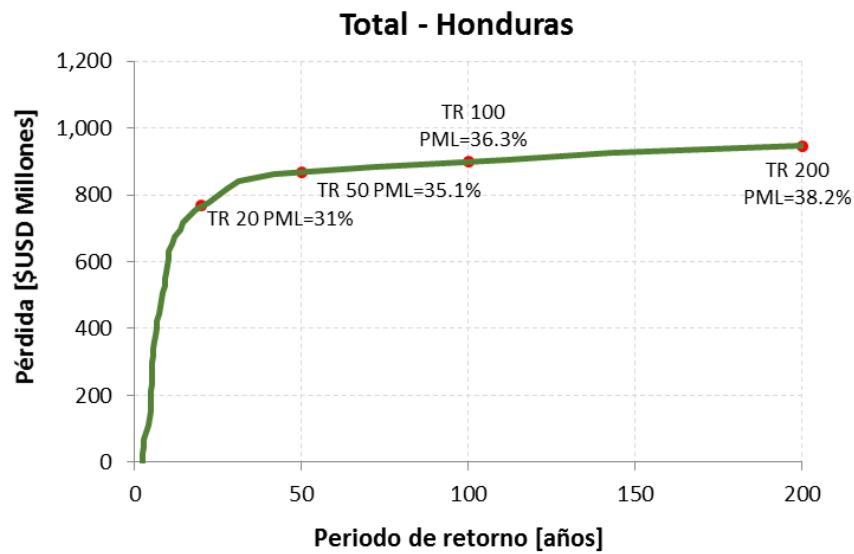


Figura 6-18. Curva de pérdidas vs. periodo de retorno para el portafolio completo en Honduras.

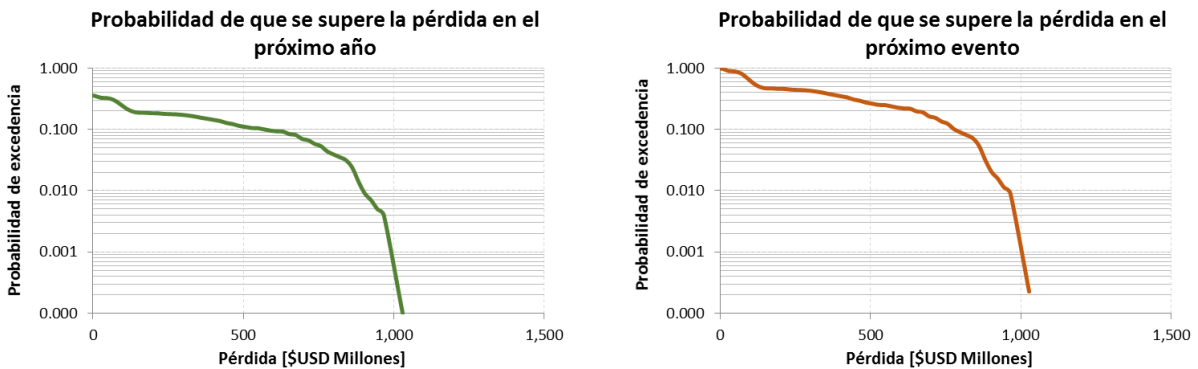




Figura 6-19. Curvas de probabilidad de excedencia de una pérdida para el portafolio completo en Honduras. A la izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente año. Ala izquierda, probabilidad de exceder una pérdida en el siguiente evento de sequía.

#### 6.4.1 Pérdidas por tipo de cultivo

En la Tabla 6-20 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y en la Tabla 6-21 los resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por los cultivos que conforman el portafolio de Honduras. Las cifras de valor expuesto muestran que los cultivos más importantes, en términos económicos, son el café, el banano, la palma, el maíz, la caña y el frijol. Los productos que reportan las PAE más altas incluyen el plátano y el banano, 11.4% y 10.9% respectivamente, y otros granos básicos como el frijol y el sorgo. Por el otro lado, el café que es cultivo de mayor valor expuesto reporta una PAE de 3.9%, considerablemente menor a la PAE nacional (5.7%).

En términos generales, todos los productos tienen valores altos de PML para los periodos de retorno determinados, como el banano y el plátano, que para 100 años de periodo de retorno alcanzan el 90% de PML relativa.

En el Anexo A. 11.3 se presentan los resultados de pérdida anual esperada y pérdida máxima probable, así como las curvas de pérdidas vs. periodo de retorno y probabilidad de excedencia de la pérdida en el próximo año para cada uno de los productos y temporalidades considerados en la estimación de riesgo para Honduras.

Tabla 6-20. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos para Honduras.

Producto	Valor Expuesto [USD millones]	PAE [USD millones]	PAE Relativo
Arroz	\$ 16.4	\$ 1.4	8.5%
Banano	\$ 485.7	\$ 52.8	10.9%
Café	\$ 725.2	\$ 28.6	3.9%
Caña	\$ 190.4	\$ 7.6	4.0%
Cítricos	\$ 46.3	\$ 1.7	3.6%
Fríjol asociado Postrera	\$ 25.4	\$ 3.1	12.3%
Fríjol Postrera	\$ 73.4	\$ 8.1	11.0%
Fríjol Primera	\$ 33.4	\$ 1.7	5.2%
Maíz asociado Primera	\$ 39.3	\$ 0.6	1.6%
Maíz Postrera	\$ 49.4	\$ 3.2	6.5%
Maíz Primera	\$ 194.2	\$ 5.2	2.7%
Mango	\$ 10.3	\$ 0.0	0.5%
Melón	\$ 68.2	\$ 8.1	11.8%
Palma	\$ 412.0	\$ 12.1	2.9%
Plátano	\$ 29.9	\$ 3.4	11.4%
Sandía	\$ 37.7	\$ 0.4	1.2%
Sorgo asociado Postrera	\$ 7.5	\$ 0.9	12.6%
Sorgo asociado Primera	\$ 17.3	\$ 0.3	2.0%
Sorgo Postrera	\$ 4.4	\$ 0.5	11.6%
Sorgo Primera	\$ 10.1	\$ 0.3	2.5%
<b>Total - Honduras</b>	<b>\$ 2,476.7</b>	<b>\$ 140.1</b>	<b>5.7%</b>

Tabla 6-21. Resultados de pérdida máxima probable para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, desagregados por cultivos para Honduras.

Producto	PML [USD millones]							
	20	%	50	%	100	%	200	%
Arroz	\$7.3	44.3	\$8.6	52.4	\$8.9	53.9	\$9.0	54.7
Banano	\$399.1	82.2	\$430.1	88.6	\$439.9	90.6	\$443.4	91.3
Café	\$182.4	25.2	\$209.9	29.0	\$223.5	30.9	\$231.8	32.0
Caña	\$58.3	30.7	\$71.3	37.5	\$78.3	41.2	\$88.1	46.3
Cítricos	\$12.9	27.9	\$15.4	33.3	\$17.4	37.7	\$20.9	45.3
Fríjol asociado Postrera	\$11.6	45.6	\$13.4	52.5	\$14.6	57.5	\$15.5	60.8
Fríjol Postrera	\$29.9	40.8	\$33.1	45.1	\$36.0	49.0	\$37.5	51.2
Fríjol Primera	\$8.4	25.1	\$9.5	28.6	\$10.1	30.3	\$10.4	31.3
Maíz asociado Primera	\$3.3	8.5	\$4.2	10.6	\$4.9	12.4	\$5.2	36.6
Maíz Postrera	\$13.0	26.3	\$14.6	29.7	\$16.0	32.4	\$18.0	16.9
Maíz Primera	\$25.5	13.2	\$28.6	14.8	\$31.7	16.4	\$32.6	80.3
Mango	\$0.4	3.6	\$0.5	4.4	\$0.5	4.8	\$0.5	5.2
Melón	\$32.5	47.8	\$39.2	57.6	\$41.8	61.4	\$43.6	64.1
Palma	\$74.1	18.0	\$83.3	20.3	\$89.2	21.7	\$93.7	22.8
Plátano	\$22.3	74.6	\$24.0	80.2	\$24.5	81.9	\$24.9	83.2
Sandía	\$2.7	7.1	\$3.1	8.2	\$3.2	8.6	\$3.4	9.0
Sorgo asociado Postrera	\$5.8	77.9	\$6.4	84.9	\$6.6	87.5	\$6.8	90.2
Sorgo asociado Primera	\$2.1	12.3	\$3.6	20.8	\$4.6	26.5	\$4.9	28.4
Sorgo Postrera	\$3.1	69.4	\$3.4	76.9	\$3.4	78.4	\$3.5	80.3
Sorgo Primera	\$1.4	13.8	\$2.2	21.4	\$2.5	24.8	\$3.1	30.1
<b>Total - Honduras</b>	<b>\$767.1</b>	<b>31.0</b>	<b>\$867.9</b>	<b>35.1</b>	<b>\$897.9</b>	<b>36.3</b>	<b>\$945.5</b>	<b>38.2</b>

#### 6.4.2 Efectos del cambio climático en el riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

La Figura 6-20 muestra, para los diferentes escenarios de clima considerados, las proyecciones de cambio en precipitación y temperatura en cada una de las 148 estaciones virtuales consideradas en el estudio. Esta gráfica permite concluir que para el escenario RCP2.6 en algunas de las estaciones se esperan lluvias por encima de lo registrado en el escenario base (punto verde ubicado en el punto 0,0 de la gráfica), mientras que para el escenario RCP4.5 y RCP8.5 se proyectan menores lluvias. También se puede afirmar que los diferentes escenarios de cambio climático proyectan incremento de la temperatura en todos los casos.

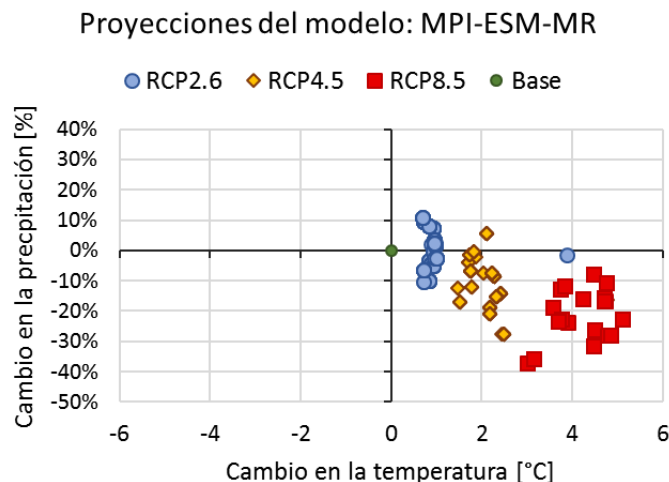


Figura 6-20. Proyecciones medias anuales de cambio en precipitación (eje vertical) y cambio en temperatura (eje horizontal) según modelo MPI-ESM-MR para tres escenarios de RCP para las 148 estaciones virtuales.

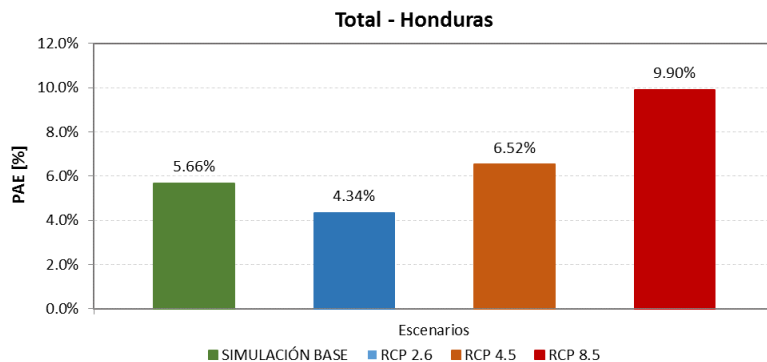
Esta relación entre las proyecciones de cambios en precipitación y temperatura son útiles para interpretar los resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de Honduras, que se muestran de forma resumida en la Tabla 6-22 y detalles comparativos de las curvas de riesgo en la Figura 6-21. Los resultados permiten ver como para el escenario RCP2.6 la PAE es de 4.34%, inferior a los otros tres escenarios de clima, incluyendo el clima base cuya PAE es de 5.66%. Esto indica que las mayores precipitaciones que se observan en el escenario RCP2.6 definen condiciones que favorecen el rendimiento de cultivos, por lo que sus pérdidas son menores. Por el contrario, para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 las PAE son mayores que en el escenario de clima base, con valores de 6.52% y 9.9% respectivamente. Es decir, la combinación de mayores temperaturas y menor precipitación configuran condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos por lo que no alcanzan el rendimiento óptimo y son mayores las pérdidas en las áreas cultivadas de cada producto.

La Tabla 6-22 también muestra el resultado de PML para 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno, para los cuatro escenarios de clima evaluados. Las curvas que definen estos valores puntuales de PML se muestra en la Figura 6-21. Como en el caso de la PAE, para el escenario de RCP 2.6 los valores de PML para cualquier periodo de retorno son más bajos que los resultados de clima base, RCP4.5 o RCP8.5. Así mismo, los valores para el escenario RCP8.5 son los más altos para todos los periodos de retorno, superando valores de 50% relativos a su valor expuesto. Ahora bien, para periodos de retorno bajos menores a 10 años, la diferencia entre escenarios de clima base y RCP 4.5 no es clara, lo que parece indicar que, aunque para el escenario RCP4.5 se tienen precipitaciones menores hasta el 10% comparado con el clima base, el aumento de dos grados de temperatura favorece la transpiración de las plantas e incrementa su producción de biomasa y cosecha. El aumento de la transpiración parece tener un efecto positivo mayor que el efecto de déficit hídrico por menores lluvias.

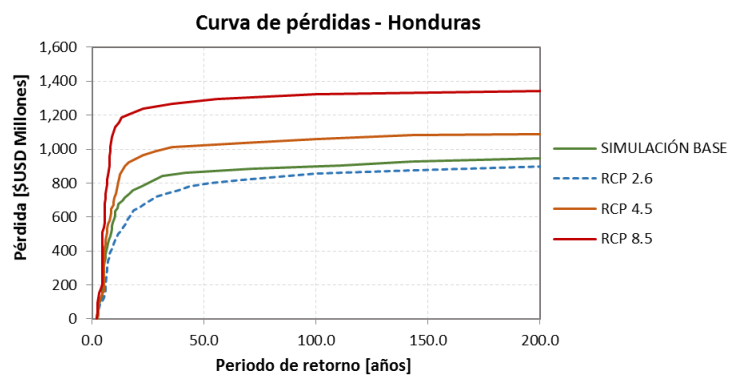
Tabla 6-22. Resultados de riesgo por sequía para el portafolio de cultivos de Honduras para los escenarios de clima base y con cambio climático RCP 2.6, 4.5 y 8.5

Valor Expuesto	USD Millones	2,476.7	Total - Honduras					
Resultados	SIMULACIÓN BASE		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
PAE	USD Millones	140.1	USD Millones	107.4	USD Millones	161.4	USD Millones	245.1
	%	5.66%	%	4.34%	%	6.52%	%	9.90%
PML								
Periodo retorno	SIMULACIÓN BASE		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
años	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%	USD Millones	%
20	\$767.1	31.0	\$650.3	26.3	\$944.0	38.1	\$1,225.6	49.5
50	\$867.9	35.0	\$792.2	32.0	\$1,023.0	41.3	\$1,288.4	52.0
100	\$897.9	36.3	\$857.1	34.6	\$1,058.1	42.7	\$1,324.2	53.5
200	\$945.5	38.2	\$898.0	36.3	\$1,087.8	43.9	\$1,342.8	54.2

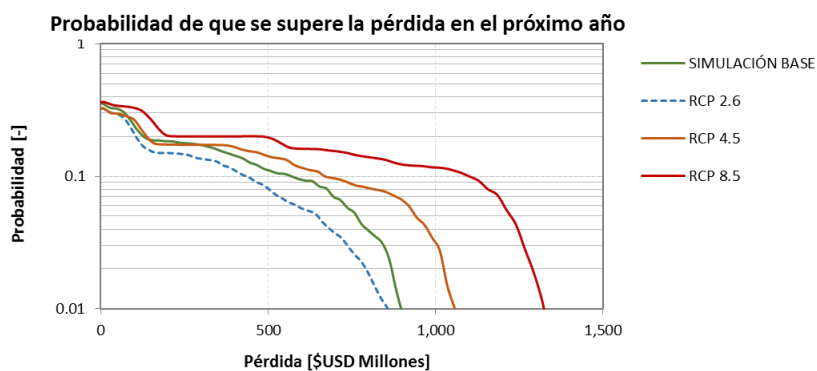
i) Pérdida Anual Esperada



j) Pérdida máxima probable según período de retorno



k) Probabilidad de excedencia de una pérdida para el siguiente año



l) Probabilidad de excedencia de una pérdida en el siguiente evento

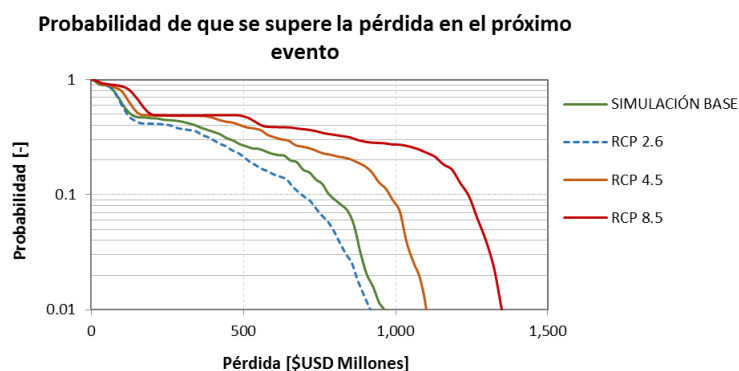


Figura 6-21. Resultados de riesgo por sequía para Honduras comparando escenarios de clima base y proyecciones de cambio climático para RCP 2.6, 4.5 y 8.5.

La Tabla 6-23 muestra los resultados de pérdida anual esperada para cada uno de los escenarios de clima, desagregado por los cultivos considerados en el análisis. En todos los casos, las PAE incrementan para el escenario de clima RCP 8.5 con casos particulares como el frijol, el maíz y el sorgo donde el incremento de la PAE, comparado al clima base, es alto.

Tabla 6-23. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por cultivos y escenarios de clima para Honduras.

Producto	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
Arroz	\$ 1.4	8.47%	\$ 1.1	6.46%	\$ 1.7	10.58%	\$ 1.7	10.36%
Banano	\$ 52.8	10.87%	\$ 42.6	8.78%	\$ 45.4	9.34%	\$ 69.8	14.38%
Café	\$ 28.6	3.94%	\$ 19.4	2.68%	\$ 49.1	6.77%	\$ 72.9	10.06%
Caña	\$ 7.6	3.98%	\$ 5.0	2.65%	\$ 9.9	5.17%	\$ 15.8	8.32%
Cítricos	\$ 1.7	3.59%	\$ 0.7	1.44%	\$ 2.2	4.85%	\$ 4.1	8.82%
Frijol asociado Postrera	\$ 3.1	12.29%	\$ 2.7	10.60%	\$ 3.7	14.67%	\$ 5.3	20.90%
Frijol Postrera	\$ 8.1	10.97%	\$ 7.7	10.48%	\$ 10.1	13.73%	\$ 14.4	19.65%
Frijol Primera	\$ 1.7	5.21%	\$ 1.4	4.31%	\$ 1.6	4.84%	\$ 3.0	9.03%
Maíz asociado Primera	\$ 0.6	1.57%	\$ 0.6	1.63%	\$ 0.9	2.27%	\$ 1.1	2.86%
Maíz Postrera	\$ 3.2	6.55%	\$ 2.7	5.54%	\$ 3.5	7.15%	\$ 5.9	12.05%
Maíz Primera	\$ 5.2	2.70%	\$ 4.3	2.23%	\$ 5.3	2.71%	\$ 6.4	3.28%
Mango	\$ 0.0	0.46%	\$ 0.0	0.29%	\$ 0.1	0.79%	\$ 0.1	0.99%
Melón	\$ 8.1	11.82%	\$ 7.1	10.43%	\$ 7.7	11.35%	\$ 12.0	17.59%
Palma	\$ 12.1	2.93%	\$ 6.8	1.64%	\$ 14.6	3.54%	\$ 23.1	5.60%
Plátano	\$ 3.4	11.40%	\$ 2.6	8.72%	\$ 2.5	8.48%	\$ 4.4	14.72%
Sandía	\$ 0.4	1.18%	\$ 0.5	1.36%	\$ 0.5	1.21%	\$ 1.0	2.56%
Sorgo asociado Postrera	\$ 0.9	12.64%	\$ 1.0	12.72%	\$ 1.0	13.72%	\$ 1.3	17.95%
Sorgo asociado Primera	\$ 0.3	1.98%	\$ 0.3	1.83%	\$ 0.6	3.69%	\$ 1.0	6.04%
Sorgo Postrera	\$ 0.5	11.55%	\$ 0.5	11.48%	\$ 0.5	12.35%	\$ 0.7	17.02%
Sorgo Primera	\$ 0.3	2.47%	\$ 0.2	2.26%	\$ 0.4	3.94%	\$ 0.8	8.01%
<b>Total - Honduras</b>	<b>\$ 140.1</b>	<b>5.66%</b>	<b>\$ 107.4</b>	<b>4.34%</b>	<b>\$ 161.4</b>	<b>6.52%</b>	<b>\$ 245.1</b>	<b>9.90%</b>

#### 6.4.3 Resultados de riesgo desagregados por departamento

Una vez calculados los resultados de riesgo por tipo de cultivo, se acumularon los valores de valor expuesto y pérdida anual esperada para cada departamento de Honduras, con el fin de analizar los resultados de forma espacial y reportar pérdidas asociadas a divisiones administrativas dentro del país. Es así como se obtiene el valor expuesto del portafolio completo como la suma del valor expuesto de cada cultivo en cada departamento y las PAE para cada producto (el valor expuesto y la PAE se pueden agregar de forma directa, a diferencia de las PML que se deben recalcular). Los resultados del valor expuesto por departamento se muestran en la Figura 6-10. Los resultados de PAE de cada departamento, para los cuatro escenarios de clima considerados se muestran en la Tabla 6-6 y en formato de mapas en la Figura 6-11.

El departamento con mayor valor expuesto es Cortes que agrega el 14% del valor expuesto del país; mientras que Gracias a Dios tiene el valor menor expuesto, al ser un departamento con lata cobertura boscosa. Sin embargo, los valores más altos de PAE relativa para el clima base se presentan en este departamento, Gracias a Dios, en el nororiente del país. Para otros escenarios de clima, la PAE es alta en departamentos como Cortes, Santa Barbara, Comayagua y Olancho. En términos generales, como se muestra en los mapas, los departamentos de la Región Lempa (Ocotepeque, Copan, Lempira, Intibucá, La Paz) que limita con El Salvador, reportan las PAE relativas más bajas, pero no dejan de ser valores de pérdida altos que impactan de forma considerable el sector agrícola en el país.

Departamento	Valor expuesto [USD millones]
Atlantida	260.2
Choluteca	164.7
Colon	224.1
Comayagua	136.6
Copan	166.8
Cortes	351.4
El Paraiso	184.4
Francisco Morazan	107.0
Gracias a Dios	2.6
Intibuca	59.7
La Paz	86.6
Lempira	112.2
Ocotepeque	62.9
Olancho	97.8
Santa Barbara	185.9
Valle	37.9
Yoro	236.0
<b>Total - Honduras</b>	<b>2,476.7</b>

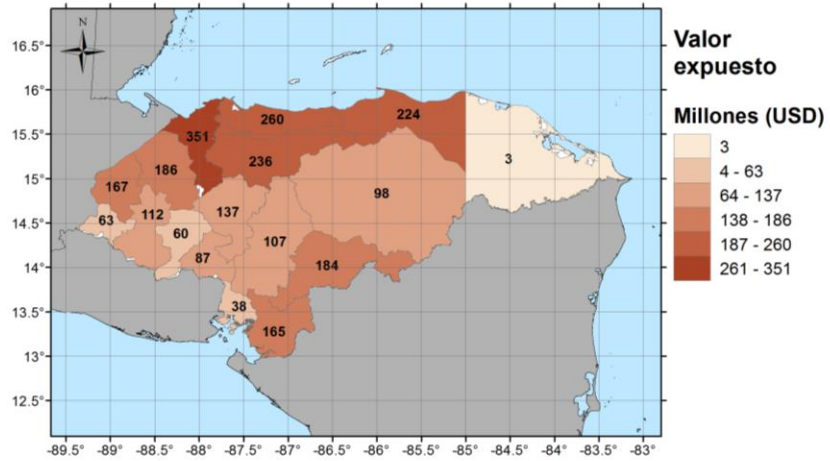


Figura 6-22. Valor expuesto en millones de USD para Honduras.

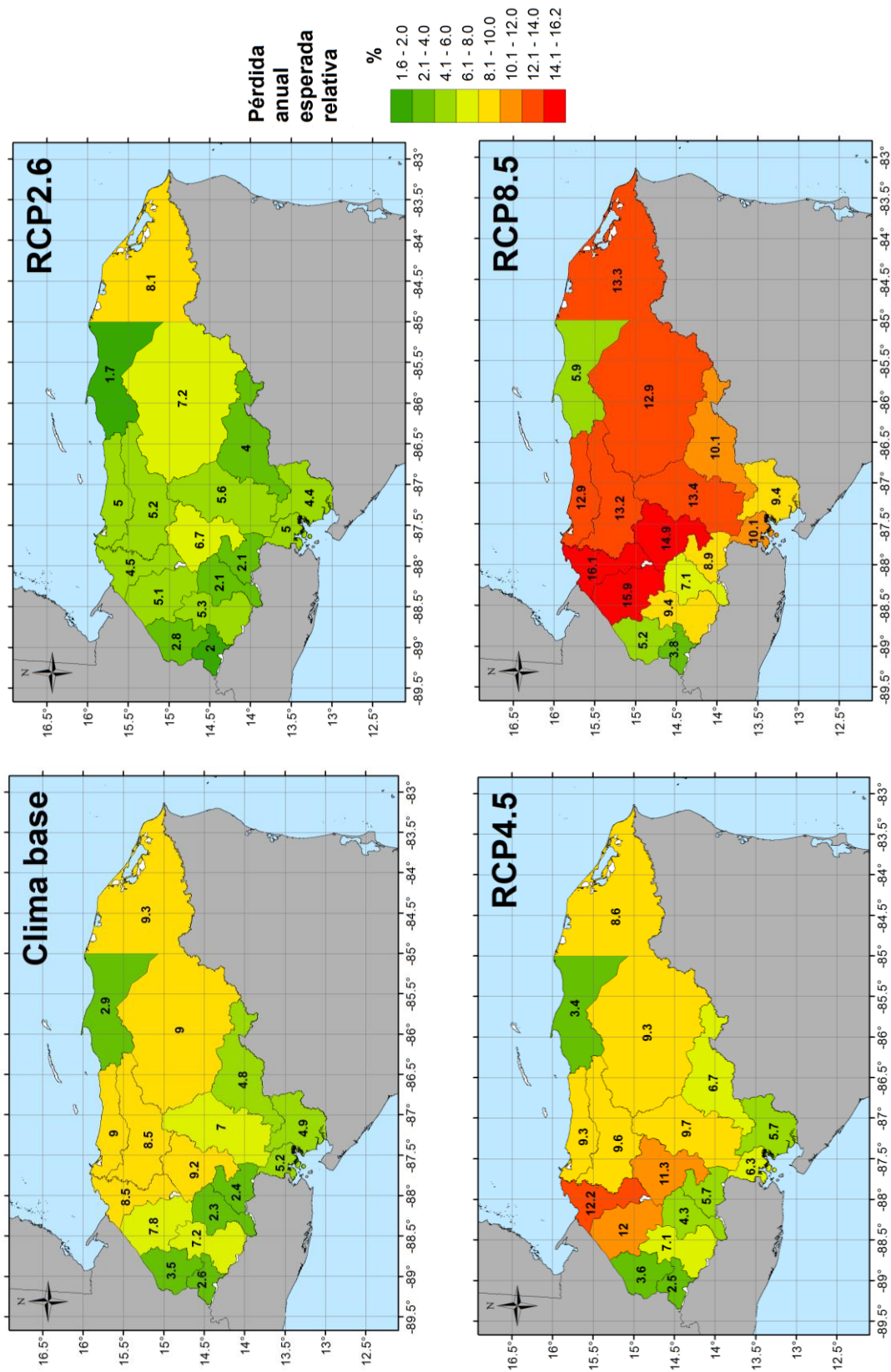


Figura 6-23. Mapas de pérdida anual esperada relativa (%) para Honduras.



Tabla 6-24. Resultados de pérdida anual esperada desagregados por departamento y escenarios de clima para Honduras.

Departamento	Clima Base		RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)	PAE [USD millones]	PAE Relativo (%)
Atlantida	23.5	9.04%	\$ 13.1	5.03%	\$ 24.3	9.34%	\$ 33.5	12.89%
Choluteca	8.1	4.93%	\$ 7.3	4.44%	\$ 9.4	5.73%	\$ 15.5	9.38%
Colon	6.5	2.92%	\$ 3.8	1.71%	\$ 7.5	3.35%	\$ 13.2	5.89%
Comayagua	12.6	9.20%	\$ 9.1	6.66%	\$ 15.5	11.34%	\$ 20.3	14.87%
Copan	5.8	3.48%	\$ 4.6	2.75%	\$ 6.0	3.61%	\$ 8.6	5.16%
Cortes	29.8	8.47%	\$ 15.7	4.47%	\$ 43.0	12.22%	\$ 56.5	16.07%
El_Paraiso	8.9	4.84%	\$ 7.4	4.02%	\$ 12.4	6.74%	\$ 18.6	10.06%
Francisco_Morazan	7.5	7.00%	\$ 5.9	5.56%	\$ 10.4	9.74%	\$ 14.3	13.39%
Gracias_a_Dios	0.2	9.29%	\$ 0.2	8.08%	\$ 0.2	8.61%	\$ 0.3	13.29%
Intibuca	1.4	2.31%	\$ 1.3	2.09%	\$ 2.5	4.27%	\$ 4.2	7.06%
La_Paz	2.1	2.40%	\$ 1.8	2.09%	\$ 4.9	5.65%	\$ 7.7	8.86%
Lempira	8.1	7.18%	\$ 5.9	5.29%	\$ 8.0	7.12%	\$ 10.6	9.42%
Ocatepeque	1.7	2.64%	\$ 1.3	2.02%	\$ 1.5	2.45%	\$ 2.4	3.84%
Olancho	8.8	8.97%	\$ 7.0	7.15%	\$ 9.1	9.28%	\$ 12.6	12.93%
Santa_Barbara	14.6	7.84%	\$ 9.5	5.11%	\$ 22.2	11.97%	\$ 29.6	15.91%
Valle	2.0	5.17%	\$ 1.9	4.99%	\$ 2.4	6.30%	\$ 3.8	10.09%
Yoro	20.1	8.52%	\$ 12.4	5.24%	\$ 22.7	9.61%	\$ 31.1	13.19%

#### 6.4.4 Impacto del riesgo por sequía en el sector agrícola nacional

Una vez obtenidos los resultados de riesgo por sequía para Honduras, se pueden analizar estos valores en términos de su impacto en la economía nacional, así como en la reducción esperada de la producción que puede tener algún impacto en términos de seguridad alimentaria.

En cuanto a la comparación con indicadores económicos, según reportes del Banco Mundial para 2017, el Producto Interno Bruto (PIB) de Honduras es de \$22,979 millones de dólares (a precios actuales). La contribución nacional del sector de Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca es el 13.9% del aporte al PIB Nacional (UPEG, 2017). El valor expuesto del portafolio de cultivos incluido en esta evaluación de riesgo por sequía, que es de \$2,477 millones de dólares, que es equivalente al 10.8% del PIB Nacional. Esta cifra mantiene el orden de magnitud de la participación del sector agrícola en la economía nacional.

En términos de pérdidas económicas esperadas, la













































Tabla 6-25 muestra la relación entre la pérdida anual esperada del portafolio completo de cultivos, para el escenario de clima base y los escenarios de cambio climático, con respecto al PIB Nacional. La PAE es el valor anual que debe pagarse para compensar, en el largo plazo, todas las pérdidas futuras. Se puede ver cómo el efecto de las sequías tiene un impacto considerable en la economía del país, dado que las pérdidas anuales esperadas corresponden a 0.6% del PIB en el escenario de clima base, y se incrementa hasta casi 1.1 puntos del PIB para el escenario de RCP8.5. Esto implica que en Honduras el riesgo por sequía de cultivos de secano, incluidos en este estudio, es alto y se deben considerar iniciativas para implementar prácticas agrícolas que permitan prevenir estas pérdidas.

Tabla 6-25. Pérdida anual esperada para el portafolio completo de cultivos de Honduras y su relación con el PIB Nacional

Honduras	PAE [USD Millones]	PAE/PIB <sub>2017</sub> [%]
<b>Clima Base</b>	\$ 140	0.61%
<b>RCP 2.6</b>	\$ 107	0.47%
<b>RCP 4.5</b>	\$ 161	0.70%
<b>RCP 8.5</b>	\$ 245	1.07%













































Por otro lado, a partir de los resultados de este estudio se pueden estimar las pérdidas de producción anual esperada (PPAE). Estos valores son útiles para evaluar el riesgo en términos de impactos de las sequías en la seguridad alimentaria y derivar en iniciativas que apoyen cada subsector de forma priorizada. La Tabla 6-26 muestra el resultado de pérdidas en toneladas del portafolio de granos básicos de Honduras, considerando que son productos de la dieta básica. Una baja disponibilidad de estos alimentos tiene un impacto directo en el acceso de la población común y son los productos de mayor participación en los cultivos de subsistencia. Es así como el maíz reporta las PPAE más altas, para los cuatro escenarios de clima y en sus dos tiempos de siembra (primera en mayo y postrera en agosto). Por otro lado, el sorgo reporta PPAE bajas en todos los escenarios de clima y temporalidades de siembra. La PPAE equivale a la producción que se debe reservar cada año para compensar las pérdidas en producción en el futuro.

Tabla 6-26. Pérdida de producción anual esperada para el portafolio de granos básicos de Honduras.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]	PPAE [ton]
Arroz	 2,118	 1,616	 2,647	 2,591
Fríjol asociado Postrera	 2,038	 1,758	 2,433	 3,466
Fríjol Postrera	 5,248	 5,017	 6,569	 9,403
Fríjol Primera	 1,135	 938	 1,054	 1,965
Maíz asociado Primera	 1,225	 1,272	 1,768	 2,227
Maíz Postrera	 6,393	 5,403	 6,979	 11,761
Maíz Primera	 10,374	 8,581	 10,425	 12,613
Sorgo asociado Postrera	 1,866	 1,877	 2,025	 2,651
Sorgo asociado Primera	 673	 622	 1,256	 2,058
Sorgo Postrera	 1,000	 994	 1,069	 1,473
Sorgo Primera	 493	 451	 786	 1,600

En cuanto a las pérdidas máximas probables, la Tabla 6-27 presenta los resultados para 100 años de periodo de retorno de la pérdida (no del evento amenazante). Entonces para una pérdida que en promedio se espera cada 100 años, para el caso crítico se estiman pérdidas en la producción de casi 64,000 toneladas en el maíz de siembra de primera y 45,000 toneladas para el maíz de siembra de postrera. En general todos los productos considerados dentro del portafolio de granos básicos reportan altas pérdidas

Tabla 6-27. Pérdida máxima probable para 100 años de periodo para el portafolio de granos básicos de Honduras.

Producto	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]	PML 100 años [ton]
Arroz	 13,482	 12,348	 14,951	 14,795
Fríjol asociado Postrera	 9,525	 9,012	 11,311	 12,813
Fríjol Postrera	 23,439	 23,904	 27,266	 31,075
Fríjol Primera	 6,576	 6,061	 6,072	 8,761
Maíz asociado Primera	 9,593	 9,324	 12,867	 14,640
Maíz Postrera	 31,593	 29,940	 35,323	 45,307
Maíz Primera	 62,697	 60,197	 63,866	 64,108
Sorgo asociado Postrera	 12,915	 7,814	 13,882	 14,246
Sorgo asociado Primera	 9,003	 2,268	 8,227	 9,781
Sorgo Postrera	 6,786	 6,827	 7,305	 8,000
Sorgo Primera	 4,938	 2,171	 8,205	 10,913

## 7 EVALUACIÓN RETROSPECTIVA DEL RIESGO

### 7.1 Enfoque probabilista en la evaluación del riesgo

La evaluación probabilista del riesgo tiene como objetivo establecer, en términos de probabilidad, la ocurrencia futura de desastres que produzcan algún impacto determinado en los elementos expuestos. Esta evaluación se realiza con base en la información disponible y teniendo en cuenta la incertidumbre inherente a cada componente del análisis.

La teoría actuarial del riesgo provee el marco conceptual necesario para abordar el problema en términos de probabilidad. Esta teoría permite modelar la ocurrencia de desastres y pérdidas causadas en el tiempo. Por supuesto, se considera (como es natural) que la ocurrencia de desastres no está determinada (no es determinista) en el tiempo, sino que se puede modelar con un proceso de Poisson. Un proceso de Poisson es un tipo de proceso estocástico que marca la ocurrencia de eventos en el tiempo de manera totalmente aleatoria. Los eventos, dentro de este contexto, se refieren a la ocurrencia de las pérdidas, independientemente de su origen. Es esto por lo que la teoría de riesgo es aplicable a cualquier fenómeno natural. La Figura 7-1 muestra una ilustración del proceso de Poisson.

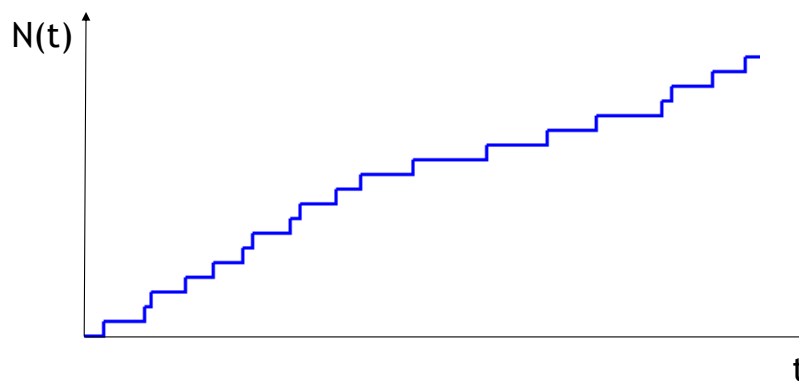


Figura 7-1. Ilustración de un proceso de Poisson

En un proceso de Poisson, se estudian dos variables aleatorias: el tiempo ( $t$ , variable independiente) y el número de eventos ocurridos en determinado tiempo ( $N(t)$ , variable dependiente). Como se ilustra en la Figura 7-1, los momentos de ocurrencia de los eventos se producen de manera totalmente estocástica, por lo cual se tienen en realidad infinitas posibilidades de desarrollo de un mismo proceso de Poisson. El parámetro principal del proceso de Poisson es su intensidad (o tasa)  $\lambda$ . El resultado del proceso es una colección de variables aleatorias con las siguientes características:

- Las variables aleatorias  $N(t)$ , es decir el número de ocurrencias en determinado tiempo, se distribuyen **Poisson** con parámetro  $\lambda t$
- Si  $T_k$  es el tiempo transcurrido entre el evento  $k-1$  y el evento  $k$ , entonces  $T_k$  es una variable aleatoria con distribución **exponencial** y parámetro  $\lambda$ .
- Si  $S_n$  es el tiempo transcurrido entre el evento inicio y el evento  $n$ , entonces  $S_n$  es una variable aleatoria con distribución **gamma** y parámetros  $n$  y  $\lambda$ .

El proceso de Poisson se configura entonces en términos de un único parámetro. Dentro de la evaluación del riesgo, este parámetro es la tasa de excedencia de pérdidas. Esto significa que, si se quiere modelar el riesgo de que se presenten en el futuro eventos que superan una pérdida  $p$ , entonces debe calcularse su tasa de excedencia  $v(p)$  como función de la probabilidad de que cualquiera de todos los escenarios de amenaza factibles de ocurrir en el territorio, supere  $p$ .

Sin embargo, la estimación de las tasas de excedencia  $v(p)$  no puede limitarse a un único valor de  $p$ . Es esto por lo cual se calcula la Curva de Excedencia de Pérdidas (CEP), la cual indica precisamente el valor de  $v(p)$  para cualquier  $p$  (desde 0 hasta el valor expuesto total). Esto significa que la CEP contiene los parámetros  $\square$  apropiados para definir el proceso estocástico de ocurrencia, en el tiempo, de pérdidas iguales o superiores a  $p$ , para cualquier valor económico de  $p$ . La CEP provee entonces una cuantificación exhaustiva del problema de riesgo, en términos de probabilidad.

A partir de la CEP se pueden calcular gran cantidad de métricas probabilistas, que ayudan a una completa comprensión del problema de riesgo a nivel nacional. Entre estas cabe resaltar la *Pérdida Anual Esperada* y la *Pérdida Máxima Probable*:

- c) *Pérdida Anual Esperada* (PAE): se trata del valor esperado de la pérdida anual. Es una cantidad importante puesto que indica, por ejemplo, que, si el proceso de ocurrencia de pérdidas fuera estacionario de aquí a la eternidad, su costo equivaldría a haber pagado la PAE anualmente. Por tanto, en un sistema simple de seguro, la pérdida anual esperada sería la prima pura de riesgo.
- d) *Pérdida Máxima Probable* (PML por las iniciales en inglés de *Probable Maximum Loss*): se trata de una pérdida que ocurre poco frecuentemente, es decir, que está asociada a un periodo de retorno muy largo (o, alternativamente, a una tasa de excedencia muy baja). No existen estándares universalmente aceptados para definir qué quiere decir “poco frecuentemente”. De hecho, la elección de un periodo de retorno u otro para tomar cierta decisión depende de la aversión al riesgo de quien la está tomando. En la industria aseguradora, por ejemplo, los periodos de retorno utilizados para definir la PML varían entre 200 y al menos 1500 años.

Las tasas de excedencia pueden estimarse a partir de la información histórica contenida en una base de datos de desastres (evaluación retrospectiva o empírica) o por medio de un modelo de riesgo (evaluación prospectiva o analítica). Para este proyecto se desarrollarán los cálculos de la curva de excedencia siguiendo ambos enfoques. No obstante, en este informe se presenta únicamente el primer enfoque, basado en la información histórica. La evaluación prospectiva del riesgo se realizará en fases posteriores de este proyecto.

### 7.1.1 Estimación de la tasa de excedencia

En la evaluación retrospectiva del riesgo, la curva de excedencia de pérdidas se calcula directamente de los datos disponibles. Estos datos corresponden a estimaciones del costo de los desastres ocurridos en el pasado (la estimación del costo asociado a desastres pasados se trata en la siguiente sección). Esta información se determina a partir de la base de datos DesInventar.

Nótese que, al ser una estimación basada en información histórica, la estimación en sí misma es incierta. Es decir, si hipotéticamente contásemos con más años de registro de desastres, o con un periodo de tiempo diferente, o incluso, con una metodología más acertada de estimación del costo de los eventos, la estimación de la tasa de excedencia cambiaría. Esto implica que el valor estimado para dicha tasa depende de la muestra de datos, y como dicha muestra es solo una realización (medida en un tiempo relativamente corto) del proceso de ocurrencia de pérdidas, la tasa de excedencia estimada es una variable aleatoria.

Al realizar la evaluación retrospectiva, los desastres valorados se organizan en una gráfica de pérdida contra el tiempo, como se muestra en la Figura 7-2. Al establecer una cantidad de pérdida arbitraria  $p$ , podemos identificar de la gráfica todos los eventos que exceden  $p$  (véase la Figura 7-2). Es posible determinar de esta información los tiempos entre eventos para  $p$ . El conjunto de valores observados ( $T_1, T_2, \dots, T_n$ ) se usará para estimar el parámetro  $\lambda$  de una distribución exponencial, la cual corresponde a la distribución de probabilidad del tiempo entre eventos de un proceso de Poisson, que además tiene la particularidad de ser el mismo  $\lambda$  que define el proceso de Poisson completamente (i.e. es la misma tasa de excedencia,  $\square = v(p)$ ).

La ventana de tiempo para calcular  $\lambda$  varía dependiendo del país y de la información disponible en DesInventar. Para El Salvador se tiene un periodo de registros de 23 años, para Guatemala de 26 años y para Honduras de 27 años.

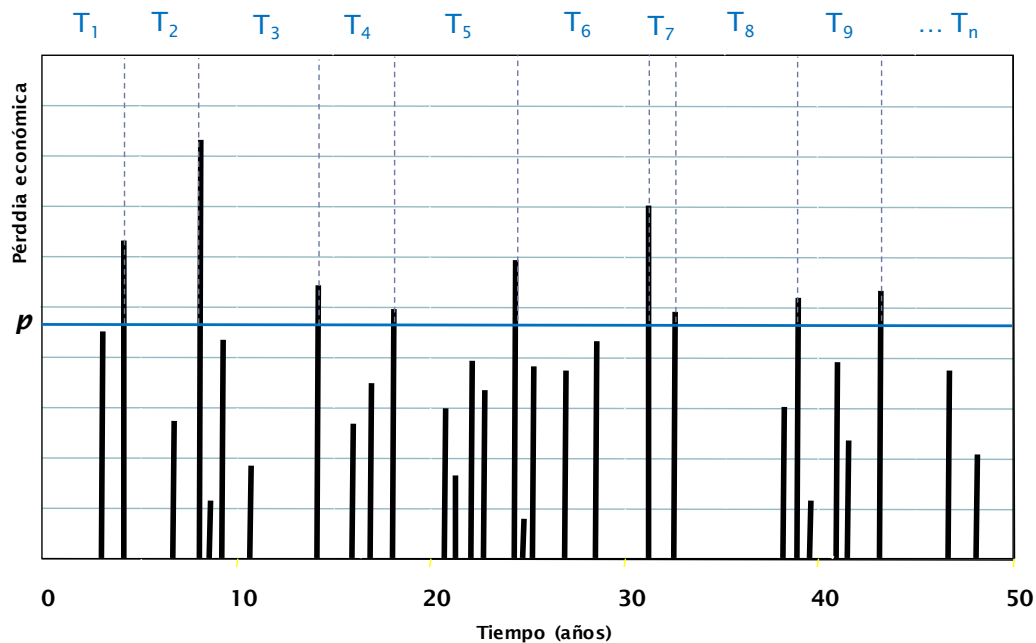


Figura 7-2. Ilustración de pérdidas contra el tiempo, valoradas a partir de una base de datos de desastres.

La tasa de excedencia poblacional ( $\Lambda$ ) es estimada mediante la tasa de excedencia empírica ( $\hat{\Lambda}$ ) de la siguiente manera:

$$\hat{\Lambda} = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (\text{Ec. 7-1})$$

En donde  $n$  es el número de eventos que superan la pérdida  $p$  y  $T_i$  son los tiempos observados. Este estimador cumple con los cuatro criterios estadísticos de calidad de la estimación de parámetros de distribuciones de probabilidad: es no sesgado, de varianza mínima, consistente y suficiente. Ahora bien, es posible demostrar que el estimador  $\hat{\Lambda}$  sigue una distribución de probabilidad *Gamma inversa* con parámetros  $n$  y  $(n-1)\hat{\Lambda}$ , a partir de lo cual se puede determinar su coeficiente de variación (CV) como:

$$CV = \frac{1}{\sqrt{n-2}} \quad (\text{Ec. 7-2})$$

El coeficiente de variación indica la relación entre la desviación estándar y la media de una variable aleatoria. Como se indica en la ecuación 3-2, CV disminuye a medida que el número de datos ( $n$ ) aumenta. La ecuación 3-2 es una fórmula estándar, aplicable a cualquier problema de estimación retrospectiva del riesgo, en donde el CV de la tasa de excedencia varía con el tamaño de la muestra como se indica en la Figura 7-3.

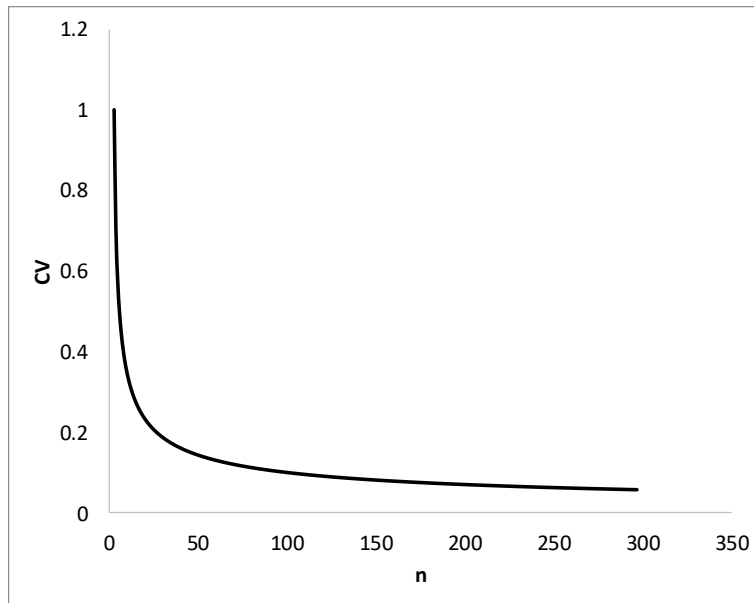


Figura 7-3. Variación del coeficiente de variación de la tasa de excedencia con el tamaño de la muestra.

Como puede verse en la Figura 7-3, el CV crece rápidamente a medida que  $n$  disminuye. Esto quiere decir que, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas grandes (eventos catastróficos) en base a la información histórica, para los cuales se contará con un valor pequeño de  $n$  (es decir, pocos eventos que exceden esa pérdida dentro de la base de datos), la dispersión de la estimación (i.e. su desviación estándar) es muy grande en comparación a la estimación misma, lo cual implica una posibilidad de error muy grande. Por el contrario, al estimar la tasa de excedencia de pérdidas con cuantía menor,  $n$  será necesariamente un número más grande y, en consecuencia, la dispersión de la tasa disminuye a valores incluso despreciables en la práctica. Es esto por lo que, para cuantías de pérdida menores, la evaluación retrospectiva es suficiente, mientras que, para pérdidas grandes o muy grandes, resulta estadísticamente insuficiente y debe entonces recurrirse al uso de modelos analíticos.

## 7.2 Costo de los desastres

La valoración económica de los efectos de los desastres que se han presentado en el pasado es una tarea que no se ha hecho en forma sistemática. En el mejor de los casos, lo que se ha hecho es la consolidación de algunos datos acerca de los efectos; lo que ha permitido reflejar, de manera muy general y no sin dudas y controversias, el costo directo de daños y pérdidas. Claramente, aún con técnicas bien concebidas, las evaluaciones se limitan a cifras muy básicas de costos que han estado lejos de dimensionar el impacto de los desastres de una manera mucho más rigurosa, en términos sociales, ambientales y económicos. Esto se presenta por la falta de información precisa o confiable, por la inevitable diversidad de criterios y por las subjetividades inherentes de los mismos evaluadores o interesados. En realidad, el impacto de un desastre difiere del costo per se. Es esto por lo que el problema de la medición del impacto se presenta en la literatura como algo irresoluble, o en el mejor de los casos como inmedible. Sin embargo, los intentos de medición tienden a concentrarse en:

- a. Los efectos causados por grandes desastres, ignorando los efectos de los pequeños e incluso, en muchos casos, los efectos de los desastres de mediana magnitud cuando éstos no tienen un elevado costo que afecte directamente las principales variables de tipo macroeconómico.
- b. Atender la medición de los efectos causados a sectores consolidados de la economía o estructuras formales, ignorando los efectos en los sectores informales o marginales de subsistencia.



En lo que se refiere a la estimación del impacto, además de incluir el aspecto económico (tanto en negativo como en positivo) se debe considerar otro tipo de variables que no siempre es posible medir en términos monetarios o cuya cuantificación se dificulta por su naturaleza. Entre ellas, se puede mencionar la desarticulación económica de sectores marginales e informales de la economía local, la pérdida del patrimonio familiar o individual de sectores marginales, la destrucción de formas de subsistencia de autoconsumo, la migración causada por un desastre, además de otros factores que pueden darse en casos específicos, como puede ser la destrucción parcial o total de sitios y edificios históricos, obras de arte, patrimonio científico, etc.

En general, cuando ocurre un gran desastre, existen mayores posibilidades (o al menos mejores condiciones) de que los recursos para ayuda y reconstrucción fluyan hacia las poblaciones afectadas, aunque esto no siempre suceda así y tampoco se refleje en una distribución equitativa de ellos. Sin embargo, generalmente cuando ocurre un desastre de pequeña o mediana magnitud, es la propia población la que tiene que invertir recursos para rehabilitar sus actividades productivas y cotidianas, dado que en la mayoría de los casos la ayuda proveniente tanto de los gobiernos centrales como de organismos externos, es prácticamente nula. Son en cierta forma desastres “invisibles”. Por otra parte, normalmente los gobiernos locales son muy débiles en lo que se refiere a la disponibilidad de recursos para la inversión o en la capacidad para gestionarlos ante otros niveles de gobierno, en la disponibilidad de personal calificado y en la existencia de esquemas de planificación o gestión territorial efectiva, lo que contribuye a que los desastres tengan un mayor impacto, si no directo, sí en términos de los efectos secundarios que se reflejan en un deterioro aún mayor de los niveles de vida de la población o en la imposibilidad de mejorarlos en el corto y mediano plazo. En el caso de las poblaciones que permanentemente sufren algún tipo de desastre, la pérdida de los medios de subsistencia puede representar uno de los aspectos más importantes de obstaculización para el desarrollo, ya que cada suceso interrumpe la actividad normal y cancela la posibilidad de mejorar esos medios de subsistencia al invertir los pocos recursos económicos existentes en su reposición, que con frecuencia se hace en condiciones menos favorables que las que se tenían anteriores a su ocurrencia.

Por lo anterior y sin pretender resolver la complejidad de la evaluación del impacto de los desastres, este informe intenta ilustrar, con una técnica simplificada, el costo indicativo que hubiesen tenido que asumir los gobiernos centrales, si se hubiera cubierto en el pasado la reposición, reparación o reconstrucción de los activos afectados. Esto en función de los limitados datos disponibles de los efectos ocurridos, que usualmente son deficientes e incompletos, particularmente en el caso de los desastres menores. En otras palabras, se intenta dar cuenta de los costos que, al no ser cubiertos, en muchos casos, por los gobiernos, han tenido que ser asumidos o absorbidos por los afectados. Esta, aunque es una valoración económica hipotética, simplificada y conservadora, ilustra de alguna manera el impacto a las comunidades en su contexto y el no despreciable gasto que hubiesen tenido los gobiernos. De esta manera se revela, a través de las cifras de los eventos históricos y el uso de la curva empírica de excedencia de pérdidas, un problema especialmente relevante en los países en desarrollo donde los desastres, particularmente los menores, no han sido visualizados en su verdadera dimensión social y económica. De paso se da una idea de los recursos económicos que deberían tener los gobiernos para atender la reposición de activos y medios de sustento de los eventos más recurrentes.

### **7.2.1 Metodologías para estimar costos de los desastres**

Existen varias metodologías para estimar el costo de los desastres. Una de las más utilizadas es la descrita en el “Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres” (CEPAL, 2003). Esta técnica contiene una guía que orienta la manera como se puede hacer una estimación del costo económico de los desastres. En desastres usualmente mayores o relevantes para los gobiernos nacionales y los organismos internacionales, esta técnica ha sido utilizada para dar cuenta de este tipo de eventos, por solicitud expresa de los gobiernos, sin embargo el detalle de la información requerida, la necesidad de

contar con especialistas en diferentes sectores y el tiempo necesario para su correcta aplicación hacen inviable su uso cuando se trata de estimar el costo de cientos o, en ocasiones, de miles de desastres menores registrados en el nivel local.

A pesar de no siempre poder aplicar en su totalidad una metodología detallada como la mencionada, para el caso de desastres mayores se reconoce que es la mejor opción, si se hace un esfuerzo para determinar no sólo el costo sino el impacto del desastre de acuerdo con los diferentes contextos. Esto se traduce en la necesidad de llevar a cabo la reflexión de para quién es el desastre y sus implicaciones. Ahora bien, para el caso de los muchos desastres menores que se presentan en la mayoría de los países, dadas las limitaciones prácticas del uso de métodos detallados de valoración de efectos directos e indirectos y por la ausencia obvia de información, se ha desarrollado una técnica simplificada de valoración, basada en la reposición de activos, para efectos de dar cuenta de las implicaciones que tienen los desastres en lo local y al mismo tiempo en forma acumulada y recurrente para un país o una región. Su enfoque no es la valoración de lo que se ha destruido (e.g. una vivienda precaria) sino la valoración de la reposición o el reemplazo del activo como resultado de la responsabilidad fiscal del estado (e.g. una vivienda básica o de interés social).

Esta metodología permite valorar los principales efectos de los desastres, de los cuales se disponga una información básica, de manera que al utilizar las bases de datos de desastres se pueda contar con información indicativa para caracterizar tanto la recurrencia como el costo de los desastres en una región o en un país. La metodología empleada hace uso de la base de datos DesInventar (<http://www.desinventar.org/>). Esta base de datos provee información de los efectos en la población y de los daños que se han presentado por diferentes tipos de evento; e.g. sismos, inundaciones, deslizamientos, volcanes, huracanes y sequías, entre otros. Dicha información puede considerarse razonablemente creíble y consistente después de cierta depuración y útil por las siguientes razones:

- a. Una vez los efectos han sido valorados con criterios coherentes con el propósito del análisis, permite estimar las consecuencias económicas de los eventos y facilita la estimación en forma confiable de cuáles de dichos eventos dominan o controlan las mayores pérdidas en un país o región.
- b. Complementa los resultados de la evaluación analítica o prospectiva del riesgo, ya que permite definir en forma empírica la curva de excedencia de pérdidas para los eventos de menor intensidad. En este segmento de la curva de excedencia de pérdidas, usualmente, las evaluaciones analíticas son poco confiables.
- c. Sirve como referente para contrastar el costo de desastres ocurridos con estimaciones de pérdidas realizadas con modelos analíticos de evaluación del riesgo físico, utilizando para el efecto escenarios específicos deterministas.

### **7.3 Cuantificación de los impactos de la sequía**

La cuantificación de los impactos es un elemento fundamental dentro del ámbito del conocimiento del riesgo de desastre. Dimensiona en parte el tamaño del problema. El conocimiento de los daños históricos permite derivar potenciales daños a futuro. Es, por lo demás, uno de los principales argumentos para enfatizar y justificar las acciones técnicas y políticas que la gestión del riesgo de desastre impulsa en diversos contextos institucionales.

Existen condiciones estructurales que condicionan el registro de impactos por desastres como la poca cantidad de datos, su baja calidad o dificultad para agregar y comparar; así como dificultades por vaguedad conceptual o las particularidades de la manifestación de la sequía (Ver Anexo A. 1 para más información). Entonces, la información sobre las afectaciones derivadas de eventos de sequía es limitada. A

continuación, se presenta un resumen de la información recopilada de publicaciones oficiales sobre eventos de sequía en los tres países del Triángulo Norte.

### **7.3.1 Eventos de sequía reportados en el área de estudio**

Existen aspectos del impacto de las sequías que son generales para los tres países del diagnóstico, El Salvador, Guatemala y Honduras. Algunos de estos, como los episodios más relevantes, constituyen periodos en los que se concentra importante cantidad de reportes de afectaciones, que ha permitido a las instituciones de los países conocer mejor las dimensiones del fenómeno y las ramificaciones de su impacto.

- **Sequías significativas**

De acuerdo con las fuentes oficiales consultadas, se destacan seis episodios que tuvieron implicaciones de consideración en la mayoría del istmo centroamericano, y que incluyeron a los tres países del estudio. Anterior a la sequía de 1982 la información disponible en fuentes secundarias virtuales no registra eventos de significancia:

- 1) 1982 – 1983
- 2) 1998
- 3) 2001
- 4) 2010
- 5) 2014 – 2015

Estos episodios trascendieron en los medios y en términos de atención institucional pues detonaron mecanismos de respuesta a nivel nacional. Se convirtieron en crisis que atrajeron la ayuda de organismos internacionales y que, como en el caso del episodio de 2014 – 2015 en Guatemala, desencadenó una crisis humanitaria. No obstante, cabe destacar que el impacto de las sequías en los países es significativamente mayor. Estos episodios podrían considerarse manifestaciones de riesgo intensivo pues afectaron grandes segmentos de la población. Sin embargo, los impactos por sequía también tienen una manifestación extensiva, que suele darse en espacios más reducidos y con una mayor recurrencia dentro de territorios que tienen altos índices de vulnerabilidad y que, ante las menores manifestaciones de la variabilidad climática ponen de manifiesto los niveles existentes de riesgo.

Por otra parte, es relevante notar que no todos estos episodios de sequía guardan relación directa con ENOS. En el caso de la sequía de 2001, una de las más graves dentro de este registro, los índices de calentamiento del Océano Pacífico estuvieron por debajo de los umbrales de declaración de ENOS (ABM, 2017). De manera similar, en el periodo 1992 – 1994 hubo un registro de tres Niños consecutivos; sin embargo, no hay registros de sequía en Centroamérica. Tampoco en 2002, cuando se registra un Niño, pero la sequía en la región se manifestó el año anterior.

### **7.3.2 Afectaciones por país, asociadas a sequía**

A continuación, se presenta un ejercicio de consolidación de impactos atribuidos a la sequía en los tres países del estudio. El análisis se enfoca en tres aspectos de la cuantificación de los impactos: las áreas de mayor recurrencia de impacto, las actividades productivas que dentro del portafolio agropecuario se ven más afectadas y la cuantificación de daños y pérdidas que se hace para cada uno de estos.

#### ***El Salvador***

Los reportes y noticias consultadas destacan las principales afectaciones en los cultivos del maíz, frijol y sorgo. Estas son las actividades que más cobertura técnica y periodística reportan y que, adicionalmente, se vinculan directamente con los niveles de afectación de familias de escasos recursos, que dependen de la producción de estos cultivos para su subsistencia. Otros cultivos que se reportan afectados durante los

episodios de sequía son el café, la caña de azúcar, hortalizas y pastos. En términos de distribución geográfica, las pérdidas se concentran en los departamentos del este del país, principalmente en La Unión, San Miguel y Usulután (Figura 7-4).

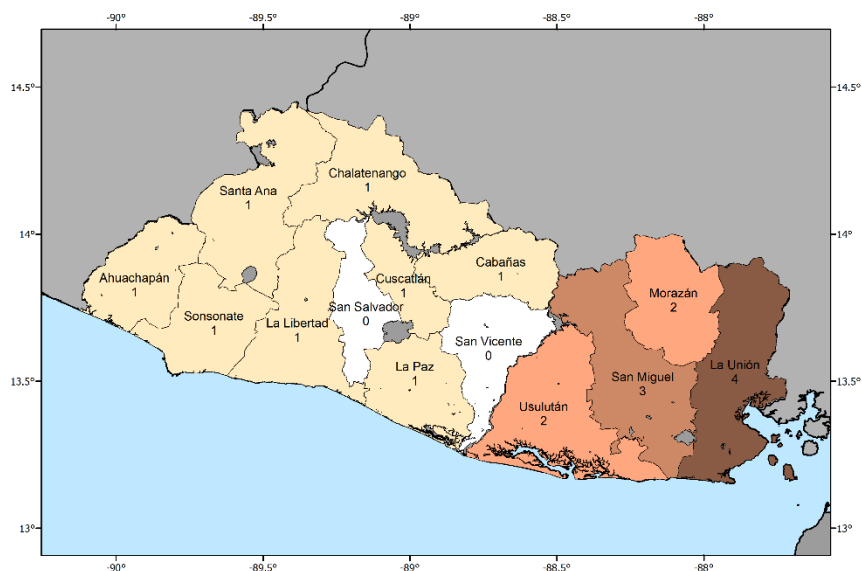


Figura 7-4. Concentración de los reportes de daños y pérdidas atribuidos a sequías a nivel departamental en El Salvador. Fuente: Elaboración propia a partir de registros de DesInventar

Los reportes de daño varían entre cada episodio en términos de la forma de cuantificarlos. Para la sequía de 1997 – 1998, por ejemplo, se habla de una afectación al 25 por ciento de los productores agropecuarios; y unas pérdidas estimadas en \$200 millones de dólares. Para la sequía de 2001 se reportaron afectaciones en el 61 por ciento de los productores. También se establecieron porcentajes de pérdidas en los tres cultivos principales: 77,5 por ciento de pérdidas en maíz, 87,6 por ciento de pérdidas en frijol y 80,3 por ciento en sorgo. Sin embargo, no se hicieron estimaciones monetarias de lo que implicó este impacto; solo se reportaron pérdidas totales, que se calcularon en \$163 millones de dólares. Romano (sf), citado por MARN y SNET (2001) estableció porcentajes de pérdidas para cuatro tipos de granos básicos que se muestran en la Figura 7-5.

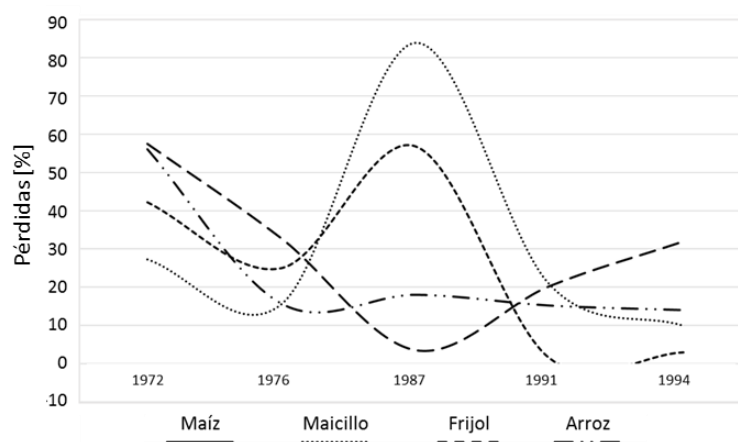


Figura 7-5. Porcentaje de pérdidas atribuidas a la sequía en granos básicos en El Salvador. Fuente: Elaboración propia a partir de MARN y SNET (2001).

Para el caso de la sequía derivada de El Niño 2014 – 2015, se estimaron pérdidas económicas generales que ascendieron a \$145 millones de dólares: \$70 millones en 2014 y \$74 millones en 2015.

### Guatemala

En el caso de Guatemala, los cultivos en donde aparece la mayor cantidad de pérdidas son el maíz y el frijol. En 2009 se reportó la muerte de 25 niños por causa de falta de alimentos y 54 mil familias afectadas por casos de desnutrición. Otros cultivos que también se mencionan como afectados, aunque en menor medida son: sorgo, arroz, trigo, café, banano, hortalizas y caña de azúcar.

Geográficamente las pérdidas también presentan un claro patrón de concentración. Los departamentos en donde se concentran los reportes se encuentran en las regiones montañosas del centro del país, en donde destacan los departamentos de Baja Verapaz, Quiché, El Progreso, Chiquimula, Jalapa, Zacapa y Jutiapa (Figura 7-6).

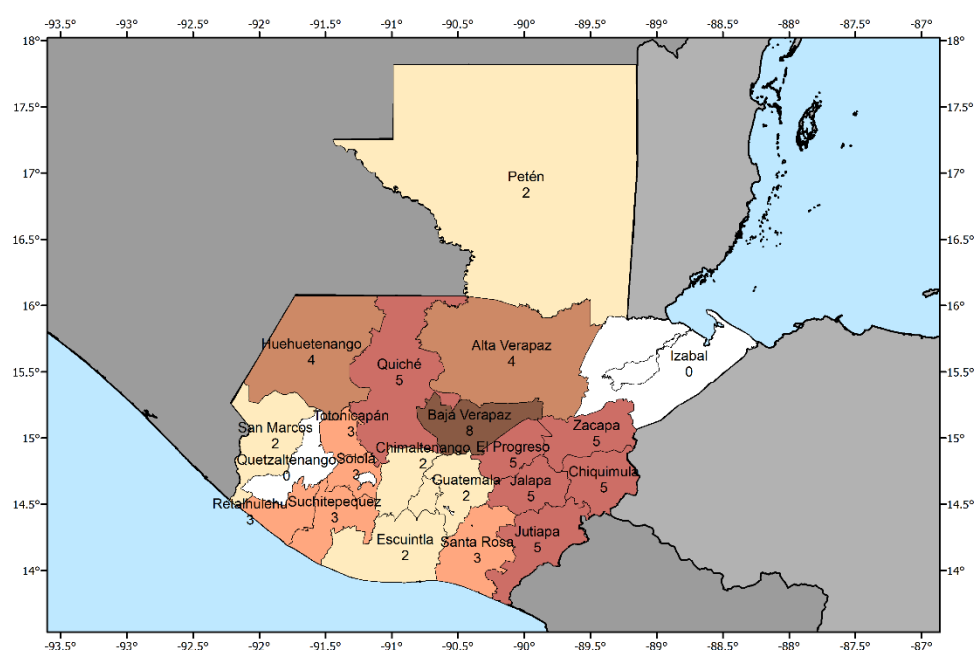


Figura 7-6. Concentración de los reportes de daños y pérdidas atribuidos a sequías a nivel departamental en Guatemala. Fuente: Elaboración propia a partir de registros de DesInventar

Para el caso guatemalteco, los reportes de pérdidas suelen utilizar porcentajes para describir la magnitud de la emergencia. Durante la sequía de 1997 – 1998, las pérdidas totales se equipararon al 0,5 por ciento del producto interno bruto. En el caso de la sequía de 2001, se estimó la pérdida en frijol en aproximadamente un 80 por ciento de la cosecha. En la sequía de 2009, se estimó una afectación de 450 mil familias y un 60 por ciento de los niños guatemaltecos.

### Honduras

Honduras también registra sus mayores pérdidas en el frijol y maíz. En 2015, el 75 por ciento de las pérdidas se ubicaron en ambas actividades. Adicionalmente, otras actividades también se han visto afectadas durante episodios de sequía: arroz, palma africana, caña de azúcar, melón, ganado vacuno y la producción camaronera.

Los departamentos de Choluteca, El Paraíso y Lempira se encuentran dentro de los más afectados, aunque la distribución de los impactos también se contabiliza en otros departamentos (Figura 7-7).

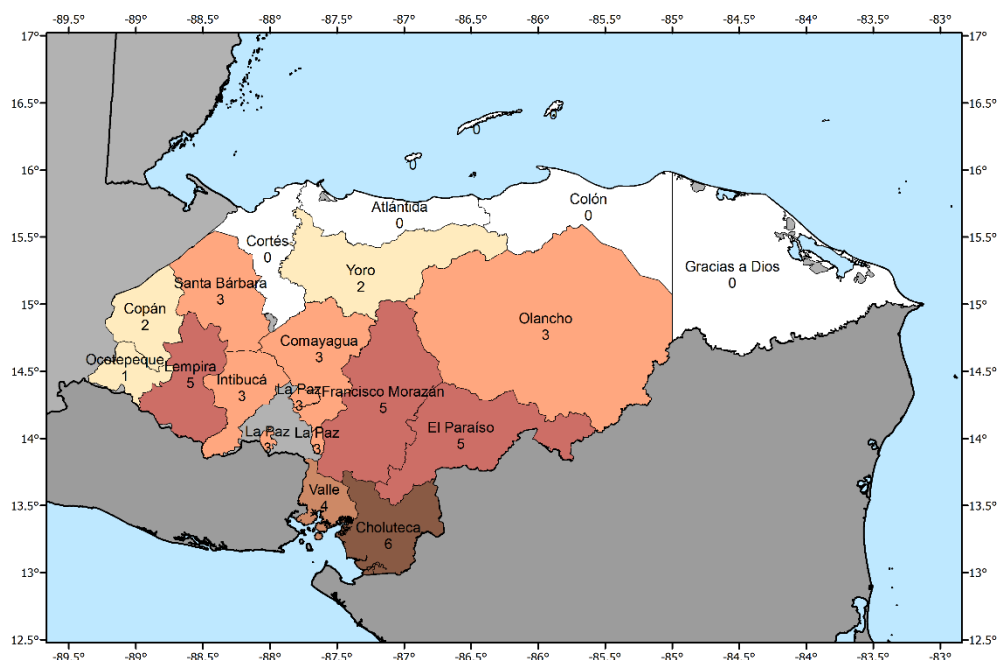


Figura 7-7. Concentración de los reportes de daños y pérdidas atribuidos a sequías a nivel departamental en Honduras. Fuente: Elaboración propia a partir de registros de DesInventar.

En 2010, las pérdidas económicas se estimaron en \$25 millones de dólares, a lo que se le suman \$30 millones de dólares que fueron destinados a la atención de la emergencia. La Tabla 7-1 muestra datos consolidados por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Honduras, que reportan las pérdidas para el sector agropecuario durante diferentes episodios de sequía. Hasta 2011, se había estimado combinado de 260 millones de dólares en pérdidas en el sector agropecuario durante las últimas cinco sequías (Kawas, 2011).

Tabla 7-1. Estimación de pérdidas por sequía en el sector agrícola en Honduras

Años	Pérdidas aproximadas [USD]
1997 – 1998	1'302,000
2002 – 2003	37'437,000
2004 – 2005	122'469,000
2006 – 2007	10'512,000
2008 – 2009	852,780

Fuente: UNAH-IHCIT (2010).

#### 7.4 Curva de excedencia empírica para El Salvador, Guatemala y Honduras

La base de datos de desastres DesInventar para cada país contiene registros que abarcan varias décadas. Debido al extenso catálogo de eventos disponibles es necesario evaluar su regularidad y su relevancia

considerando las condiciones de exposición y vulnerabilidad actuales. El rango de tiempo que se selecciona como periodo de análisis debe ser un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente.

Una vez determinado el periodo de análisis, se seleccionan las amenazas naturales presentes en el país, en las cuales se agruparán las diferentes causas reportadas en la base de datos. Se excluyen de este análisis los eventos antrópicos de tipo deslizamiento, huracanes, tectónicos y volcánicos. En este caso sólo se tienen en cuenta eventos asociados a fenómenos hidrometeorológicos como categoría detonante; las sequías se categorizan junto estos eventos. Esto se hace en razón a la escasa información de pérdidas económicas reportadas en eventos de sequía. Entonces se construye la curva de excedencia de pérdidas empírica para todos los eventos hidrometeorológicos.

La metodología empleada para el almacenamiento de eventos en la base de datos recomienda su registro al nivel local, esto es, en la mayoría de los casos ciudades y municipios. Es por esto que para realizar el presente estudio a nivel nacional es necesario agruparlos. Para este caso se agrupan los registros correspondientes a eventos hidrometeorológicos a nivel regional (por Departamento, campo “level0” de la base de datos). La combinación de los registros presentes en la base de datos emplea parámetros temporales y espaciales que permitan de manera aproximada considerar los eventos causantes. La agrupación se ejecuta de acuerdo con las relaciones temporales entre las categorías establecidas en la Tabla 7-2. Los parámetros espaciales toman en cuenta el lugar donde ocurrió el evento para agruparlo con los registros relacionados cercanos. Los parámetros temporales toman en cuenta que las consecuencias causadas por un evento pueden ser reportadas en diferentes días. También se considera que una categoría puede desencadenar un evento secundario perteneciente a otra categoría. De esta forma, se obtienen los resultados del número de eventos y la afectación total por categoría después de llevar a cabo la agrupación.

Tabla 7-2. Relación entre categorías

Categoría detonante	Categoría causada	Intervalo [días]
Hidrometeorológicos	Hidrometeorológicos	2
Hidrometeorológicos	Deslizamientos	2

La valoración económica de los registros agrupados se realizará estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables. Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará en parte con la reparación de las viviendas averiadas. Conforme a los costos unitarios de reposición y a la afectación según los reportes de desastres, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración económica de las pérdidas generadas en eventos pasados. A continuación, se presentan los resultados para cada país de diagnóstico de reportes en la base de datos DesInventar, categorización y agrupación de amenazas naturales, valoración económica de pérdidas generadas y la curva de excedencia de pérdidas.

Cabe anotar que los resultados acá presentados incluyen el efecto de todos los desastres reportados en la base de datos DesInventar para El Salvador, Guatemala y Honduras, y no exclusivamente los asociados a sequías, con el fin de proveer una visión retrospectiva completa del riesgo.

### 7.4.1 El Salvador

La base de datos de desastres de El Salvador contiene registros que abarcan desde el año 1990 hasta el año 2015. Debido al extenso catálogo de eventos disponibles es necesario evaluar su regularidad y su relevancia considerando las condiciones de exposición y vulnerabilidad actuales. Debido a esto, se seleccionó como periodo de análisis el rango comprendido entre los años 1992 – 2014 (23 años), el cual presenta un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente. La Figura 7-8 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año seleccionado, que incluyen eventos en todas las categorías de causas detonantes (hidrometeorológico, tectónico, volcánico, huracán y deslizamiento).

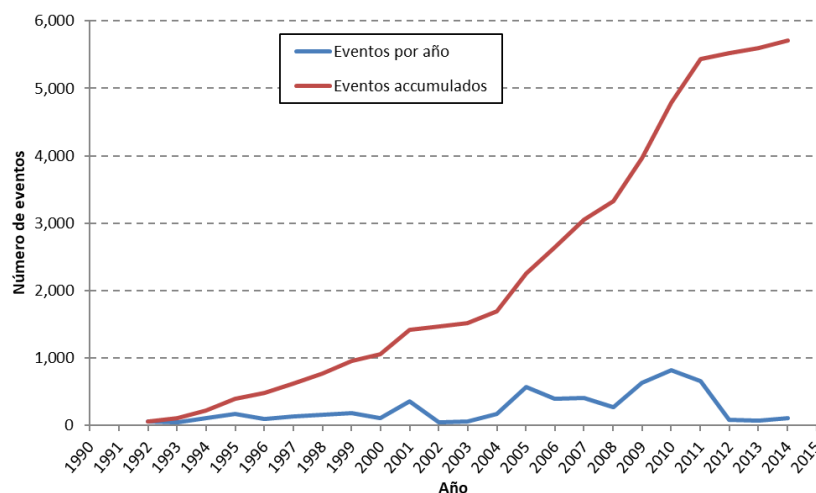


Figura 7-8. Número de registros por año en DesInventar para El Salvador.

Según las categorías definidas, la afectación total reportada en DesInventar para El Salvador se muestra en la Tabla 7-3 y la Figura 7-9. Los eventos de sequía están dentro de la categoría de eventos hidrometeorológicos.

Tabla 7-3. Afectación total por categoría para El Salvador

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Deslizamiento	801	304	785	3,638	877
Hidrometeorológicos	2,207	519	337	42,358	3,830
Huracán	440	157	721	5,973	10,629
Tectónicos	325	8,308	1,232	172,342	138,681
Volcánicos	53	0	0	100	0



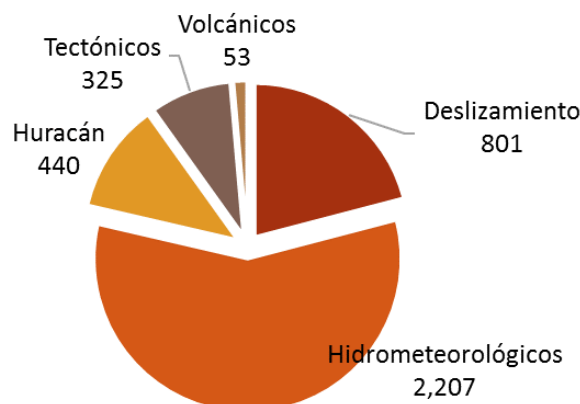


Figura 7-9. Distribución de la afectación total por categoría para El Salvador

Luego de agrupar los eventos, según los parámetros espaciales y temporales definidos en la Tabla 7-2, se tiene el siguiente resumen de afectación para El Salvador.

Tabla 7-4. Resumen de afectaciones por categoría agrupada para El Salvador.

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Hidrometeorológicos	1,111	518	354	41,001	4,097

La valoración económica de los registros agrupados se realiza estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables (Velásquez, 2015). Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará en parte con la reparación de las viviendas averiadas.

Tabla 7-5: Costos unitarios para El Salvador

	Casas averiadas	Casas destruidas	Escuelas (3)	Centros de salud (4)	Vías (5)
Area [m2]	45	45	75	48	
Valor/m² [USD] (1)	357	357	357	357	
Desarrollo urbano [%] (2)	0	0.4	0.4	0.4	
Impacto [%]	0.25	1	1	1	
Costo por unidad [\$US/unit]	4,021	22,518	37,530	24,019	220

(1) Se estima que el costo de un metro cuadrado de construcción es de 1.18% PIBPC + 304.74 USD

(2) Entre los costos que engloba este concepto se encuentran: viabilidad, servicios públicos, vías, saneamiento y parques

(3) Se estiman dos aulas (6m x 5m) y un espacio administrativo/logístico de 15 m2

(4) Se considera un área de espera (3x4), una oficina (3x4), un área para atención básica y primeros auxilios, y áreas para almacenamiento (insumos médicos, mantenimiento)

(5) El costo de reparación/rehabilitación por metro de vía se obtiene del proyecto ROCKS (Banco Mundial), el cual se multiplica por valores de distribución de vías asfaltadas (Indicadores del banco mundial) y se corrige por los años desde que el proyecto se culminó.

En cuanto a los eventos de sequía con información de pérdidas económicas del sector agropecuario, en El Salvador se han presentado los siguientes reportes, como se presentó en la Sección 7.3.2:

Tabla 7-6: Pérdidas por sequía para El Salvador en dólares americanos [USD]

Años	Pérdidas aproximadas
	[USD]
2001	\$ 163,000,000
2014	\$ 70,000,000
2015	\$ 74,000,000

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla 7-5 y a la afectación presentada en la Tabla 7-4, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla 7-7 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla 7-7: Pérdidas por categoría para El Salvador en dólares americanos [USD]

Categoría	Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
Sequía	3	0.13	307,000,000	13,347,826	102,333,333
Hidrometeorológicos	1,111	48	270,935,124	11,779,788	243,866

La Tabla 7-8 muestra los valores de pérdida acumulada, pérdida anual promedio (PAE) y pérdida por evento.

Tabla 7-8. Pérdida anual esperada para El Salvador en dólares americanos [USD]

Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
1,114	48	577,935,124	25,127,614	102,577,199

La Figura 7-10 muestra la CEP retrospectiva para El Salvador, indicando el valor estimado de la tasa de excedencia y su correspondiente banda de incertidumbre construida como la tasa estimada +/- su desviación estándar. Una vez valorados los diferentes registros y agrupados en eventos, la curva se construye evaluando para diferentes niveles de pérdida el número de eventos que igualan o superan dicho nivel de pérdida sobre el periodo de tiempo de eventos disponible. Ver Velásquez (2015) para mayor detalle.

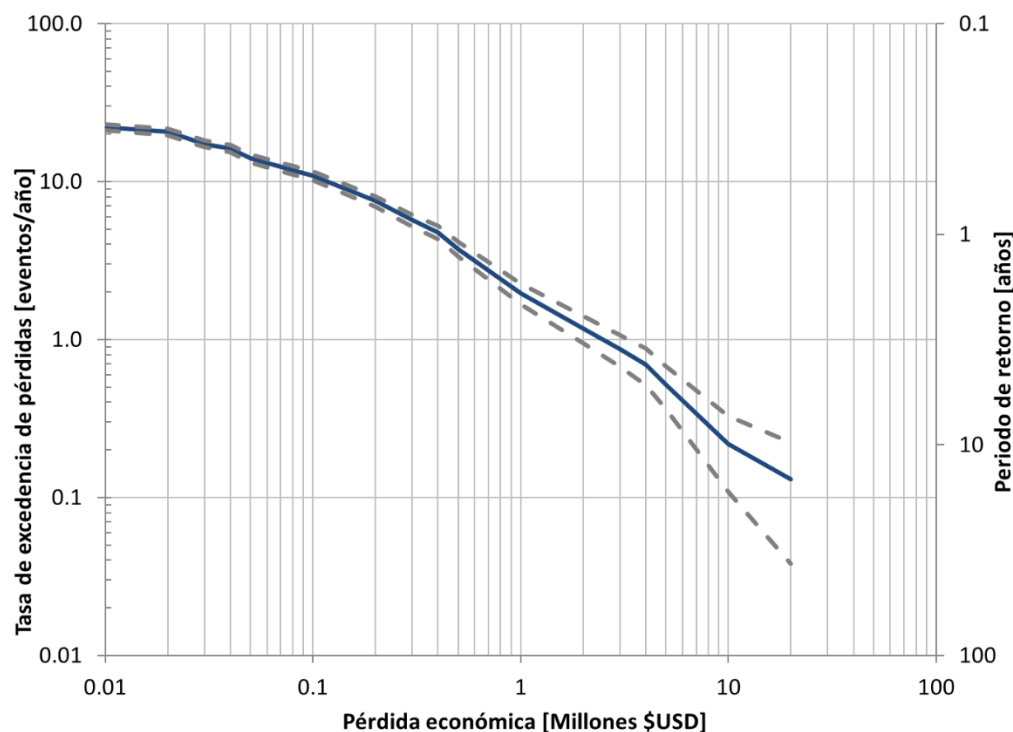


Figura 7-10. Curva de excedencia de pérdidas total para El Salvador

En la Tabla 7-9 se presenta la lista de eventos catastróficos con mayor pérdida en El Salvador, de acuerdo con los registros de DesInventar entre 1992 y 2014 y la consulta de fuentes oficiales. Se resaltan los eventos de sequía reportados en los años 2001, 2014 y 2015. Las pérdidas asociadas a estos eventos de sequía se consideran que están subestimadas, ya que la metodología de estimación se limita a algunos sectores y no incluye pérdidas cubiertas por pequeños productores.

Tabla 7-9. Eventos catastróficos de mayor pérdida en El Salvador entre 1992-2014 reportados en plataforma DesInventar

Año	Categoría	Pérdida [USD]
2001	Tectónicos	2944'527,061
2001	Tectónicos	857'065,688
1998	Huracán	237'637,951
<b>2001</b>	<b>Sequía</b>	<b>163'000,000</b>
<b>2015</b>	<b>Sequía</b>	<b>74'000,000</b>
<b>2014</b>	<b>Sequía</b>	<b>70'000,000</b>
1999	Hidrometeorológicos	45'040,021
2006	Tectónicos	19'496,535
2008	Hidrometeorológicos	14'265,763
2009	Huracán	11'457,077
1996	Huracán	11'014,332
2008	Hidrometeorológicos	10'054,917
2011	Hidrometeorológicos	9'100,916

### 7.4.2 Guatemala

La base de datos de desastres de Guatemala contiene registros que abarcan desde 1988 hasta 2013, este intervalo presenta un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente. La Figura 7-11 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año seleccionado.

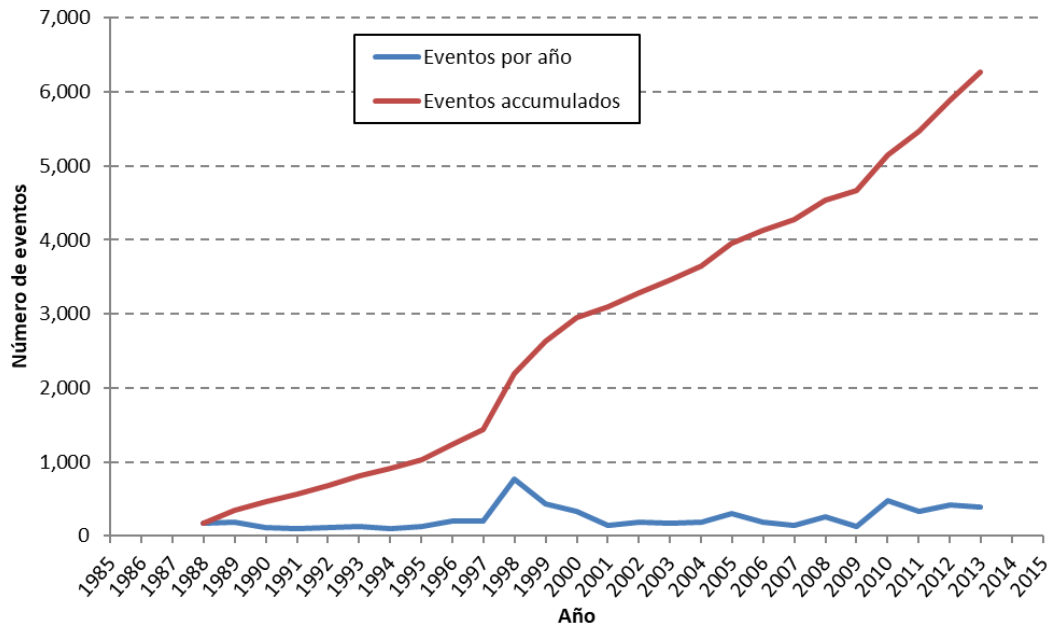


Figura 7-11. Número de registros por año en DesInventar para Guatemala.

Según las categorías definidas, la afectación total reportada en DesInventar para Guatemala se muestra en la Tabla 7-10 y la Figura 7-12.

Tabla 7-10. Afectación total por categoría para Guatemala

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Deslizamiento	1,246	847	879	5,077	2,200
Hidrometeorológicos	2,692	1,330	1,159	168,557	26,801
Huracán	5	8	0	992	155
Tectónicos	160	445	80	21,981	9,760
Volcánicos	40	60	8	1,040	214

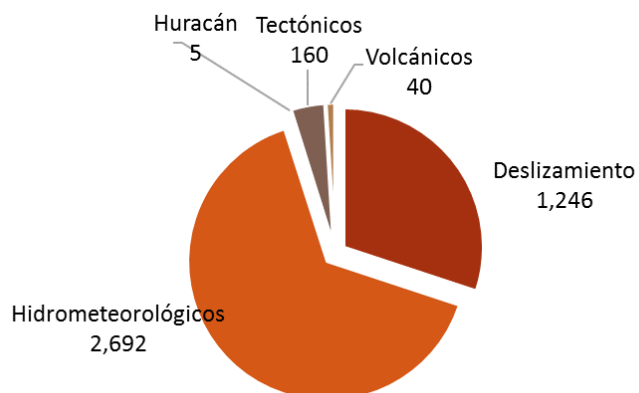


Figura 7-12. Distribución de la afectación total por categoría para Guatemala

Luego de agrupar los eventos, según los parámetros espaciales y temporales definidos en la Tabla 7-2, se tiene el siguiente resumen de afectación para Guatemala. Además, se considera que dentro de los reportes de DesInventar, las sequías reportadas están categorizadas como eventos hidrometeorológicos. En esta base de datos no se reportan pérdidas en sector agropecuario.

Tabla 7-11. Resumen de afectaciones por categoría agrupada para Guatemala.

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Hidrometeorológicos	1,661	1467	1246	169,175	27,025

La valoración económica de los registros agrupados se realiza estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables (Velásquez, 2015). Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará en parte con la reparación de las viviendas averiadas.

Tabla 7-12: Costos unitarios para Guatemala en dólares americanos [USD]

	Casas averiadas	Casas destruidas	Escuelas <sup>(3)</sup>	Centros de salud <sup>(4)</sup>	Vías <sup>(5)</sup>
Area [m2]	45	45	75	48	
Valor/m <sup>2</sup> [USD] <sup>(1)</sup>	353	353	353	353	
Desarrollo urbano [%] <sup>(2)</sup>	0	0.4	0.4	0.4	
Impacto [%]	0.25	1	1	1	
Costo por unidad [\$US/unit]	3,979	22,284	37,141	23,770	196

(1) Se estima que el costo de un metro cuadrado de construcción es de 1.18% PIBPC + 304.74 USD

(2) Entre los costos que engloba este concepto se encuentran: viabilidad, servicios públicos, vías, saneamiento y parques

(3) Se estiman dos aulas (6m x 5m) y un espacio administrativo/logístico de 15 m2

(4) Se considera un área de espera (3x4), una oficina (3x4), un área para atención básica y primeros auxilios, y áreas para almacenamiento (insumos médicos, mantenimiento)

(5) El costo de reparación/rehabilitación por metro de vía se obtiene del proyecto ROCKS (Banco Mundial), el cual se multiplica por valores de distribución de vías asfaltadas (Indicadores del banco mundial) y se corrige por los años desde que el proyecto se culminó.

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla 7-12 y a la afectación presentada en la Tabla 7-11, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla 7-13 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría. En el caso de Guatemala no se encontraron reportes oficiales de pérdidas económicas asociados a eventos de sequía.

Tabla 7-13: Pérdidas por categoría para Guatemala en dólares americanos [USD]

Categoría	Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
Sequía	0	0	0	0	0
Hidrometeorológicos	1,661	63	1,497,428,092	57,593,388	908,634

La Tabla 7-14 muestra los valores de pérdida acumulada, pérdida anual promedio (PAE) y pérdida por evento.

Tabla 7-14. Pérdida anual esperada para Guatemala en dólares americanos [USD]

Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
1,661	63	1,497,428,092	57,593,388	908,634

La Figura 7-13 muestra la CEP retrospectiva para Guatemala, indicando el valor estimado de la tasa de excedencia y su correspondiente banda de incertidumbre construida como la tasa estimada +/- su desviación estándar. Una vez valorados los diferentes registros y agrupados en eventos, la curva se construye evaluando para diferentes niveles de pérdida el número de eventos que igualan o superan dicho nivel de pérdida sobre el periodo de tiempo de eventos disponible. Ver Velásquez (2015) para mayor detalle.

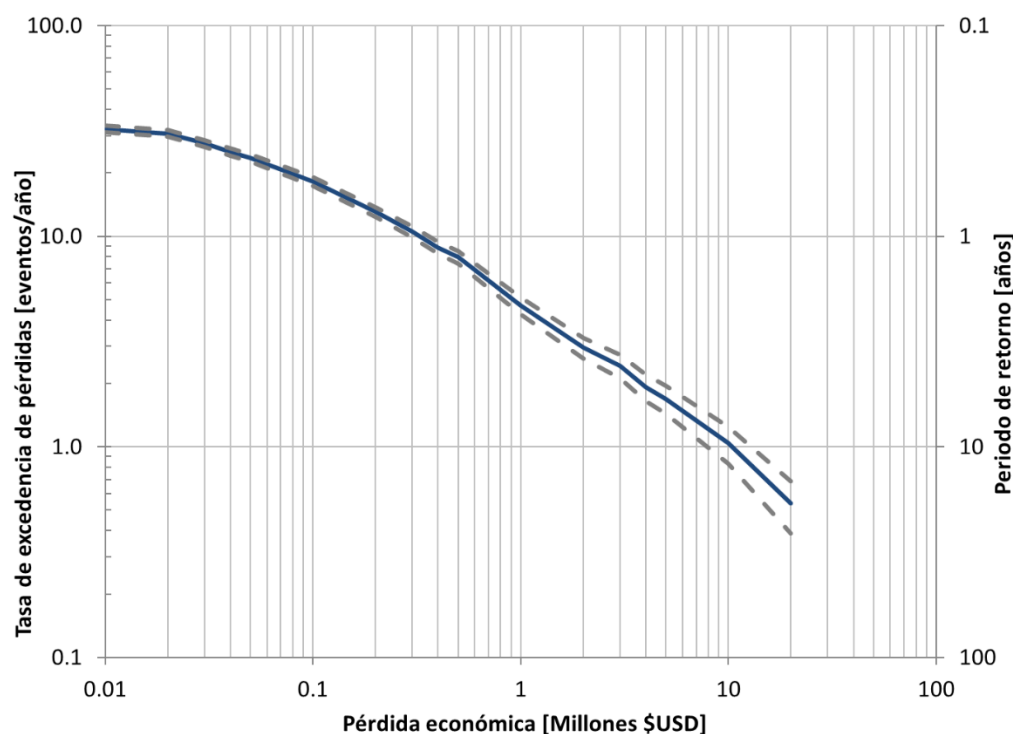


Figura 7-13. Curva de excedencia de pérdidas total para Guatemala

En la Tabla 7-15 se presenta la lista de eventos catastróficos con mayor pérdida en Guatemala, de acuerdo con los registros de DesInventar entre 1988 y 2013. No fue posible encontrar información relacionada al impacto económico de las sequías en fuentes oficiales o en DesInventar. Por esta razón, entre la lista de eventos catastróficos importantes para el país no se incluyen eventos de sequía.

Tabla 7-15. Eventos catastróficos de mayor pérdida en Guatemala entre 1988-2013 reportados en plataforma DesInventar

Año	Categoría	Pérdida [USD]
2012	Tectónicos	250'284,821
2005	Hidrometeorológicos	246'363,723
2005	Hidrometeorológicos	92'746,716
2010	Hidrometeorológicos	91'834,288
1998	Hidrometeorológicos	51'611,609
1991	Tectónicos	51'257,179
2010	Hidrometeorológicos	50'934,962
2010	Hidrometeorológicos	42'583,811
2010	Hidrometeorológicos	42'445,296
2010	Hidrometeorológicos	38'574,682

### 7.4.3 Honduras

La base de datos de desastres de Honduras contiene registros que abarcan desde el año 1915 hasta el año 2013. Debido al extenso catálogo de eventos disponibles es necesario evaluar su regularidad y su relevancia considerando las condiciones de exposición y vulnerabilidad actuales. Debido a esto, se

seleccionó como periodo de análisis el rango comprendido entre los años 1987 – 2013, el cual presenta un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos ocurridos anualmente. La Figura 7-14 ilustra la evolución del número de eventos ocurridos para cada año seleccionado, que incluyen eventos en todas las categorías de causas detonantes (hidrometeorológico, tectónico, volcánico, huracán y deslizamiento).

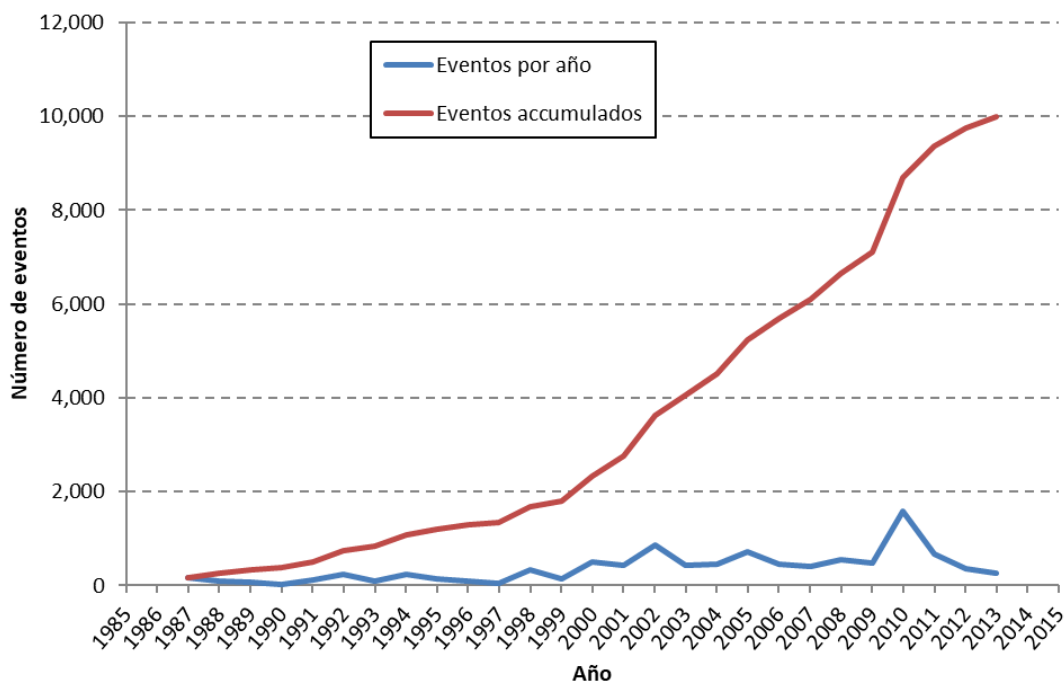


Figura 7-14. Número de registros por año en DesInventar para Honduras

Según las categorías definidas, la afectación total reportada en DesInventar para Honduras se muestra en la Tabla 7-16 y la Figura 7-15. Los eventos de sequía están dentro de la categoría de eventos hidrometeorológicos.

Tabla 7-16. Afectación total por categoría para Honduras

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Deslizamiento	493	54	159	5,762	1,279
Hidrometeorológicos	3,127	259,873	10,196	109,536	43,949
Huracán	26	0	610	0	124
Sequía	536	5	4	4,512	0
Tectónicos	156	118	8	6,763	1,102
Volcánicos	0	0	0	0	0



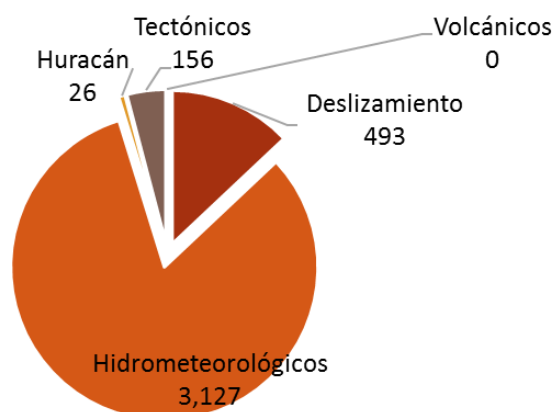


Figura 7-15. Distribución de la afectación total por categoría para Honduras

Luego de agrupar los eventos, según los parámetros espaciales y temporales definidos en la Tabla 7-2, se tiene el siguiente resumen de afectación para Honduras.

Tabla 7-17. Resumen de afectaciones por categoría agrupada para Honduras.

Categoría	Eventos	Heridos	Muertos	Casas dañadas	Casas destruidas
Hidrometeorológicos	1,103	249,546	1,751	64,396	8,607

La valoración económica de los registros agrupados se realiza estimando el costo de la responsabilidad fiscal del estado hacia los sectores más vulnerables de la sociedad, y considerando que la base de datos de desastres en su mayoría cubre desastres menores los cuales principalmente afectan pequeñas poblaciones o barrios marginales y que el mayor porcentaje de la población afectada durante un desastre corresponde a los sectores más vulnerables (Velásquez, 2015). Se considera entonces que el estado, debido a su responsabilidad fiscal repondrá las viviendas destruidas mediante una vivienda de interés social y colaborará en parte con la reparación de las viviendas averiadas.

Tabla 7-18: Costos unitarios para Honduras en dólares americanos [USD]

	Casas averiadas	Casas destruidas	Escuelas <sup>(3)</sup>	Centros de salud <sup>(4)</sup>	Vías <sup>(5)</sup>
Area [m <sup>2</sup> ]	45	45	75	48	
Valor/m <sup>2</sup> [USD] <sup>(1)</sup>	336	336	336	336	
Desarrollo urbano [%] <sup>(2)</sup>	0	0.4	0.4	0.4	
Impacto [%]	0.25	1	1	1	
Costo por unidad [\$US/unit]	3,776	21,148	35,247	22,558	220

(1) Se estima que el costo de un metro cuadrado de construcción es de  $1.18\% \text{ PIBPC} + 304.74 \text{ USD}$

(2) Entre los costos que engloba este concepto se encuentran: viabilidad, servicios públicos, vías, saneamiento y parques

(3) Se estiman dos aulas (6m x 5m) y un espacio administrativo/logístico de 15 m<sup>2</sup>

(4) Se considera un área de espera (3x4), una oficina (3x4), un área para atención básica y primeros auxilios, y áreas para almacenamiento (insumos médicos, mantenimiento)

(5) El costo de reparación/rehabilitación por metro de vía se obtiene del proyecto ROCKS (Banco Mundial), el cual se multiplica por valores de distribución de vías asfaltadas (Indicadores del banco mundial) y se corrige por los años desde que el proyecto se culminó.

En cuanto a los eventos de sequía con información de pérdidas económicas del sector agropecuario, en Honduras se han presentado los siguientes reportes, como se presentó en la Sección 7.3.2:

Tabla 7-19: Pérdidas por sequía para Honduras en dólares americanos [USD]

Años	Pérdidas aproximadas
	[USD]
2004 – 2005	\$ 122,469,000
2002 – 2003	\$ 37,437,000
2010	\$ 25,000,000
2006 – 2007	\$ 10,512,000
1997 – 1998	\$ 1,302,000
2008 – 2009	\$ 852,780

Conforme a los costos unitarios presentados en la Tabla 7-18 y a la afectación presentada en la Tabla 7-17, para cada categoría después de la agrupación, se realiza la valoración de las pérdidas generadas. La Tabla 7-20 presenta las pérdidas obtenidas para cada categoría.

Tabla 7-20: Pérdidas por categoría para Honduras en dólares americanos [USD]

Categoría	Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
Sequía	6	0.22	197,572,780	7,317,510	32,928,797
Hidrometeorológicos	1,103	41	554,230,687	20,527,062	502,476

La Tabla 7-21 muestra los valores de pérdida acumulada, pérdida anual promedio (PAE) y pérdida por evento.

Tabla 7-21. Pérdida anual esperada para Honduras

Eventos	Eventos por año (promedio)	Pérdida acumulada	Pérdida anual (promedio)	Pérdida por evento (promedio)
1,109	41	751,803,467	27,844,573	33,431,272

La Figura 7-16 muestra la CEP retrospectiva para Honduras, indicando el valor estimado de la tasa de excedencia y su correspondiente banda de incertidumbre construida como la tasa estimada +/- su desviación estándar. Una vez valorados los diferentes registros y agrupados en eventos, la curva se construye evaluando para diferentes niveles de pérdida el número de eventos que igualan o superan dicho nivel de pérdida sobre el periodo de tiempo de eventos disponible. Ver Velásquez (2015) para mayor detalle.

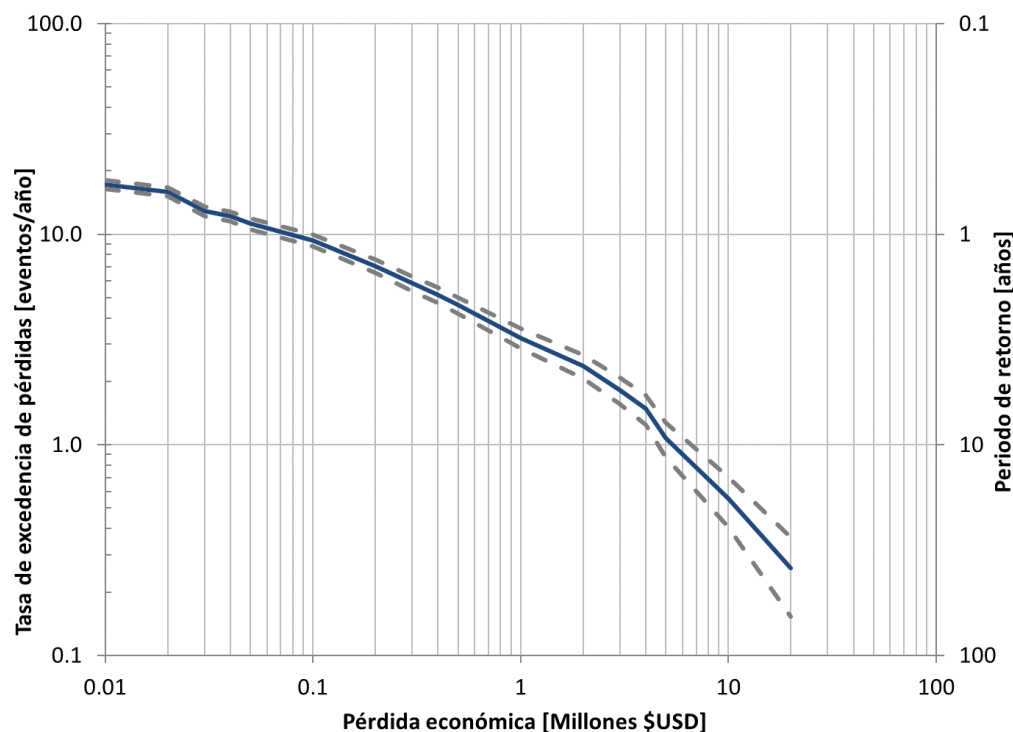


Figura 7-16. Curva de excedencia de pérdidas total para Honduras

En la Tabla 7-9 se presenta la lista de eventos catastróficos con mayor pérdida en Honduras, de acuerdo con los registros de DesInventar entre 1987 y 2013, y la consulta de fuentes oficiales. Se resaltan los eventos seis de sequía reportados con pérdidas económicas para el sector agropecuario. Las pérdidas asociadas a estos eventos de sequía se consideran que están subestimadas, ya que la metodología de estimación se limita a algunos sectores y no incluye pérdidas cubiertas por pequeños productores.

Tabla 7-22. Eventos catastróficos de mayor pérdida en Honduras entre 1987-2013 reportados en plataforma DesInventar

Año	Categoría	Pérdida [USD]
1998	Huracán	947'060,897
<b>2004-2005</b>	<b>Sequía</b>	<b>122'469,000</b>
2011	Deslizamiento	92'435,247
2011	Hidrometeorológicos	58'596,432
2009	Tectónicos	53'883,227
<b>2002-2003</b>	<b>Sequía</b>	<b>37'437,000</b>
1988	Hidrometeorológicos	33'133,900
<b>2010</b>	<b>Sequía</b>	<b>25'000,000</b>
2008	Hidrometeorológicos	21'340,211
1993	Hidrometeorológicos	21'148,000
2010	Hidrometeorológicos	20'772,596
2011	Hidrometeorológicos	17'270,700
<b>2006-2007</b>	<b>Sequía</b>	<b>10'512,000</b>
<b>1997-1998</b>	<b>Sequía</b>	<b>1'302,000</b>
<b>2008-2009</b>	<b>Sequía</b>	<b>852,780</b>

#### 7.4.4 Comparación de resultados

Con el fin de comparar los resultados, la Figura 7-17 presenta las curvas de excedencia de pérdidas total para El Salvador, Guatemala y Honduras, presentadas de forma individual en las secciones anteriores. Al incluir las tres curvas en un mismo gráfico, se puede ver que la CEP de Guatemala se encuentra hacia la derecha de las curvas de El Salvador y Honduras. Esto implica que, para un mismo valor de pérdida, la tasa de excedencia es mayor para Guatemala que para los otros dos países, que es lo mismo que decir que eventos que alcanzan un valor de pérdida dado se presentan con mayor frecuencia en Guatemala que en los otros dos países.

Para el caso Honduras y el Salvador, se puede ver que en un punto cercano a una pérdida de 0.3 millones de dólares se presenta un cambio en el orden de las tasas de excedencia. Esto es, para eventos frecuentes de bajo nivel de pérdidas (valores menores a 0.3 millones de dólares) la tasa de excedencia de eventos de Honduras es menor que para El Salvador mientras que para eventos menos frecuentes con alto nivel de pérdida (valores mayores a 0.3 millones de dólares) la CEP de Honduras queda por encima que para el Salvador.

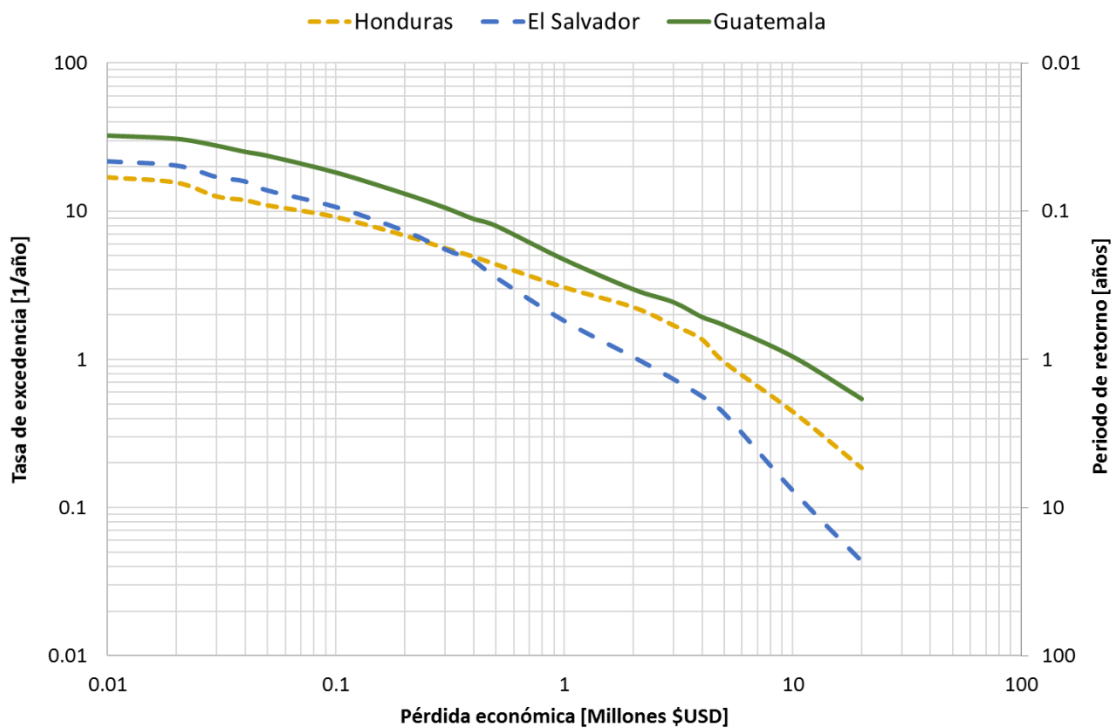


Figura 7-17. Comparación de curvas de excedencia de pérdidas total para El Salvador, Guatemala y Honduras

Estas curvas de excedencia de pérdidas fueron elaboradas a partir de información registrada en la plataforma DesInventar y fuentes oficiales, para eventos catastróficos asociados a amenazas de origen hidrometeorológico. Estas curvas retrospectivas se deben limitar al contexto de este estudio. En el cálculo del riesgo de este proyecto se genera la curva de excedencia de pérdidas híbrida que si debe usarse para la toma de decisiones.

## 8 CURVA HÍBRIDA DE EXCEDENCIA DE PÉRDIDAS

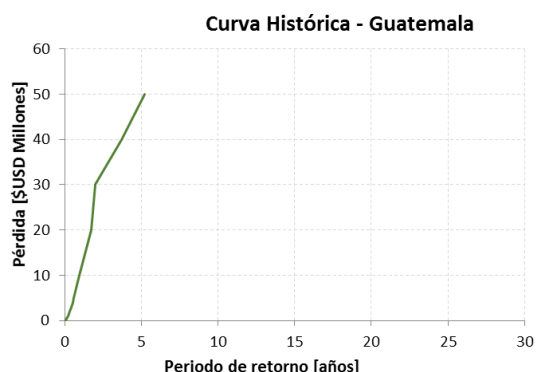
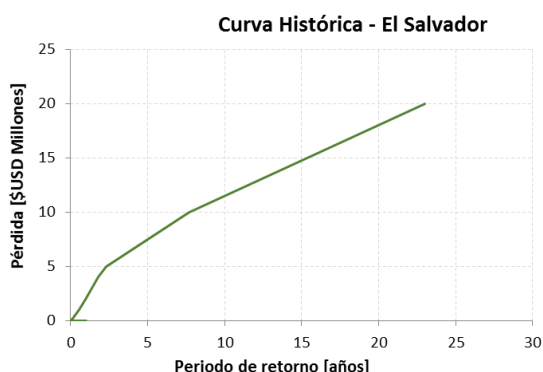
A partir de la modelación prospectiva del riesgo de sequía, en conjunto con la evaluación empírica a partir de los eventos históricos, se construyó la curva híbrida de pérdida máxima probable, la cual es una métrica fundamental de la estimación del riesgo. La confirmación de la curva híbrida, a partir de las evaluaciones empírica (a partir de datos históricos) y analítica (a partir de simulaciones) de riesgo, se llevó a cabo siguiendo la metodología desarrollada por este grupo consultor, y documentada en Velásquez (2015).

### 8.1 Construcción de la curva de pérdidas histórica

En la evaluación retrospectiva del riesgo, la curva de pérdidas se calcula directamente de los datos disponibles que corresponden a estimaciones del costo de desastres previos. Esta información se determina a partir de la base de datos DesInventar que para el caso de El Salvador, Guatemala y Honduras contiene registros que abarcan desde 1988 hasta el año 2014. Como periodo de análisis se seleccionó el rango comprendido entre los años 1992 – 2014 para El Salvador, 1988-2013 para Guatemala y 1987 – 2013 para Honduras, los cuales presentan un intervalo temporal estadísticamente consistente en cuanto al número de eventos hidrometeorológicos (sequías, lluvias, tormentas, etc.) ocurridos anualmente.

Esta metodología tiene ciertas limitaciones, ya que para el caso de las sequías las pérdidas se definen en afectaciones al sector agropecuario, de suministro de agua, energético y ambiental y estas categorías no se consideran en el DesInventar. Información detallada sobre la metodología utilizada para construir la curva histórica se puede encontrar en la Sección 7 de este informe.

A partir de la construcción de la curva histórica de pérdidas para cada país se pueden obtener datos sobre pérdidas asociadas a periodos de retorno bajos. En la Figura 8-1 se muestra la curva de pérdidas vs. periodo de retorno para los tres países. En el caso de El Salvador, la curva alcanza valores de 24 años, para Guatemala el valor máximo es de 5 años y para Honduras alcanza 26 años de periodo de retorno para la pérdida máxima. A partir de estas curvas, se puede concluir que, según los registros históricos, una pérdida de \$20 millones de dólares ocurrió en promedio cada 26 años en El Salvador, cada 3 años en Guatemala y cada 5 años en Honduras. En términos generales, para eventos eventos que alcanzan un valor de pérdida dado se presentan con mayor frecuencia en Guatemala que en los otros dos países.



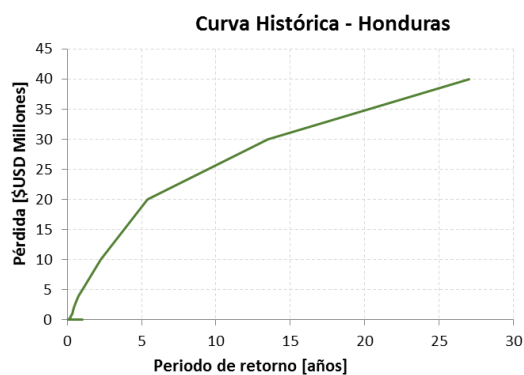


Figura 8-1. Curva de pérdidas derivada a partir de registros históricos para El Salvador, Guatemala y Honduras

## 8.2 Construcción de la curva de pérdidas simulada

La curva simulada de pérdidas usada para construir la curva híbrida, y que se muestra para los tres países en la Figura 8-2, corresponde a la misma curva prospectiva de riesgo calculada para el portafolio completo de cultivos analizados a escala nacional y presentada con mayor detalle en la Sección 6 de este informe. Adicionalmente, la interpretación de los resultados presentados en esta curva se explica en la Sección 2.6 de este producto.

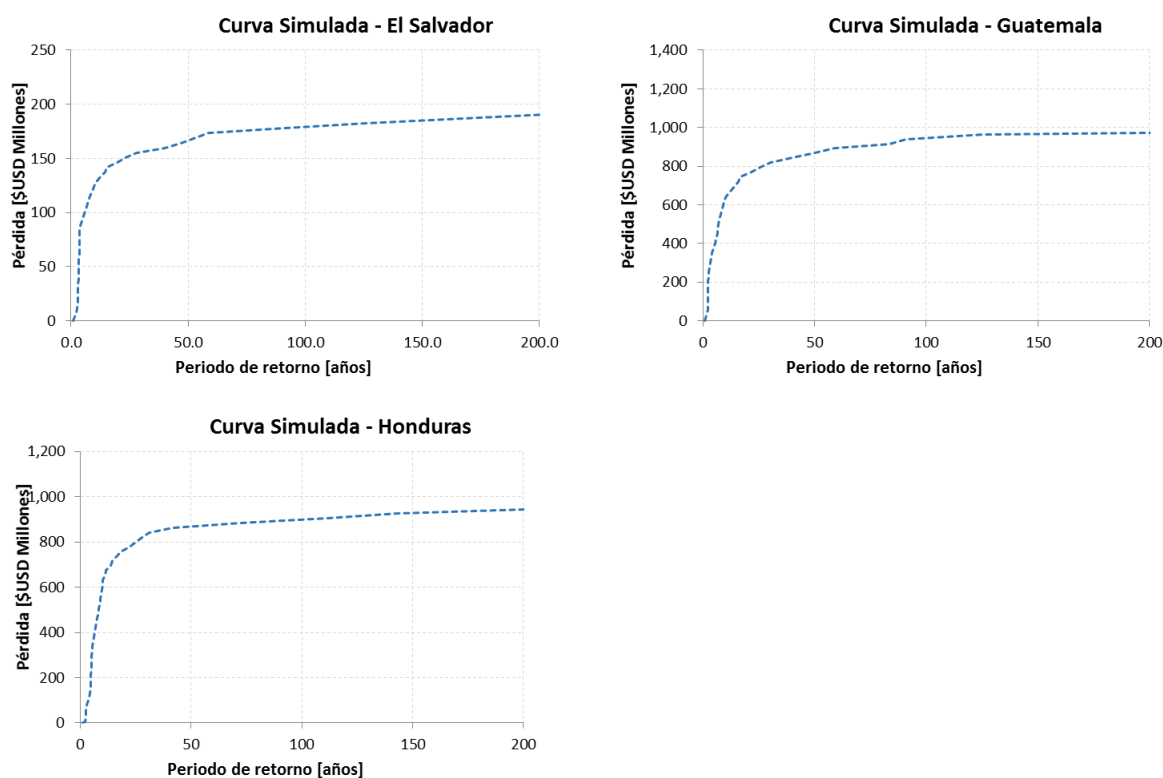


Figura 8-2. Curva de pérdidas simulada para El Salvador, Guatemala y Honduras

### 8.3 Resultados de la curva de pérdidas híbrida

La curva híbrida de pérdidas es el resultado de integrar la curva de pérdidas histórica con la curva de pérdidas catastróficas o curva simulada, de manera que se cuenta con una curva completa de pérdidas, que se convierte en un insumo indispensable para la estimación de los niveles de pérdidas y para el desarrollo de estructuras de retención y transferencia del riesgo. Es así como la curva híbrida es la envolvente que resulta de la curva de pérdidas histórica y la curva de pérdida simulada. Estas curvas tienen la misma importancia en el análisis, por lo que no se usan pesos adicionales en el cálculo de la envolvente. La Figura 8-3 muestra la comparación, para los tres países, de la curva histórica y la curva simulada. La Figura 8-4 ilustra la curva híbrida de pérdidas en el sector agrícola debido a la sequía para El Salvador, Guatemala y Honduras.

La curva histórica de pérdidas para cada país muestra datos sobre pérdidas asociadas a periodos de retorno bajos por las cortas ventanas de tiempo de observación hacia el pasado. En el caso de El Salvador se tiene un periodo de análisis de 23 años, para Guatemala de 25 años y para Honduras de 26 años. En consecuencia la curva de pérdidas histórica reporta valores período de retorno bajos y la curva híbrida termina siendo controlada por los valores de la curva simulada. Esto demuestra que los registros históricos de pérdidas asociados con desastres proveen información limitada. Sin embargo, la curva de excedencia de pérdidas se complementa con los resultados de modelos probabilistas de evaluación del riesgo, que amplían el catálogo de eventos de sequía que pueden ocurrir y en consecuencia aumentan el número de escenarios posibles de pérdidas para construir las curvas de excedencia y evitar subestimar los resultados.

La construcción de la curva híbrida para el riesgo por sequía presenta una alta complejidad por la limitación de información disponible sobre registros de pérdidas históricas. En este estudio se construyó la curva de pérdidas históricas a partir de la plataforma DesInventar y otras fuentes oficiales de cada país (Romano (sf), citado por MARN y SNET (2001), Kawas, 2011, Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la Universidad Autónoma de Honduras), que no reportan la información de forma sistematizada. Por esta razón es importante contar con medidas que busquen optimizar y homogenizar el proceso de reporte y registro de pérdidas por eventos de sequía en el futuro. Por el contrario, las curvas de pérdidas simuladas son el resultado de una metodología de evaluación de riesgo robusta, y cuyos resultados cubren un amplio rango de periodos de retorno.

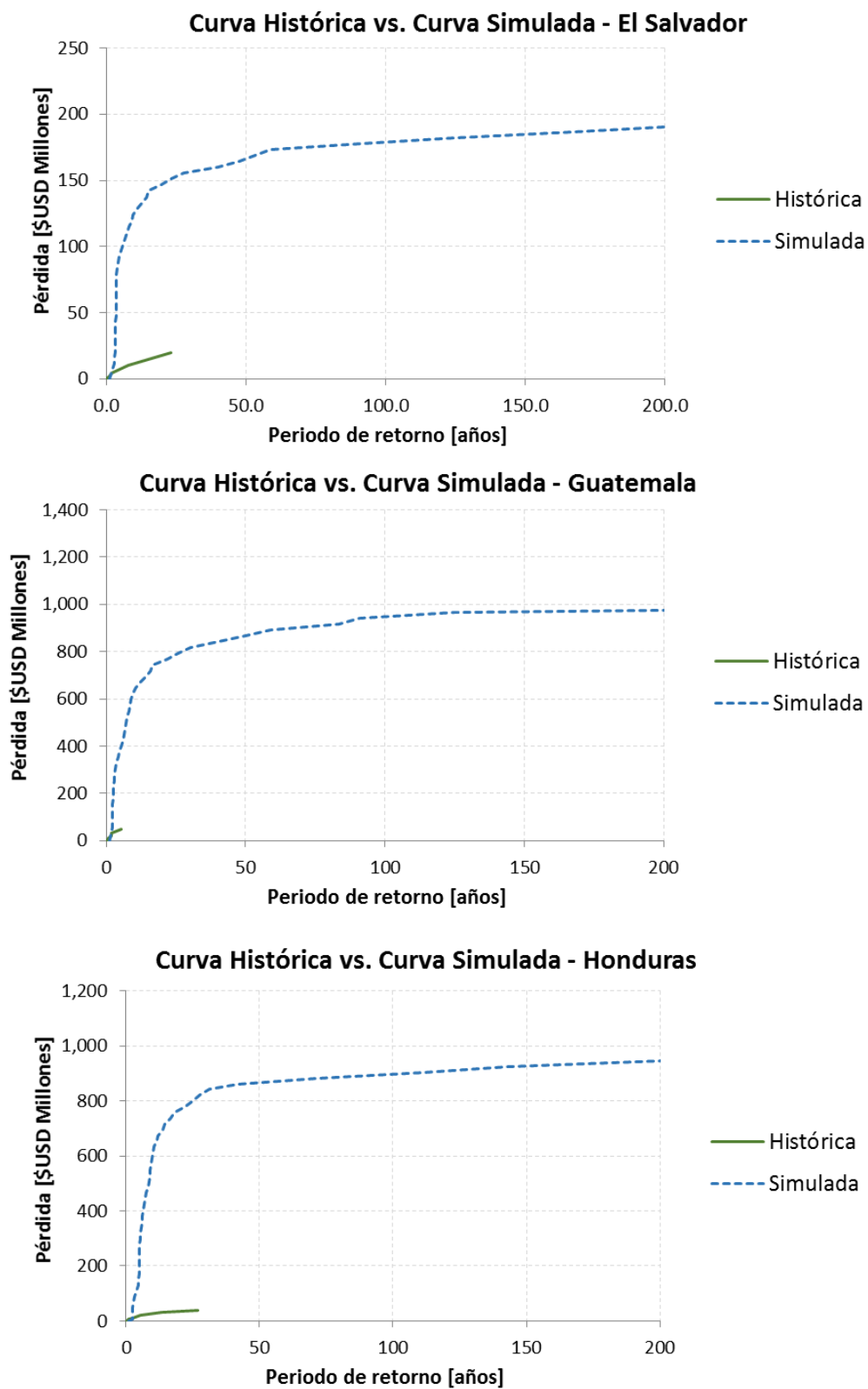


Figura 8-3. Curva de pérdidas históricas y simuladas para El Salvador, Guatemala y Honduras



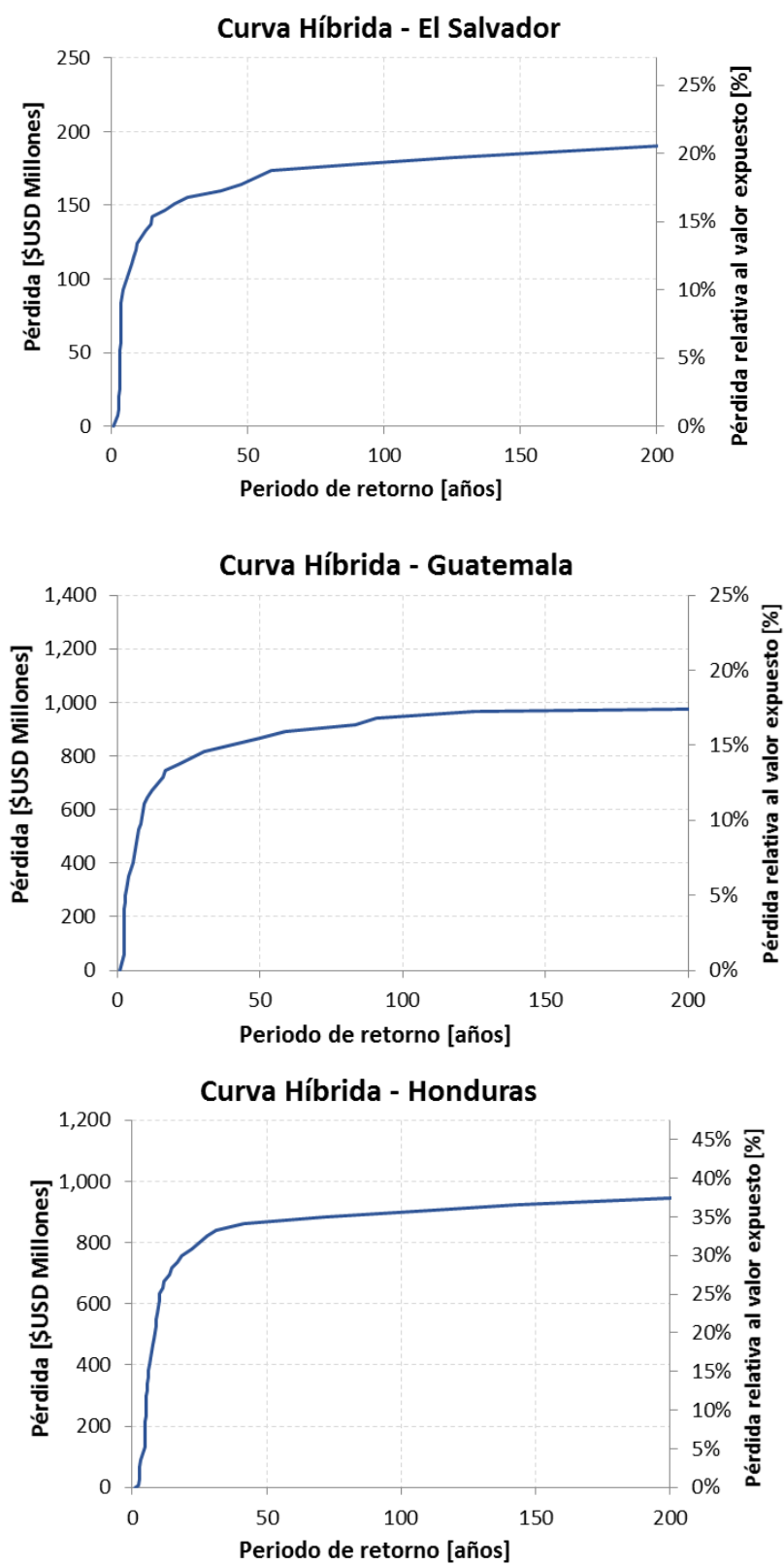


Figura 8-4. Curva híbrida de pérdidas calculada para El Salvador

## 9 CONCLUSIONES

---

Este informe presentó los aspectos más relevantes de la metodología y resultados obtenidos para los tres países de la región del Triángulo Norte en Centroamérica (El Salvador, Guatemala y Honduras), que están dentro del Corredor Seco Centroamericano, a lo que se refiere a la evaluación probabilista de la amenaza por sequía, al modelo de exposición y el modelo de vulnerabilidad de cultivos, y a un mayor nivel de detalle se presentó la evaluación retrospectiva del riesgo de desastres y cálculo de la curva empírica de excedencia de pérdidas por país. A continuación, se presentan las conclusiones más importantes de la evaluación de riesgo por sequía agrícola para El Salvador, Guatemala y Honduras.

Las sequías agrícolas ocurren cuando el contenido de agua del suelo no satisface la demanda de agua de los cultivos, hay un aumento de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta. Así, los eventos considerados para la definición de la amenaza consisten en eventos de condiciones continuas y simultáneas de déficit de precipitación y alta temperatura. Para este estudio, el componente de amenaza para la evaluación probabilista del riesgo por sequías agrícolas se define como un conjunto de eventos estocásticos, colectivamente exhaustivos y mutuamente excluyentes. Estos eventos describen la distribución espacial, la frecuencia de ocurrencia y la aleatoriedad de la intensidad de las sequías en la región de interés. Los eventos de sequía se derivan de la simulación estocástica de las condiciones meteorológicas (simulación de las series de lluvias y temperaturas), después de lo cual la identificación de las sequías se realiza mediante índices. Sobre los indicadores de sequía, hay que resaltar que no hay un indicador que se ajuste a las condiciones globales, por lo que se debe seleccionar el indicador que mejor se ajuste a las condiciones del territorio en estudio. Para el caso del Triángulo del Norte se seleccionó el indicador SPEI (Vicente-Serrano et. Al 2010).

Los resultados de la modelación de la amenaza se presentan en formato de mapas de amenaza por escenario, y curvas y mapas de amenaza integrada para toda la región estudio de El Triángulo del Norte y por país. Los mapas de amenaza por escenario permiten comparar la intensidad y distribución espacial de los efectos de un único evento. Los mapas de amenaza integrada permiten comparar las intensidades según el periodo de retorno y establecer zonas que están más o menos expuestas a la amenaza de sequía dentro de la región.

La amenaza por sequía que incluye cambio climático para el Triángulo del Norte considera las variaciones de clima según predicciones del modelo MPI-ESM-MR en su corrida 1 (Run 1) para los RCP 2.6, 4.5 y 8.5; son 3 escenarios de análisis. Según los resultados obtenidos, se puede concluir que las predicciones del modelo de circulación global MPI-ESM-MR derivan en sequías de mayor duración y similar severidad para un leve incremento de eventos de sequía. Sin embargo, es importante anotar que incluso sin los efectos del cambio climático, la evaluación de amenaza por sequía indica que se pueden presentar eventos de una alta gravedad que tiene impactos directos en el sector de la agricultura.

El modelo de exposición de cultivos tiene como objetivo conformar una base de elementos expuestos en el área donde se estima el riesgo de sequía. En este estudio se evalúa el riesgo por sequía en el sector agrícola por lo que los elementos expuestos son cultivos. Este documento presenta la metodología y resultados principales de la caracterización de los principales productos agrícolas para los tres países. Toda la información base fue tomada de fuentes oficiales y que en su mayoría es publicada en censos y encuestas nacionales agrícolas.

La selección de los productos para cada país se hizo a partir del nivel de detalle de la información que se tenía disponible, además de considerar los cultivos más importantes y representativos de la economía de cada país, tanto en términos de subsistencia como producción con fines comerciales. Este modelo se enfoca en la escala nacional, por lo que no es posible diferenciar de forma directa áreas cultivadas para subsistencia o explotación agroindustrial.

En el caso de El Salvador, se seleccionaron nueve productos (maíz, café, frijol, caña, sorgo, cítricos, arroz, sandía y tomate) que en total suman más de 516,000 ha cultivadas. En el caso de Guatemala se seleccionaron 13 productos (maíz, café, frijol, caña, papa, tomate, palma, plátano, arroz, melón, mango, cítricos y piña) que en total suman más de 2'304,000 ha cultivadas. Por restricciones en el modelo de vulnerabilidad, en el caso de Guatemala no se pudo incluir en el estudio el cardamomo y el hule, que son productos importantes para la economía nacional. Para el caso de Honduras, se seleccionaron 13 productos (maíz, café, palma, caña, frijol, sorgo, cítricos, plátano, arroz, melón, piña, sandía y mango) que en total suman más de 922,000 ha cultivadas. En total el modelo de exposición y vulnerabilidad incluye 15 productos únicos. Para cada uno de estos productos se tiene un mapa de localización por país y su caracterización fenológica. La base de datos de cultivos generada en este estudio también incluye las prácticas agrícolas típicas de la región. El modelo de exposición incluye detalles como las épocas de siembra de primera y postrera (ajustando las áreas de cultivo en cada caso) y la siembra asociada de productos (por ejemplo siembra de maíz y frijol en la misma área). Estos modelos no consideran la rotación de cultivos. En el caso de cultivos permanentes, se considera que los cultivos están en etapa productiva, es decir, los árboles ya completaron su crecimiento vegetativo.

El modelo de vulnerabilidad de este estudio sigue la metodología de cálculo de rendimiento de productos agrícolas propuesta por la FAO. En el marco de este estudio, la vulnerabilidad se define en términos de la pérdida de rendimiento que sufre el cultivo durante un período prolongado de escasez de agua. Dado que se aplica un modelo agronómico de respuesta de cultivos, no se emplearán curvas o funciones de vulnerabilidad. Los parámetros de vulnerabilidad se ajustan también a las condiciones locales del estudio, en especial las variables asociadas al calendario de los cultivos (fecha de siembra y cosecha), la densidad de siembra, las temperaturas límite (mínima y máxima) y los valores de rendimiento típico.

La complejidad de la metodología seleccionada para el modelo de vulnerabilidad de cultivos a la sequía representa la complejidad de este fenómeno como evento amenazante, y su interacción con sistemas naturales y sociales. Además, los estudios de sequía son limitados por la gran cantidad de variables que se deben incorporar a los modelos para representar los procesos físicos, químicos y biológicos que sufren los cultivos ante eventos de déficit hídrico. Es así como el número de parámetros de entrada de esta metodología está relacionado con las características que se deben tener en cuenta para diferencia un cultivo de otro (por ejemplo, maíz de frijol). Con menos parámetros se limitan las herramientas de clasificación de plantas y tipo de suelos.

Finalmente, la evaluación del riesgo probabilista por sequía se hace al integrar los módulos de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Dentro de esta consultoría se utilizó el software Drought Pro, desarrollado por el mismo grupo consultor, que implementa la metodología completa de evaluación de riesgo por sequía en el sector agrícola. De la evaluación hecha para el clima actual en los países de la Región Norte de Centro América, se puede concluir que Honduras es el país que presenta mayor riesgo, con una PAE de 5.66%, seguido de El Salvador con una PAE de 3.77% y por último Guatemala con 3.52%. Los resultados de riesgo también se obtuvieron para escenarios que incluyen proyecciones de cambio climático, que para los tres países resultan en una reducción de la PAE para el escenario de RCP 2.6 mientras que la PAE aumenta para el escenario de RCP8.5, que implica menores precipitaciones y mayores temperaturas en toda la región.

Es importante anotar que incluso sin los efectos del cambio climático, la evaluación de amenaza y riesgo por sequía indica que se pueden presentar eventos de una alta gravedad que tiene impactos directos en el sector de la agricultura, generando altas pérdidas anuales esperadas y pérdidas máximas probables en el sector agrícola. Esta es la primera vez que en la región se realiza una evaluación prospectiva del riesgo por sequía y se evalúan sus impactos en el sector agrícola de El Salvador, Guatemala y Honduras. Estos resultados son el insumo para desarrollar iniciativas que busquen mitigar los efectos de la sequía, y haciendo uso de mejores prácticas agrícolas, reducir las pérdidas probables económicas y en producción que tienen un impacto considerable en la economía nacional y en términos de seguridad alimentaria. Se invita a las instituciones de cada país a profundizar en la conformación de la base de elementos expuestos

y de la metodología de evaluación de riesgo por sequía en las zonas más afectadas, haciendo uso del software Drought Pro y las herramientas brindadas en las capacitaciones hechas en el marco de este proyecto.

## REFERENCIAS

---

- ABM (Australian Bureau of Meteorology). (2017). Disponible en:  
<http://www.bom.gov.au/climate/enso/#tabs=SOI>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, (56), 300.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>
- Anacafé. (2016). Cultivo de Plátano. Recuperado a partir de  
[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo\\_de\\_platano](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_platano)
- Anacafé. (2018). Los cafés de Guatemala. Recuperado a partir de  
[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Página\\_principal](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Página_principal)
- Anacafé. (2018a). Cultivo de hule. Recuperado a partir de  
[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo\\_de\\_hule](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_hule)
- Anacafé. (2018b). Cultivo de Mango. Recuperado a partir de  
[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo\\_de\\_mango](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_mango)
- Anacafé. (2018c). Cultivo de naranja. Recuperado a partir de  
[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo\\_de\\_naranja](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_naranja)
- Angel Casaca. (2005). El cultivo de melón. Promosta, 65(26), 12–14.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.65.054304>
- Aparicio, A. (2018). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (Producción de Palma Africana) – Municipio de San Sebastián Departamento de Retalhuleu. Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC.
- Atilio, C., & Reyes, H. (2008). Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 24. Recuperado a partir de [http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos\\_basicos/Guia\\_Tecnica\\_Frijol.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos_basicos/Guia_Tecnica_Frijol.pdf)
- Azurdia, C. (2014). Cultivos Nativos de Guatemala y Bioseguridad del Uso de Organismos Vivos Modificados - Arroz, (9), 1–59.
- Banco Central de Reserva de El Salvador [BCR]. (2016). Producto Interno Bruto (PIB) por Rama de Actividad Económica. Disponible en <http://www.bcr.gob.sv/bcrsite/?cdr=30&lang=es>
- Banco de Desarrollo de El Salvador [BANDESAL]. (2016). Informe Sectorial Agropecuario 2012-2016.. El Salvador, C.A. Disponible en <http://www.bandesal.gob.sv/wp-content/uploads/2017/03/Final-Informe-Sector-Agropecuario.pdf>
- Banco de Guatemala [BANGUAT]. (2018). Inflación Total, Ritmo Inflacionario Años 1996 - 2018. Retrieved from <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/imm/imm01>
- Banco de Guatemala [BANGUAT]. (2009). Inflación y Deflación, aspectos conceptuales, experiencia internacional y la coyuntura de Guatemala. Republica de Guatemala. Retrieved from [https://www.banguat.gob.gt/publica/doctos/inflacion\\_deflacion\\_banguat.pdf](https://www.banguat.gob.gt/publica/doctos/inflacion_deflacion_banguat.pdf)
- Banco de Guatemala [BANGUAT]. (2018). Producto Interno Bruto Trimestral. Republica de Guatemala. Disponible en <https://www.banguat.gob.gt/inc/main.asp?id=84369&aud=1&lang=1>
- Banco Mundial y CIAT. (2002). Capa shape de isoyetas.

- Barbat AH, Cardona, OD, (2003). Vulnerability and disaster risk indices from engineering perspective and holistic approach to consider hard and soft variables at urban level. BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://idea.unalmz.edu.co>
- Barbat AH, Carreño ML, Cardona OD, Marulanda MC (2001). Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas, Revista int. de métodos numér. para calc. y diseño en ing. 27(1): 3-27.
- Barbat AH, Carreño ML, Pujades LG, Lantada N, Cardona OD, Marulanda MC (2010). Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area, Struct. and infrastruct. eng. 6(1-2): 17-38.
- Bernal, G. A., Escovar, M. A., Zuloaga, D., & Cardona, O. D. (2017). Agricultural Drought Risk Assessment in Northern Brazil: An Innovative Fully Probabilistic Approach. En V. Marchezini, B. Wiesner, S. Saito, & L. Londe (Eds.), Reduction of Vulnerability to Disasters: from Knowledge to Action (RiMa Editio, pp. 331–356). Recuperado a partir de <https://preventionroutes.weebly.com/livrobooklibro.html>
- Bernal, G., Rincón, D., Cardona, O.D. (2018) Drought Pro: Computer program for probabilistic drought risk assessment of crops and livestock systems.
- Birkmann J, Cardona OD, Carreño ML, Barbat AH, Pelling M, Schneiderbauer S, Kienberger S, Keiler M, Alexander D, Zeil P, Welle T (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, Nat. Hazards 67:193-211.
- Brenes, A. (2006). La vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a la sequía en Centroamérica: los casos de Matagalpa, Nicaragua y Choluteca, Honduras. San José: Universidad de Costa Rica.
- Brenes, A. (2017). El concepto de la sequía en el marco de la gestión del riesgo de desastre. En Reduction of Vulnerability to Disasters: from knowledge to action. Marchezini, V. y Wisner, Resende, L. y Midori, S. Eds. Sao Carlos: Rima Editora.
- Calderón, R. (2011). Sandia. Ficha de Mercado Estadísticas E Indicadores División de Agronegocios, (5).
- Cardona OD (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Cardona OD (2005). Gestión integral de riesgos y desastres. Curso virtual por Internet, Structuralia – CIMNE, a Universidad Politécnica de Cataluña. Madrid/Barcelona, Spain. Available at: <http://www.structuralia.com/cdl1/cvdata/curso70/info/default.asp>.
- Cardona OD (2007). Curriculum Adaptation and Disaster Prevention in Colombia. In: Lidstone J., Dechano L.M., Stoltman J.P. (eds): International Perspectives on Natural Disasters: Occurrence, Mitigation, and Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research, 21. Springer, Dordrecht
- Cardona OD, Barbat AH (2000). El Riesgo Sísmico y su Prevención, Cuaderno Técnico 5, Calidad Siderúrgica, Madrid.
- Cardona OD, Bernal GA, Marulanda MC, Marulanda PM (2017). World at Risk: Revealing the Latent Disasters, INGENIAR: Risk Intelligence, [www.ingeniar-risk.com](http://www.ingeniar-risk.com), Bogotá.
- Cardona OD, Carreño ML, Bernal GA, Salgado-Gálvez MA, Suárez DC, Barbat AH (2018). Decision-making based on holistic seismic risk assessment, including socioeconomic, resilience and governance risk drivers. Proceedings of 16th European Conference on Earthquake Engineering. Thessaloniki.

- Cardona OD, Hurtado J (2000). Holistic seismic risk estimation of a metropolitan center, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland.
- Cardona OD, Ordaz MG, Reinoso E, Yamín LE, Barbat AH (2012). CAPRA- Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment: International Initiative for Risk Management Effectiveness, in Proceedings of 15WCEE, Lisbon.
- Carr, M. K. V. (2001). The water relations and irrigation requirements of coffee. *Experimental Agriculture*, 37(1), 1–36. <https://doi.org/10.1017/S0014479701001090>
- Carr, M. K. V. (2009). The water relations and irrigation requirements of banana (*Musa SPP.*). *Experimental Agriculture*, 45(3), 333–371. <https://doi.org/10.1017/S001447970900787X>
- Carr, M. K. V. (2011). The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 629–652. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000494>
- Carr, M. K. V. (2012a). The water relations and irrigation requirements of citrus (*Citris SPP*): A review. *Experimental Agriculture*, 48(3), 347–377.
- Carr, M. K. V. (2012b). The water relations and irrigation requirements of pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*): A REVIEW. *Experimental Agriculture*, 48(4), 488–501. <https://doi.org/10.1017/S0014479712000385>
- Carr, M. K. V., & Knox, J. . (2011). The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): A review. *Experimental Agriculture*, 47(1), 1–25. <https://doi.org/10.1017/S0014479710000645>
- Carreño ML (2006). Técnicas innovadoras para la evaluación del riesgo sísmico y su gestión en centros urbanos: Acciones ex ante y ex post. PhD. Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2007). Urban seismic risk evaluation: a holistic approach, *Nat. Hazards*. 40(1): 137-172.
- Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2012). New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective, *Bull. of earthq. eng.* 10(2): 547-565.
- Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2014). Método numérico para la evaluación holística del riesgo sísmico utilizando la teoría de conjuntos difusos, *Revista int. de métodos numér. para calc. y diseño en ing.* 30(1): 24-34.
- Casaca, A. (2005a). El cultivo de la sandía. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales (No. 17). Tegucigalpa.
- Casaca, A. (2005b). El cultivo de melón. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. PROMOSTA, 65(26), 12–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.65.054304>
- Castañeda, J. (2008). Boletín Técnico No. 22. Variedad de Arroz CENTA A-10. (C. N. de T. A. y forestal [CENTA], Ed.). San Andrés, La Libertad.: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos basicos/Boletin CENTA A-10.pdf>
- Central American Buisness Intelligence [Cabi]. (2016). Impactos Socioeconómicos del Cultivo de Palma de Aceite en Guatemala.
- Central Intelligence Agency [CIA]. (2018). World Factbook. Retrieved from <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2092.html#es>
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia [CR2]. (2015). La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Santiago.

- Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar [CENGICAÑA]. (2014). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]. (2001). Atlas Honduras - Datos Mitch.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal [CENTA]. (2008). Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. 2008, 25.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal [CENTA]. (2013). Calendario agrícola 2013, 1–16.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal [CENTA]. (2017). Caficultores de la cordillera Tecapa-Chinameca reciben plantas de café. Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/2015/caficultores-de-la-cordillera-tecapa-chinameca-reciben-plantas-de-cafe/>
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal [CENTA]. (2010). Guía técnica del cultivo del plátano. CENTA. Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/GUIA CULTIVO PLATANO 2011.pdf>
- CEPAL. (2014). Evolución del sector agropecuario en Centroamérica y República Dominicana 1990 – 2014. Ciudad de México: CEPAL.
- CEPAL. (2016). Tendencias del empleo agropecuario en Guatemala. Ciudad de México: CEPAL.
- Cerrato, C., & Lardizabal, R. (2009). Producción de Tomate. Entrenamiento Y Desarrollo Agricultores. Recuperado a partir de <https://es.scribd.com/doc/174137516/Manual-Produccion-de-Tomate>
- CIMNE, INGENIAR, ITEC & EAI. (2013). Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.
- UNISDR (2011). GAR2011: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing risk, redefining development. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132030-5
- CIMNE, Ingeniar, ITEC & ERN (2011). Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global: La Curva Híbrida de Excedencia de Pérdidas. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos de Estudio Fase 1A: Colombia, México y Nepal. Informe preparado para el GAR 2011. Ginebra, Suiza: EIRD/ONU.
- Comercial Exportadora [COEX]. (2018). exportación. Recuperado a partir de <http://www.grupocoex.com/exportacion>
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), & Programa Regional para la Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental (PREVDA). (2011). Atlas Centroamericano para la Gestión Sostenible del Territorio (1ra Edición). San Salvador.
- Comisión Permanente de Contingencias [COPECO]. (2016). Copeco y SAG preparan plan para siembras de postrera. Recuperado a partir de <http://copeco.gob.hn/node/139>
- Comité Coordinador de Asociaciones Agrícolas, Comerciales, Industriales y Financieras [CACIF]. (2011). ISDE Granos Básicos: Análisis Sectorial. CACIF. Guatemala. Disponible en [http://www.mejoremosguate.org/cms/content/files/diagnosticos/economicos/13.ISDE\\_GranosBasicos.pdf](http://www.mejoremosguate.org/cms/content/files/diagnosticos/economicos/13.ISDE_GranosBasicos.pdf)
- Consocio CATHALAC-SIMEPAR. 2011. Mapa centroamericano de cobertura y uso de la tierra. Cambios de cobertura y uso de la tierra 1980-1990-2000-2010. Informe final. PREVDA/UGR/SER/14/08. Disponible en: [http://maps.cathalac.org/downloads/Data/temp/cam\\_cambio\\_cobertura\\_1980-2010\\_borrador.pdf](http://maps.cathalac.org/downloads/Data/temp/cam_cambio_cobertura_1980-2010_borrador.pdf)



- Corado, I. (2016). La dulce industria en El Salvador. Recuperado a partir de <http://www.contrapunto.com.sv/archivo2016/economia/coyuntura-economica/la-dulce-industria-en-el-salvador>
- Cristancho, J. (2015). Boletín técnico No. 01 criterios y Bases Técnicas para el Manejo Integrado de la Nutrición de la Palma de Aceite. Guatemala. Recuperado a partir de <http://www.grepalma.org/boletin/agosto/agosto.pdf>
- Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz. Manual para el cultivo de maíz en Honduras. (M. Villeda & P. Vásquez, Eds.), Programa Nacional de Maíz - DICTA (Tercera). Tegucigalpa. Recuperado a partir de <http://www.dicta.hn/files/Manual-cultivo-de-MAÍZ--III-EDICION,-2013.pdf>
- D. Raes, P. Steduto, T. C. Hsiao, and E. F. (2017). Users' Guide. En AquaCrop Version 6.0 Reference Manual. Rome: FAO.
- Deguate. (2014a). Producción de Arroz en Guatemala. Recuperado a partir de <http://www.degate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-de-arroz-en-guatemala.shtml>
- Deguate. (2014b). Producción de melón en Guatemala. Recuperado a partir de <http://www.degate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-de-melon-en-guatemala.shtml>
- Delgado, Á. (2016). Diagnóstico sectorial del melón y análisis de las variables económicas independientes que afectan la exportación de melón de Guatemala a Estados Unidos (1997-2013).
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria [DICTA]. (2003). Manual Técnico para el cultivo de arroz. Comayagua: Secretaría de Agricultura y Ganadería SAG. Recuperado a partir de <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria [DICTA]. (2005). El cultivo del sorgo escobero. Tegucigalpa: Secretaría de Agricultura y Ganadería SAG. Recuperado a partir de <http://www.dicta.hn/files/El-cultivo-del-Sorgo-Escobero,-2005.pdf>
- Dirección de información Geográfica Estratégica y Gestión de Riesgos de Guatemala [DIGEGR]. (2015). Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, a escala 1:50,000 de la República de Guatemala Año 2010. Guatemala.
- Dirección del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional. (2006). Mapa de ocupación del suelo 1:100,00. El Salvador. Disponible en <http://hdl.handle.net/10261/26004>
- Dlugokencky, E., & Tans, P. (2018). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Recuperado a partir de [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)
- Doorenbos, J., Kassam, A. H., Bentvelsen, C. L. M., Branscheid, V., & Plusje, J. M. G. A. (1979). Yield response to water (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33). Rome.
- Environmental Systems Research Institute [Esri]. (2016). ArcMap. Disponible en <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/analysis-toolbox/split.htm>
- Escoto, N. D. (2011). El cultivo del frijol (Segunda Ed). Tegucigalpa: Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). Recuperado a partir de <http://www.dicta.hn/files/Guia-cultivo-de-frijol-2011.pdf>
- European, T. H. E., Community, E., Coal, T. H. E. E., Community, S., Kingdom, T. H. E., Denmark, O. F., ... Confederation, T. H. E. S. (1995). El Cultivo De Sandía, (January), 1–42. Recuperado a partir de <http://www.dicta.hn/files/Sandia,-2005.pdf>

- Famine Early Warning Systems Network [FEWS NET]. (2009). Guatemala: Perfiles de medios de vida, 262. Recuperado a partir de [http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/gt\\_profile\\_es.pdf](http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/gt_profile_es.pdf)
- Famine Early Warning Systems Network [FEWS NET]. (2010). Medios de vida en El Salvador.
- Famine Early Warning Systems Network [FEWS NET]. (2015). Zonas de medios de vida y descripciones, 1–40.
- Fenagh. (2012). Cultivo de sorgo crece en Honduras, 2012.
- FLACSO y DEMUCA. (2017). Sistematización de talleres de intercambio para la elaboración de estrategias municipales de acción climática en el Triángulo del Norte. En prensa.
- Flores, H. D. (2008). Híbridos de Maíz de Alta Calidad Proteica Oro Blanco y Platino. Boletín Técnico 20, 16.
- Flores, H. D. (2014). El Cultivo del Maíz. Guía Técnica (Vol. 45). <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0216-z>
- Fuentes-López, M. R. (2002). El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico (Vol. 1). Guatemala: Instituto de Ciencias y Tecnologías Agrícolas (ICTA). Recuperado a partir de <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/cultivoMaízManejoAgronomico.pdf>
- Fundazucar. (2017). Plan estratégico sostenible. Recuperado a partir de <http://fundazucarelsalvador.com/plan-estrategico-de-sostenibilidad/>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., ... Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gándara, N. (2016). Las cifras de la piña que demuestran un importante crecimiento. Recuperado a partir de <http://www.prensalibre.com/economia/economia/produccion-de-pia-gana-mas-terreno>
- Global Climate Monitor. (2017). Capa shape de tendencias de precipitación. Disponible en: <http://www.globalclimatemonitor.org/>
- Gómez, B. (2017). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (Producción de caña de azúcar) – Municipio de Retalhuleu Departamento de Retalhuleu. Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC.
- Gremial de Palmicultores de Guatemala [GREPALMA]. (2016). LA PALMA EN GUATEMALA. Disponible en <http://www.grepalma.org/palmicultura-en-guatemala?o=4>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2013). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- GrupoHAME. (2016). Palma de aceite. Recuperado a partir de <http://grupohame.com/palma-de-aceite/>
- Guerrero, L. A., & Castaneda, W. (2002). Variedad de arroz. Centa, 3. Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos basicos/Boletin CENTA A-7.pdf>
- Guerrero, L. A., & Castaneda, W. (2006). CENTA A-8 Resistente a piricularia y alta calidad de grano. Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos basicos/Boletin CENTA A-8.pdf>
- Hernández, M., & Salvador, H. (2009). Variedad de sorgo fotosensitivo criollo mejorado. Centa, 26. Recuperado a partir de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos basicos/SORGO CENTA-ZAM 912.pdf>

- Hernández, S. (2009). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (Producción de Frijol) – Municipio de Joyabaj Departamento de Quiché. Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC.
- Index mundi. (2018). Tasa de inflación. Retrieved from <https://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=ho&v=71&l=es>
- Innovation, Sciences et Développement économique [ISDE]. (2011). ISDE Palma: Análisis Sectorial. Recuperado a partir de <http://docplayer.es/17936151-Isde-tics-analisis-sectorial.html>
- Instituto Hondureño del Café [IHCAFE]. (2018). Instituto Hondureño del Café. Recuperado a partir de [https://www.ihtcafe.hn/?page\\_id=3720#region-copan](https://www.ihtcafe.hn/?page_id=3720#region-copan)
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras [ICF]. (2014). Atlas Municipal Forestal Y Cobertura De La Tierra De Honduras. República de Honduras. Disponible en <http://www.atlasmunicipal.org/>
- Instituto Nacional de Estadística de Guatemala [INE]. (2015). Encuesta Nacional Agropecuaria Superficie cultivada y producción 2015. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística de Honduras [INE]. (2008). Cultivos Permanentes. En Encuesta Nacional Agrícola 2007-2008 (p. 52). Tegucigalpa.
- Instituto Nacional de Estadística de Honduras [INE]. (2008). Encuesta Agrícola Nacional 2007-2008. República de Honduras.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Jaramillo N (2014). Evaluación holística del riesgo sísmico en zonas urbanas y estrategias para su mitigación. Aplicación a la ciudad de Mérida-Venezuela. Ph.D. Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Kawas, N. (2011). Pérdidas por sequía. Informe de estudio final. Tegucigalpa: IHCIT-UNAH.
- Khazai B, Bendimerad F, Cardona OD, Carreño ML, Barbat AH, Burton CG (2015). A guide to measuring urban risk resilience. Principles, tools and practice of urban indicators. Earthquake Megacities Initiative, Manila.
- Lafitte, H. R. C. (2013). El cultivo del maíz ,Guía para uso de empresas privadas , consultores individuales y productores. Mazi En El Ecuador, 21.
- Lardizabal, R., Arias, S., & Segura, R. (2013). Manual De Producción De Frijol. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; INTA; Ministerio de Agricultura, Ganadería Y Pesca., 109–152. Recuperado a partir de <http://www.sag.gob.hn/dmsdocument/2956>
- MAG. (2017). Anuario de estadísticas agropecuarias El Salvador 2016 - 2017. División de Estadísticas Agropecuarias. Republica de El Salvador. Retrieved from <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/#>
- MARN y SNET. (2001). Análisis del impacto económico de la sequía de 2001 en la producción de maíz. Disponible en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00072/doc00072-contenido.pdf>
- Marulanda MC, Cardona OD, Barbat AH (2009). Robustness of the holistic seismic risk evaluation in urban centers using the USRi, Nat. Hazards. 49(3): 501-516.
- Marulanda MC, Carreño ML, Cardona OD, Ordaz M, Barbat AH (2013). Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA: application to the city of Barcelona, Spain, Nat. Hazards. 69:59-84.

- Marulanda, MC, Cardona OD, Marulanda, P, Carreño ML, Barbat AH (2018). Evaluating seismic risk from a holistic perspective to improve resilience: the un evaluation at global level. Proceedings of 16th European Conference on Earthquake Engineering. Thessaloniki.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador [MAG]. (2012). Uso de suelo de la República de El Salvador, C.A., año 2010. El Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador [MAG]. (2016). MAG sugiere fechas de siembra para 2016. Recuperado a partir de <http://www.mag.gob.sv/mag-sugiere-fechas-de-siembra-para-2016/>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA]. (2000). Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000-Memoria Técnica-. (U. de P. e I. E. (UPIE-MAGA) & P. de E. por D. N. (MAGA-BID), Eds.). Guatemala.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]., & United States Agency for International Development [USAID]. (2018). Manual de campo para la identificación de las etapas de desarrollo del frijol en Guatemala y su equivalencia con las fases fenológicas del sistema de monitoreo de cultivos.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2015). El agro en cifras 2015. Dirección de Planeamiento (Vol. 9). Guatemala.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2016). El agro-en cifras. Recuperado a partir de [http://web.maga.gob.gt/download/El agro16.pdf](http://web.maga.gob.gt/download/El_agro16.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2018). Épocas de siembra y cosecha en Guatemala en condiciones normales.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2016). El agro-en cifras. Retrieved from [http://web.maga.gob.gt/download/El agro16.pdf](http://web.maga.gob.gt/download/El_agro16.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2017a). Situación del Frijol a diciembre de 2017. Republica de Guatemala. Retrieved from [http://web.maga.gob.gt/diplan/download/informacion\\_del\\_sector/informes\\_de\\_situacion\\_de\\_maiz\\_y\\_frijol/2017/12 Informe Situación Del Frijol Negro Diciembre 2017.pdf](http://web.maga.gob.gt/diplan/download/informacion_del_sector/informes_de_situacion_de_maiz_y_frijol/2017/12 Informe Situación Del Frijol Negro Diciembre 2017.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA]. (2017b). Situación del Maíz Blanco a diciembre de 2017. Republica de Guatemala. Retrieved from [http://web.maga.gob.gt/diplan/download/informacion\\_del\\_sector/informes\\_de\\_situacion\\_de\\_maiz\\_y\\_frijol/2017/12 Informe Situación Del Maíz Blanco Diciembre 2017.pdf](http://web.maga.gob.gt/diplan/download/informacion_del_sector/informes_de_situacion_de_maiz_y_frijol/2017/12 Informe Situación Del Maíz Blanco Diciembre 2017.pdf)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala [MAGA] & Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID]. (2018). Manual de campo para la identificación de las etapas de desarrollo del frijol y maíz en Guatemala y su equivalencia con las fases fenológicas del sistema de monitoreo de cultivos.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador [MARN]. (2007). Reserva de Biósfera Apaneca-Illamatepec. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/reserva-de-biosfera-apaneca-illamatepec/>
- Ministerio de Economía de El Salvador [MINEC]. (2009). IV Censo Agropecuario 2007-2008, República de El Salvador, C.A. El Salvador. Disponible en <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economia-agropecuaria/estadisticas-agropecuarias/censos-agropecuarios/>
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

- Monfreda, C., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2008). Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007GB002947>
- Morataya, D. V. (2018). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (producción de Banano) – Municipio de Ocós Departamento de San Marcos. Universidad de San Carlos de Guatemala – USAC.
- MundoChapin. (2015). Principales Productos Agrícolas de Exportación en Guatemala. Disponible en <https://mundochapin.com/2016/08/principales-productos-agricolas-de-exportacion-de-guatemala-en-2015/30678/>
- Naciones Unidas. (2014). World urbanization prospects: The 2014 revision. Disponible en: <https://esa.un.org/unpd/wup/>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNISDR]. (2015). Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review, (August), 1–31.
- Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres [UNISDR]. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas, 43.
- Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres [UNISDR]. (2015). GAR. Informe de Evaluación Global Sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Hacia El Desarrollo Sostenible: El Futuro de La Gestión Del Riesgo de Desastres, 352.
- Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres [UNISDR]. (2016). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Disponible en línea [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). The impact of disasters and crises on agriculture and food security. 2018. <http://www.fao.org/3/I8656EN/i8656en.pdf>
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). Datos y análisis de precios de la FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/prices/es/>
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, División de Estadística [FAOSTAT]. (2018). Precios al Productor - Anuales. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/es/#data/PP>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). AquaCrop training handbooks Book I Understanding AquaCrop. Rome.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2010). Apéndice 1 - Detalle de la nomenclatura CORINE Land Cover Adaptada para El Salvador. In Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales FRA 2010, Informe Nacional El Salvador (pp. 46–54). Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). Crop Water Information. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/en/>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), & Asociación Mundial para el Agua. (2016). Manual de indicadores e índices de sequía. (M. Svoboda & B. A. Fuchs, Eds.), Programa de gestión integrada de sequías. Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra. Recuperado a partir de [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP\\_Manual-de-indicadores\\_2016](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016)

- Orozco Barrios, O. L. (2014). Evaluación cualitativa de la cadena de valor de frijol en Guatemala, 66. Recuperado a partir de [https://www.pronacom.gt/website/biblioteca/biblioteca\\_5.\\_frijol.pdf](https://www.pronacom.gt/website/biblioteca/biblioteca_5._frijol.pdf)
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., & Larín, M. A. (2001). Cultivo De Tomate. CENTA, 1–68.
- PNUD 2018. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Disponible en línea <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- PNUD. (2014, agosto). Fortalecen la Red Meteorológica Nacional con 46 nuevas estaciones. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras. Recuperado a partir de <http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/presscenter/articles/2014/08/21/fortalecen-la-red-meteorol-gica-nacional-con-46-nuevas-estaciones.html>
- Poppe, M. (2016). Simulating the water footprint of woodies in Aquacrop and Apex. University of Twente.
- ProHonduras. (2016a). Melón hondureño. Recuperado a partir de <http://www.prohonduras.hn/images/mosaicoexport/melon.pdf>
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2011). FAO cropwater productivity model to
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T., & Fereres, E. (2017). Calculation Procedures. En AquaCrop Version 6.0 Reference Manual. Rome: FAO.
- Ravelo, A. et al. (2016). Monitoreo y evaluación de las sequías en América Central. Unión Europea: Disponible en: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC102117/lbna27974esn.pdf>
- Robles, E. (2014). Producción y exportación de cardamomo en Guatemala. Recuperado a partir de <http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-y-exportacion-de-cardamomo-en-guatemala.shtml>
- Rodríguez, M., & Guerrero, M. (2002). Guía Técnica para el cultivo de plátano. San Salvador. Recuperado a partir de <http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Platano.pdf>
- Román, M., & Hurtado, G. (2002). La Papa. Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal, 34.
- Romero, B. N. (2012). Clasificación de Suelos por División Política de El Salvador, C.A. San Salvador. Recuperado a partir de <http://www.mag.gob.sv/>
- Salgado-Gálvez MA, Zuloaga D, Velásquez CA, Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2016). Urban seismic risk index for Medellín, Colombia, based on probabilistic loss and casualties' estimations, Natural Hazards. 80(3):1995-2021.
- Sánchez, H. (2014). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (Producción de Maíz) - Municipio de San Carlos Sija Departamento de Quetzaltenango. Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC.
- Secretaría de Energía, Recursos Naturales, A. y M. (s/f). Documentos-Mapas. Recuperado a partir de <https://acchonduras.wordpress.com/el-equipo/>
- Sheffield, J., Goteti, G., & Wood, E. F. (2006). Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. Journal of Climate, 19(13), 3088–3111. <https://doi.org/10.1175/JCLI3790.1>
- Sheppard, J., & Hoyle, F. (2018). Water availability. Recuperado a partir de <http://soilquality.org.au/factsheets/water-availability>
- Simmons, C. (1969). Los suelos de Honduras. Informe al Gobierno de Honduras.
- SINTET. (s/f). Sistema de Información Territorial Trinacional: El Salvador, Guatemala y Honduras.

- SIPRO, CATIE, & ROCAP. (1986). Alternativa de manejo para el sistema maicillo tejutla.
- SNET. (s/f). Servicio meteorológico Nacional. Recuperado a partir de <http://www.snet.gob.sv/ver/snet/areas+de+snet/servicio+meteorologico/>
- Soil Conservation Service. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. Obtenido de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf)
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. Soil Conservation Service, 12, 410. <https://doi.org/10.1109/TIP.2005.854494>
- Solorzano, J. C. (2009). Costos y Rentabilidad de Unidades Agrícolas (producción de mango) – Municipio de Río Hondo Departamento de Zacapa. Universidad de San Carlos de Guatemala - USAC.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop yield response to water. Fao Irrigation and Drainage Paper 66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.06.005>
- Superintendencia de Bancos Guatemala [SIB]. (2011). Analisis de sectores económicos. Recuperado a partir de [www.sib.gob.gt/c/document\\_library/get\\_file%3FfolderId%3D471455%26name%3DDLFE-9623.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co](http://www.sib.gob.gt/c/document_library/get_file%3FfolderId%3D471455%26name%3DDLFE-9623.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co)
- Swisscontact. (2014). Análisis rápido de la cadena de valor del mango en la región 2 Valles de Comayagua, Honduras, (1), 1–39.
- Taub, D. (2010). Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants. Nature Education Knowledge, 3(10), 21.
- TECAPA. (2018). Fincas. Recuperado a partir de <http://www.tecapa.com/fincas.html>.
- Torregrosa, P. (2018). Guía técnica para el cultivo de la sandía. Disponible en <http://docplayer.es/8866950-Guia-tecnica-para-el-cultivo-de-la-sandia-i-nombre-del-cultivo-sandia-ii-introduccion-a-origen-e-importancia.html>.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). Water Resources Management, 21(5), 821–833. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9105-4>
- Turruella, E. P., Ramírez, M. C., & Martínez, F. (2002). Manual Para La Producción de Sandía.
- UCR y CRRH. (2004). Base de datos NUMEROSA. San José: CIGEFI.
- UNAH-IHCIT. (2010). Perdidas por sequía en Honduras durante el periodo de 1997 al 2010. Tegucigalpa: UNAH.
- Unidad de Planeamiento y Evaluación de la Gestión [UPEG]. (2015). Análisis de Conyuntura del Cultivo de Frijol en Honduras. Recuperado a partir de [sisem.sag.gob.hn/PSME/D15LMU.php?id=631](http://sisem.sag.gob.hn/PSME/D15LMU.php?id=631)
- Unidad de Planeamiento y Evaluación de la Gestión [UPEG]. (2016). Análisis de coyuntura del cultivo de piña en Honduras. Recuperado a partir de [sisem.sag.gob.hn/PSME/D15LMU.php?id=1116](http://sisem.sag.gob.hn/PSME/D15LMU.php?id=1116)
- Unidad de Planeamiento y Evaluación de la Gestión [UPEG]. (2017). Boletín Agroestadísticas de Honduras 2014 -2017. Republica de Honduras.
- UNISDR (2013). GAR2013: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – From shared risk to shared value: The business case for disaster risk reduction. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132038-1

- UNISDR (2015). GAR2015: Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction. ISBN 978-92-1-132042-8
- UNISDR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015a). Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2015. Geneva.
- UNISDR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015b). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. Geneva.
- UNISDR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). GAR Atlas: Unveiling Global Disaster Risk, at: [http://www.unisdr.org/files/53086\\_garatlasr2.pdf](http://www.unisdr.org/files/53086_garatlasr2.pdf) Geneva.
- UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 43. Recuperado a partir de [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)
- UNISDR. (2011). Revealing Risk, Redefining Development. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Ginebra: UNISDR.
- UNISDR. (2015). GAR. Informe de Evaluación Global Sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Hacia el desarrollo sostenible: El futuro de la gestión del riesgo de desastres, 352.
- United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly A/RES/70/1 New York, September 2015.
- Van der Zee, A., van der Zee, J., Mayrat, A., Poveda, C., & Picado, L. (2012). Estudio de la caracterización del Corredor Seco Centroamericano.
- Velásquez C.A. (2015). La curva híbrida de riesgo: análisis retrospectivo y prospectivo del riesgo por fenómenos naturales. Ph.D. Thesis. Polytechnic University of Catalonia. Barcelona, Spain. <http://www.tdx.cat/handle/10803/392621>
- Velásquez C.A., Cardona O.D., Carreño M.L. and Barbat A.H. (2014b) Retrospective assessment of risk from natural hazards, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 10, Part B, December 2014, Pages 477-489, ISSN 2212-4209, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.05.005>.
- Velásquez C.A., Cardona O.D., Mora M.G., Yamín L.E., Carreño M.L. and Barbat A.H. (2014a). Hybrid loss exceedance curve (HLEC) for disaster risk assessment. Natural Hazards. 72:455-479.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Villatoro, J., Catillo, F., & Franco, J. (2011). Producción de Frijol Phaseolus vulgaris L. Guatemala: ICTA Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Recuperado a partir de <http://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/Produccion de Frijol Phaseolus vulgaris L 2011.pdf>
- Villeda, M., & Araujo, A. M. (2012). Sorgo Sureño Normal : El Sorgo Tradicional de. Intsormil Scientific Publications, 11.
- Wilhite, D. A. (1993). The Enigma of Drought. En D. A. Wilhite (Ed.), Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies (pp. 3–15). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8_1)
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International, 10(3), 111–120.



- Wilthite, D. y Glantz, M. (1987). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Wilthie, D. y Easterling, W. Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability. Boulder: Western Press.
- World Bank (2018) Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP). Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2016&start=1960&view=chart>
- World Bank. (2016). World Bank Open Data. Available at: [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org).
- Zeledón, H., Hernández, M., Ayala Morán, J., Guzmán de Serrano, R., Borja, C., Alvarado de Torres, M., & Calderón, V. R. (2007). Guía Técnica del Sorgo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, 40. Recuperado a partir de [http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos\\_basicos/GUIA\\_TECNICA\\_SORGO.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos_basicos/GUIA_TECNICA_SORGO.pdf)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, (56), 300. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

La lista de términos que se incluye en este glosario tomó como referencia el documento de Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2009) y el Glosario de los documentos GAR Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2015).

**Amenaza:** Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

**AquaCrop:** Software que implementa la metodología de respuesta de cultivos al agua desarrollada por la FAO.

**Cambio climático:** El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) define al cambio climático como un “cambio en el estado del clima que se puede identificar (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede obedecer a procesos naturales internos o a cambios en los forzantes externos, o bien, a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo”.

**Catástrofe:** Ruptura grave del funcionamiento de una sociedad, con pérdidas de vidas humanas, materiales y medio ambientales, y de una tal amplitud que excede las capacidades de la mencionada sociedad para enfrentarla.

**Corine Land Cover:** Del inglés *Coordination of Information on the Environment*, es una base de datos estándar sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea. La información de cobertura y uso del suelo se obtiene mediante la interpretación de imágenes satelitales.

**Daño:** Es la destrucción parcial o total de los activos físicos e infraestructura en áreas afectadas por desastres.

**Desastre:** Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.

**Duración de la sequía:** Período de tiempo continuo, expresado en años, meses o semanas, en el que el parámetro indicador de sequía se encuentra por debajo de cierto valor crítico (Mishra & Singh, 2010).

**Elementos expuestos:** La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están sujetos a experimentar pérdidas potenciales. En el caso de las sequías agrícolas los elementos expuestos son los cultivos.

**ENOS El Niño Oscilación Sur:** Una interacción compleja del Océano Pacífico tropical y la atmósfera global que da como resultado episodios cíclicos de cambios en los patrones oceánicos y meteorológicos en diversas partes del mundo, frecuentemente con impactos considerables durante varios meses, tales como alteraciones en el hábitat marino, precipitaciones, inundaciones, sequías y cambios en los patrones de las tormentas.

**Evaluación del riesgo:** Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.

**Fenología:** Parte de la meteorología que estudia las repercusiones del clima sobre los fenómenos biológicos de los seres vivos.

**Forcings antropogénicos (Representative Concentration Pathways RCPs):** Escenarios que incluyen las series de tiempo de emisiones y concentraciones del conjunto total de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos, así como uso de suelo y coberturas. Son escenarios representativos de las características radiativas específicas según la combinación de niveles de concentración de gases en la atmósfera y sus trayectorias en el tiempo (IPCC, 2013).

**Georeferenciación:** Es la técnica de posicionamiento espacial de un elemento en una localización geográfica única bien definida en un sistema de coordenadas específico.

**Gestión del riesgo de desastres:** El proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre.

**Gestión del riesgo:** El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales.

**Gestión prospectiva del riesgo de desastres:** Actividades de gestión que abordan y buscan evitar el aumento o el desarrollo de nuevos riesgos de desastres.

**Indicadores de sequía:** Variables o parámetros utilizados para describir las condiciones de las sequías (precipitación, temperatura, caudales). También se pueden entender como índices que son representaciones numéricas informatizadas de la gravedad de las sequías, determinadas mediante datos climáticos o hidrometeorológicos. (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016)

**Inflación:** alza generalizada y persistente en el nivel de los precios internos de la economía de un país. (BANGUAT, 2009)

**Intensidad de la sequía:** Es el valor medio de un parámetro indicador de sequía por debajo de un nivel crítico. Se mide como la severidad de la sequía dividida su duración (Mishra & Singh, 2010).

**Modelos de circulación global:** Modelos matemáticos que simulan el clima con componentes acoplados de atmósfera, superficie terrestre y océano. Son ampliamente utilizados en el pronóstico del tiempo y para proyectar el cambio climático.

**Pérdida anual esperada (PAE):** Pérdida promedio estimada anualizada durante un largo período de tiempo, teniendo en cuenta todos los escenarios posibles de pérdidas en relación con distintos períodos de retorno

**Pérdida máxima probable (PMP):** Pérdida máxima que podría esperarse para un período de retorno determinado

**Pérdida:** son los cambios en los flujos económicos derivados de un desastre.

**Periodo de retorno:** Frecuencia promedio con la que se espera que se produzca una pérdida dada. Por lo general, se expresa en años, tales como 1 en X número de años. Esto no significa que se producirá una pérdida cada X número de años, sino más bien que ocurrirá una vez en promedio cada X número de años

**Probabilidad de excedencia:** Posibilidad de que ocurra una pérdida de una magnitud determinada o que esta sea excedida en un lapso de tiempo definido

**Probabilidad:** Posibilidad de que ocurra una pérdida en comparación con todas las pérdidas posibles que pudieran suceder

**Pronóstico:** Una declaración certera o un cálculo estadístico de la posible ocurrencia de un evento o condiciones futuras en una zona específica.

**Respuesta de cultivos al estrés hídrico:** Metodología propuesta por la FAO para evaluar el impacto en el crecimiento y generación de frutos, forraje o tubérculos, frente a eventos de déficit hídrico. Esta metodología está implementada en el software AquaCrop.

**Riesgo de desastres:** Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.

**Riesgo extensivo:** El riesgo generalizado que se relaciona con la exposición de poblaciones dispersas a condiciones reiteradas o persistentes con una intensidad baja o moderada, a menudo de naturaleza altamente localizada, lo cual puede conducir a un impacto acumulativo muy debilitante de los desastres.

**Riesgo intensivo:** El riesgo asociado con la exposición de grandes concentraciones poblacionales y actividades económicas a intensos eventos relativos a las amenazas existentes, los cuales pueden conducir al surgimiento de impactos potencialmente catastróficos de desastres que incluirían una gran cantidad de muertes y la pérdida de bienes.

**Riesgo:** La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.

**Sequía:** Ausencia prolongada o déficit notable de precipitación (OMM, Organización Meteorológica Mundial).

**Severidad de la sequía:** Indica una deficiencia acumulada de un parámetro indicador de sequía por debajo de un nivel crítico (Mishra & Singh, 2010).

**Tasa anual de excedencia:** Es el número de veces en un año en las que un valor de pérdida se verá superado.

**Tasa de inflación:** Cambio porcentual anual en los precios al consumidor en comparación con los precios al consumidor del año anterior (Index mundi, 2018)

**Vulnerabilidad:** Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

**Zona de Medios de Vida:** Clasificación de regiones a partir de los medios que utilizan los hogares de un área geográfica particular para su subsistencia, es decir sus fuentes de ingresos y alimentos, así como las amenazas a las que se enfrentan y los mecanismos de respuesta que utilizan cuando se enfrentan a ellas. Proporciona información para conocer el contexto de la situación alimentaria y nutricional de cierta área.

## ANEXOS

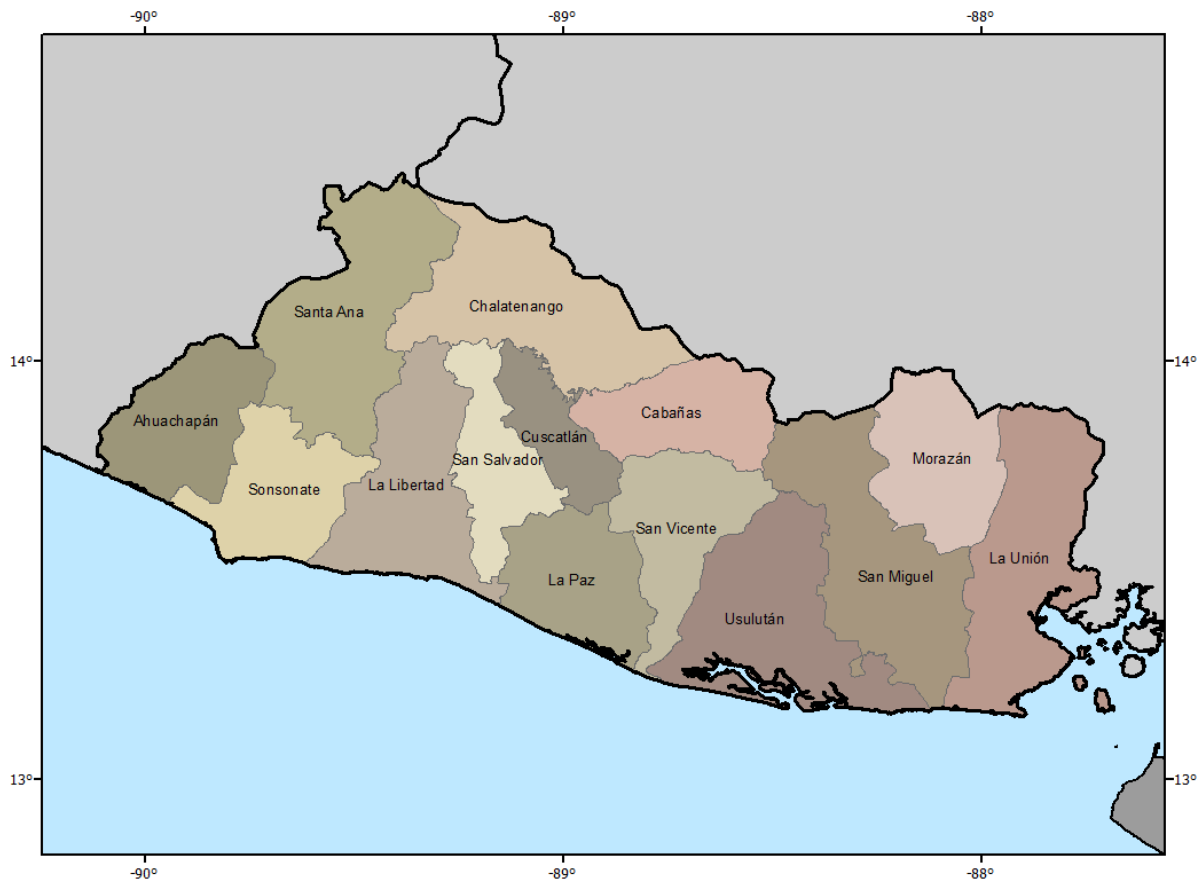
---

### A.1 División política de los tres países

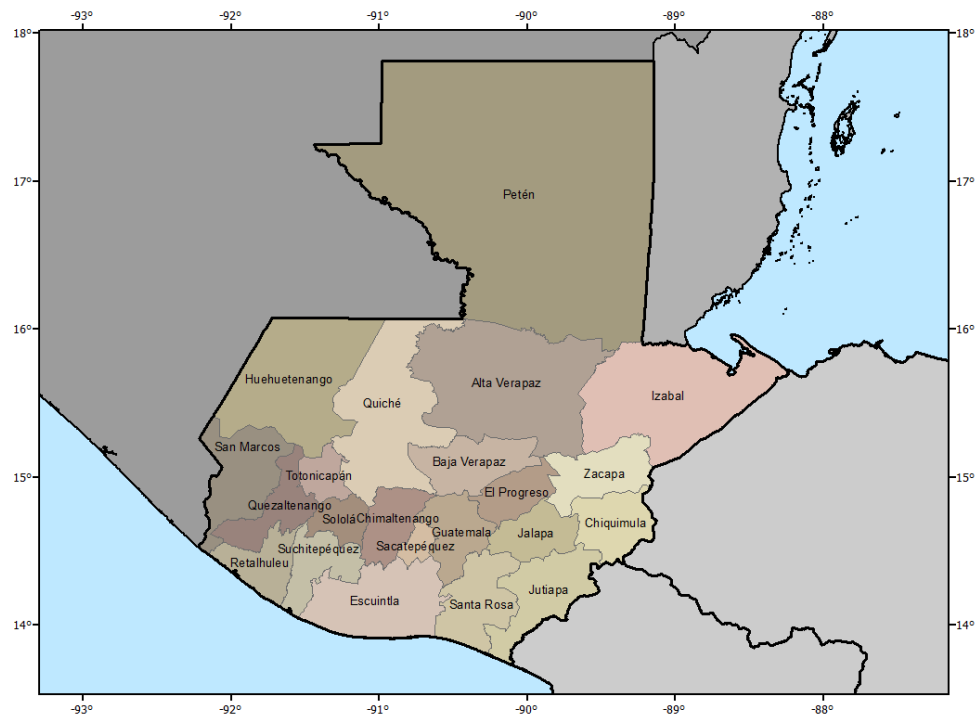
---

Esta sección incluye mapas con los nombres de los departamentos de los tres países de estudio, como referencia al análisis incluido en el texto del documento.

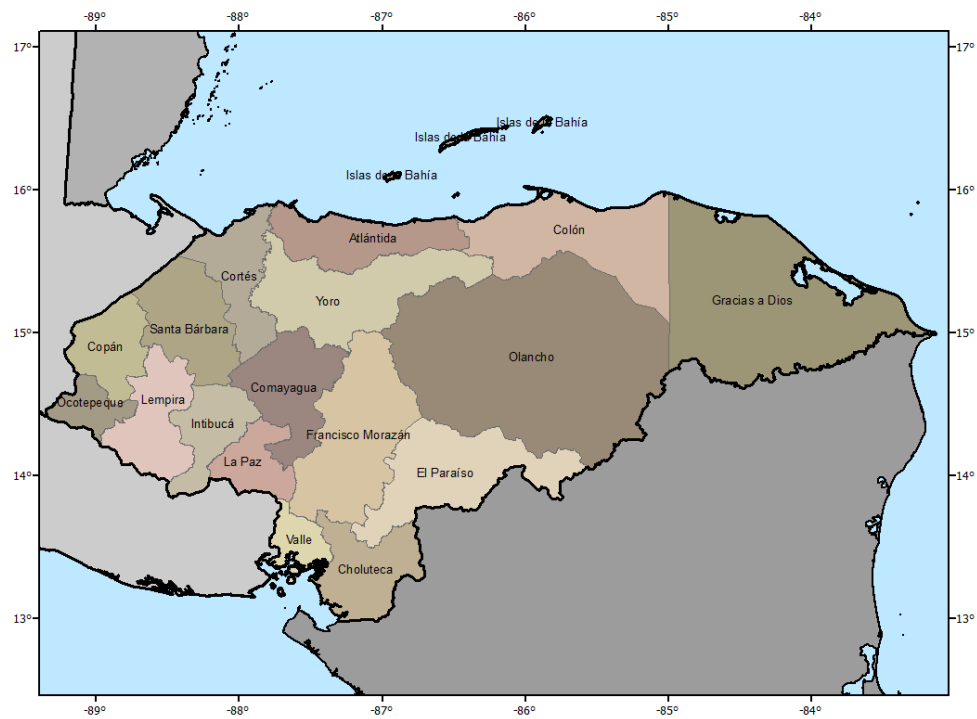
#### El Salvador



## Guatemala



## Honduras



## A. 2 Evapotranspiración de referencia

El cálculo de la serie de evapotranspiración potencial se hace siguiendo el Manual *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements* (Allen et al., 1998). En esta sección se explica de forma general el procedimiento para aplicar la metodología de Penman-Monteith de la FAO. Para más información, consultar el estudio de la FAO publicado en el Artículo 56 de la división de Riego y Drenaje.

La evapotranspiración de referencia se entiende como el potencial de evaporación de la atmósfera; se calcula en una superficie vegetal uniforme sin restricciones hídricas. La superficie de referencia es un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23 (Allen et al., 1998); es independiente del tipo de cultivo, de su desarrollo o de su manejo. Al no tener restricciones en el contenido de agua, las características del suelo tampoco influyen en su resultado. Estas condiciones permiten comparar los resultados en diferentes localizaciones o estaciones para evaluar las condiciones evaporativas de la atmósfera ya que el ETO únicamente varía según las condiciones climáticas presentes.

### A. 2.1 Método de Penman-Monteith

El método de Penman-Monteith permite cuantificar los procesos de evaporación (vaporización de agua desde una superficie: suelo, vegetación húmeda) y transpiración (vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales), que ocurren simultáneamente. Los parámetros necesarios para el cálculo son el brillo solar, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento (asociada con la evaporación), el flujo de vapor y la resistencia aerodinámica (asociada con la transpiración).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (\text{Ec. A. 2-1})$$

en donde

$ET_0$  es la evapotranspiración de referencia [mm/d]

$R_n$  es la radiación neta [MJ/m<sup>2</sup>d]

$G$  es el flujo de calor del suelo [MJ/m<sup>2</sup>d]

$\gamma$  es la constante psicrométrica [kPa/°C]

$T$  es la temperatura promedio diaria [°C]

$u_2$  es la velocidad del viento (a 2m de la superficie) [m/s]

$(e_s - e_a)$  representa el déficit de presión de vapor [kPa]

$\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/°C]

La aplicación de la metodología de Penman-Monteith implica la recopilación de información meteorológica que puede no estar disponible en todos los casos. Los parámetros meteorológicos faltantes se establecen a partir de criterio de expertos, información meteorológica general de la región y las reglas de cálculo recomendadas por la FAO (Raes, 2009). Para el caso del presente estudio, se consultó la base de datos de la Universidad de Princeton (Sheffield et al., 2006) de parámetros climáticos que incluye radiación, presión atmosférica, velocidad de viento y humedad específica con el fin de obtener datos más precisos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la región de análisis.

## A. 2.2 Parámetros atmosféricos

### A. 2.2.1 Presión atmosférica $P$

La presión atmosférica es la presión ejercida por el peso de la atmósfera terrestre. La presión atmosférica se puede calcular a partir de la elevación sobre el nivel del mar, en el punto de interés.

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (\text{Ec. A. 0-1})$$

donde

$P$  es la presión atmosférica [kPa]

$z$  es la elevación sobre el nivel del mar [m]

En caso de contar con mediciones de la presión atmosférica en estaciones de monitoreo, se utiliza es valor registrado cuidando que las unidades sean las correctas (pascales).

### A. 2.2.2 Constante psicrométrica $\gamma$

La constante psicrométrica se define como:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0.664742 \times 10^{-3} P \quad (\text{Ec. A. 0-2})$$

donde

$\gamma$  es la constante psicrométrica [kPa/°C]

$P$  es la presión atmosférica [kPa]

$\lambda$  es el calor latente de vaporización, 2.45 MJ/kg a 20°C

$c_p$  es el calor específico a presión constante, 1.013x10<sup>-3</sup> MJ/kg°C

$\varepsilon$  es el cociente del peso molecular de vapor de agua/aire seco, 0.622

## A. 2.3 Temperatura del aire

Sin información de temperatura no se puede calcular la evapotranspiración de referencia. La temperatura media diaria del aire ( $T_{media}$ ) se emplea en la ecuación de Penman-Monteith para calcular la pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor ( $\Delta$ ) y del impacto de la densidad media del aire ( $P_a$ ). Los valores de temperatura media se obtienen de registros medidos en estaciones meteorológicas o son reportados dentro de las bases de datos globales como la publicada por la Universidad de Princeton. En el caso del cálculo de la serie de evapotranspiración para las series modeladas, que luego se utilizan en el análisis probabilista del riesgo por sequía, la serie de temperatura modelada se utiliza directamente en la ecuación de Penman-Monteith.

## A. 2.4 Humedad del aire

### A. 2.4.1 Presión media de vapor de la saturación $e_s$

La presión media de vapor de saturación se calcula como:



$$e^{\circ}(T) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right) \quad (\text{Ec. A. 0-3})$$

donde

$e^{\circ}(T)$  es la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa]

T es la temperatura del aire [°C]

La presión media de vapor de saturación se calcula a partir de la temperatura máxima y mínima diaria:

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min})}{2} \quad (\text{Ec. A. 0-4})$$

donde

$e_s$  es la presión media de saturación de vapor [kPa]

$T_{max}$  es la temperatura máxima diaria del aire [°C]

$T_{min}$  es la temperatura mínima diaria del aire [°C]

Se recomienda el cálculo de la presión media de vapor de saturación a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias, dado que el cálculo con la temperatura media puede llevar a subestimación del parámetro por la naturaleza no lineal de la relación presión de vapor-temperatura.

#### A. 2.4.2 Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor $\Delta$

La pendiente de la curva de presión de saturación de vapor para una cierta temperatura T se define como:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.3}\right)\right]}{(T + 237.3)^2} \quad (\text{Ec. A. 0-5})$$

donde

$\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/°C]

T es la temperatura media del aire [°C]

#### A. 2.4.3 Presión real de vapor $e_a$

Según el manual de la FAO, la presión real de vapor se puede derivar de la temperatura del punto de rocío (Tdew), de datos psicrométricos o de datos de la humedad relativa. El método que utilizar depende de la disponibilidad de datos.

- $e_a$  a partir de la temperatura del punto de rocío (Tdew)

$$e_a = e^{\circ}(Tdew) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27Tdew}{Tdew + 237.3}\right) \quad (\text{Ec. A. 0-6})$$

- $e_a$  a partir de la humedad máxima (RHmax) y mínima (RHmin)

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{\min})RH_{\max} + e^\circ(T_{\max})RH_{\min}}{2} \quad (\text{Ec. A. 0-7})$$

- $e_a$  a partir de la temperatura de la humedad relativa máxima

$$e_a = e^\circ(T_{\max})RH_{\min} \quad (\text{Ec. A. 0-8})$$

- $e_a$  a partir de la temperatura de la humedad relativa media

Para este estudio, se hace uso de la base de datos de la Universidad de Princeton (Sheffield et al., 2006), que incluye la humedad específica media entre los parámetros que reporta.

A partir de la humedad específica, se calcula la humedad relativa:

$$RH = 0.263 P shum \left[ \exp \left( \frac{17.67(T - T_o)}{T - 29.65} \right) \right]^{-1} \quad (\text{Ec. A. 0-9})$$

donde

RH es la humedad relativa [-]

P es la presión atmosférica [Pa]

shum es la humedad específica [-]

T es la temperatura media [Kelvin]

$T_o$  es la temperatura de referencia, 273.16 K

Lo que es equivalente a:

$$RH = \frac{P shum}{0.622 e_s} \quad (\text{Ec. A. 0-10})$$

donde  $e_s$  es la presión media de saturación de vapor [kPa].

Una vez se tiene el valor de la humedad relativa, la presión real de vapor se calcula como:

$$e_a = e^\circ(T_{media})RH_{media} \quad (\text{Ec. A. 0-11})$$

donde  $e_a$  es la presión real de saturación de vapor [kPa] y RH la fracción de la humedad relativa. Si el valor de RH se da en porcentaje, se debe ingresar el valor de la fracción a la ecuación anterior.

## A. 2.5 Radiación

El cálculo de la radiación neta se puede hacer a partir de parámetros como la radiación extraterrestre, la radiación solar, la radiación de cielo despejado y la radiación de onda larga, a partir de constantes y funciones previamente calibradas. También se puede hacer el cálculo a partir de mediciones de radiación registrados en estaciones especializadas o incluidos en los registros de bases de datos que incluyen información de radar. A continuación, se muestran las posibilidades para el cálculo de la radiación neta.

#### A. 2.5.1 Radiación extraterrestre

La radiación extraterrestre se calcula a partir de la latitud y el día del año, a partir de las siguientes funciones:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega_s)] \quad (\text{Ec. A. 0-12})$$

donde

$R_a$  es la radiación extraterrestre [MJ/m<sup>2</sup>d]

$G_{sc}$  es la constante solar = 0,082 MJ/m<sup>2</sup>min

$d_r$  es la distancia relativa inversa Tierra-Sol [-](Ec. A. 0-13)

$\omega_s$  es el ángulo de radiación a la puesta del sol [rad]

$\varphi$  es la latitud [rad] (Ec. A. 0-15)

$\delta$  es la declinación solar [rad] (Ec. A. 0-14)

La distancia relativa inversa Tierra-Sol,  $d_r$ , y la declinación solar,  $\delta$ , están dadas por:

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (\text{Ec. A. 0-13})$$

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right) \quad (\text{Ec. A. 0-14})$$

donde  $J$  es el número del día del año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol,  $\omega_s$ , se da por:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (\text{Ec. A. 0-15})$$

#### A. 2.5.2 Duración máxima de la insolación (N)

La duración máxima de la insolación  $N$ , está dada por:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (\text{Ec. A. 0-16})$$

donde  $\omega_s$  es el ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol calculado con la Ecuación (Ec. A. 0-15). El número máximo de horas de luz o insolación se utiliza para calcular la radiación solar.

#### A. 2.5.3 Radiación solar o de onda corta

Los valores de radiación solar se pueden obtener de mediciones directas o se pueden calcular utilizando la fórmula de Angstrom, que relaciona la radiación solar extraterrestre ( $R_a$ ) con la duración de la insolación ( $N$ ).

- Cálculo a partir de la fórmula de Angstrom

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (\text{Ec. A. 0-17})$$

donde

$R_s$  es la radiación solar o de onda corta [MJ/m<sup>2</sup>d]

$n$  es la duración real de la insolación [horas]

$N$  es la duración máxima posible de la insolación [horas] (Ec. A. 0-19)

$R_a$  es la radiación extraterrestre [MJ/m<sup>2</sup>d] (Ec. A. 0-12)

$a_s$  es la constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados ( $n = 0$ ),  $a_s = 0.25$  si no existe calibración

$a_s + b_s$  es la fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ( $n = N$ ),  $b_s = 0.50$  si no existe calibración

La radiación solar neta, que es la diferencia entre la radiación solar entrante y la reflejada se calcula como:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (\text{Ec. A. 0-18})$$

donde  $\alpha$  es el albedo o coeficiente de reflexión del cultivo. Al calcular la evapotranspiración de referencia, el albedo para el cultivo estándar es 0.23.

- Mediciones disponibles

Para la base de datos de variables climáticas de la Universidad de Princeton, se cuenta con información diaria de mediciones de radiación solar. El parámetro que se relaciona con la radiación solar o radiación de onda corta es  $dswrf$  o *downward shortwave radiation*. Esta radiación es la de onda corta de entrada a la atmósfera, equivalente a  $R_s$  calculada a partir de la (Ec. A. 0-18). Para calcular el valor neto de radiación de onda corta se debe estimar el valor de reflexión de la onda corta, que se estima a partir del albedo:

$$R_{ns} = dswrf * (1 - \alpha) \quad (\text{Ec. A. 0-19})$$

donde  $dswrf$  es el valor medido de radiación de onda corta expresado en MJ/m<sup>2</sup>d.

#### A. 2.5.4 Radiación neta de onda larga

La radiación neta de onda larga se puede obtener a partir de mediciones o haciendo uso de la ley de Stefan-Boltzmann, que para esta metodología es corregida para incluir el efecto de la humedad y la nubosidad en la radiación de onda larga.

- A partir de la ley Stefan-Boltzmann

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{max,K}^4 + T_{min,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left( 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (\text{Ec. A. 0-20})$$

donde

$R_{nl}$  es la radiación neta de onda larga [MJ/m<sup>2</sup>d]

$\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann,  $4.903 \times 10^{-9}$  MJ/K<sup>4</sup>m<sup>2</sup>día

$T_{max,K}$  la temperatura máxima absoluta diaria [K]

$T_{min,K}$  la temperatura mínima absoluta diaria [K]

$e_a$  es la presión de vapor real [kPa],

$R_s/R_{so}$  es la radiación relativa de onda corta (valores  $\leq 1,0$ )

$R_s$  es la radiación solar medida o calculada [MJ/m<sup>2</sup>d]

$R_{so}$  es la radiación en un día despejado [MJ/m<sup>2</sup>d] (Ec. A. 0-21)

La radiación solar en un día despejado  $R_{so}$  se calcula como:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (\text{Ec. A. 0-21})$$

donde  $z$  es la elevación de la estación o punto de interés sobre el nivel del mar [m].

- Mediciones disponibles

Para la base de datos de variables climáticas de la Universidad de Princeton, se cuenta con información diaria de mediciones de radiación solar. El parámetro que se relaciona con la radiación de onda larga es  $dlwrf$  o *downward longwave radiation*. Esta radiación es la de onda larga de entrada a la atmósfera. Para calcular el valor neto de radiación de onda larga  $R_{nl}$  se considera que la cantidad de emisión de energía de onda larga es proporcional a la temperatura absoluta de la superficie elevada a la cuarta potencia siguiendo la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$R_{nl} = dlwrf - (\varepsilon_o \sigma T_{media,K}^4 + (1 - \varepsilon_o) * dlwrf) \quad (\text{Ec. A. 0-22})$$

donde

$dlwrf$  es el valor medido de radiación de onda larga [MJ/m<sup>2</sup>d]

$\varepsilon_o$  es la emisividad, 0.98 para vegetación

$\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann,  $4.903 \times 10^{-9}$  MJ/K<sup>4</sup>m<sup>2</sup>día

$T_{media,K}$  la temperatura media diaria [K]

El término  $(\varepsilon_o \sigma T_{media,K}^4 + (1 - \varepsilon_o) * dlwrf)$  expresa la radiación de onda larga reflejada a la atmósfera.

#### A. 2.5.5 Radiación neta

La radiación neta ( $R_n$ ) es la diferencia entre la radiación neta de onda corta ( $R_{ns}$ ) y la radiación neta de onda larga ( $R_{nl}$ ):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{Ec. A. 0-23})$$

Los valores de radiación neta de onda corta y larga se pueden obtener a partir de funciones teóricas mediciones (Ec. A. 0-18) y (Ec. A. 0-20) o de mediciones (Ec. A. 0-19) y (Ec. A. 0-22).

### A. 2.6 Velocidad del viento

La velocidad del viento se debe incluir en el cálculo de la evapotranspiración, y se expresa como el promedio de la variable en un día. Las mediciones en estaciones deben establecer a qué altura se hacen, ya que la velocidad aumenta con la altura, debido a la fricción de la superficie. La velocidad de viento para el uso en la ecuación Penmann-Monteith debe ser a 2 m. Para mediciones para alturas diferentes se deben corregir de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (\text{Ec. A. 0-24})$$

donde

$u_2$  es la velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m/s]

$u_z$  es la velocidad del viento medida a  $z$  metros sobre la superficie [m/s]

$z$  es la altura de medición sobre la superficie [m]

En caso de no contar con información medida de velocidad del viento, la FAO en su publicación No. 56 recomienda los siguientes valores:

Viento suave  $u_2 = 0.5 \text{ m/s}$

Viento suave a moderado  $u_2 = 2 \text{ m/s}$

Viento moderado a fuerte  $u_2 = 4 \text{ m/s}$

Viento fuerte  $u_2 = 5.5 \text{ m/s}$

### A. 2.7 Variables climáticas a partir de base de datos Universidad de Princeton

Para hacer uso de información contenida en bases de datos, se debe verificar que las variables climáticas se ajusten a los parámetros de entrada de la ecuación de Penmann-Monteith. Por ejemplo, para hacer uso de la información contenida en la base de datos de la Universidad de Princeton se hicieron los siguientes ajustes:

- Radiación

Las unidades de radiación de la base de datos son watts por metro cuadrado [ $\text{W/m}^2$ ], que se transforman a mega julios por metro cuadrado [ $\text{MJ/m}^2$ ] para el uso de la ecuación de Penmann-Monteith. Hay que considerar que la información de la base de datos es radiación entrante de onda corta o larga, no es la radiación neta.

- Humedad relativa

La información contenida en la base de datos es humedad específica. Se debe hacer el ajuste, siguiendo la (Ec. A. 0-9) o la (Ec. A. 0-10) para obtener el valor de humedad relativa.

No se hicieron ajustes para la velocidad del viento o la presión atmosférica.

El procedimiento que se siguió para calcular la evapotranspiración, a partir de la información histórica de variables climáticas diferentes a temperatura, consideró la variación en el tiempo de estas variables. Es decir, para cada punto donde hay información entre los años 1981 y 2010, se calculó la media multianual del parámetro en grupos de 10 días o decadales. Con esto, se obtienen 36 valores medios en el año que consideran la estacionalidad de cada variable. Por ejemplo, en época de verano el aire caliente tiende a

almacenar mayor cantidad de vapor de agua que época de invierno. El cálculo del valor de la evapotranspiración de referencia diaria toma los valores del respectivo decadal del día en que se está haciendo el cálculo.

Las medias decadales (o de grupos de 10 días consecutivos) de los parámetros climáticos diferentes a la temperatura media se utilizan tanto para el cálculo de la serie de evapotranspiración histórica como la serie simulada. No se hace una modelación o simulación estocástica de estas variables (radiación, humedad, velocidad del viento o presión atmosférica) porque se requiere de modelos meteorológicos complejos que consideren interacciones físicas que sobrepasan el alcance de este proyecto.

#### A. 2.8 Evapotranspiración de referencia

Luego de calcular los parámetros climáticos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, a partir de funciones teóricas o registros medidos en sitio, se aplica la ecuación de Penmann-Monteith que se presenta a continuación:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (\text{Ec. A. 0-25})$$

donde

$ET_0$  es la evapotranspiración de referencia [mm/d]

$R_n$  es la radiación neta [MJ/m<sup>2</sup>d] (Ec. A. 0-23)

$G$  es el flujo de calor del suelo, para periodos cortos (diario) su valor es muy pequeño comparado con el valor de  $R_n$  por lo que se considera  $G = 0$

$\gamma$  es la constante psicrométrica [kPa/°C] (Ec. A. 0-2)

$T$  es la temperatura promedio diaria [°C]

$u_2$  es la velocidad del viento (a 2m de la superficie) [m/s]

$(e_s - e_a)$  representa el déficit de presión de vapor [kPa] (Ec. A. 0-4) y (Ec. A. 0-11)

$\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor [kPa/°C] (Ec. A. 0-5)

El término 0.408 convierte la radiación neta de MJ/m<sup>2</sup>d al valor equivalente de evaporación en mm/día.

### A.3 Indicadores de sequía

#### A.3.1 RDI

El Reconnaissance Drought Index (RDI), propuesto por Tsakiris et al. (2007), calcula la relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, para diferentes escalas temporales. Esta relación se conoce como el valor inicial de RDI ( $\alpha_0$ ) y normalmente se calcula para el año  $i$ , en una base anual, utilizando la siguiente expresión acumulativa:

$$\alpha_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}} \quad (\text{Ec. A. 0-26})$$

En donde  $P_{ij}$  y  $PET_{ij}$  son la precipitación y evapotranspiración potencial del mes  $j$  del año  $i$ . La media aritmética de todos los valores de  $\alpha$  calculados para todos los años con información disponible ( $\bar{\alpha}$ ), representa las condiciones climáticas normales de la región de estudio, y es igual al Indicador de Aridez (Aridity Index) propuesto por FAO. Este parámetro se emplea para normalizar los valores de  $\alpha$ , año a año, en lo que se conoce como el RDI normalizado ( $RDI_n$ ):

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\bar{\alpha}_0} - 1 \quad (\text{Ec. A. 0-27})$$

Por otra parte, el RDI estandarizado ( $RDI_{st(k)}$ ), se determina mediante la definición de una variable  $y_i = \ln \alpha_0^{(i)}$ , en donde implícitamente se asume que la relación entre la precipitación y la evapotranspiración potencial sigue una distribución lognormal:

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\bar{\sigma}_{y_k}} \quad (\text{Ec. A. 0-28})$$

en donde  $\bar{y}_k$  es la media aritmética y  $\bar{\sigma}_{y_k}$  la desviación estándar de  $y_i$ .

Los beneficios de usar el RDI como indicador de sequía incluyen: el uso de la precipitación y la evapotranspiración potencial como parámetros para su definición, puede ser calculado para diferentes intervalos de tiempo (desde un mes hasta un año), puede asociarse con sequías agrícolas si el periodo de análisis se sobrepone a la temporada de desarrollo de los cultivos de la región, su cálculo generalmente provee valores representativos de la sequía y su versión estandarizada puede ser comparada directamente con otros indicadores estandarizados, como el SPI (Standardized Precipitation Index) o el SPEI (Standardized Precipitation Evaporation Index).

#### A.3.2 SPEI

El Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI), propuesto por Serrano et al. (2010), representa un balance hídrico en donde se calcula la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, definiendo así el parámetro  $D$ , el cual es una medida del superávit o déficit de agua para el mes analizado.  $D^k$  es el parámetro agregado en una escala temporal específica ( $k$  meses), agregando en pasos de tiempo mensuales ( $n$  es el mes de cálculo):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (\text{Ec. A. 0-29})$$

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-i} - PET_{n-i} \quad (\text{Ec. A. 0-30})$$



Serrano et al. (2010), encontró que el parámetro  $D^k$  se ajusta a una distribución de probabilidad log-logística (Ec. A. 0-31), con parámetros de escala ( $\kappa$ ), forma ( $\lambda$ ) y origen ( $\mu$ ) que pueden ser estimados desde los datos históricos aplicando el método de los momentos.

$$f(x) = \frac{\lambda}{\kappa} \left( \frac{x - \mu}{\kappa} \right)^{\lambda-1} \left[ \left( 1 + \frac{x - \mu}{\kappa} \right)^{\lambda} \right]^{-2} \quad (\text{Ec. A. 0-31})$$

De manera similar al RDI (Reconnaissance Drought Index), el uso del SPEI presenta las ventajas del uso de la precipitación y la evapotranspiración potencial como parámetros para su definición, que puede ser calculado para diferentes intervalos de tiempo y puede asociarse fácilmente con sequías agrícolas.

#### A. 4 Modelos de circulación global considerados en este estudio

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
ACCESS 1	Australian Community Climate and Earth System Simulator	Australia	Modelo que prescribe la temperatura de la superficie terrestre y por lo tanto produce un estado promedio de un modelo que permite libremente las variaciones en temperatura.	Ackerley, D. & Dommenges, D. (2016). Atmosphere-only GCM (ACCESS1.0) simulations with prescribed land surface temperatures. Geosci. Model Dev., 9, pp. 2077-2098, doi:10.5194/gmd-9-2077-2016, 2016.
BCC-CSM 1.1	Beijing Climate Center Climate System Model versión 1.1	China	Modelo en el cual el componente atmosférico (BCC_AGCM2.1), el componente oceánico (MOM4-L40), el componente terrestre (BCC_AVIM 1.0) y el componente de hielo oceánico (SIS) están completamente acoplados e interactúan mutuamente a través de flujos de momento, energía, agua y carbono.	Wu T., Li W., Ji J., Xin X., et al. (2012). The 20th century global carbon cycle from the Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM). J. Climate
BNU-ESM	Beijing Normal University Earth System Model	China	Modelo acoplado que se compone de 5 componentes: atmósfera (CAM4), tierra (CoLM), océano (MOM4pl), hielo oceánico (CICE 4.1) y ciclo del carbono.	D. Ji1, L. Wang1, J. Feng1, Q. Wu1, H. Cheng1, Q. Zhang1, J. Yang2, W. Dong2, Y. Dai1, D. Gong2, R.-H. Zhang3,4,X. Wang4, J. Liu5, J. C. Moore1, D. Chen6, and M. Zhou7. (2014). Description and basic evaluation of Beijing Normal University Earth System Model (BNU-ESM) version 1. Geosci. Model Dev., 7, pp. 2039-2064.
CanESM2	Second Generation Canadian Earth System Model	Canada	Modelo que acopla el modelo de circulación atmósfera-océano con un modelo de vegetación y el ciclo interactivo de carbono sobre tierra y océano.	P. Chylek1, J. Li2, M. K. Dubey1, M. Wang3, and G. Lesins4. (2011). Observed and model simulated 20th century Arctic temperature variability: Canadian Earth System Model CanESM2. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 11, pp. 22893-22907.
CCSM4	Community Climate System Model	Estados Unidos	Modelo acoplado de 4 componentes: atmósfera, océano, superficie terrestre y hielo oceánico. Es un sub-set del modelo CESM1 (Community Earth System Model) de la UCAR y es mantenido por la NCAR.	PETER R. GENT,* GOKHAN DANABASOGLU,* LEO J. DONNER, MARIKA M. HOLLAND,* ELIZABETH C. HUNKE, # STEVE R. JAYNE, @ DAVID M. LAWRENCE,* RICHARD B. NEALE,* PHILIP J. RASCH, & MARIANA VERTENSTEIN,* PATRICK H. WORLEY,** ZONG-LIANG YANG,

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
				11 AND MINGHUA ZHANG. (2011). The Community Climate System Model Version 4. Journal of Climate, 24, pp. 4973-4991
CESM1-BGC	Community Earth System Model Versión 1 - BioGeoChemical model	Estados Unidos	Modelo que acopla un modelo terrestre biogeoquímico (que incluye la dinámica del carbono-nitrógeno) a un modelo oceánico biogeoquímico y al Co2 atmosférico.	Keith Lindsay, Gordon B. Bonan, Scott C. Doney, Forrest M. Hoffman, David M. Lawrence, Matthew C. Long, Natalie M. Mahowald, J. Keith Moore, James T. Randerson, Peter E. Thornton. (2014). Preindustrial-Control and Twentieth-Century Carbon Cycle Experiments with the Earth System Model CESM1 (BCG). Journal of CLimate, 27(24), pp. 8981-9005
CESM1-CAM5	Community Earth System Model Version 1 - Community Atmospheric Model Version 5	Estados Unidos	El CAM5 corresponde al componente atmosférico del CESM1. Esta versión permite simular los efectos radiativos de los aerosoles.	NCAR. (2012). Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0). NCAR Technical Note.
CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici - Carbon Earth System Model	Italia	Modelo de circulación general entre la atmósfera y el océano de 5 componentes: océano (NEMO), atmósfera (ECHAM5), hielo oceánico (LIM2), biogeoquímica oceánica (PELAGOS) y vegetación terrestre (SILVA).	Fogli, P.G. & Iovino, D. (2014). CMCC-CESM-NEMO: toward the new CMCC Earth System Model. CMCC Research Papers, (RP0248).
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici - Climate Model	Italia	Modelo acoplado de circulación general atmósfera-océano de 3 componentes: océano (OPA 8.2), hielo oceánico (LIM) y atmósfera (ECHAM5).	Bellucci, A., S. Gualdi, E. Scoccimarro, and A. Navarra, 2008: NAO-ocean circulation interactions in a coupled general circulation model. Climate Dyn., 31, 759-777, doi:10.1007/s00382-008-0408-4
CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici - Climate Model with a resolved Stratosphere	Italia	Modelo basado en el CMCC-CM con modificaciones a la estratosfera.	Cagnazzo, C., Manzini E., Fogli, P. G., Vichi, M. and Davini P. (2012). "Role of Stratospheric Dynamics in the Ozone-Carbon connection in the Southern Hemisphere".

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques - Coupled Model 5	Francia	Modelo acoplado de 5 componentes: atmósfera (ARPEGE-Climate), océano (NEMO), hielo oceánico (GELATO), tierra (SURFEX) y ríos (TRIP).	Voltaire, A., E. Sanchez-Gomez, D. Salas y Méliá, B. Decharme, C. Cassou, S. Sénéci, S. Valcke, I. Beau, A. Alias, M. Chevallier, M. Déqué, J. Deshayes, H. Douville, E. Fernandez, G. Madec, E. Maisonnave, M.-P. Moine, S. Planton, D. Saint-Martin, S. Szopa, S. Tyteca, R. Alkama, S. Belamari, A. Braun, L. Coquart, F. Chauvin. (2011). The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. Clim. Dyn., accepted, DOI:10.1007/s00382-011-1259-y
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Australia	Modelo de atmósfera-océano acoplado que incluye hielo oceánico, y un esquema suelo-cobertura vegetal.	Jeffrey, S. J., Rotstayn, L. D., Collier, M. A., Dravitzki, S. M., Hamalainen, C., Moeseneder, C., Wong, K. K., and J. I. Syktus (2013). Australia's CMIP5 submission using the CSIRO Mk3.6 model. Australian Meteorological and Oceanographic Journal, 63, pp. 1–13, <a href="http://www.bom.gov.au/amoj/docs/2013/jeffrey_hres.pdf">http://www.bom.gov.au/amoj/docs/2013/jeffrey_hres.pdf</a> .
FGOALS-g2	Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System, Gridpoint version 2	China	Modelo de 4 componentes: atmósfera (GAMIL2), océano (LICOM2), hielo oceánico (CICE4-LASG) y tierra (CLM3).	Li, L., Lin, P., Yu, Y. et al. (2013). The flexible global ocean-atmosphere-land system model, Grid-point Version 2: FGOALS-g2. Adv. Atmos. Sci., 30:(543). doi:10.1007/s00376-012-2140-6
FGOALS-s2	Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System, Spectral version 2	China	Modelo de 4 componentes: atmósfera (SAMIL2), océano (LICOM2), hielo oceánico (CICE4-LASG) y tierra (CLM3).	Bao, Q., Lin, P., Zhou, T. et al. (2013). The flexible global ocean-atmosphere-land system model, Spectral Version 2: FGALS-s2. Adv. Atmos. Sci., 30(561). doi:10.1007/s00376-012-2113-9
FIO-ESM	First Institute of Oceanography-Earth System Model	China	Modelo climático acoplado con un modelo completo del ciclo del carbono de 5 componentes: olas superficiales oceánicas, atmósfera, océano, tierra y hielo oceánico.	Qiao, F., Song, Z., Bao, Y., Song, Y., Shu, Q., Huang, C., Zhao, W. (2013). Development and evaluation of an Earth System Model with surface gravity waves. Journal of Geophysical Research, 118(9), pp.4514-4524)

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Climate Model 3	Estados Unidos	Modelo acoplado de 5 componentes: atmósfera (AM3), tierra (LM2), vegetación, hielo oceánico (SIS) y océano (MOM).	Leo J. Donnera, Bruce L. Wyman, Richard S. Hemler, Larry W. Horowitz, Yi Ming, Ming Zhaob, Jean-Christophe Golaz, Paul Ginoux, S.-J. Lina, M. Daniel Schwarzkopf, John Austin, Ghassan Alakac, William F. Cook, Thomas L. Delworth, Stuart M. Freidenreich, C. T. Gordona, Stephen M. Griffies, Isaac M. Held, William J. Hurlin, Stephen A. Klein, Thomas R. Knutson, Amy R. Langenhorst, Hyun-Chul Leed, Yanluan Lin, Brian I. Magif, Sergey L. Malyshev, P. C. D. Milly, Vaishali Naik, Mary J. Nath, Robert Pincush, Jeffrey J. Ploshaya, V. Ramaswamy, Charles J. Seman, Elena Shevliakova, Joseph J. Sirutis, William F. Sterna, Ronald J. Stouffer, R. John Wilson, Michael Winton, Andrew T. Wittenberg, and Fanrong Zeng. (2011). The Dynamical Core, Physical Parametrizations, and Basic Simulation Characteristics of the Atmospheric Component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3. Journal of Climate. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.1175/2011JC.LI3955.1">http://dx.doi.org/10.1175/2011JC.LI3955.1</a>
GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Earth System Model 2G	Estados Unidos	Modelo de 4 componentes: océano (GOLD), tierra (LM3), atmósfera y hielo oceánico.	John P. Dunne*, Jasmin G. John*, Alistair J. Adcroft, Stephen M. Griffies*, Robert W. Hallberg*, Elena Shevliakova#, Ronald J. Stouffer*, William Cooke@, Krista A. Dunne, Matthew J. Harrison*, John P. Krasting**, Sergey L. Malyshev#, P. C. D. Milly, Peter J. Phillips*, Lori T. Sentman*, Bonita L. Samuels*, Michael J. Spelman@, Michael Winton*, Andrew T. Wittenberg*, and Niki Zadeh. (2012). GFDL's ESM2 Global Coupled Climate-Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. Journal of

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
				Climate. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1">http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1</a>
GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - Earth System Model 2M	Estados Unidos	Modelo de 4 componentes: océano (MOM4.1), tierra (LM3), atmósfera y hielo oceánico.	John P. Dunne*, Jasmin G. John*, Alistair J. Adcroft+, Stephen M. Griffies*, Robert W. Hallberg*, Elena Shevliakova#, Ronald J. Stouffer*, William Cooke@, Krista A. Dunne&, Matthew J. Harrison*, John P. Krasting**, Sergey L. Malyshev#, P. C. D. Milly&, Peter J. Phillipps*, Lori T. Sentman*, Bonita L. Samuels*, Michael J. Spelman@, Michael Winton*, Andrew T. Wittenberg*, and Niki Zadeh. (2012). GFDL's ESM2 Global Coupled Climate-Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics. Journal of Climate. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1">http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00560.1</a>
GISS-E2	Goddard Institute for Space Studies-E2	Estados Unidos	Modelo de 4 componentes: océano, tierra, atmósfera, y hielo oceánico; con capacidad de modelar interacciones entre química atmosférica, aerosoles, y el ciclo de carbono.	Nazarenko, L., G.A. Schmidt, R.L. Miller, N. Tausnev, M. Kelley, R. Ruedy, G.L. Russell, I. Aleinov, M. Bauer, S. Bauer, R. Bleck, V. Canuto, Y. Cheng, T.L. Clune, A.D. Del Genio, G. Faluvegi, J.E. Hansen, R.J. Healy, N.Y. Kiang, D. Koch, A.A. Lacis, A.N. LeGrande, J. Lerner, K.K. Lo, S. Menon, V. Oinas, J.P. Perlwitz, M.J. Puma, D. Rind, A. Romanou, Mki. Sato, D.T. Shindell, S. Sun, K. Tsigaridis, N. Unger, A. Voulgarakis, M.-S. Yao, and J. Zhang, 2015: Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. J. Adv. Model. Earth Syst., 7, no. 1, 244-267, doi:10.1002/2014MS000403.
HadCM3	Hadley Centre Coupled Model Version 3	Reino Unido	Modelo acoplado océano (Modelo HadOM3) -atmósfera (modelo HadAM3) usado en el tercer reporte de evaluación del IPCC.	Pope, V., M.L. Gallani, P.R. Rowntree, R.A. Stratton, 2000. The impact of new physical parameterizations in the Hadley

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
				Centre climate model: HadAM3. Clim. Dyn., 16, 123-146
HadGE M2	Hadley Centre Global Environment Model version 2	Reino Unido	Modelo acoplado océano-atmósfera, con modelación vertical que incluye un modelo de la estratósfera, e incluye interacciones del sistema terrestre como vegetación dinámica, biología marina y química atmosférica.	Collins, W.J., N. Bellouin, M. Doutriaux-Boucher, N. Gedney, T. Hinton, C. D. Jones, S. Liddicoat, G. Martin, F. O'Connor, J. Rae, C. Senior, I. Totterdell, S. Woodward, T. Reichler, J. Kim, 2008: Evaluation of the HadGEM2 model. Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74, <a href="http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/index.html">http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/index.html</a>
INMCM 4	Institute for Numerical Mathematics Climate Model 4	Rusia	Modelo acoplado océano-atmósfera.	Volodin, E.M., Dianskii, N.A. & Gusev, A.V. Izv. Atmos. Ocean. Phys. (2010) 46: 414. <a href="https://doi.org/10.1134/S000143381004002X">https://doi.org/10.1134/S000143381004002X</a>
IPSL-CM5	Institut Pierre Simon Laplace Climate Model	Francia	Modelo del sistema terrestre completo, con dos conjuntos de modelos físicos.	Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5, Dufresne, J.-L., et al., Climate Dynamics, 40, 9-10, 2123-2165, 2013, doi: 10.1007/s00382-012-1636-1
MIROC 4h	Model for Interdisciplinary Research on Climate 4	Japón	Modelo acoplado océano-atmósfera de alta resolución.	Takashi T. SAKAMOTO, Yoshiki KOMURO, Teruyuki NISHIMURA, Masayoshi ISHII, Hiroaki TATEBE, Hideo SHIOGAMA, Akira HASEGAWA, Takahiro TOYODA, Masato MORI, Tatsuo SUZUKI, Yukiko IMADA, Toru NOZAWA, Kumiko TAKATA, Takashi MOCHIZUKI, Koji OGOCHI, Seita EMORI, Hiroyasu HASUMI, Masahide KIMOTO, MIROC4h—A New High-Resolution Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Model, Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, Released June 30, 2012, Online ISSN 2186-9057, Print ISSN 0026-1165, <a href="https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-301">https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-301</a> , <a href="https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/90/3/90_2012-301/_article/-char/en">https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmsj/90/3/90_2012-301/_article/-char/en</a> ,

Modelo	Nombre	País	Resumen	Referencia
MIROC 5	Model for Interdisciplinary Research on Climate 5	Japón	Modelo acoplado océano-atmósfera con actualizaciones en esquemas de parametrización para obtener mejores resultados que versiones anteriores del modelo.	Watanabe et al. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability and Climate Sensibility. December 2010 Journal of Climate 23:6312-6335
MIROC-ESM	Model for Interdisciplinary Research on Climate Earth System Model	Japón	Modelo del sistema terrestre, incluye atmósfera, océano, hielo oceánico, superficie terrestre, bioquímica oceánica y terrestre y química atmosférica.	Watanabe et al. MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. Geosci. Model Dev., 4, 845-872, 2011 <a href="https://doi.org/10.5194/gmd-4-845-2011">https://doi.org/10.5194/gmd-4-845-2011</a>
MPI-ESM	Max Planck Institut für Meteorologie Earth System Model	Alemania	Modelo acoplado de atmósfera (ECHAM6), océano (MPIOM), superficie terrestre (JSBACH) y bioquímica oceánica (HAMOCC).	Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model. Journal of Advances in Modelling Earth Systems. Special Issue. 2018.
MRI-CGCM 3	Meteorological Research Institute Global Climate Model 3	Japón	Modelo acoplado de módulos atmósfera-superficie, aerosoles y hielo oceánico. Es parte del modelo del sistema terrestre MRI-ESM1	Yukimoto et al. A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 - Model Description and Basic Performance. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 90A, pp. 23--64, 2012.
NorESM1-M	Norwegian Earth System Model	Noruega	Modelo basado en CCSM4, con modelos avanzados para océano y de interacción entre química-aerosoles-nubosidad-radiación en la atmósfera.	Bentsen et al. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate. Geosci. Model Dev., 6, 687-720, 2013

#### A.5 Interpolación espacial mediante el método kriging

Kriging es una metodología de interpolación geoestadística que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersos con valores “z” de los parámetros a interpolar, aplicando el principio de geografía que indica que es más probable que dos puntos cercanos sean más parecidos que dos puntos lejanos. Esta metodología estudia el comportamiento espacial de la variable a interpolar antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la interpolación resultante (ArcGIS, n.d.).

Los métodos geoestadísticos de interpolación, como el kriging, están basados en modelos que incluyen las relaciones estadísticas entre puntos medidos (supone una correlación espacial entre puntos) y tienen la capacidad de proporcionar al modelador una medida de certeza o precisión de las predicciones. Este método es adecuado para casos en los que se conoce una influencia direccional entre los datos, y es típicamente utilizado en estudio hidrológicos y climatológicos (Verdin et al., 2016).

La metodología de interpolación con kriging se pueden resumir en los siguientes pasos:

1. Calcular el variograma empírico para todos los puntos con observaciones.



2. Ajustar el variograma teórico al variograma empírico (calculado en el paso anterior). Los variogramas teóricos pueden seguir funciones circulares, esféricas, exponenciales, gaussianas o lineales.
3. En cualquier ubicación, a partir del variograma empírico ajustado previamente, se realiza la predicción de la variable de interés siguiendo un procedimiento de ponderación con los valores medidos en puntos cercanos.

Al comparar con otros métodos de interpolación espacial, el kriging se considera un método robusto que utiliza los datos medidos para modelar el variograma. Por otro lado, métodos como el de la distancia inversa ponderada (IDW) es un método determinista que no brinda información sobre la certeza de los resultados, mientras que el método spline se define una covarianza generalizada sin considerar los datos medidos.

## **A. 6 Insumos para la modelación de los elementos expuestos**

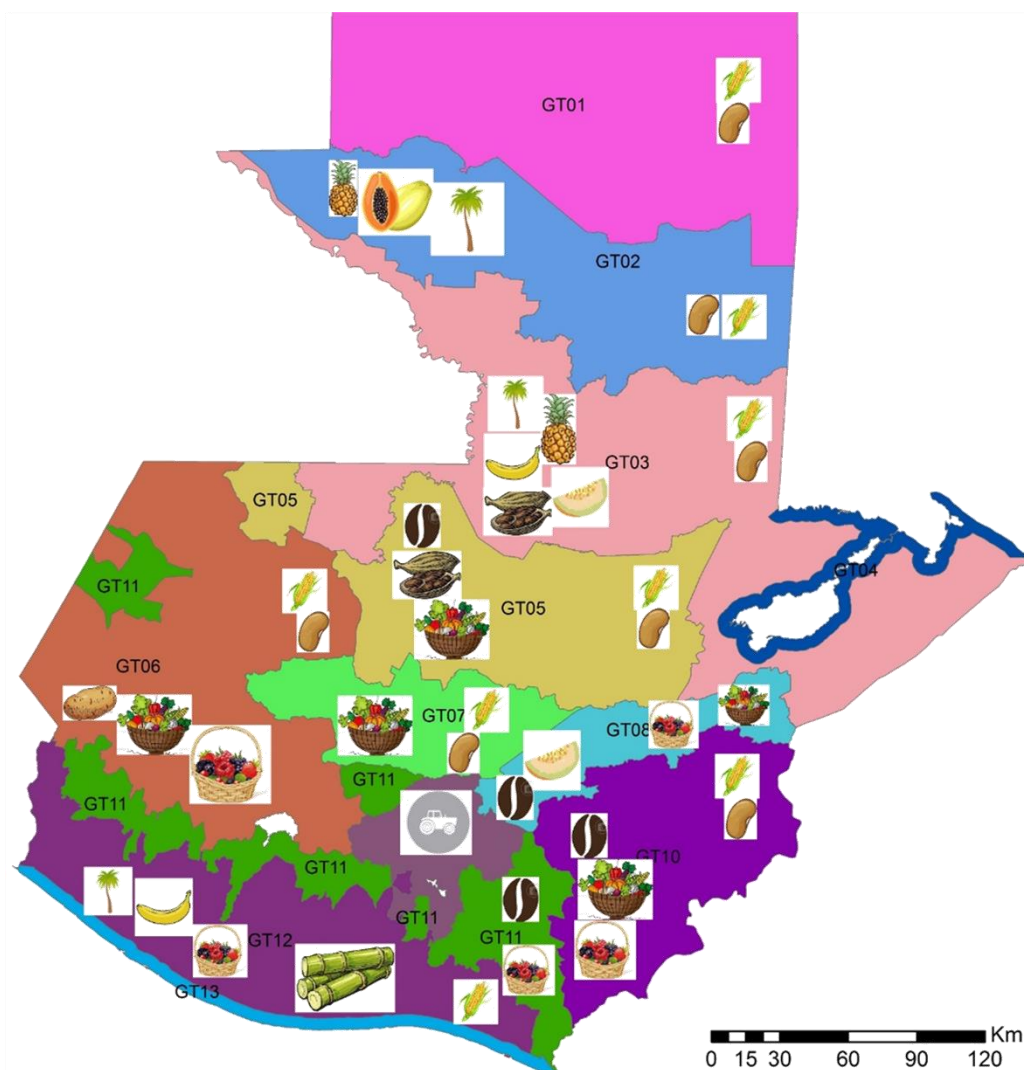
---

Con el fin de recopilar la información disponible de los elementos expuestos, es decir de los cultivos presentes en El Salvador, Guatemala y Honduras, se recopiló información general de los tipos de cultivos más importantes y representativos de la economía de cada país, tanto cultivos de subsistencia como cultivos con fines comerciales. Para esto se consultaron las fuentes discutidas en las siguientes secciones.

### **A. 6.1 Zonas de medios de vida**

Como una primera aproximación para entender el contexto de los tres países, se comenzó por revisar los estudios de Zonas de Medios de Vida (ZMV), estudios realizados en conjunto por el Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET), la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Guatemala (SESAN), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ACF, COOPI, WFP y USAID. Para los tres países estas evaluaciones han sido actualizados en fechas recientes; para Guatemala la última versión es de noviembre de 2016 (corresponde al tercer estudio), para Honduras el estudio es de marzo de 2015 y para El Salvador el estudio es de marzo de 2010.

Estos estudios buscan crear perfiles que identifican la manera cómo vive la población rural; un medio de vida se refiere a las formas por las cuales la gente obtiene acceso a las cosas que necesitan para sobrevivir, con un énfasis en alimentación, ingresos, bienes básicos y servicios. De estos estudios se tiene entonces un mapa de la zonificación, y un perfil completo que describe en detalle cada zona, para cada país.



### Zonas de Medios de Vida - Guatemala - 2016

- Actividades forestales y ecoturismo en el norte de Petén
- Venta de mano de obra en granos básicos y ganadería en el centro de Petén
- Venta mano de obra en agroindustria y granos básicos en Petén Sur, FTNorte e Izabal
- Pesca artesanal y turismo en el Caribe
- Producción de café, cardamomo, actividades forestales y hortalizas
- Venta mano de obra, prod. granos básicos de subsistencia, hortalizas, comercio y remesas del Altiplano Occidental
- Venta de mano de obra agrícola y producción de granos básicos de autoconsumo de Baja Verapaz y Quiché
- Venta de mano de obra en agroindustria de frutas y explotación minera del valle del Motagua
- Granos básicos de subsistencia y venta de mano de obra en café, hortalizas y frutas de temporada de Oriente
- Zona industrial, agroindustrial, de comercio y servicios del área central
- Cafetalera
- Venta de mano de obra en agroindustria y producción de granos básicos de la Costa Sur
- Pesca artesanal, comercio y servicios del Pacífico

# **Zonas de Medios de Vida - El Salvador - 2010**

- Agroindustria Cañera
- Cafetalera, Agroindustria y Venta de Mano de Obra
- Central de Venta de Mano de Obra en Maquilas e Industria
- Granos Basicos y Venta de Mano de Obra
- Oriental de Granos Basicos, Ganaderia y Remesas
- Pesca, Acuicultura y Turismo



0 5 10 20 30 40 Km

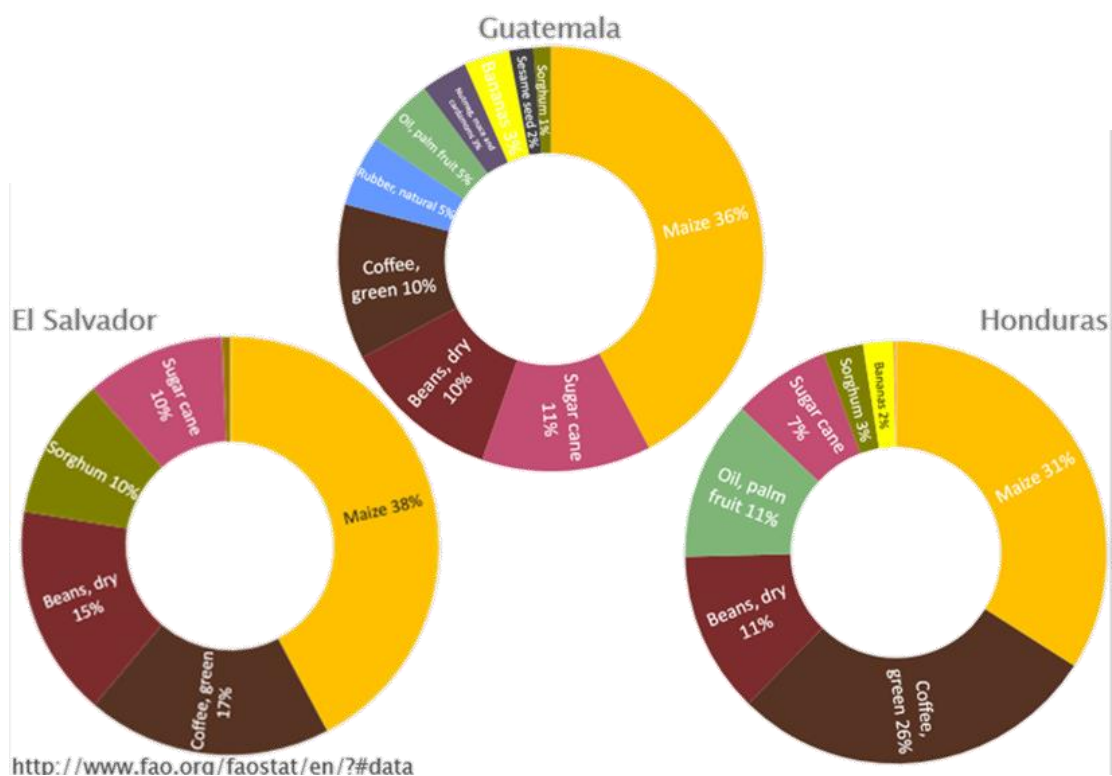
#### Zonas de Medios de Vida - Honduras - 2014

- Casco Urbano
- Granos Básicos de Subsistencia y Remesas
- Granos Básicos y Ganadería
- Litoral Atlántica Productora de Aceite de Palma
- Litoral Garífuna y de Turismo en Islas de la Bahía
- Montañosa de Café y Hortalizas
- Mosquitia de Caza y Pesca
- Pesquera, Camaronera y Salinera del Golfo de Fonseca
- Reserva del Río Platano
- Venta de Mano de Obra en Melón y Camarón
- Venta de Obra en Maquilas, Banano y Caña de Azúcar



#### A. 6.2 Estadísticas nacionales de FAO

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) publica en una página web (<http://www.fao.org/faostat/es/#home>) estadísticas de áreas sembradas, cantidad de producción y rendimientos por cultivos para un gran número de países entre los cuales están Guatemala, Honduras y El Salvador. De allí se descargaron las estadísticas que permitieron tener los valores de estas variables para los cultivos más importantes en los países de estudio.



### A. 6.3 Encuestas Nacionales Agropecuarias

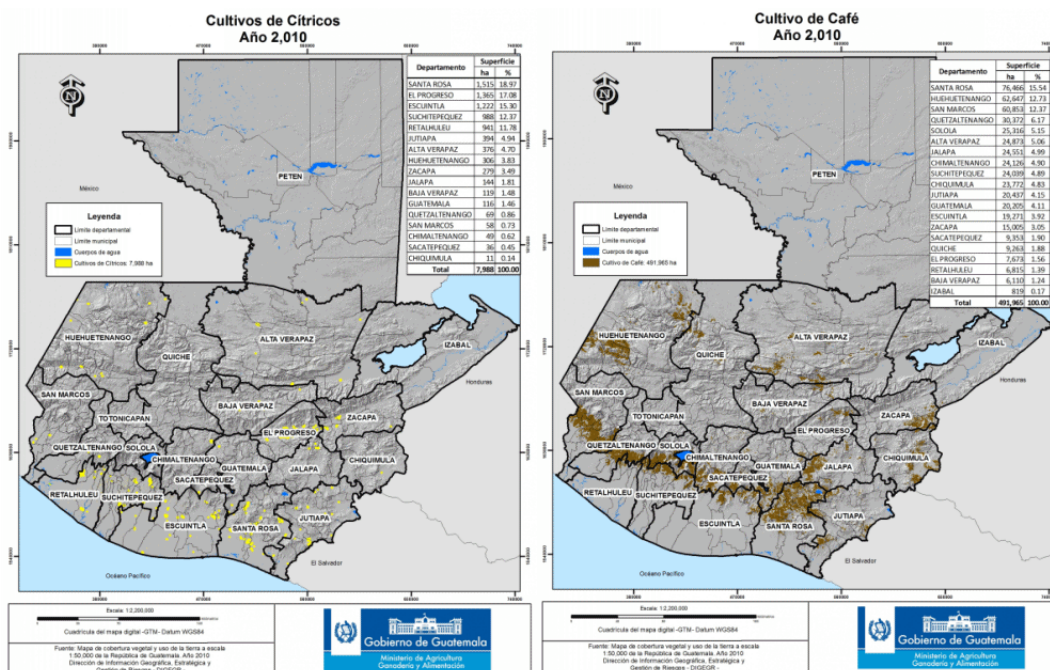
Para encontrar información más detallada (a nivel subnacional) o más actualizada, se consultaron censos o estudios nacionales para cada país.

#### Encuesta Nacional Agropecuaria 2015 - Guatemala

En el caso de Guatemala, la última versión disponible de la Encuesta Nacional Agropecuaria de publicó en 2015. Este documento tiene información de superficie de cultivo y producción en un total de 1,164 encuestas realizadas a productores en todo el país. En la revisión del documento se encontró que la información relacionada con el frijol no corresponde al total cultivado durante todo el año, lo cual desestima las cantidades de este cultivo. En ese caso, se consultaron documentos adicionales para complementar la base de datos. La siguiente imagen muestra un resumen esquemático de la distribución porcentual de los cultivos, en términos de área sembrada por año.



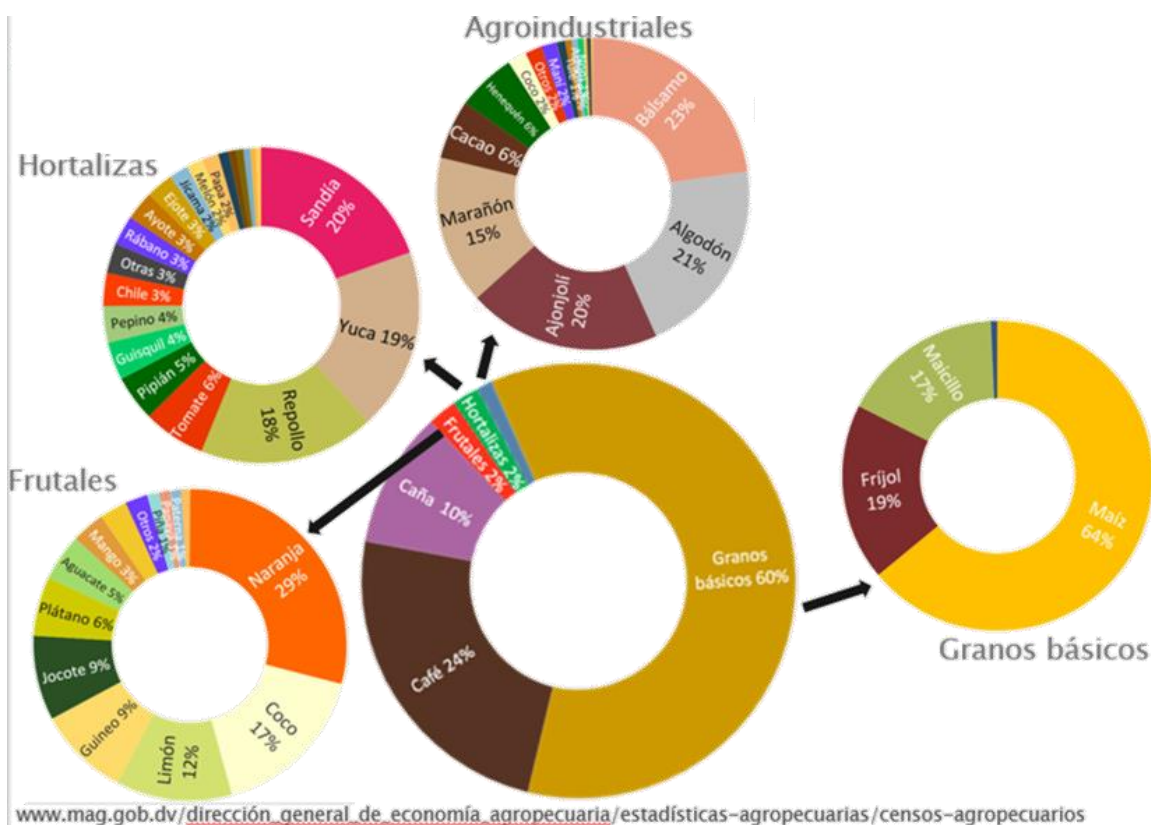




#### IV Censo Agropecuario 2007 – 2008 – El Salvador

El IV Censo Agropecuario de El Salvador incluye un resumen a nivel nacional de la distribución de la superficie de las explotaciones, incluyendo estadísticas generales de los cultivos más importantes (granos básicos, hortalizas, café, caña, agroindustriales y frutales). También incluye un atlas con mapas por departamentos y municipios, así como tablas con información desagregada a nivel subnacional. La siguiente imagen muestra en resumen la participación de diferentes cultivos en la producción agrícola de El Salvador, en términos del área sembrada total por año.

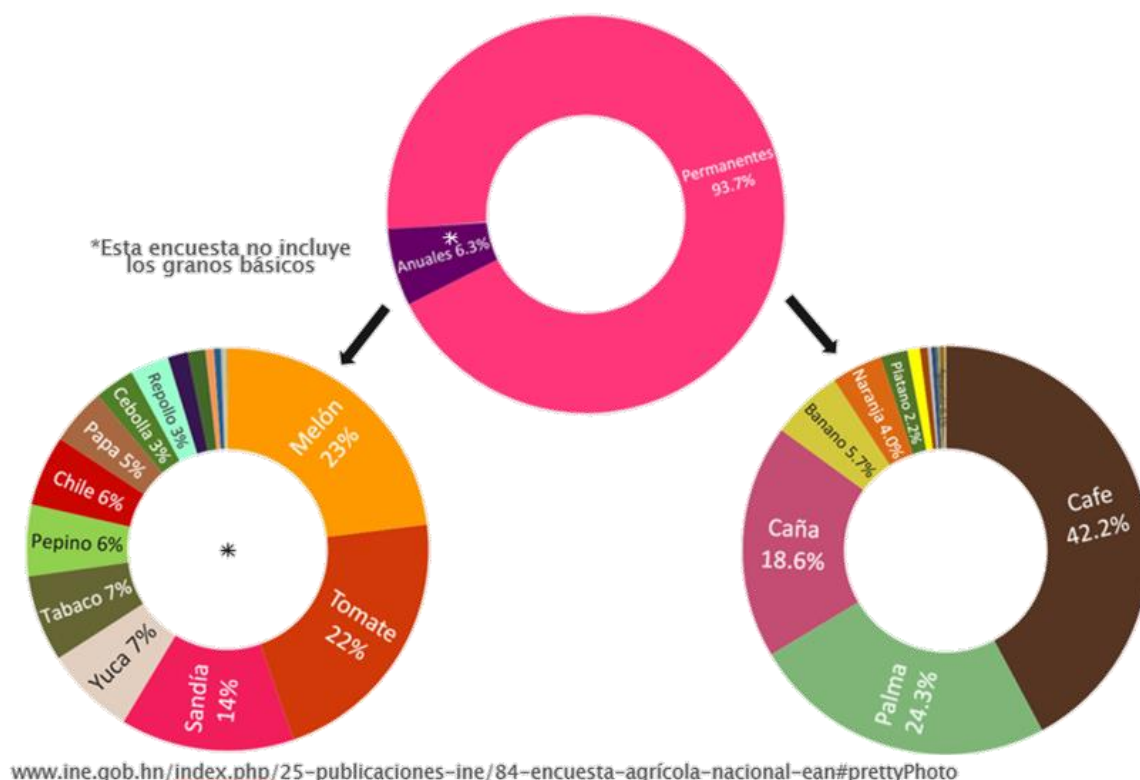




### Encuesta Agrícola Nacional 2007 – 2008 - Honduras

La encuesta Agrícola Nacional de Honduras tiene estadísticas a nivel nacional de superficie sembrada, superficie cosechada, producción, y cantidad y valor de exportación para los cultivos más importantes del país. En la revisión de este documento se encontró que esta encuesta no considera los granos básicos, ya que estos son detallados en otro documento por aparte (Encuesta Agropecuaria Básica 2009 - 2010). En este estudio se utilizó información de las dos encuestas, a pesar de ser realizadas en años diferentes.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de la participación de cultivos en la producción agrícola de Honduras, según la información de la encuesta de 2007-2008.



### Censo Agropecuario 1993 - Honduras

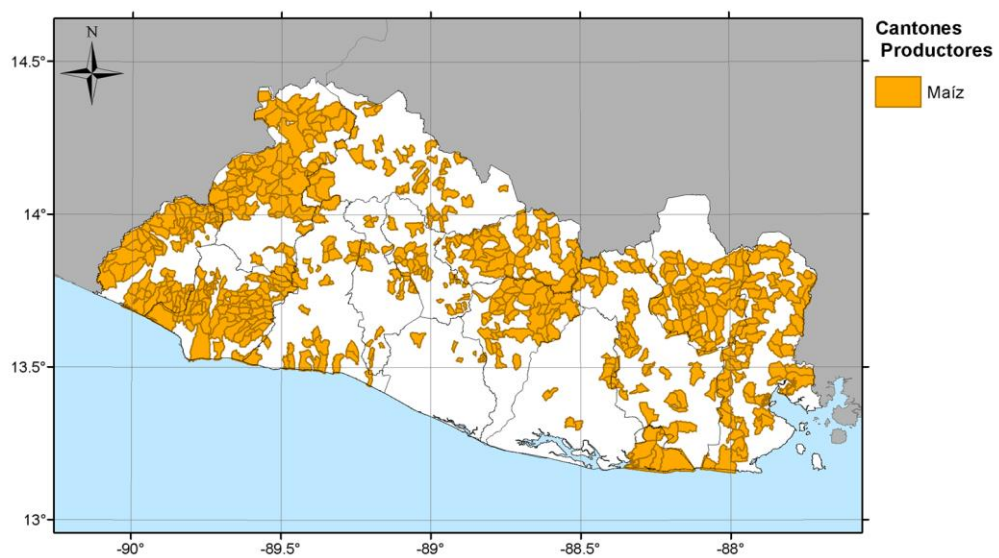
Se obtuvo la información para descargar del Atlas Honduras – Datos Mitch, el cual es un atlas que se realizó para integrar la información biofísica y socioeconómica del país antes y después del paso del huracán Mitch. Dentro de este Atlas se incluyen unas capas SIG que contienen distribuciones de áreas y producción de diferentes cultivos, por municipio. Además, esta información incluye diferentes niveles de agregación, desde cultivos anuales, cultivos permanentes y pastos, hasta cultivos individuales.

El nivel de desagregación y completitud de esta información permitió que esta fuera utilizada para distribuir áreas de cultivos junto con un shape que indica la ubicación de algunas agrupaciones de cultivos.

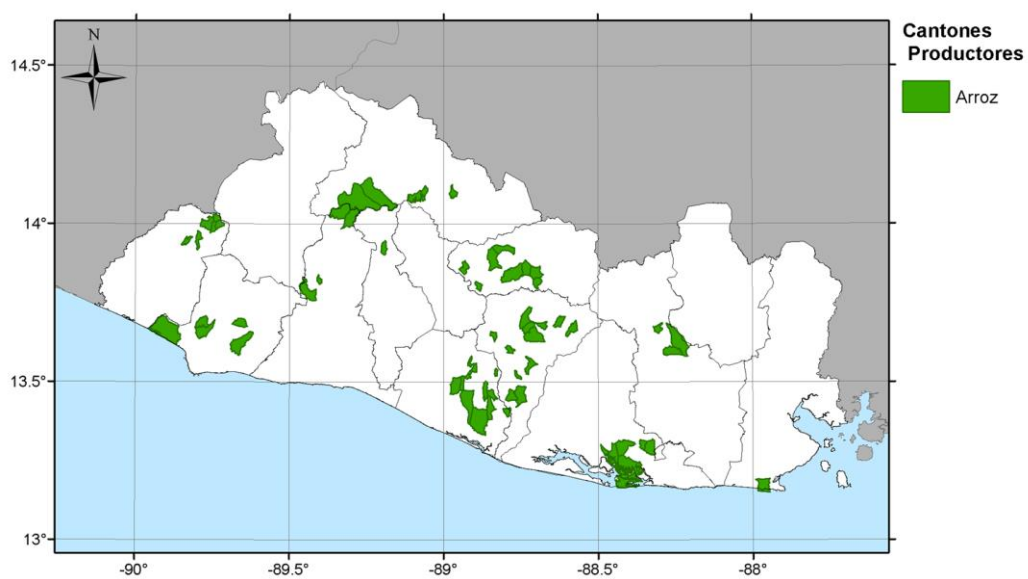
#### A. 6.4 Información suministrada por entidades locales

##### El Salvador

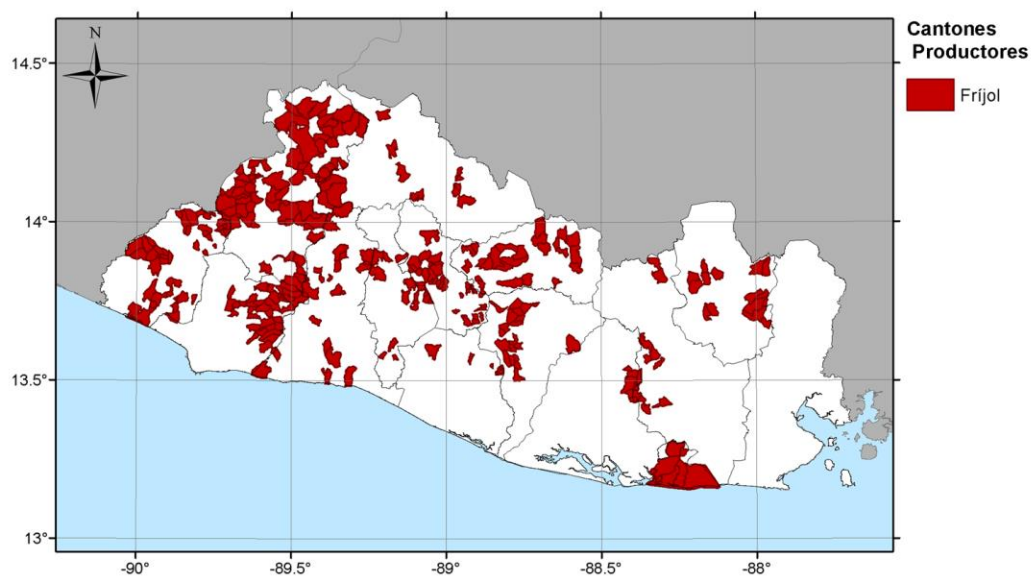
Se recibió información de parte de la Dirección General de Economía Agropecuaria-DGEA-MAG que hace referencia a cultivos censados en el país. La información cuenta con localización de cultivos de productos como maíz, frijol, arroz y maicillo repartido en cantones y productos como sandía, tomate y cítricos ubicados en puntos sobre el mapa con un área de siembra asociada. Esta información se presenta en los mapas a continuación.



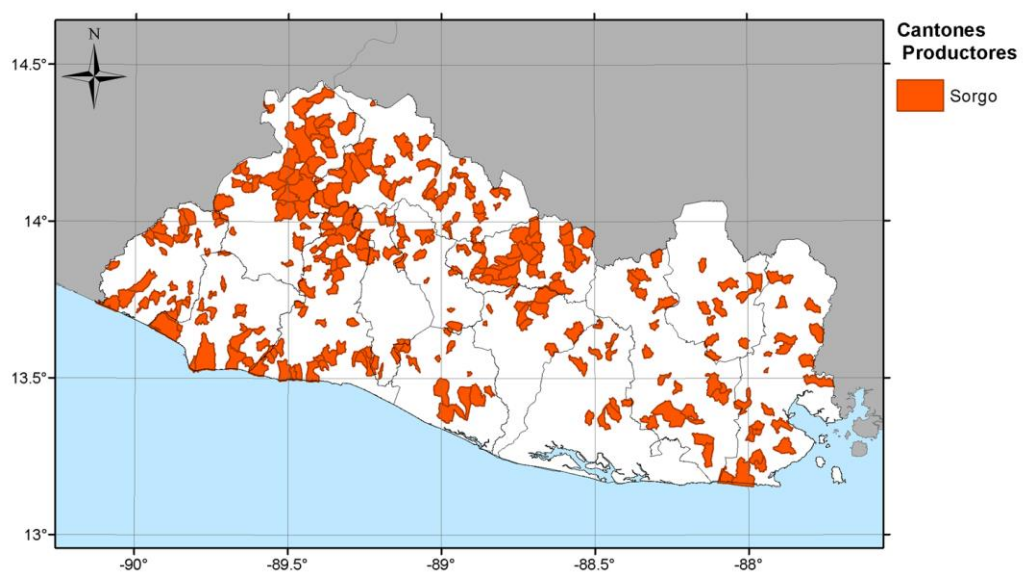
Cantones con siembra de maíz en El Salvador (Fuente: DGEA-MAG)



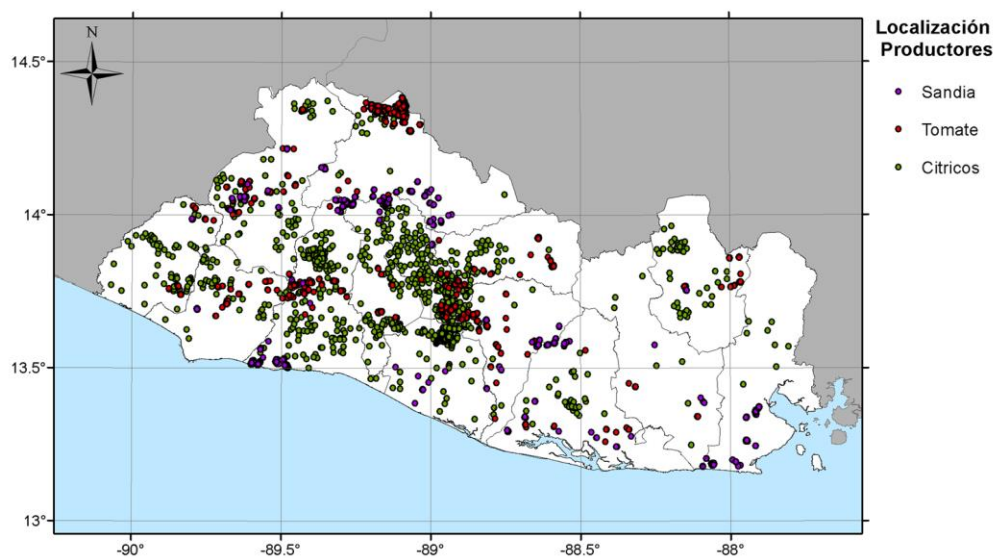
Cantones con siembra de arroz en El Salvador (Fuente: DGEA-MAG)



Cantones con siembra de frijol en El Salvador (Fuente: DGEA-MAG)



Cantones con siembra de maicillo en El Salvador (Fuente: DGEA-MAG)



Localización de productores de sandía, tomate y cítricos en El Salvador (Fuente: DGEA-MAG)

#### A. 6.5 Contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB)

Para establecer la importancia económica de los diferentes cultivos sembrados en El Salvador, Guatemala y Honduras se analizó la contribución del sector agrícola al PIB de cada nación. La información corresponde a los valores más actuales reportados por las entidades oficiales y se presentan a continuación.

##### El Salvador

Contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB), Según Rubro. El Salvador. Fuente: (BCR, 2016)

El Salvador Actividad Económica	Aporte al PIB Nacional (2016)	Observaciones
Café oro	0.6%	
Algodón	0.0001%	
Granos básicos	2.3%	El maíz, el frijol, el arroz y el sorgo se encuentran dentro de esta categoría
Caña de azúcar	0.7%	
Otras producciones agrícolas	3.1%	Los cítricos, la sandía y el tomate se encuentran dentro de esta categoría
Ganadería	2.3%	
Avicultura	1.9%	
Silvicultura	0.7%	
Productos de la caza y la pesca	0.3%	
<b>Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca</b>	<b>11.9%</b>	

## Guatemala

Contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB), Según Rubro. Guatemala.  
Fuente:(BANGUAT, 2018)

<b>Guatemala Actividad Económica</b>	<b>Aporte al PIB Nacional (2017)</b>	<b>Observaciones</b>
Cultivo de café	0.8%	
Cultivo de banano	1.1%	
Cultivo de cardamomo	0.4%	
Cultivo de cereales	0.5%	El maíz y arroz se encuentran dentro de esta categoría
Cultivo de tubérculos, raíces, hortalizas y legumbres	2.6%	El frijol, la papa y el tomate se encuentran dentro de esta categoría
Cultivo de frutas y nueces	1.2%	El melón, el mango, los cítricos y la piña se encuentran dentro de esta categoría
Otros cultivos agrícolas	1.0%	El hule, la caña de azúcar y la palma de aceite
Ganadería	2.0%	
Silvicultura y pesca	0.6%	
<b>Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca</b>	<b>10.1%</b>	

## Honduras

Contribución del Sector Agrícola al Producto Interno Bruto (PIB), Según Rubro. Honduras.  
Fuente:(UPEG, 2017)

<b>Honduras Actividad Económica</b>	<b>Aporte al PIB Nacional (2016)</b>	<b>Observaciones</b>
Cultivo de Maíz	0.7%	
Cultivo de Frijol	0.4%	
Cultivo de Sorgo	0.1%	
Cultivo de Arroz en Granza	0.1%	
Cultivo de Palma Africana	0.9%	
Cultivo de Banano	1.1%	
Cultivo de Café	3.6%	
Cultivo de Tubérculos, Hortalizas, Legumbres y Frutas	1.9%	Los cítricos, la piña, el mango, la sandía y el melón se encuentran dentro de esta categoría
Cría de Ganado Vacuno	1.7%	
Actividades de Pesca 1/	1.3%	
Cría de Otros Animales 2/	0.1%	
Cría de Aves de Corral	0.6%	
Silvicultura	0.4%	



Otros Cultivos y Actividades Agrícolas 3/	1.1%	caña de azúcar
<b>Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca</b>	<b>13.9%</b>	

#### A. 6.6 Metodología para estimar el avalúo de los cultivos

Para realizar la valoración económica o avalúo de la producción unitaria obtenida por cultivo para cada país, fue necesario partir de un valor económico reportado por una fuente confiable ya sea verificada o publicada por una entidad oficial del país. Este valor de avalúo está asociado a un año determinado o año de referencia. Debido a que los precios cambian con el tiempo y para efectos de calcular en forma homogénea los flujos que ocurren en distintos momentos en el tiempo, se ajustaron todos los valores de los avalúos al valor de precios del año 2017. Para hacer este ajuste se usa el valor de la inflación (la cual considera los cambios de los precios de un conjunto representativos de los bienes y servicios consumidos por la mayoría de la población) como:

$$Vr = Va (1 + i)^n \quad \text{Ec. A. 2-1}$$

Donde  $Va$  es el valor del avalúo para el año de referencia  $a$ ,  $Vr$  el valor de referencia llevado al 2017,  $i$  la inflación,  $n$  el número de años entre el año de referencia  $a$  y el 2017.

Una vez se tiene el valor del avalúo al 2017 se realizó la conversión de la moneda local a dólares americanos (si aplica) con la tasa de cambio al 31 de diciembre de 2017. A continuación, se presenta la información utilizada para realizar la estimación del avalúo para los tres países.

#### **El Salvador**

Se presenta el valor de referencia para la determinación del valor económico de la unidad de producción para los diferentes cultivos, que para El salvador corresponde al Índice de precios al productor, siendo la información más actual disponible la proporcionada por FAOSTAT para el año 2012 o 2013 dependiendo del producto agrícola. Con el fin de considerar las variaciones sufridas por el precio desde el año de referencia hasta el 2017 (último valor anual reportado por el país) con base en el promedio de las tasas de inflación anuales de ambos periodos y la metodología descrita, se estimó el valor del avalúo al 2017. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Valor del Avalúo del año de referencia y en USD/Tonelada por producto para el Salvador en el modelo de exposición. <sup>1</sup>Fuente:(FAOSTAT, 2018). <sup>2</sup>Fuente:(CIA, 2018; Index mundi, 2018)

Producto	Año de referencia	Avalúo año de referencia <sup>1</sup>	Tasa de Inflación % <sup>2</sup>	Avalúo traído al 2017
Arroz	2013	407	1.3	421
Café	2012	2,860	0.85	3,051
Caña	2012	34	0.85	36
Cítricos*	2013	182	1.3	188
Frijol	2012	1,031	0.85	1,100
Maíz	2012	332	0.85	354
Sandía	2013	156	1.3	162
Sorgo o Maicillo	2012	315	0.85	336
Tomate	2013	693	1.3	717

\*Para Cítricos se consideró el promedio del precio pagado por la producción de naranja (189 USD/Tonelada) y limón (165 USD/Tonelada).

## Guatemala

Debido a que los precios pagados al productor reportados por FAOSTAT no se encontraban disponibles para Guatemala, se realizó la recopilación de información de diferentes fuentes con el fin de encontrar otras alternativas que proporcionaran un valor económico que cumpla lo más acertado posible con los criterios de la definición de avalúo que se está considerando en el modelo de exposición. Las siguientes dos alternativas fueron consideradas dentro de la determinación del avalúo para Guatemala:

- *Costos de producción:* Comprende la inversión realizada en el proceso producción de una unidad de un producto determinado (Sánchez, 2014). Los costos se pueden clasificar en costos directos y costos indirectos. Los costos directos son todos aquellos que integran los costos fijos y aquellos que varían con los volúmenes de producción, como los insumos (semillas, fertilizantes, herbicidas) y la mano obra directa (se incluyen el salario, bonificaciones y prestaciones laborales pagadas en las diferentes etapas de los cultivos, como preparación de la tierra, siembra, abono, fumigación, cosecha entre otros). Los costos indirectos son todos aquellos que no influyen directamente en el proceso productivo, pero hacen parte de él. (Aparicio, 2018; Ramírez, 2010)

Esta información fue tomada de los diferentes estudios de costos y rentabilidad de unidades agrícolas para la producción de un producto en específico. Los documentos presentan los mismos lineamientos metodológicos para determinación del costo de producción al ser promovidos por la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

- *Precio pagado al mayorista:* El precio al que los mayoristas venden en grandes cantidades a los minoristas, fabricantes y usuarios industriales. Estos precios incluyen los costos de envío después de salir de la unidad de tierra cultivada, los gastos incidentales y el margen de ganancia de los mayoristas (FAO, 2018). Al estar incluidos estos ítems dentro del precio pagado al mayorista, no permite que sean considerados directamente como valor de referencia para establecer el avalúo de la unidad de producción, haciendo necesario considerar que un 30% del valor del precio pagado al mayorista corresponde al de estos costos adicionales y que el 70% corresponde al precio pagado al productor.

El precio pagado al mayorista fue tomado de “El Agro en Cifras 2016” elaborado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA), donde publica las principales estadísticas agrícolas, recolectadas por las principales fuentes oficiales del país, en el que se encuentra dispuesto los aspectos de mercado (precios pagados al mayorista e internacionales) para diferentes productos agrícolas.

A continuación, se presenta el valor de referencia para la determinación del valor económico de la unidad de producción para los diferentes cultivos de Guatemala.



Valor del Avalúo del año de referencia por producto para Guatemala en el modelo de exposición.

<sup>2</sup>Fuente:(BANGUAT, 2018a)

Producto	Año de referencia	Avalúo año de referencia	Unidades	Tasa de Inflación % <sup>2</sup>	Avalúo traído al 2017 USD/Ton	Observaciones	Fuente
Arroz	2016	274	quetzales/quintal	4.3	591	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Café*	2016	127	USD/quintal	-	2,823	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Caña*	2015	87	quetzales/Ton corta	3.7	18	Costo producción	(Gómez, 2017)
Cítricos*	2016	1,963	quetzales/Ton	4.3	195	Precio al mayorista, según SIMA el peso de una naranja promedio es 257g y el del limón de 138g	(MAGA, 2016)
Frijol	2007	327	quetzales/quintal	4.8	1,409	Costo producción	(Hernández, 2009)
Maíz	2012	136	quetzales/quintal	3.8	542	Costo producción	(Sánchez, 2014)
Mango	2006	28.36	quetzales/caja	5	388	Costo producción	(Solorzano, 2009)
Melón	2016	401.25	quetzales/ciento	4.3	307	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Palma	2015	347	quetzales/Ton	3.7	51	Costo producción	(Aparicio, 2018)
Papa	2016	191.32	quetzales/quintal	4.3	413	Precio al mayorista	(MAGA, 2016)
Plátano	2016	120.3	quetzales/ciento	4.3	314	Precio al mayorista, según SIMA el peso de un banano promedio es 381g	(MAGA, 2016)
Banano	2015	26.49	quetzales/Caja de 41.5 lb	3.7	257	Costo producción, según SIMA el peso de un banano promedio es 257g	(Morataya, 2018)
Tomate	2016	124.38	quetzales/Caja de 50 lb	4.3	545	Precio al mayorista, 1 lb = 453.592g	(MAGA, 2016)

\*Para el café se consideró el equivalente de un dólar al 31 de diciembre del 2016 es de 1.02 dólares al 31 de diciembre del 2017.

\*Para Cítricos se consideró el promedio del precio pagado al mayorista de naranja (58.11 quetzales/ciento) y limón (229.82 quetzales/millar).

\*Para la caña de azúcar se consideró que 1 Tonelada corta equivale a 0.907 Toneladas métricas.

Se tomó como referencia para todos los cultivos el tipo de cambio al 31 de diciembre de 2017, donde 1 Quetzal equivale a 0.136 USD.

Se considero que 1 Quintal equivale a 0.046 Toneladas métricas.

### ***Honduras***

Se presenta el valor de referencia para la determinación del valor económico de la unidad de producción para los diferentes cultivos, que para Honduras corresponde al Índice de precios al productor, siendo la información más actual disponible la proporcionada por FAOSTAT para el año 2008 para todos los productos agrícolas. Con el fin de considerar las variaciones sufridas por el precio a través del tiempo se consideró el promedio de la tasa de inflación anual desde el año 2008 hasta el 2017 (último valor anual reportado por el país), siguiendo la metodología descrita en las secciones anteriores. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Valor del Avalúo del año de referencia en USD/Tonelada por producto para Honduras en el modelo de exposición. <sup>1</sup>Fuente:(FAOSTAT, 2018). <sup>2</sup>Fuente:(CIA, 2018; Index mundi, 2018)

Producto	Año de referencia	Avalúo año de referencia <sup>1</sup>	Tasa de Inflación % <sup>2</sup>	Avalúo traído al 2017
Arroz	2008	399	5.7	657
Café	2008	2,378	5.7	3,916
Caña	2008	18	5.7	29
Cítricos	2008	105	5.7	172
Frijol	2008	932	5.7	1,534
Maíz	2008	307	5.7	506
Mango	2008	267	5.7	439
Melón	2008	202	5.7	333
Palma	2008	135	5.7	222
Plátano	2008	240	5.7	395
Banano	2008	262	5.7	431
Sandía	2008	194	5.7	320
Sorgo o Maicillo	2008	308	5.7	508

\*Para Cítricos se consideró solo el precio pagado por la producción de una tonelada de naranja.

## A. 7 Concentración media anual de dióxido de carbono en la atmósfera

---

### A. 7.1 Concentraciones de CO<sub>2</sub> [ppm] medidas entre 1980 y 2017 (Dlugokencky & Tans, 2018)

Año	Media Global
1980	338.7
1981	340.11
1982	341.22
1983	342.84
1984	344.4
1985	345.87
1986	347.19
1987	348.98
1988	351.45
1989	352.89
1990	354.16
1991	355.48
1992	356.27
1993	356.95
1994	358.63
1995	360.62
1996	362.37
1997	363.47
1998	366.5
1999	368.14
2000	369.41
2001	371.13
2002	373.22
2003	375.77
2004	377.49
2005	379.8
2006	381.9
2007	383.77
2008	385.59
2009	387.37
2010	389.85
2011	391.63
2012	393.82
2013	396.48
2014	398.55
2015	399.41
2016	402.83
2017	404.99

### A. 7.2 Proyección de concentraciones de CO<sub>2</sub> [ppm] según escenario de cambio climático del IPCC

Año	IPCC - RCP2.6	IPCC - RCP4.5	IPCC - RCP6	IPCC - RCP8.5
2018	408	407	405	410
2020	412	411	409	416

2025	423	423	419	431
2030	431	435	429	449
2035	437	448	439	468
2040	440	461	451	489
2045	442	474	463	513
2050	443	487	478	541
2055	443	498	493	571
2060	442	509	511	604
2065	440	518	529	639
2070	437	524	550	677
2075	435	529	572	717
2080	432	531	594	758
2085	429	532	617	801
2090	426	534	636	845
2095	423	536	653	890
2100	421	538	670	936

## A. 8 Parámetros de cultivos para módulo de vulnerabilidad

### A. 8.1 Parámetros que definen el modelo de AquaCrop

Variable	Descripción	Herbáceos	Frutos y leguminosas	Tubérculos y raíces
Productos		Caña Melón Plátano/Banano Sandía	Arroz Café Cítricos Frijol Maíz Mango Palma Piña Sorgo Tomate	Papa
Tipo del cultivo	1: Vegetales de hoja 2: Frutales/Granos 3: Tubérculos y raíces	1	2	3
Determinación del ciclo de crecimiento	0: Grados crecimiento 1: Días calendario	1	1	1
Método de siembra	0: Trasplante 1: Siembra directa	1	1	0
Respuesta de la expansión de la cobertura Respuesta de la expansión máxima de la cobertura Respuesta de la productividad hídrica Respuesta del declive de la cobertura Respuesta del cierre de estomas	Aplica para modelación de la fertilidad del suelo	25	25	25
Conductividad eléctrica del suelo en la que el cultivo empieza a afectarse Conductividad eléctrica del suelo en la que el cultivo detiene su desarrollo	Aplica para modelación de la salinidad del suelo	-9	-9	-9

### A. 8.2 Parámetros conservativos de cultivos considerados en este estudio

Variable	Descripción	Transitorios	Perennes
Productos		Arroz Caña Frijol Maíz Melón Papa Piña Sandía Sorgo Tomate	Café Cítricos Mango Palma Plátano/Banano
Disminución de factores de agua en suelo se ajusta por ETo	1: Ajuste por ETo	1	1
Acumulado de ETo durante periodo de estrés a ser excedido antes que se dispare la senescencia	0: No se considera	0	0
Estrés por fertilidad del suelo considerado para la calibración	Porcentaje [0,100]	50	50
Máxima extracción de agua en el cuarto superior de la zona radicular	m3/m3/día	0.048	0.024
Máxima extracción de agua en el cuarto interior de la zona radicular	m3/m3/día	0.012	0.006
Máxima disminución de CGC entre estaciones	-9: No aplica	-9	-9
Número de estaciones en el que se alcanza la máxima disminución de CGC	-9: No aplica	-9	-9
Factor de forma para la disminución del CGC	-9: No aplica	-9	-9
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2 durante formación de cosecha	Porcentaje [0,100]	100	100
Desempeño del cultivo bajo concentraciones elevadas de CO2	Porcentaje [0,100]	50	50
Distorsión de la cobertura por estrés debido a salinidad del suelo	Rango: 0: ninguno a 100: muy fuerte	25	25
Respuesta calibrada del estrés de estomas por salinidad del suelo	Rango: 0: ninguno a 200: extremo	100	100

### A. 8.3 Parámetros específicos según tipo de cultivo

#### A. 8.3.1 Arroz

Variable	Descripción	Arroz
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	35
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	10
Plantas por hectárea	# plantas/ha	1500000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm <sup>2</sup> /ha	6
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.95
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		3
Tiempo desde siembra hasta floración		65 // 55-60
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	19 // 30-45
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		73
Tiempo desde siembra hasta madurez		104 // 120 a 140
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		21
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	0.5
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	25
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12257
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.0933
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	40
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	0
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.4
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3



Variable	Descripción	Arroz
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.75
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	0
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	100
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	36
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	19
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	7
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

#### A. 8.3.2 Café

Variable	Descripción	Café
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	3000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	200
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.95
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		-1
Tiempo desde siembra hasta floración		30-120 días
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	17 días
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		270-330
Tiempo desde siembra hasta madurez		270-330
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		700 GDD
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	2
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.05
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.10417
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	28

Variable	Descripción	Café
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.85
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	57
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	17
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	8
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

### A. 8.3.3 Caña

Variable	Descripción	Caña
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	0
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	12
Plantas por hectárea	# plantas/ha	140000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	6.5
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.95
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación	En # días calendario	7
Tiempo desde siembra hasta floración	o GDD (grado crecimiento)	0
Duración de etapa de floración		0
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		330

Variable	Descripción	Caña
Tiempo desde siembra hasta madurez		365
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		60
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.8
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12548
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.07615
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	85
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	20
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	73
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	30
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9

#### A. 8.3.4 Cítricos

Variable	Descripción	Cítricos
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1

Variable	Descripción	Cítricos
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	12
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	38
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	800
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm <sup>2</sup> /ha	200
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.9
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		-1
Tiempo desde siembra hasta floración		30 días después de lluvia
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	150
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		270
Tiempo desde siembra hasta madurez		180
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		700 GDD
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	2
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	2
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	0.7
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.10417
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	30
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.85
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50

Variable	Descripción	Cítricos
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	57
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	17
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-]	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-]	8
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100]	15
	-9: No aplica	

#### A. 8.3.5 Fríjol

Variable	Descripción	Fríjol
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	0
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	9
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	10
Plantas por hectárea	# plantas/ha	200000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	10
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.99
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		6
Tiempo desde siembra hasta floración		47 // 32 a 35 días
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	20
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		75
Tiempo desde siembra hasta madurez		115 // 68 a 70 días
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		75
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.7
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.05
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.3
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.11804
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08612
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	45
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	3
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.15

Variable	Descripción	Fríjol
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.65
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	2.5
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.7
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	2.5
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.88
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	25
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	61
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	15
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	1
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10

#### A. 8.3.6 Maíz

Variable	Descripción	Maíz
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	35
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	12
Plantas por hectárea	# plantas/ha	50000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	6.5
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.96
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		6 // 3 a 10 días
Tiempo desde siembra hasta floración		66 // 40 a 60
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	13 // 28 a 60
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		107
Tiempo desde siembra hasta madurez		132 // 120-135
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		108
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	2.3

Variable	Descripción	Maíz
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.05
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.3
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.16312
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.11691
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	45
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	0
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.14
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.72
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	2.9
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.69
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	6
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.69
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	2.7
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.8
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	61
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	33
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	7
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	3
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

#### A. 8.3.7 Mango

Variable	Descripción	Mango
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	10
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	38

Variable	Descripción	Mango
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	313
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm <sup>2</sup> /ha	200
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.9
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		-1
Tiempo desde siembra hasta floración		30 días después de lluvia
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	105 a 130
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		270
Tiempo desde siembra hasta madurez		180
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		700 GDD
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	2.5
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	2.5
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	0.7
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.10417
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	30
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.85
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	60
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	17



Variable	Descripción	Mango
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	8
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

#### A. 8.3.8 Melón

Variable	Descripción	Melón
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	13
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	35
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	22200
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	5000
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.99
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		10 a 15
Tiempo desde siembra hasta floración		30
Duración de etapa de floración	En # días calendario	20
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia	o GDD (grado crecimiento)	60
Tiempo desde siembra hasta madurez		80 a 110
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		30
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.5
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.8
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.11
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	45
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.4
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5

Variable	Descripción	Melón
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	0
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	20 a 30
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	20
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	1.1
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9

#### A. 8.3.9 Palma

Variable	Descripción	Palma
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	150
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	200
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.95
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		-1
Tiempo desde siembra hasta floración		2.5-3 años
Duración de etapa de floración	En # días calendario	17 días
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia	o GDD (grado crecimiento)	270-330
Tiempo desde siembra hasta madurez		270-330
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		700 GDD
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	4
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.05
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15

Variable	Descripción	Palma
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.10417
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	20
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.85
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	57
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	17
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	8
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

#### A. 8.3.10 Papa

Variable	Descripción	Papa
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	0
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	2
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	27
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	40000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	15

Variable	Descripción	Papa
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.92
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		12
Tiempo desde siembra hasta floración		35 a 45 días
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	30
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		de 90 a 120 días
Tiempo desde siembra hasta madurez		de 75 a 120 días
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		35 a 45 días
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.2
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.2
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.18896
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.01884
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	75
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	2
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.2
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.8
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	-9
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	72
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	18
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	5

**A. 8.3.11 Piña**

Variable	Descripción	Piña
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	10
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	50000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm <sup>2</sup> /ha	20
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.9
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		60
Tiempo desde siembra hasta floración		390
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	120
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		672
Tiempo desde siembra hasta madurez		790
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		120
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	0.8
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.11
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	30
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.3

Variable	Descripción	Piña
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	0
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	60
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	22.4
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	10
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9

#### A. 8.3.12 Plátano/Banano

Variable	Descripción	Plátano/Banano
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	8
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	1600
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	200
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.9
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		-1
Tiempo desde siembra hasta floración		180
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	90
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		270
Tiempo desde siembra hasta madurez		270
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		700 GDD
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	1.2
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.2
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.05
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.10417
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.08
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	30
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	10

Variable	Descripción	Plátano/Banano
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.25
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.85
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	57
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	17
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	1.3
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	8
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

#### A. 8.3.13 Sandia

Variable	Descripción	Sandia
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	18
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	35
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	18500
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	5400
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.99
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		10 a 15
Tiempo desde siembra hasta floración		30
Duración de etapa de floración	En # días calendario	20
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia	o GDD (grado crecimiento)	50
Tiempo desde siembra hasta madurez		80 a 110
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		30

Variable	Descripción	Sandía
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.8
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.2
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.11
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	45
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.4
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.6
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.9
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	0
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	20 a 30
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	20
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	1.1
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	-9

#### A. 8.3.14 Sorgo

Variable	Descripción	Sorgo
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	1
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	10



Variable	Descripción	Sorgo
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	40
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	12
Plantas por hectárea	# plantas/ha	90000-215000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	3
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.9
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		7 a 13 días
Tiempo desde siembra hasta floración		70-75
Duración de etapa de floración	En # días calendario	20
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia	o GDD (grado crecimiento)	91
Tiempo desde siembra hasta madurez		102 // 90-100
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		91
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.3
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1.3
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	13
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.07
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día	0.3
	0.15 o 0.3	
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario	0.1815
	o GDD (grado crecimiento)	
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario	0.117
	o GDD (grado crecimiento)	
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	40
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100]	4
	-9: No aplica	
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.15
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.7
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.75
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.7
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.8
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	50
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	50
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	37
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	33

Variable	Descripción	Sorgo
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	1
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	3
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	25

#### A. 8.3.15 Tomate

Variable	Descripción	Tomate
Producción del cultivo asociada a floración	0: No asociado 1: Asociado	0
Temperatura base, por debajo no crece el cultivo (estrés frío)	en °C	7
Temperatura máxima, por encima no crece el cultivo (estrés calor)	en °C	30
Mínimos grados de crecimiento para transpiración completa	en GDD (grado crecimiento)	-9
Plantas por hectárea	# plantas/ha	30000
Superficie de suelo cubierta por una planta a 90% de germinación	cm²/ha	20
Cobertura verde máxima	fracción [0,1]	0.75
Duración del ciclo de crecimiento completo	en GDD (grado crecimiento)	-9
Tiempo desde siembra hasta germinación		10
Tiempo desde siembra hasta floración		55 a 60 días
Duración de etapa de floración	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	15
Tiempo desde siembra hasta inicio de senescencia		90
Tiempo desde siembra hasta madurez		75 a 80
Tiempo desde siembra hasta máxima profundidad radicular		40
Profundidad de raíces mínima efectiva	en metros	0.2
Profundidad de raíces máxima efectiva	en metros	1
Factor de forma para el crecimiento radicular	[-]	15
Coeficiente del cultivo	Sin unidades	1.1
Factor de disminución de coeficiente del cultivo, como resultado de edad, deficiencia de nitrógeno, etc.	# %/día 0.15 o 0.3	0.15
Coeficiente de crecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.12286
Coeficiente de decrecimiento de la cobertura	En # días calendario o GDD (grado crecimiento)	0.07238
Índice de Cosecha de referencia	Porcentaje [0,100]	63
Aumento potencial del Índice de cosecha	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	0
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.15
Factor de disminución de agua en suelo para expansión de la cobertura	Umbral inferior fracción [0,1]	0.55
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por expansión de la cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3

Variable	Descripción	Tomate
Factor de disminución de agua en suelo para control de estomas	Umbral superior fracción [0,1]	0.5
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por control de estomas	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo para senescencia de la cobertura	Umbral superior fracción [0,1]	0.7
Factor de forma para coeficiente de estrés hídrico por senescencia de cobertura	> 0; 3 si no hay datos si =0 línea recta	3
Factor de disminución de agua en suelo por polinización	Umbral superior fracción [0,1]	0.92
Punto anaerobio en el cual ocurre aireación deficiente	%Vol	5
Efecto de la cobertura en la reducción de evaporación del suelo en la etapa final	Porcentaje [0,100]	60
Exceso de frutas potenciales	Porcentaje [0,100]	100
Tiempo desde floración hasta alcanzar el índice de cosecha	# días	58
Productividad hídrica normalizada por ETo y CO2	g/m2	18
Coeficiente que describe el impacto positivo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	-9
Coeficiente que describe el impacto negativo en HI por cierre de estomas durante la formación de la cosecha	[-] -9: No aplica	3
Incremento máximo permitido de in HI especificado	Porcentaje [0,100] -9: No aplica	15

## A. 9 Estimación holística del riesgo por sequía

---

Desde la perspectiva de los desastres naturales, el riesgo se ha intentado dimensionar, para efectos de su gestión, como las posibles consecuencias económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un lugar y en un tiempo determinado. Sin embargo, son pocos los análisis del riesgo de forma integral. Para evaluar el riesgo de acuerdo con su definición es necesario tener en cuenta, desde un punto de vista multidisciplinar, no solamente el daño físico esperado, las víctimas o pérdidas económicas equivalentes, sino también factores sociales, organizacionales e institucionales, relacionados con el desarrollo de las comunidades. La deficiente información, comunicación y conocimiento entre los actores sociales, la ausencia de organización institucional y comunitaria, las debilidades en la preparación para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de bienestar económico en un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto directo del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del mismo en el área geográfica considerada.

Es necesario tener en cuenta la ausencia de desarrollo económico y social, debilidades sociales para absorber el impacto, deficiencias en la gestión institucional y falta de capacidad para la respuesta en caso de desastre. En términos relativos, un área que experimenta un alto deterioro social es más vulnerable y por lo tanto se encuentra en mayor riesgo. La falta de resiliencia, definida como el inverso de la capacidad económica, social e institucional para absorber el impacto de una crisis, representa la incapacidad de la comunidad para responder eficientemente en caso de emergencia y sus deficiencias en su gestión institucional y gobernabilidad (falta de capacidad para anticiparse, responder y recuperarse con efectividad).

Si bien es cierto que algunas circunstancias sociales pueden considerarse como aspectos asociados con la vulnerabilidad desde la perspectiva de los desastres, no siempre dichos aspectos pueden considerarse como la vulnerabilidad misma. Un ejemplo es el caso de la pobreza, la cual puede considerarse como un factor o como una causa de la vulnerabilidad ante cierto tipo de sucesos. Sin embargo, la pobreza en sí misma no es sinónimo de vulnerabilidad. Por esta razón, es necesario estudiar detenidamente los factores que hacen que las poblaciones sean vulnerables a los fenómenos que caracterizan a las amenazas. Sin duda, muchos desastres actualmente son el producto de factores económicos y políticos, muchas veces exacerbados por presiones que concentran población en áreas de peligro. En la mayoría de los casos, la reducción de la vulnerabilidad está ligada de manera indisoluble a intervención de las necesidades básicas de desarrollo prevalecientes, razón por la cual se puede afirmar que existe una relación entre las condiciones de marginalidad económica y la vulnerabilidad vista desde la perspectiva de los desastres. La vulnerabilidad de los asentamientos humanos está ligada a los procesos sociales que allí se desarrollan y está relacionada con la fragilidad, la susceptibilidad o la falta de resiliencia de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole. Por otra parte, la vulnerabilidad está ligada a la degradación ambiental del entorno natural intervenido o en proceso de transformación.

El riesgo depende de aspectos físicos, pero también de un impacto intangible de carácter social, económico, ambiental. Dicho impacto, a su vez depende de una serie de factores que agravan la situación –a veces llamados efectos indirectos– que dependen de situaciones sociales del contexto y de su resiliencia; aspectos de la vulnerabilidad que no siempre son dependientes de la amenaza. Por lo tanto, las características intrínsecas actuales de la sociedad definen mejores o peores condiciones que amplifican o reducen el impacto y la capacidad de las comunidades para recuperarse de eventos adversos.

Desde una perspectiva holística, es necesario considerar variables de diversa índole cuyo tratamiento no siempre se facilita utilizando funciones. Por esta razón, es necesario utilizar *proxies* o “representaciones”, que bien pueden ser índices o indicadores. Así, se puede afirmar que la vulnerabilidad tiene unos componentes que reflejan susceptibilidad y fragilidad física (exposición) –que tienen una dependencia de la acción o severidad del fenómeno– y otros que reflejan fragilidad social y falta de resiliencia –es decir, de

capacidad de anticiparse, recuperarse y de absorber el impacto— que no son tan dependientes o no están tan condicionados a la acción del fenómeno.

Una buena organización institucional, una buena gobernabilidad, una buena cantidad de servicios de salud, una alta estabilidad económica, entre otros, que se pueden considerar factores de resiliencia. Su ausencia, o la falta de estas cualidades o capacidades se traduce en vulnerabilidad, pero en una vulnerabilidad “prevaliente”, “característica”, “inherente”, “intrínseca”, que es de especial interés desde la perspectiva de las ciencias sociales.

La evaluación holística del riesgo tiene como objetivo revelar el riesgo desde una perspectiva integral usando por un lado las pérdidas o el daño físico potencial como riesgo físico, que está vinculado directamente con la ocurrencia de eventos, y por otro, capturando cómo los factores subyacentes del riesgo o amplificadores del riesgo —sociales, económicos, o ambientales— pueden empeorar las condiciones del riesgo.

El indicador obtenido de la evaluación holística del riesgo es una forma útil de evaluar, comparar y comunicar el riesgo para promover acciones efectivas para intervención de las condiciones de vulnerabilidad medidas en sus diferentes dimensiones. Mediante este tipo de indicadores se logra comunicar aspectos complejos dado que describe un problema de un sistema complejo en términos simples. Es importante resaltar que los indicadores en general no identifican las medidas de gestión del riesgo, pues éstas se deben identificar usando modelos integrados y análisis completos. Los indicadores compuestos son imágenes que permiten una interpretación más fácil de los aspectos multidimensionales en lugar de tratar de encontrar una tendencia en muchos indicadores por separado. La fortaleza este enfoque está en la posibilidad de desagregar los resultados e identificar los factores hacia los cuales se deben orientar las acciones de reducción del riesgo, con el fin de valorar su efectividad.

#### **A. 9.1 Marco teórico el enfoque holístico**

Desde esta perspectiva, se puede decir que el riesgo es función de la vulnerabilidad física-o el potencial daño físico-y un conjunto de factores de vulnerabilidad  $\square_i$ , que conforman las condiciones de vulnerabilidad del contexto. La vulnerabilidad física se obtiene de la susceptibilidad de los elementos expuestos a las amenazas, teniendo en cuenta intensidades potenciales,  $I$ , de los eventos peligrosos en un período de tiempo  $t$ , la vulnerabilidad del contexto depende de la fragilidad social y la falta de resiliencia de los sistemas sociotécnicos propensos a desastres o el contexto (Figura A.6-1). Para reducir el riesgo, es necesario intervenir a través de acciones correctivas y prospectivas en los posibles factores de vulnerabilidad  $\square_i$ . La gestión del riesgo requiere un sistema de control (estructura institucional) y un sistema de actuación (políticas públicas y acciones) para implementar los cambios necesarios para reducir el riesgo. A efectos de gestión, los estudios de riesgo tienen que mejorar las decisiones a fin de contribuir a la eficacia de la gestión del riesgo, invitando a la acción e identificando las debilidades de los elementos expuestos, así como su evolución en el tiempo (Cardona 2009; Carreño et al 2007).

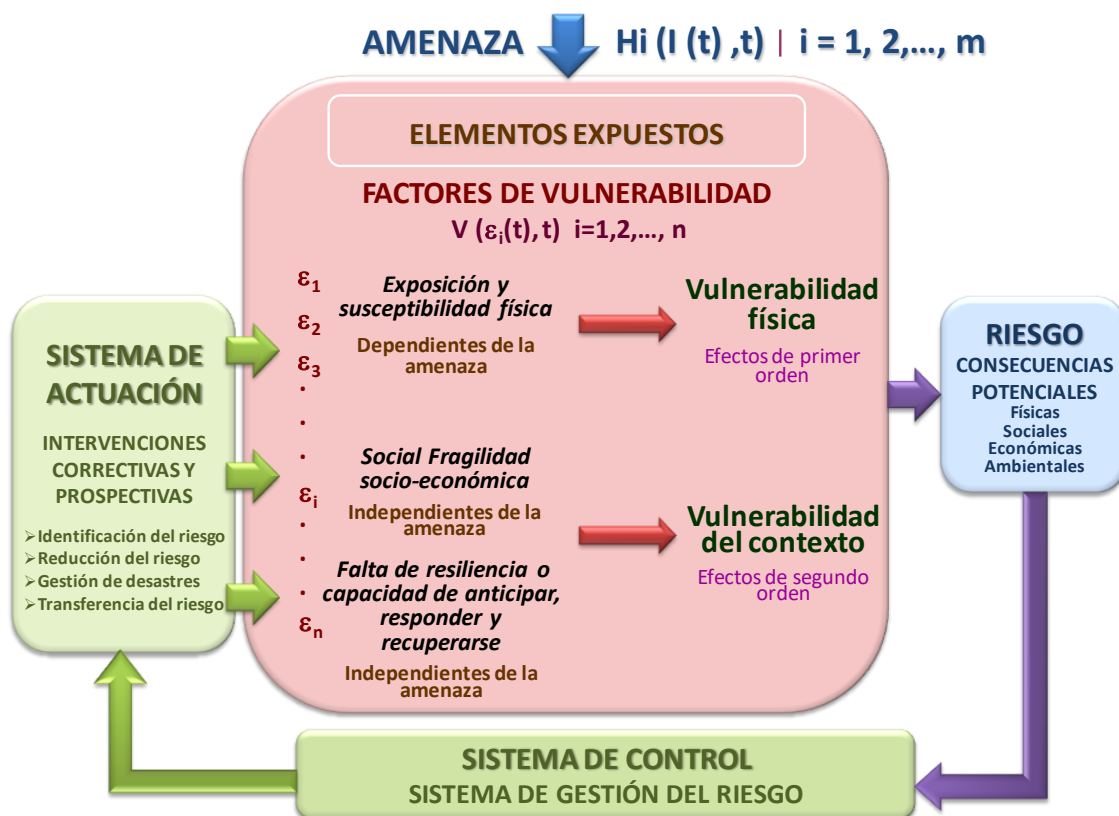


Figura A.6-1. Marco y modelo teórico para el enfoque holístico de la evaluación y gestión del riesgo de desastre, adaptación para este informe de Cardona y Barbat (2000)

La vulnerabilidad y, por lo tanto, el riesgo son el resultado del crecimiento económico inadecuado y de deficiencias que pueden corregirse a través de procesos apropiados de desarrollo. Indicadores o índices se pueden proponer para medir la vulnerabilidad desde una perspectiva integral y multidisciplinar. Estos indicadores se pueden definir con base en información disponible y conceptualmente deben reflejar, de la manera más directa posible, lo que se quiere valorar evitando el uso simultáneo de variables o indicadores que expresen aproximadamente el mismo aspecto. Su utilización intenta identificar las condiciones que favorecen los impactos físicos directos, como el grado de exposición y susceptibilidad de los elementos expuestos, así como también los impactos indirectos, a veces intangibles de los eventos peligrosos a causa de la fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia de dichos elementos.

#### A. 9.2 Procedimiento de cálculo

La presente evaluación holística del riesgo de sequía utiliza la técnica desarrollada por Carreño (2006) que se realiza a partir de descriptores o variables de entrada que dan cuenta tanto del riesgo físico como del riesgo del contexto. Los valores de Riesgo Físico (RF) se obtuvieron a partir de la normalización de las PAE relativas calculadas y presentadas en la sección 4 del presente informe. Los valores de la PAE relativa han sido normalizados entre 0 y 1 utilizando el logaritmo de dicho valor y del valor máximo, ambos por cien ( $\log [PAE.100]/\log [PAE_{max}.100]$ ), considerando 15% o superior como el máximo valor de PAE relativa, que corresponde a un RF de 1. Los descriptores del riesgo del contexto de información sobre la fragilidad

socioeconómica y de la falta de resiliencia se obtuvieron a su vez, a partir de indicadores y datos existentes para cada uno de los departamentos de los países de estudio. Los descriptores del riesgo del contexto son factores que “agravan” el riesgo físico, o el impacto directo de un evento. Así el riesgo total puede expresarse utilizando indicadores compuestos o índices mediante la ecuación A.6-1 de la siguiente manera:

$$R_T = R_F(1 + F) \quad (\text{Ec. A.6-1})$$

Esta expresión se conoce como la ecuación de Moncho<sup>22</sup>, donde  $R_T$  es el índice de riesgo total,  $R_F$  es el índice de riesgo físico y  $F$  es un coeficiente de agravamiento que depende de la fragilidad socioeconómica,  $FS$ , y de la falta de resiliencia del contexto,  $FR$ .

El coeficiente de agravamiento,  $F$ , se obtiene de la suma ponderada de los factores de agravamiento que representan la fragilidad social y la falta de resiliencia, como lo expresa la ecuación A.6-2,

$$F = \sum_{i=1}^m F_{FSi} \cdot w_{FSi} + \sum_{j=1}^n F_{FRj} \cdot w_{FRj} \quad (\text{Ec. A.6-2})$$

donde  $F_{FSi}$  son los factores de fragilidad social,  $F_{FRj}$  son los factores de falta de resiliencia,  $m$  y  $n$  son el número de factores en cada caso y  $w_{FSi}$  y  $w_{FRj}$  son los pesos o importancias relativas de cada factor de agravamiento. Estos pesos suman 1 y se pueden obtener utilizando el Procedimiento Analítico Jerárquico (PAJ) utilizando en forma participativa la opinión de los interesados. En este caso por sencillez se utilizó la asignación de puntajes, procurando que el peso fuese aproximadamente igual para cada uno de los factores de agravamiento.

Los factores de agravamiento se calculan normalizando el valor de cada descriptor respectivo utilizando una función de transformación como la que se ilustra en la Figura A.6-2. Con el valor bruto de cada indicador o variable, que refleja la fragilidad social y la falta de resiliencia, se obtiene el valor de cada factor de agravamiento, el cual toma un valor entre 0 y 1. Esta función puede ser directa y ascendente en forma de sigmoide (s) o inversa y descendente (z), para arrojar resultados consistentes, dependiendo de lo que refleja cada variable o indicador, y dando cuenta de la no linealidad que puede haber entre los indicadores y el riesgo.

---

<sup>22</sup> Esta denominación se la dio un grupo de expertos en uno de los talleres de trabajo del proyecto BID-IDEA, sobre indicadores de riesgo, realizado en Barcelona en noviembre de 2003.

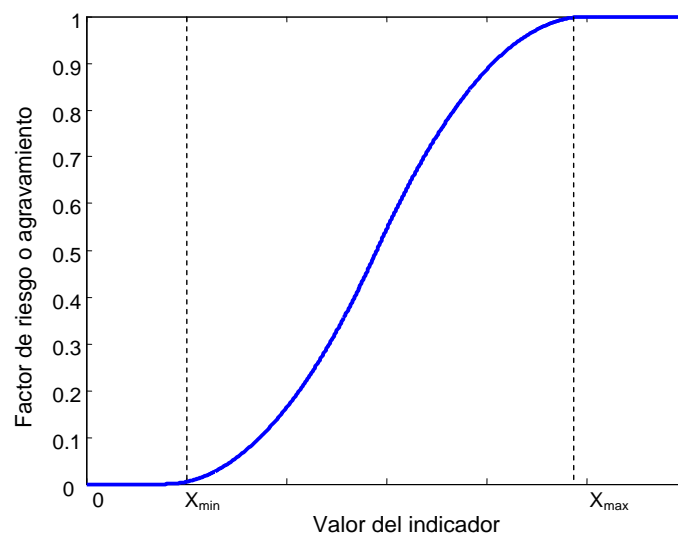


Figura A.6-2. Modelo para las funciones de transformación utilizadas tipo S (directa ascendente)

Finalmente, aquí se asume que el impacto indirecto de un evento, representado por  $F$  en la ecuación A.6-1, puede llegar a ser del mismo orden que el impacto directo. Es decir, que como máximo, el impacto total –que aquí corresponde al índice de riesgo total  $R_T$ – corresponde al doble del impacto directo –que aquí se representa con el índice de riesgo físico  $R_F$ –. Esto se ve reflejado en la ecuación A.6-1 donde el coeficiente de agravamiento  $F$  toma un valor entre 0 y 1<sup>23</sup>, y por lo tanto se asume que  $R_T$  podría ser máximo 2 veces  $R_F$ . Esta asunción se hace con el objetivo de reflejar que las características socioeconómicas pueden influir sobre la magnitud de un evento.

### A. 9.3 Evaluación holística del riesgo para El Salvador

Para caracterizar las condiciones de fragilidad social y falta de resiliencia en El Salvador se utilizaron los indicadores incluidos en la Tabla A.6-1. La Tabla A.6-2 presenta los valores máximo y mínimo utilizados para constituir las funciones de transformación utilizadas para normalizar cada uno de los indicadores. En este caso, tanto el Índice de Desarrollo Humano como el Coeficiente de Gini se utilizaron de forma directa al ser ya índices con valores comprendidos entre 0 y 1.

Tabla A.6- 1. Indicadores de fragilidad social ( $X_{FSi}$ ) y falta de resiliencia ( $X_{LRi}$ ) utilizados para El Salvador

	Indicador	Año	Unidades
$X_{FS1}$	Coeficiente de Gini de ingresos	2013	Índice entre 0-1
$X_{FS2}$	Pobreza extrema	2012	% de la población en condiciones de pobreza extrema
$X_{FS3}$	Mortalidad niños menores de 5 años	2016	Defunciones de un año por cada 1000 nacidos vivos

<sup>23</sup> Es importante indicar que la relación entre impacto directo e indirecto al que se hace referencia se refiere a estimaciones gruesas de efectos económicos directos e indirectos. No existe un estudio que relacione empíricamente los coeficientes de agravamiento aquí propuestos con los efectos económicos indirectos; sin embargo, dichos indicadores son un proxy de los aspectos que agravan la situación en caso de presentarse el daño físico, contribuyendo al impacto socioeconómico indirecto que en este caso se valora con fines de evaluaciones relativas.



	Indicador	Año	Unidades
X <sub>LR1</sub>	Índice de Desarrollo Humano (IDH)	2013	Índice entre 0-1
X <sub>LR2</sub>	Tasa de alfabetismo (Mayor o igual a 15)	2012	%
X <sub>LR3</sub>	Esperanza de vida al nacer	2012	Años
X <sub>LR4</sub>	Promedio de escolaridad	2012	Años

Tabla A.6- 2. Valores utilizados para las funciones de transformación

Indicador	Xmin	Xmax	Tipo de función
Coeficiente de Gini de ingresos	-	-	-
Pobreza extrema	5	20	s
Mortalidad niños menores de 5 años	0	10	s
Índice de Desarrollo Humano (IDH)	-	-	-
Tasa de alfabetismo (Mayor o igual a 15)	30	85	z
Esperanza de vida al nacer (años)	60	80	z
Promedio de escolaridad (años)	5	10	z

Tabla A.6-3. Valores de los indicadores utilizados para las condiciones agravantes

Departamento	X <sub>FS1</sub> <sup>24</sup>	X <sub>FS2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>FS3</sub> <sup>25</sup>	X <sub>LR1</sub> <sup>3</sup>	X <sub>LR2</sub> <sup>3</sup>	X <sub>LR3</sub> <sup>3</sup>	X <sub>LR4</sub> <sup>3</sup>
Ahuachapán	0.41	16.30	11.30	0.61	81.40	73	4.8
Cabañas	0.41	17.70	9.20	0.60	78.50	70.9	4.3
Chalatenango	0.46	12.70	15.70	0.64	81.00	73.6	5.1
Cuscatlán	0.43	10.40	9.60	0.64	87.40	72.9	5.9
La Libertad	0.46	7.30	13.40	0.69	88.20	73.4	7.5
La Paz	0.43	10.70	11.40	0.63	85.20	73.3	5.5
La Unión	0.46	12.50	10.80	0.60	72.70	70.9	3.9
Morazán	0.46	15.10	8.40	0.59	74.70	71.1	4.1
San Miguel	0.41	11.30	12.90	0.64	79.30	72.4	5.8
San Salvador	0.46	4.10	11.00	0.71	93.10	72.9	8.7
San Vicente	0.38	10.60	9.80	0.66	83.40	73.8	5.6
Santa Ana	0.46	7.90	14.20	0.65	85.50	72.1	6.1
Sonsonate	0.43	11.00	12.20	0.65	84.20	72.8	5.8
Usulután	0.43	12.50	12.90	0.64	81.40	72.5	5.6

<sup>24</sup> Informe sobre Desarrollo Humano El Salvador 2013. Imaginar un nuevo país. Hacerlo posible. Diagnóstico y propuesta. [http://www.sv.undp.org/content/el\\_salvador/es/home/library/hiv\\_aids/informe-sobre-desarrollo-humano-el-salvador-2013.html](http://www.sv.undp.org/content/el_salvador/es/home/library/hiv_aids/informe-sobre-desarrollo-humano-el-salvador-2013.html)

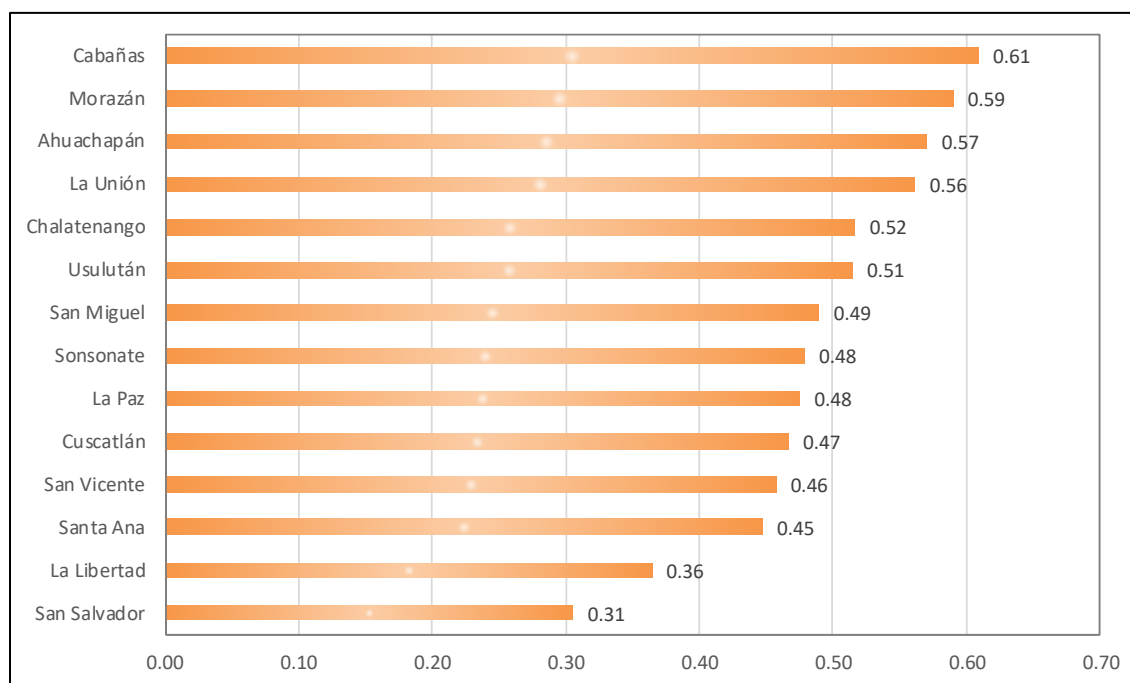
<sup>25</sup> Mortalidad en niños menores de 5 años en El Salvador. Período 2012-2016. Ministerio de Salud Instituto Nacional de Salud San Salvador, El Salvador, 2017. <http://ins.salud.gob.sv/wp-content/uploads/2018/07/Mortalidad-en-niños-menores-de-5-años.pdf>

La Tabla A.6-3 presenta los valores originales de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia. La Tabla A.6-4 presenta los valores de los factores de agravamiento obtenidos mediante la aplicación de las funciones de transformación a los valores de la Tabla A.6-3 y el Coeficiente de Agravamiento resultante para cada uno de los departamentos de El Salvador.

Tabla A.6-4. Factores de agravamiento y Coeficiente de Agravamiento por departamento en El Salvador

Departamento	Factores de Fragilidad Social			Factores de Falta de Resiliencia				F
	F <sub>FS1</sub>	F <sub>FS2</sub>	F <sub>FS3</sub>	F <sub>LR1</sub>	F <sub>LR2</sub>	F <sub>LR3</sub>	F <sub>LR4</sub>	
Ahuachapán	0.41	0.88	1.00	0.39	0.01	0.25	1.00	0.57
Cabañas	0.41	0.95	0.99	0.40	0.03	0.41	1.00	0.61
Chalatenango	0.46	0.53	1.00	0.36	0.01	0.20	1.00	0.52
Cuscatlán	0.43	0.26	1.00	0.36	0.00	0.25	0.94	0.47
La Libertad	0.46	0.05	1.00	0.31	0.00	0.22	0.50	0.36
La Paz	0.43	0.29	1.00	0.37	0.00	0.22	0.98	0.48
La Unión	0.46	0.50	1.00	0.40	0.10	0.41	1.00	0.56
Morazán	0.46	0.79	0.95	0.41	0.07	0.40	1.00	0.59
San Miguel	0.41	0.35	1.00	0.36	0.02	0.29	0.95	0.49
San Salvador	0.46	0.00	1.00	0.29	0.00	0.25	0.14	0.31
San Vicente	0.38	0.28	1.00	0.34	0.00	0.19	0.97	0.46
Santa Ana	0.46	0.07	1.00	0.35	0.00	0.31	0.90	0.45
Sonsonate	0.43	0.32	1.00	0.35	0.00	0.26	0.95	0.48
Usulután	0.43	0.50	1.00	0.36	0.01	0.28	0.97	0.51

Ranking de los departamentos en El salvador por Coeficiente de Agravamiento del riesgo



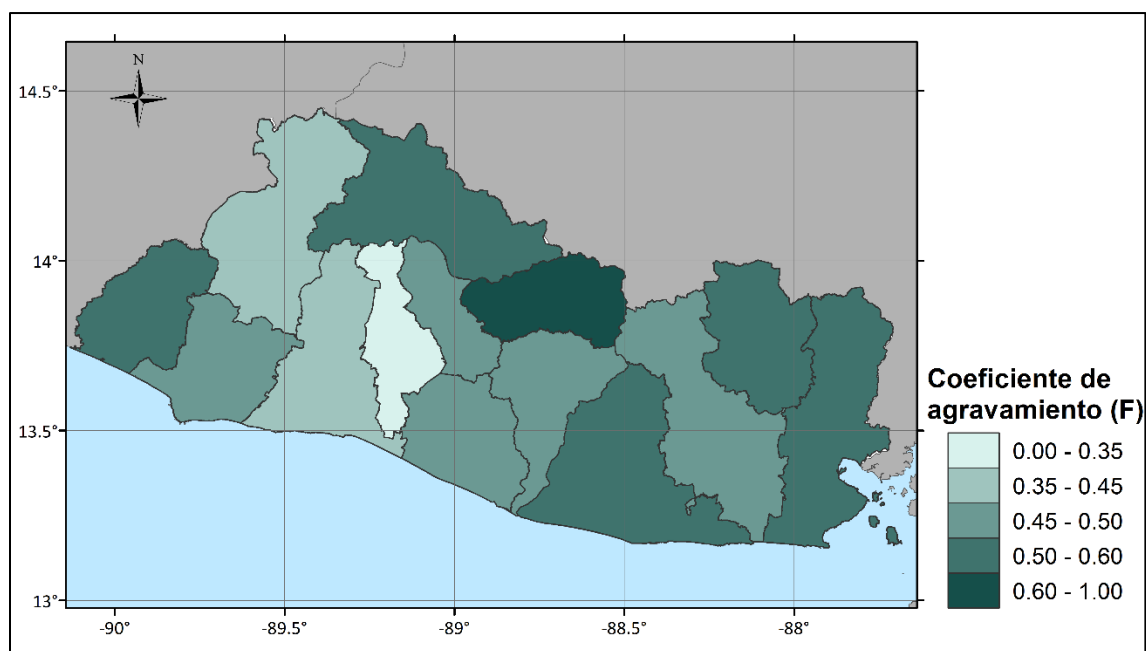


Figura A.6-3. Coeficiente de Agravamiento,  $F$ , por departamento para El Salvador

El riesgo físico para esta evaluación tiene en cuenta la pérdida anual esperada en términos relativos (Tabla A.6-5) para cuatro escenarios posibles: Clima base, RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5. Las figuras A.6-4 a A.6-11 presentan los resultados obtenidos para Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo total,  $R_T$ , para los cuatro escenarios considerados.

Tabla A.6-5. Pérdida Anual Esperada por departamento y por escenario para El Salvador

Departamento	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)
Ahuachapán	5.69%	4.96%	5.14%	5.56%
Cabañas	6.97%	5.95%	6.60%	8.54%
Chalatenango	5.24%	4.39%	4.79%	5.95%
Cuscatlán	3.44%	2.90%	3.09%	3.92%
La Libertad	2.29%	1.95%	2.04%	2.68%
La Paz	1.97%	1.62%	1.88%	3.39%
La Unión	5.04%	4.96%	5.80%	9.23%
Morazán	5.41%	5.08%	6.93%	11.19%
San Miguel	2.48%	2.13%	3.55%	6.39%
San Salvador	2.90%	2.44%	2.60%	3.01%
San Vicente	6.17%	4.94%	6.37%	10.52%
Santa Ana	5.10%	4.34%	4.56%	5.59%
Sonsonate	2.88%	2.40%	2.56%	3.42%
Usulután	2.16%	1.86%	3.56%	7.34%

Tabla A.6-6. Valores de Riesgo Físico relativo,  $R_F$ , por departamento y por escenario para El Salvador

Departamento	Riesgo Físico (RF)			
	Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Ahuachapán	0,64	0,59	0,60	0,63
Cabañas	0,72	0,66	0,70	0,79
Chalatenango	0,61	0,55	0,58	0,66
Cuscatlán	0,46	0,39	0,42	0,50
La Libertad	0,31	0,25	0,26	0,36
La Paz	0,25	0,18	0,23	0,45
La Unión	0,60	0,59	0,65	0,82
Morazán	0,62	0,60	0,71	0,89
San Miguel	0,34	0,28	0,47	0,68
San Salvador	0,39	0,33	0,35	0,41
San Vicente	0,67	0,59	0,68	0,87
Santa Ana	0,60	0,54	0,56	0,64
Sonsonate	0,39	0,32	0,35	0,45
Usulután	0,28	0,23	0,47	0,74

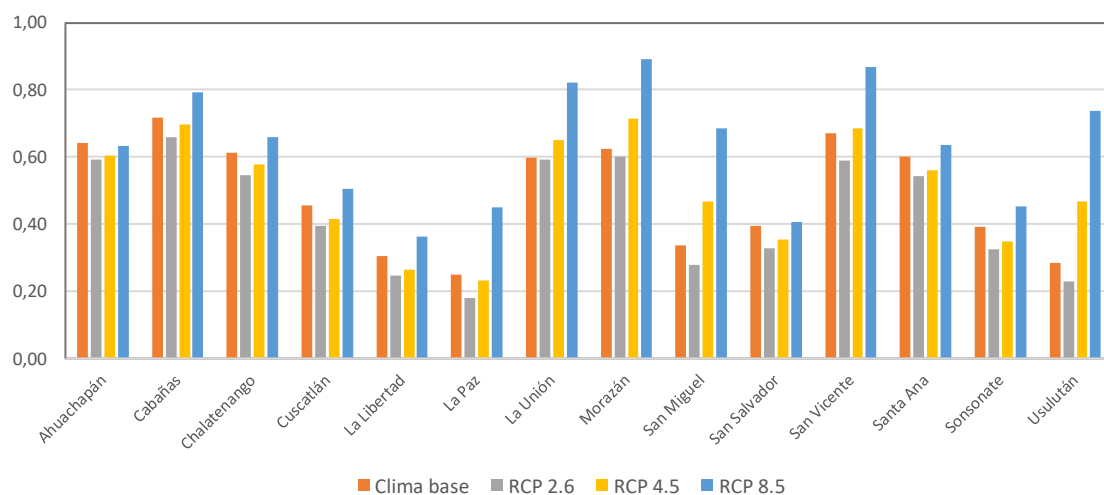
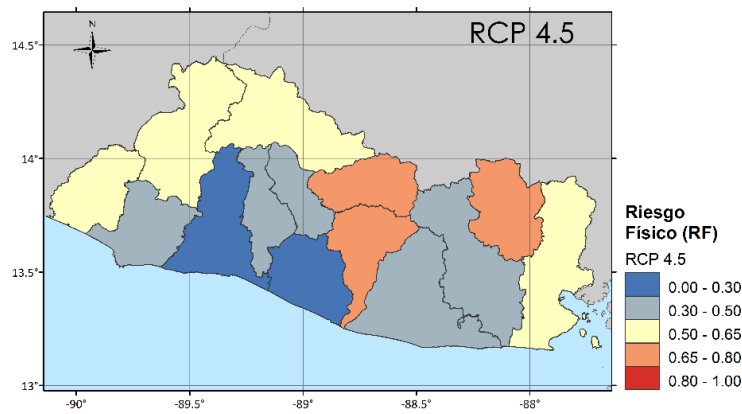
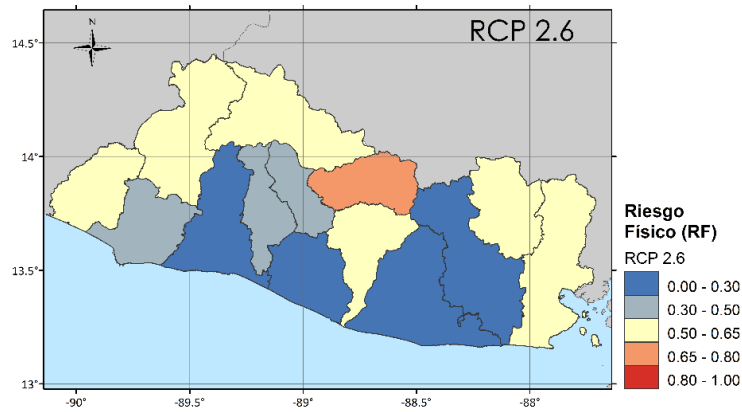
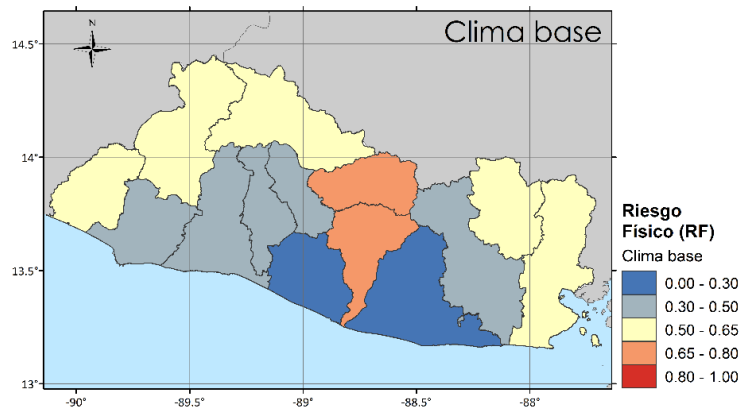


Figura A.6-4. Riesgo Físico,  $R_F$ , relativo por departamento, por escenario para El Salvador



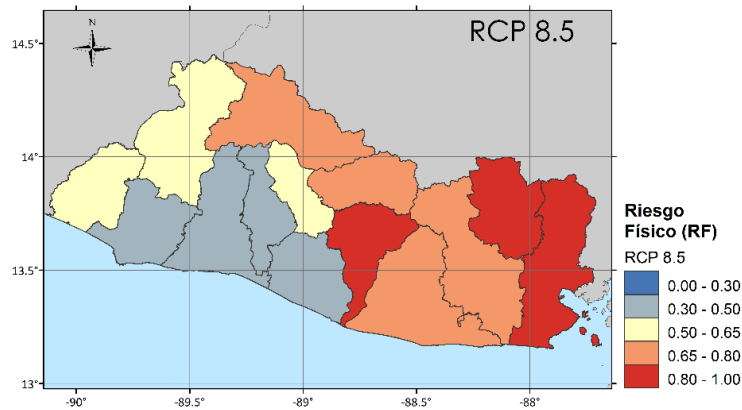
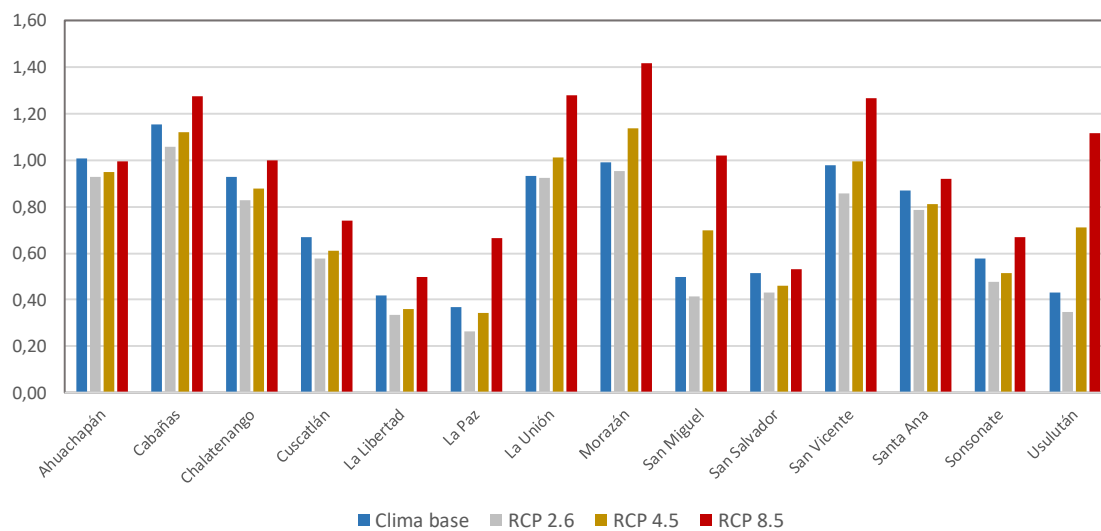


Figura A.6-5.  
Riesgo Físico,  $R_F$ ,  
en El Salvador por  
departamento, para  
los 4 escenarios  
considerados

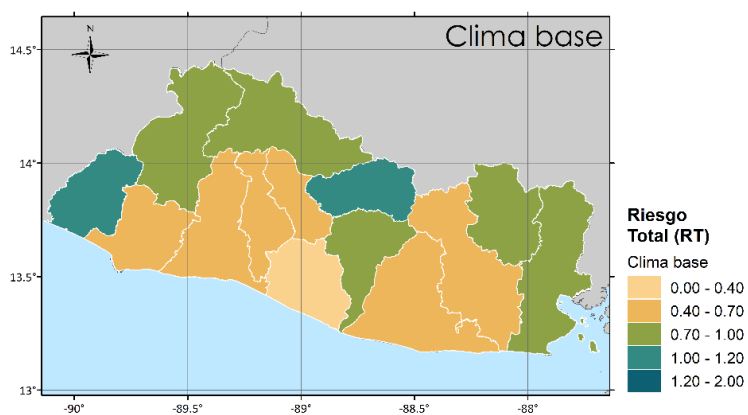
Tabla A.6-7. Valores de Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento y por escenario para El Salvador

Departamento	Riesgo Total (RT)			
	Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Ahuachapán	1,01	0,93	0,95	1,00
Cabañas	1,15	1,06	1,12	1,27
Chalatenango	0,93	0,83	0,88	1,00
Cuscatlán	0,67	0,58	0,61	0,74
La Libertad	0,42	0,34	0,36	0,50
La Paz	0,37	0,26	0,34	0,66
La Unión	0,93	0,92	1,01	1,28
Morazán	0,99	0,95	1,14	1,42
San Miguel	0,50	0,41	0,70	1,02
San Salvador	0,51	0,43	0,46	0,53
San Vicente	0,98	0,86	1,00	1,27
Santa Ana	0,87	0,78	0,81	0,92
Sonsonate	0,58	0,48	0,51	0,67
Usulután	0,43	0,35	0,71	1,11



Figura

A.6-6. Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento, por escenario para El Salvador



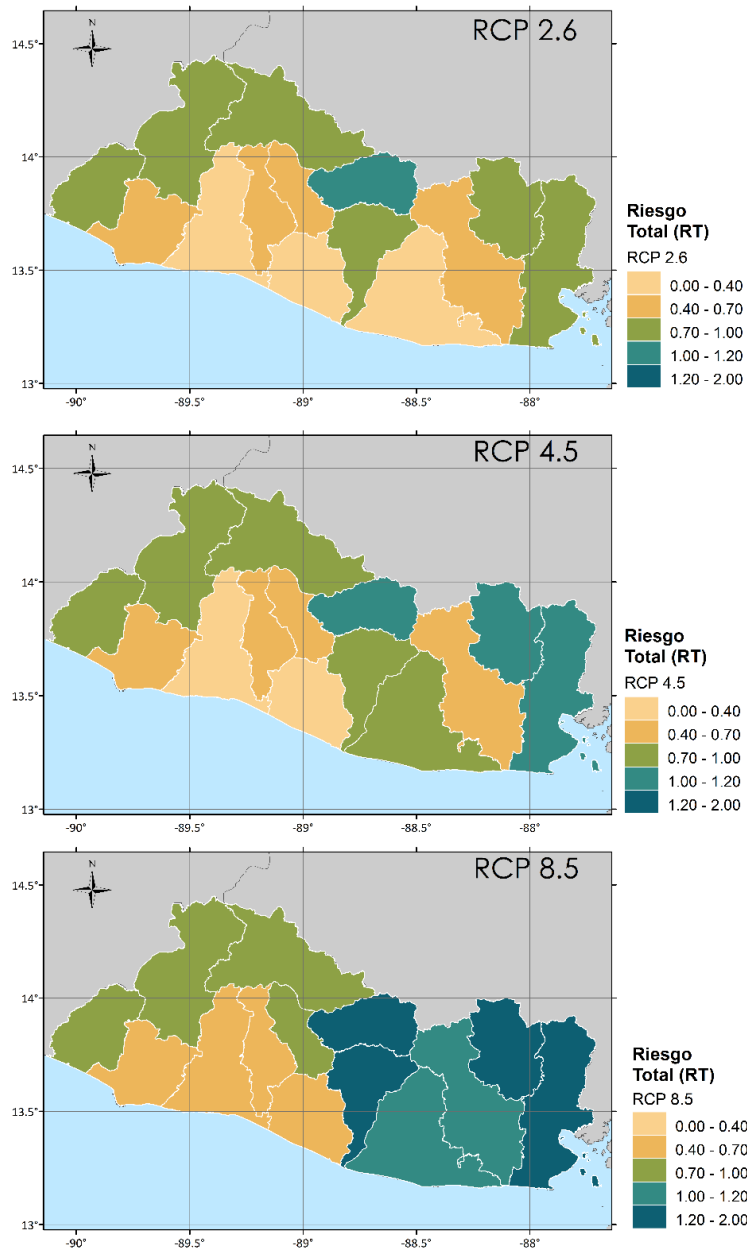
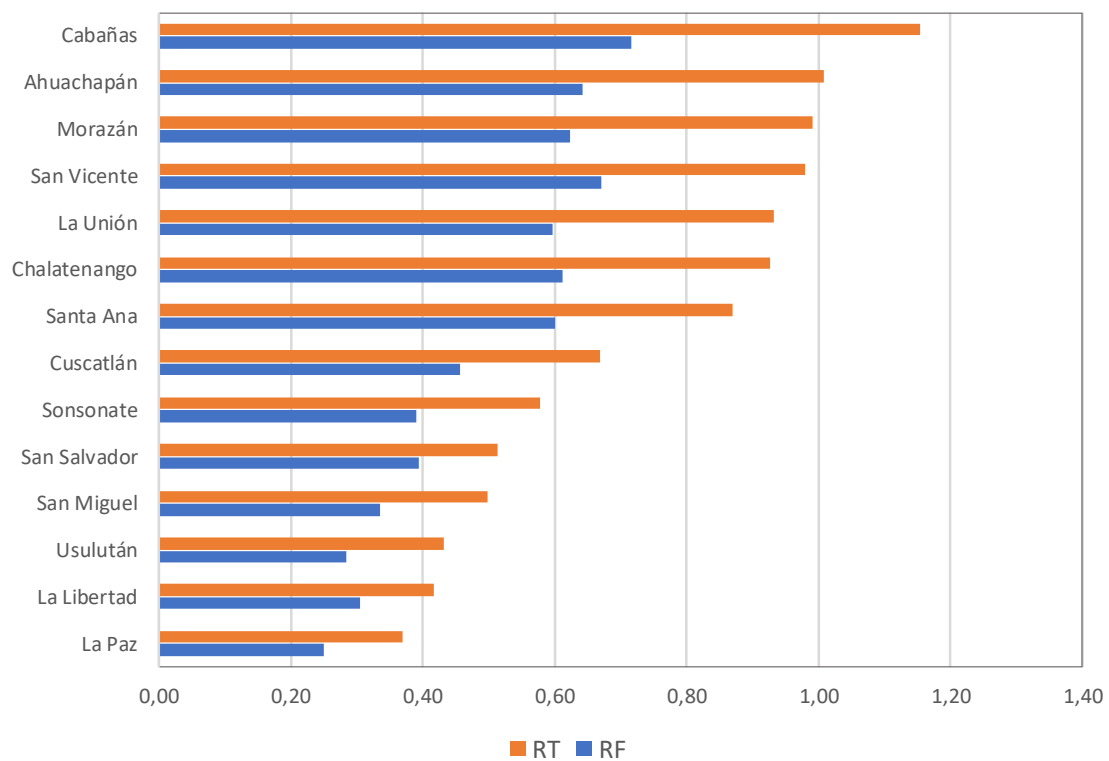


Figura A.6-7.  
Riesgo Total,  $R_T$ ,  
relativo en El  
Salvador por  
departamento, para  
los 4 escenarios  
considerados





Figura

A.6-8. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativos por departamento en El Salvador para el escenario de clima base

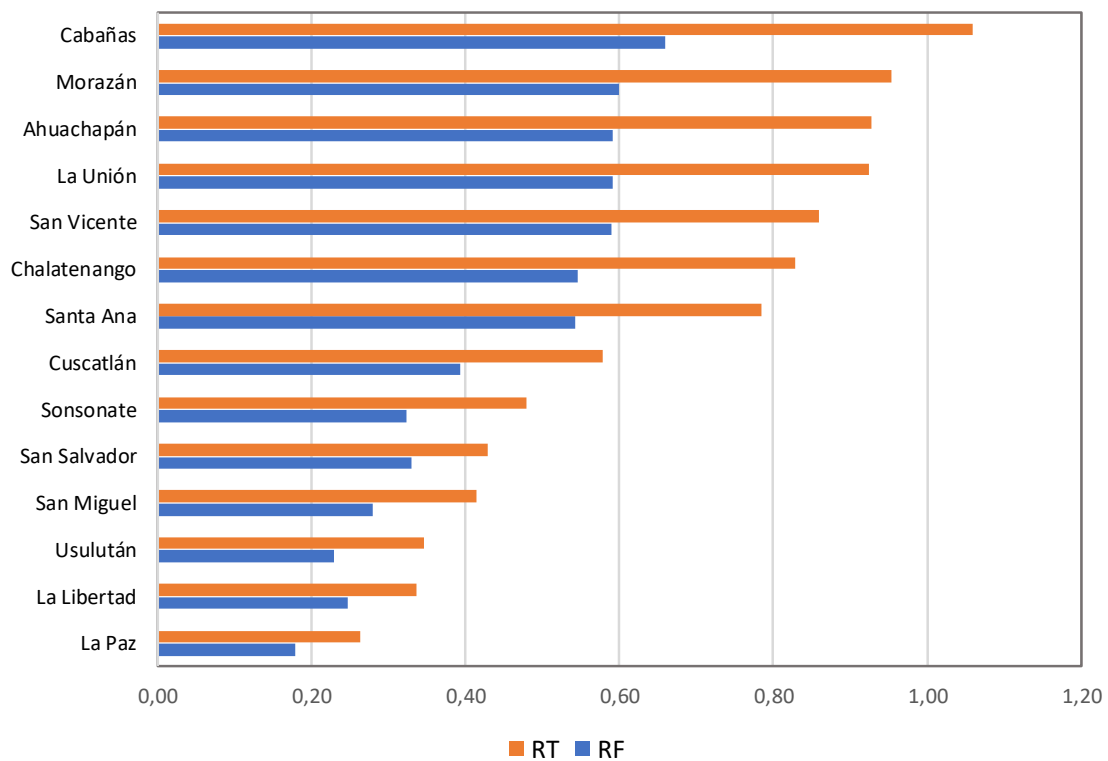


Figura  
A.6-9. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativos por departamento en El Salvador para el escenario RCP 2.6

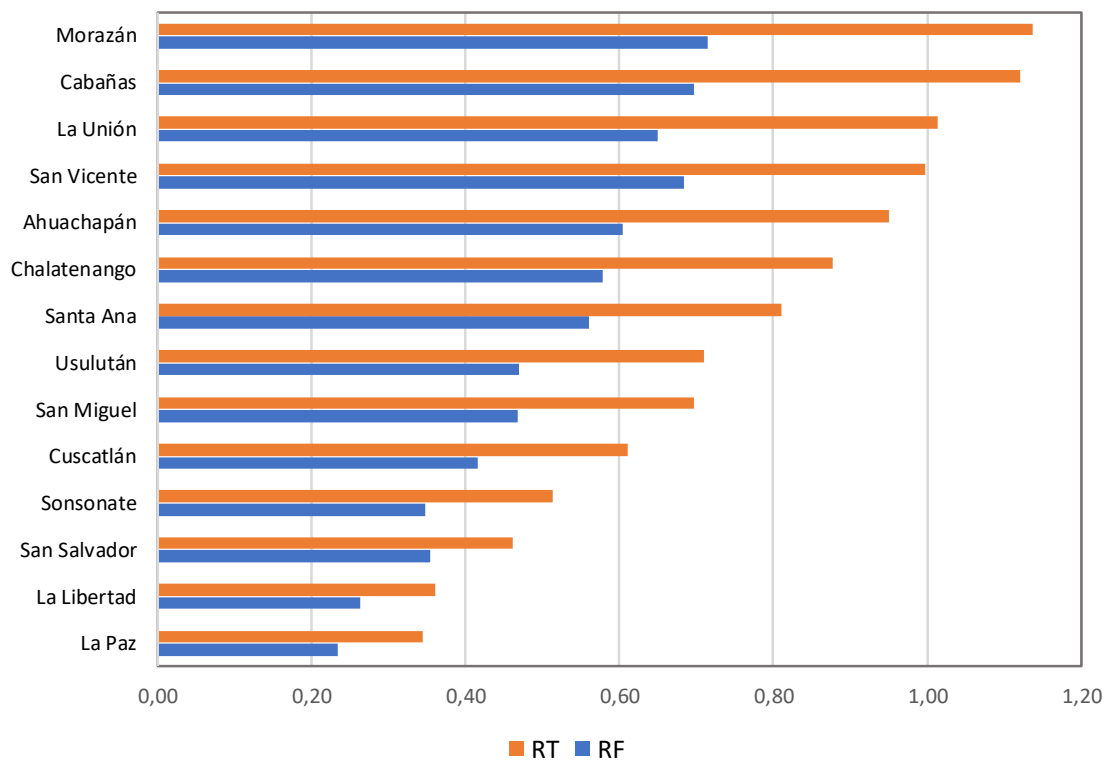
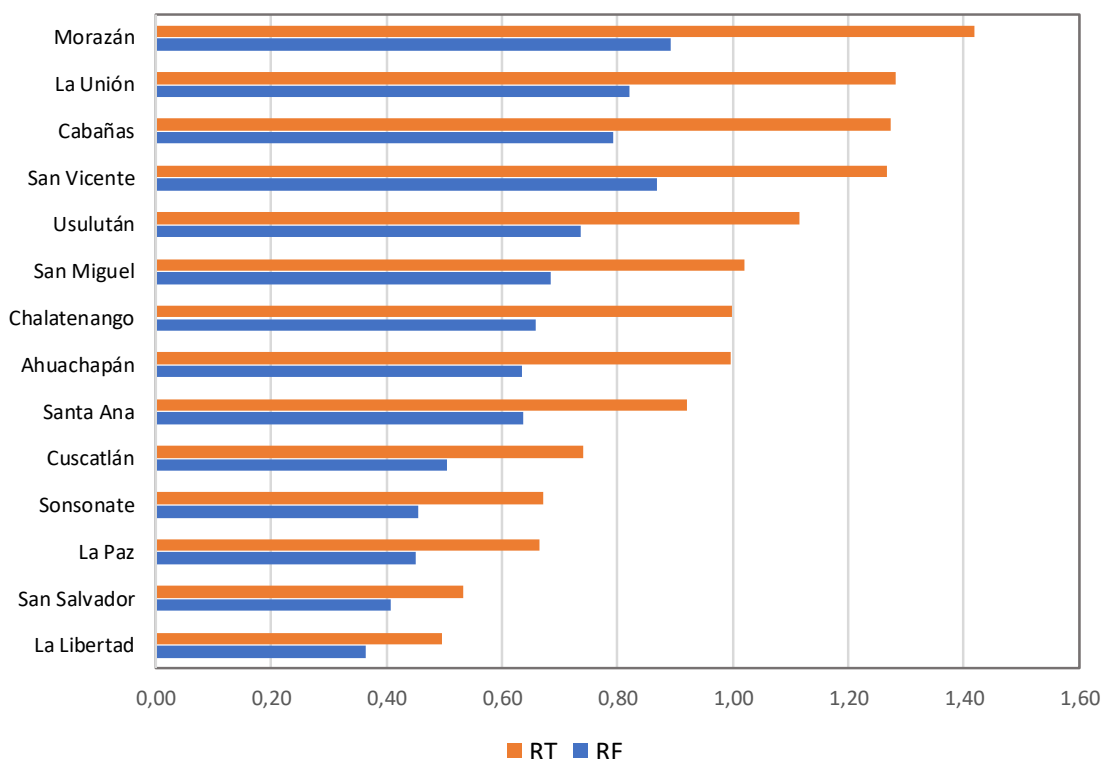


Figura  
A.6-10. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativos por departamento en El Salvador para el escenario RCP 4.5



Figura

A.6-11. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativos por departamento en El Salvador para el escenario 8.5

#### A. 9.4 Evaluación holística del riesgo para Guatemala

Para caracterizar las condiciones de fragilidad social y falta de resiliencia en Guatemala se utilizaron los indicadores incluidos en la Tabla A.6-8. La Tabla A.6-9 presenta los valores máximo y mínimo utilizados para constituir las funciones de transformación utilizadas para normalizar cada uno de los indicadores. Tal y como se utilizaron en la evaluación de El Salvador, tanto el Índice de Desarrollo Humano como el Coeficiente de Gini se utilizaron de forma directa al ser ya índices con valores comprendidos entre 0 y 1.

Tabla A.6-8. Indicadores de fragilidad social y falta de resiliencia utilizados en Guatemala

	Departamento	Año	Unidades
X <sub>FS1</sub>	Coeficiente de GINI	2014	Índice entre 0-1
X <sub>FS2</sub>	Pobreza extrema	2014	%
X <sub>FS3</sub>	Mortalidad por desnutrición	2016	Defunciones por desnutrición de un año por cada 100,000 habitantes
X <sub>FS4</sub>	Tasa violencia intrafamiliar	2013	Denuncias cada 10,000 habitantes
X <sub>LR1</sub>	Índice de desarrollo humano (IDH)	2014	Índice entre 0-1
X <sub>LR2</sub>	Tasa de alfabetismo (Mayor o igual a 15)	2014	%
X <sub>LR3</sub>	Nacimientos con atención medica	2016	%

Tabla A.6-9. Valores utilizados para las funciones de transformación

Indicador	$X_{\min}$	$X_{\max}$	Tipo de función
Coeficiente de GINI	-	-	-
Pobreza extrema	5	20	s
Mortalidad por desnutrición	0	10	s
Tasa violencia intrafamiliar	0	100	s
Índice de desarrollo humano (IDH)	-	-	-
Tasa de alfabetismo (Mayor o igual a 15)	30	85	z
Nacimientos con atención medica	50	80	z

La Tabla A.6-10 presenta los valores originales de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia. La Tabla A.6-11 presenta los valores de los factores de agravamiento obtenidos mediante la aplicación de las funciones de transformación a los valores de la Tabla A.6-10 y el Coeficiente de Agravamiento resultante para cada uno de los departamentos de Guatemala. La Figura A.6-11 presenta los resultados obtenidos para el Coeficiente de agravamiento.

Tabla A.6-10. Valores de los indicadores de fragilidad social y falta de resiliencia

Departamento	$X_{FS1}^{26}$	$X_{FS2}^5$	$X_{FS3}^{27}$	$X_{FS4}^6$	$X_{LR1}^6$	$X_{LR2}^5$	$X_{LR3}^6$
Alta Verapaz	0.50	53.62	10.05	28.25	0.37	63.46	48.85
Baja Verapaz	0.42	24.62	3.58	42.00	0.46	72.91	65.12
Chimaltenango	0.51	23.41	5.25	26.56	0.49	82.72	66.98
Chiquimula	0.45	41.14	4.81	11.41	0.41	67.75	59.05
El Progreso	0.42	13.23	3.48	69.83	0.52	84.74	89.40
Escuintla	0.42	11.24	5.15	10.86	0.52	81.29	90.80
Guatemala	0.47	5.42	5.82	20.20	0.61	91.29	94.64
Huehuetenango	0.49	28.55	1.77	15.34	0.40	71.93	38.50
Izabal	0.51	35.18	6.00	18.74	0.48	77.77	71.46
Jalapa	0.58	22.32	6.02	24.96	0.43	74.80	82.43
Jutiapa	0.53	24.22	1.45	26.53	0.46	79.33	83.69
Petén	0.48	20.18	3.42	15.80	0.46	81.61	66.87
Quetzaltenango	0.58	16.67	5.67	24.90	0.53	83.21	72.82
Quiché	0.50	41.81	4.09	7.27	0.42	62.97	40.05
Retalhuleu	0.46	15.27	2.06	51.52	0.48	80.70	84.03
Sacatepéquez	0.48	8.44	11.43	54.04	0.57	88.98	91.22

<sup>26</sup> Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) 2014. Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. <https://www.ine.gob.gt/index.php/encuestas-de-hogares-y-personas/condiciones-de-vida>

<sup>27</sup> Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.gob.gt/index.php/estadisticas/tema-indicadores>

San Marcos	0.61	22.03	7.93	21.85	0.45	79.62	56.44
Santa Rosa	0.48	12.93	5.75	40.00	0.47	81.89	88.00
Sololá	0.40	39.87	7.91	22.89	0.45	69.14	53.65
Suchitepéquez	0.47	19.83	3.95	45.92	0.47	76.20	83.45
Totonicapán	0.45	41.07	3.25	11.27	0.43	71.36	48.81
Zacapa	0.51	21.37	5.82	33.08	0.51	79.82	81.66

Tabla A.6-11. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , y factores componentes

Departamento	Factores de Fragilidad Social				Factores de Falta de Resiliencia			
	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{LR1}$	$F_{LR2}$	$F_{LR3}$	$F$
Alta Verapaz	0.50	1.00	1.00	0.16	0.63	0.31	1.00	0.68
Baja Verapaz	0.42	1.00	0.26	0.35	0.54	0.10	0.49	0.46
Chimaltenango	0.51	1.00	0.55	0.14	0.51	0.00	0.38	0.46
Chiquimula	0.45	1.00	0.46	0.03	0.59	0.20	0.82	0.53
El Progreso	0.42	0.59	0.24	0.82	0.48	0.00	0.00	0.34
Escuintla	0.42	0.35	0.53	0.02	0.48	0.01	0.00	0.27
Guatemala	0.47	0.00	0.65	0.08	0.39	0.00	0.00	0.23
Huehuetenango	0.49	1.00	0.06	0.05	0.60	0.11	1.00	0.49
Izabal	0.51	1.00	0.68	0.07	0.52	0.03	0.16	0.44
Jalapa	0.58	1.00	0.68	0.12	0.57	0.07	0.00	0.45
Jutiapa	0.53	1.00	0.04	0.14	0.54	0.02	0.00	0.33
Petén	0.48	1.00	0.23	0.05	0.54	0.01	0.38	0.40
Quetzaltenango	0.58	0.90	0.62	0.12	0.47	0.00	0.11	0.42
Quiché	0.50	1.00	0.33	0.01	0.58	0.32	1.00	0.56
Retalhuleu	0.46	0.80	0.08	0.53	0.52	0.01	0.00	0.34
Sacatepéquez	0.48	0.11	1.00	0.58	0.43	0.00	0.00	0.36
San Marcos	0.61	1.00	0.91	0.10	0.55	0.02	0.91	0.61
Santa Rosa	0.48	0.56	0.64	0.32	0.53	0.01	0.00	0.36
Sololá	0.40	1.00	0.91	0.10	0.55	0.17	0.97	0.61
Suchitepéquez	0.47	1.00	0.31	0.42	0.53	0.05	0.00	0.40
Totonicapán	0.45	1.00	0.21	0.03	0.57	0.12	1.00	0.51
Zacapa	0.51	1.00	0.65	0.22	0.49	0.02	0.00	0.42

Ranking de los departamentos en Guatemala por Coeficiente de Agravamiento del riesgo

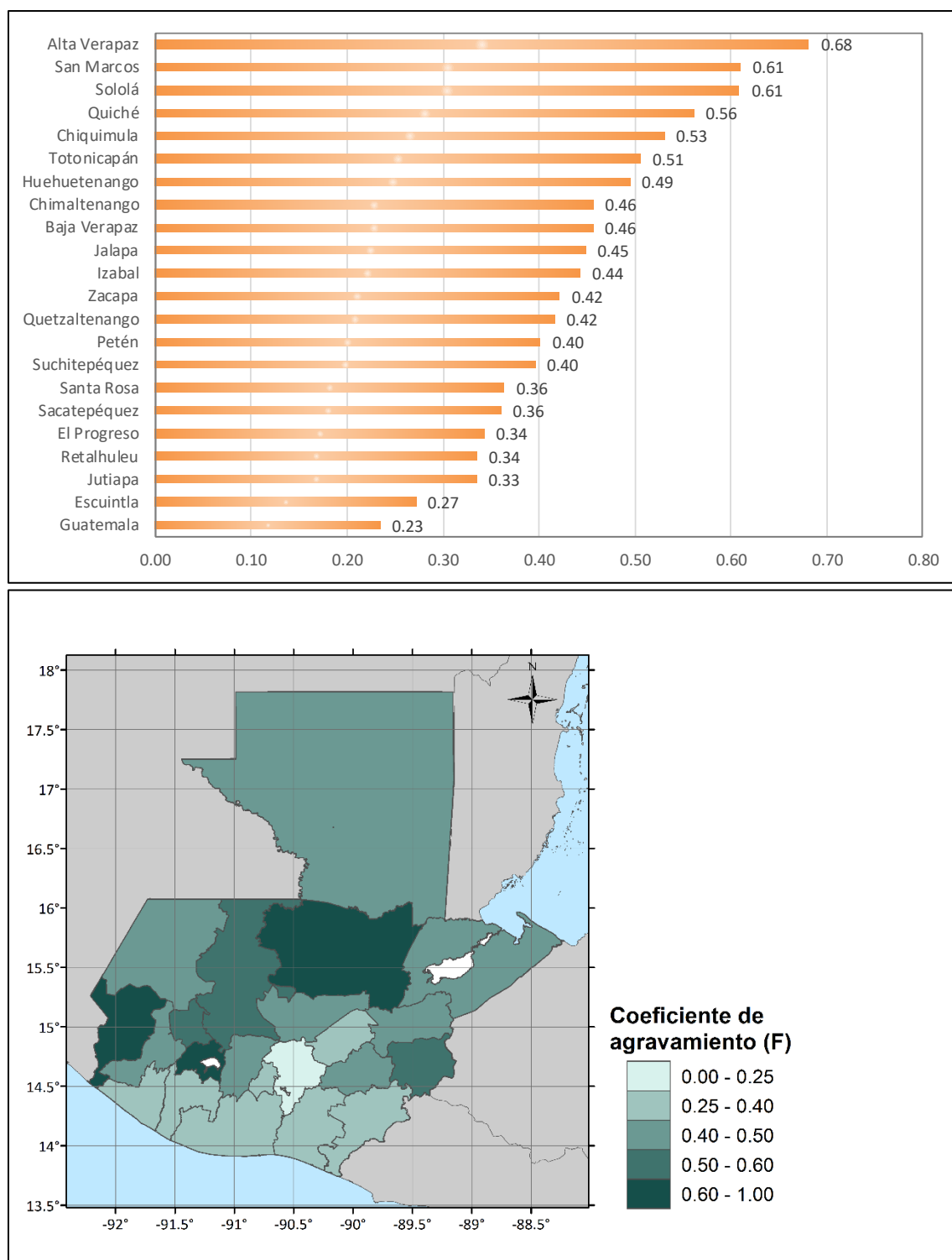


Figura A.6-12. Coeficiente de agravamiento para los departamentos de Guatemala

El riesgo físico para esta evaluación tiene en cuenta la pérdida anual esperada en términos relativos (Tabla A.6-12) para cuatro escenarios posibles: Clima base, RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5.L as figuras A.6-13 a

A.6-21 presentan los resultados obtenidos para Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo total,  $R_T$ , para los cuatro escenarios considerados.

Tabla A.6-12. Pérdida Anual Esperada por departamento para Guatemala

Departamento	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)	PAE Relativo (%)
Alta Verapaz	3.85%	3.31%	4.84%	7.16%
Baja Verapaz	5.21%	4.58%	5.45%	7.44%
Chimaltenango	5.95%	5.12%	6.82%	13.08%
Chiquimula	0.98%	0.65%	1.25%	2.89%
El Progreso	1.74%	1.22%	1.83%	3.96%
Escuintla	2.02%	1.72%	2.49%	5.99%
Guatemala	3.74%	2.64%	3.36%	7.68%
Huehuetenango	2.71%	2.34%	2.50%	2.97%
Izabal	1.20%	0.79%	2.50%	5.09%
Jalapa	5.05%	3.70%	4.46%	7.50%
Jutiapa	3.01%	2.05%	2.52%	4.64%
Petén	5.04%	4.42%	6.16%	8.39%
Quetzaltenango	3.69%	3.18%	3.49%	5.21%
Quiché	5.89%	5.20%	5.42%	6.66%
Retalhuleu	11.25%	9.44%	10.09%	12.51%
Sacatepéquez	4.19%	3.67%	4.69%	10.85%
San Marcos	2.08%	1.84%	1.86%	2.18%
Santa Rosa	2.93%	1.71%	2.21%	4.88%
Sololá	3.24%	2.75%	3.55%	8.58%
Suchitepéquez	9.13%	7.80%	8.57%	11.89%
Totonicapán	15.37%	13.67%	13.63%	15.69%
Zacapa	1.16%	0.65%	2.48%	5.36%

Tabla A.6-13. Valores de Riesgo Físico,  $R_F$ , relativo por departamento y por escenario para Guatemala



Departamento	Riesgo Físico (RF)			
	Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Alta Verapaz	0,50	0,44	0,58	0,73
Baja Verapaz	0,61	0,56	0,63	0,74
Chimaltenango	0,66	0,60	0,71	0,95
Chiquimula	0,01	0,01	0,01	0,39
El Progreso	0,20	0,01	0,22	0,51
Escuintla	0,26	0,20	0,34	0,66
Guatemala	0,49	0,36	0,45	0,75
Huehuetenango	0,37	0,31	0,34	0,40
Izabal	0,01	0,01	0,34	0,60
Jalapa	0,60	0,48	0,55	0,74
Jutiapa	0,41	0,26	0,34	0,57
Petén	0,60	0,55	0,67	0,79
Quetzaltenango	0,48	0,43	0,46	0,61
Quiché	0,65	0,61	0,62	0,70
Retalhuleu	0,89	0,83	0,85	0,93
Sacatepéquez	0,53	0,48	0,57	0,88
San Marcos	0,27	0,22	0,23	0,29
Santa Rosa	0,40	0,20	0,29	0,59
Sololá	0,43	0,37	0,47	0,79
Suchitepéquez	0,82	0,76	0,79	0,91
Totonicapán	1,00	0,97	0,96	1,00
Zacapa	0,01	0,01	0,33	0,62

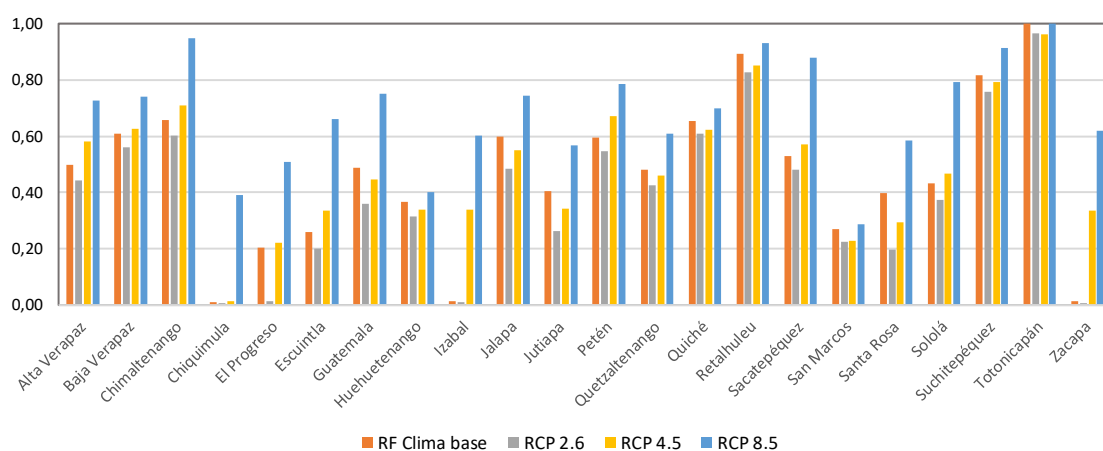


Figura A.6-13. Riesgo Físico,  $R_F$ , relativo por departamento, por escenario para Guatemala

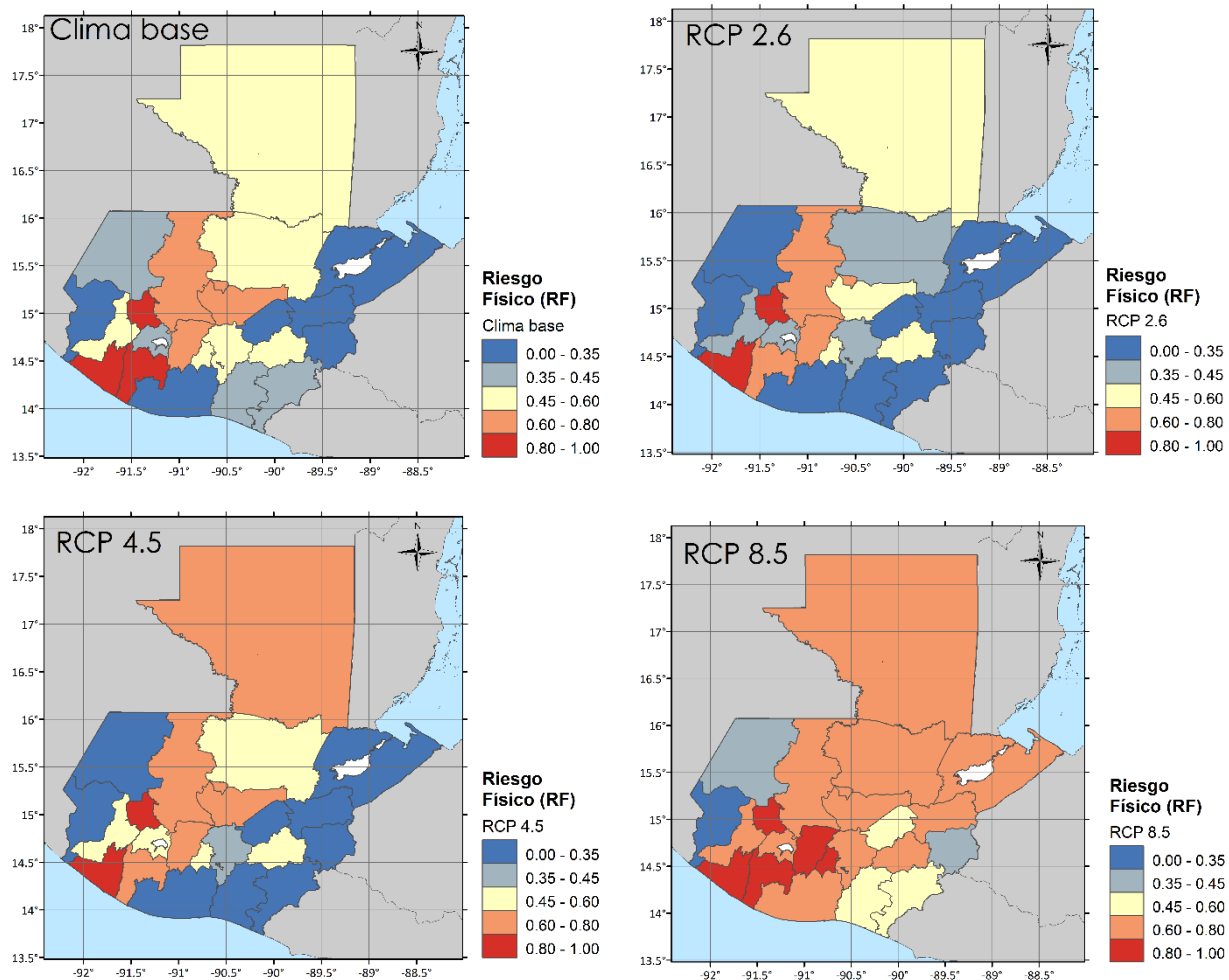


Figura A.6-14. Riesgo Físico,  $R_F$ , en Guatemala por departamento, para los 4 escenarios considerados

Tabla A.6-14. Valores de Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento y por escenario para Guatemala

Departamento	Riesgo Total (RT)			
	RT Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Alta Verapaz	0,84	0,74	0,98	1,22
Baja Verapaz	0,89	0,82	0,91	1,08
Chimaltenango	0,96	0,88	1,03	1,38
Chiquimula	0,01	0,01	0,02	0,60
El Progreso	0,27	0,02	0,30	0,68
Escuintla	0,33	0,25	0,43	0,84
Guatemala	0,60	0,44	0,55	0,93
Huehuetenango	0,55	0,47	0,50	0,60
Izabal	0,02	0,01	0,49	0,87
Jalapa	0,87	0,70	0,80	1,08
Jutiapa	0,54	0,35	0,46	0,76
Petén	0,84	0,77	0,94	1,10
Quetzaltenango	0,68	0,60	0,65	0,86
Quiché	1,02	0,95	0,97	1,09
Retalhuleu	1,19	1,11	1,14	1,25
Sacatepéquez	0,72	0,65	0,78	1,20
San Marcos	0,43	0,36	0,37	0,46
Santa Rosa	0,54	0,27	0,40	0,80
Sololá	0,70	0,60	0,75	1,28
Suchitepéquez	1,14	1,06	1,11	1,28
Totonicapán	1,51	1,45	1,45	1,51
Zacapa	0,02	0,01	0,48	0,88

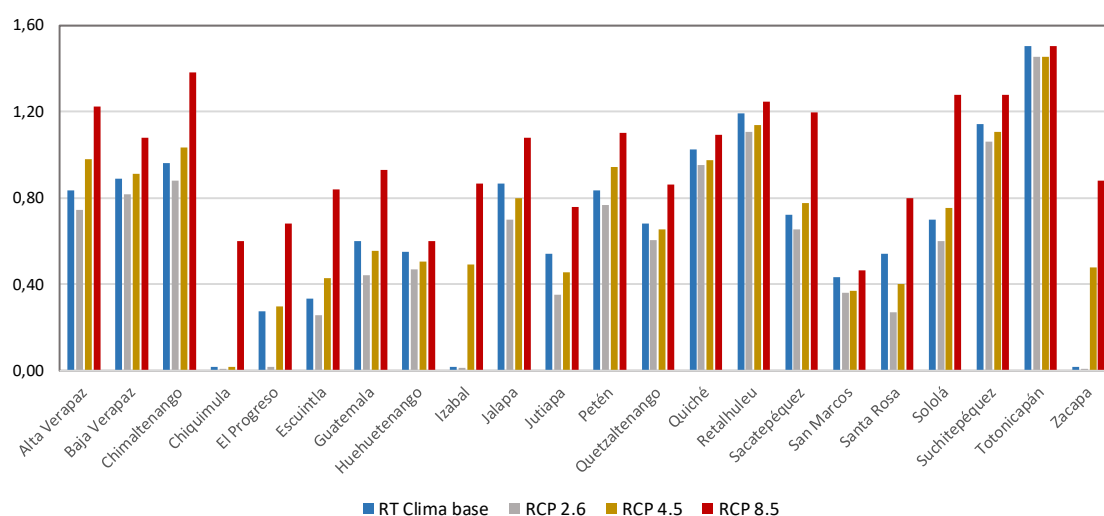


Figura A.6-15. Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento, por escenario para Guatemala

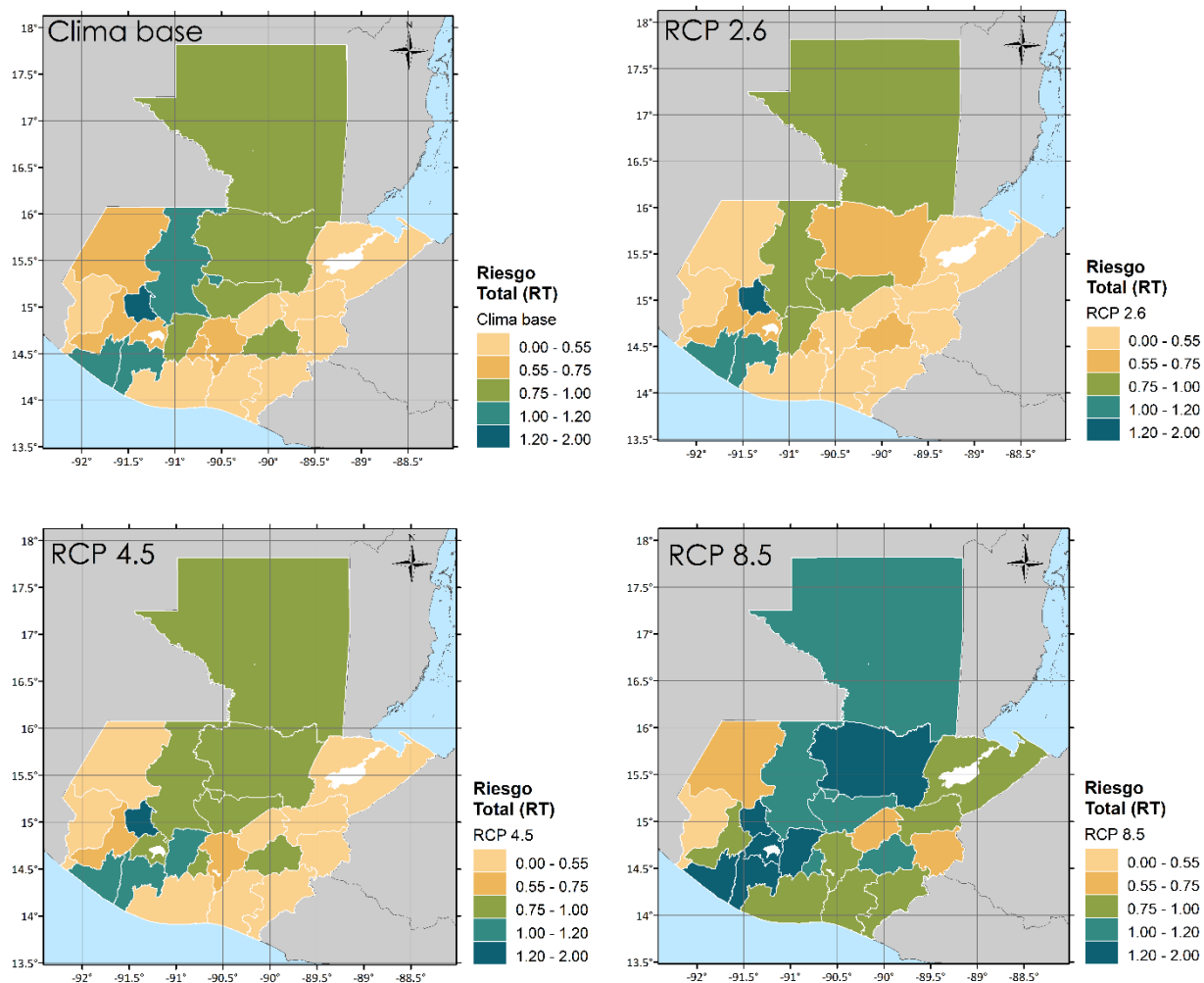


Figura A.6-16. Riesgo Total,  $R_T$ , relativo en Guatemala por departamento, para los 4 escenarios considerados

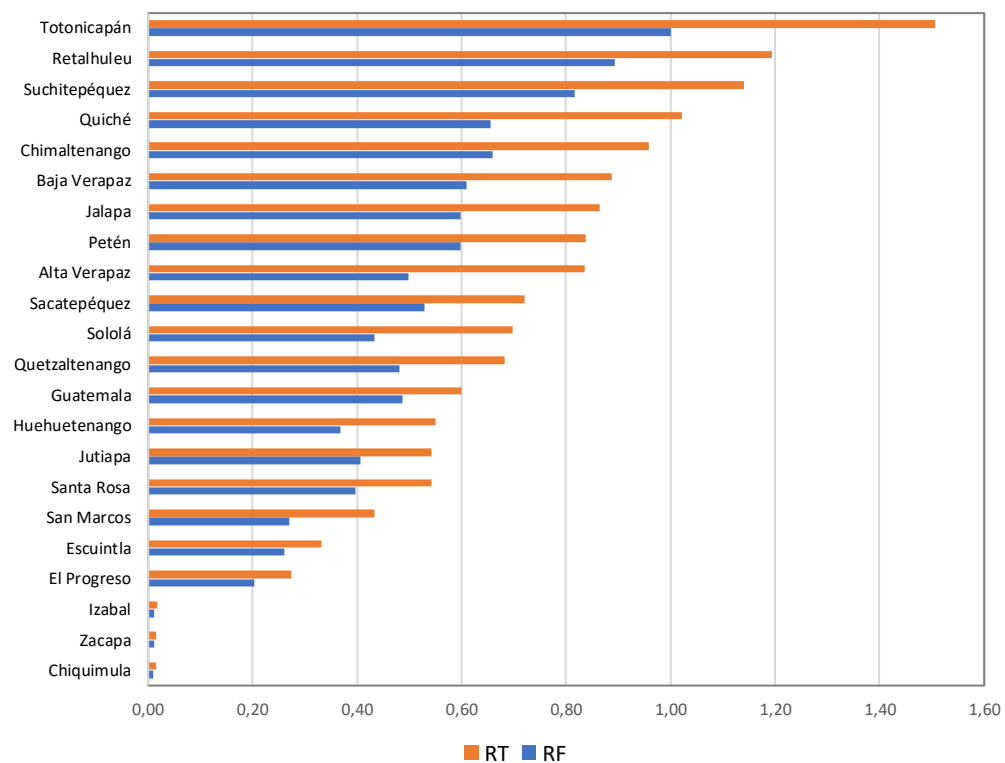


Figura A.6-17. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Guatemala para el escenario Clima Base

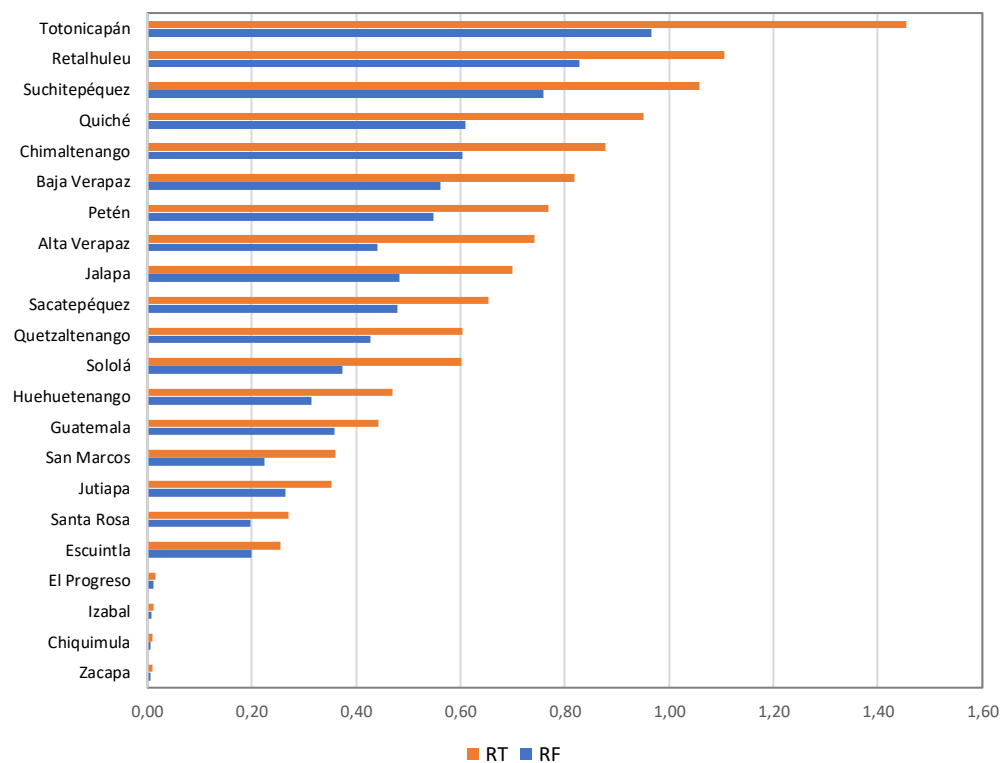


Figura A.6-18. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Guatemala para el escenario RCP 2.6

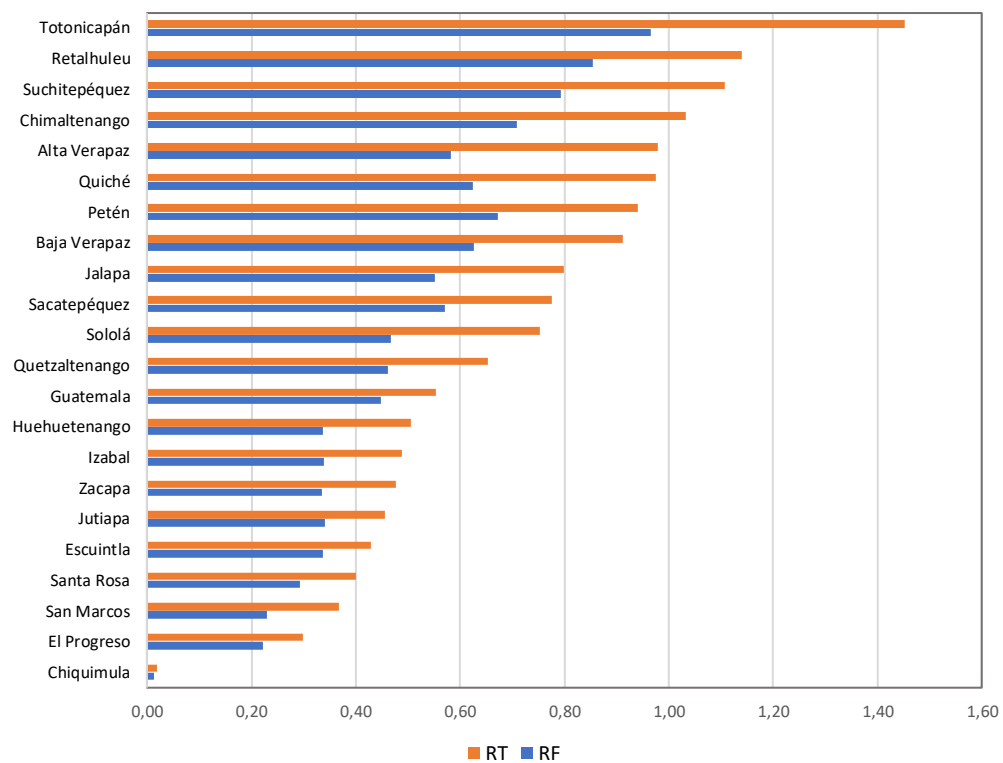


Figura A.6-19. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Guatemala para el escenario RCP 4.5

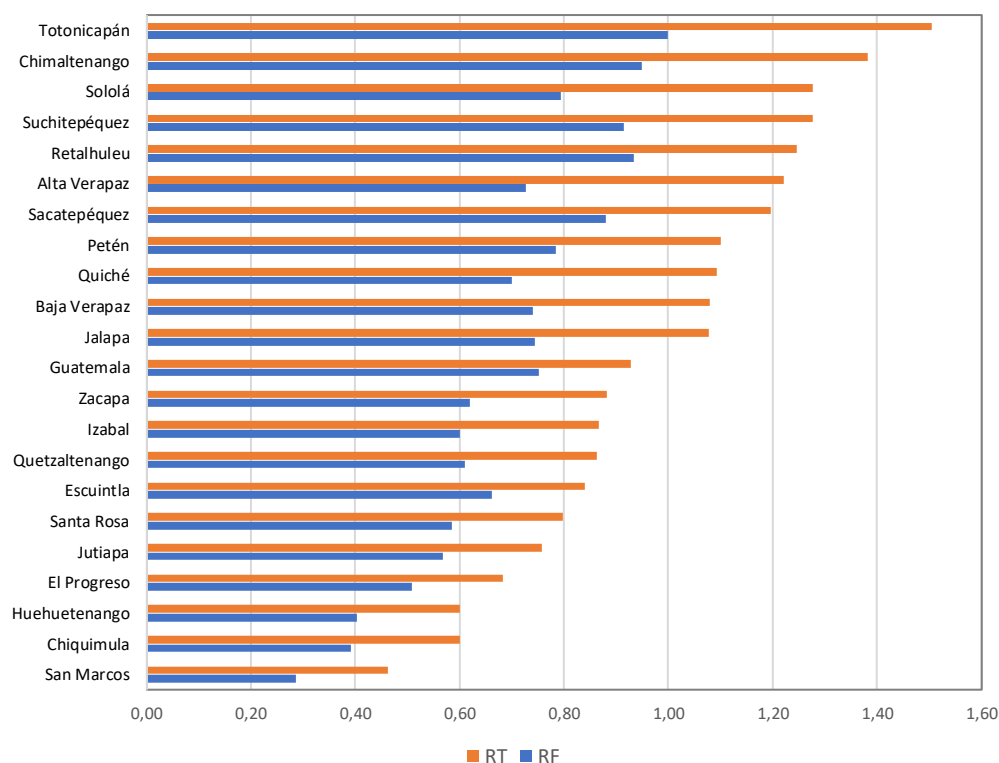


Figura A.6-20. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Guatemala para el escenario RCP 8.5

#### A. 9.5 Evaluación holística del riesgo para Honduras

Para caracterizar las condiciones de fragilidad social y falta de resiliencia en Honduras se utilizaron los indicadores incluidos en la Tabla A.6-15. La Tabla A.6-16 presenta los valores máximo y mínimo utilizados para constituir las funciones de transformación utilizadas para normalizar cada uno de los indicadores. Tal y como se utilizaron en la evaluación de El Salvador, tanto el Índice de Desarrollo Humano como el Coeficiente de Gini se utilizaron de forma directa al ser ya índices con valores comprendidos entre 0 y 1.

Tabla A.6-15. Indicadores de fragilidad social y resiliencia

	Indicador	Año	Unidades
$X_{FS1}$	Tasa analfabetismo	2013	% de la población
$X_{FS2}$	Desnutrición crónica niños menores de 5años (talla)	2011-2012	% de la población
$X_{FS3}$	Relación de dependencia	2013	Relación entre 0-1
$X_{FS4}$	Índice de pobreza multidimensional (IPM)	2009	Índice entre 0-1
$X_{FS5}$	Índice de Envejecimiento ( $\#>65 / \#<15$ ) *100	2013	% de la población
$X_{LR1}$	Índice de Desarrollo Humano (IDH)	2011	Índice entre 0-1
$X_{LR2}$	Partos con atención profesional	2011-2012	% de partos

Tabla A.6-16. Valores utilizados para las funciones de transformación



Indicador	Xmin	Xmax	Tipo de función
Tasa analfabetismo	5	25	s
Desnutrición crónica niños menores de 5 años (en talla)	0	10	s
Relación de dependencia	0	0.3	s
Índice de pobreza multidimensional (IPM)	-	-	-
Índice de Envejecimiento ( $\#>65 / \#<15$ ) *100	15	30	z
Índice de desarrollo Humano (IDH)	-	-	-
Partos con atención profesional	50	80	z

La Tabla A.6-17 presenta los valores originales de los factores de fragilidad social y falta de resiliencia. La Tabla A.6-18 presenta los valores de los factores de agravamiento obtenidos mediante la aplicación de las funciones de transformación a los valores de la Tabla A.6-17 y el Coeficiente de Agravamiento resultante para cada uno de los departamentos de Honduras. La Figura A.6-22 presenta los resultados obtenidos para el Coeficiente de agravamiento.

Tabla A.6-17. Valores de los indicadores de fragilidad social y falta de resiliencia

Departamento	X <sub>FS1</sub> <sup>28</sup>	X <sub>FS2</sub> <sup>29</sup>	X <sub>FS3</sub> <sup>30</sup>	X <sub>FS4</sub>	X <sub>FS5</sub>	X <sub>LR1</sub>	X <sub>LR2</sub>
Atlántida	10.52	4	0.69	0.076	14.56	0.731	89
Choluteca	17.73	5.2	0.69	0.194	17.5	0.671	74.9
Colón	15.39	4.9	0.77	0.154	12.09	0.685	76.2
Comayagua	14.77	6.2	0.75	0.177	12.21	0.682	86.8
Copán	23.74	9.8	0.75	0.277	13.07	0.632	74.4
Cortés	8.55	2.7	0.61	0.057	12.62	0.746	93
El Paraíso	18.51	5.2	0.69	0.237	14.82	0.648	71.5
Francisco Morazán	8.74	3.2	0.57	0.069	16.38	0.763	92.2
Gracias a Dios	16.01	4.1	0.79	-	7.53	0.615	60.5
Intibucá	18.63	17.5	0.8	0.328	11.35	0.618	66.6
Islas de la Bahía	4.19	1.6	0.64	-	9.59	0.761	95
La Paz	16.72	13.4	0.76	0.244	12.01	0.654	77.2

<sup>28</sup> XVII Censo de Población (2013). Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.gob.hn>

<sup>29</sup> Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDESA) 2011-2012. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.gob.hn/index.php/25-publicaciones-ine/67-endesa-2011-2012>

<sup>30</sup> Informe sobre desarrollo humano 2011. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). [http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/library/mdg/INDH\\_2011.html](http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/library/mdg/INDH_2011.html)

Lempira	25.36	19.5	0.83	0.394	11.52	0.592	66.7
Ocatepeque	21.29	9.2	0.7	0.278	13.55	0.637	83.8
Olancho	19.95	3.2	0.77	0.244	12.33	0.660	76.7
Santa Bárbara	22.34	5.5	0.73	0.245	16.52	0.631	82.3
Valle	17.69	3.6	0.72	0.166	18.19	0.678	88.8
Yoro	15.1	6.8	0.74	0.158	14.36	0.689	78.9

Tabla A.6-18. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , y factores componentes

Departamento	Factores de Fragilidad Social					Factores de Falta de Resiliencia		
	$F_{FS1}$	$F_{FS2}$	$F_{FS3}$	$F_{FS4}$	$F_{FS5}$	$F_{LR1}$	$F_{LR2}$	$F$
Atlántida	0.15	0.32	1.00	0.08	0.00	0.27	0.00	0.27
Choluteca	0.74	0.54	1.00	0.19	0.06	0.33	0.06	0.43
Colón	0.54	0.48	1.00	0.15	0.00	0.32	0.03	0.38
Comayagua	0.48	0.71	1.00	0.18	0.00	0.32	0.00	0.40
Copán	0.99	1.00	1.00	0.28	0.00	0.37	0.07	0.56
Cortés	0.06	0.15	1.00	0.06	0.00	0.25	0.00	0.23
El Paraíso	0.79	0.54	1.00	0.24	0.00	0.35	0.16	0.46
Francisco Morazán	0.07	0.20	1.00	0.07	0.02	0.24	0.00	0.24
Gracias a Dios	0.60	0.34	1.00	0.00	0.00	0.39	0.76	0.46
Intibucá	0.80	1.00	1.00	0.33	0.00	0.38	0.40	0.59
Islas de la Bahía	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.19
La Paz	0.66	1.00	1.00	0.24	0.00	0.35	0.02	0.49
Lempira	1.00	1.00	1.00	0.39	0.00	0.41	0.39	0.63
Ocatepeque	0.93	0.99	1.00	0.28	0.00	0.36	0.00	0.53
Olancho	0.87	0.20	1.00	0.24	0.00	0.34	0.02	0.40
Santa Bárbara	0.96	0.60	1.00	0.25	0.02	0.37	0.00	0.48
Valle	0.73	0.26	1.00	0.17	0.09	0.32	0.00	0.38
Yoro	0.51	0.80	1.00	0.16	0.00	0.31	0.00	0.42

Ranking de los departamentos en Honduras por Coeficiente de Agravamiento del riesgo

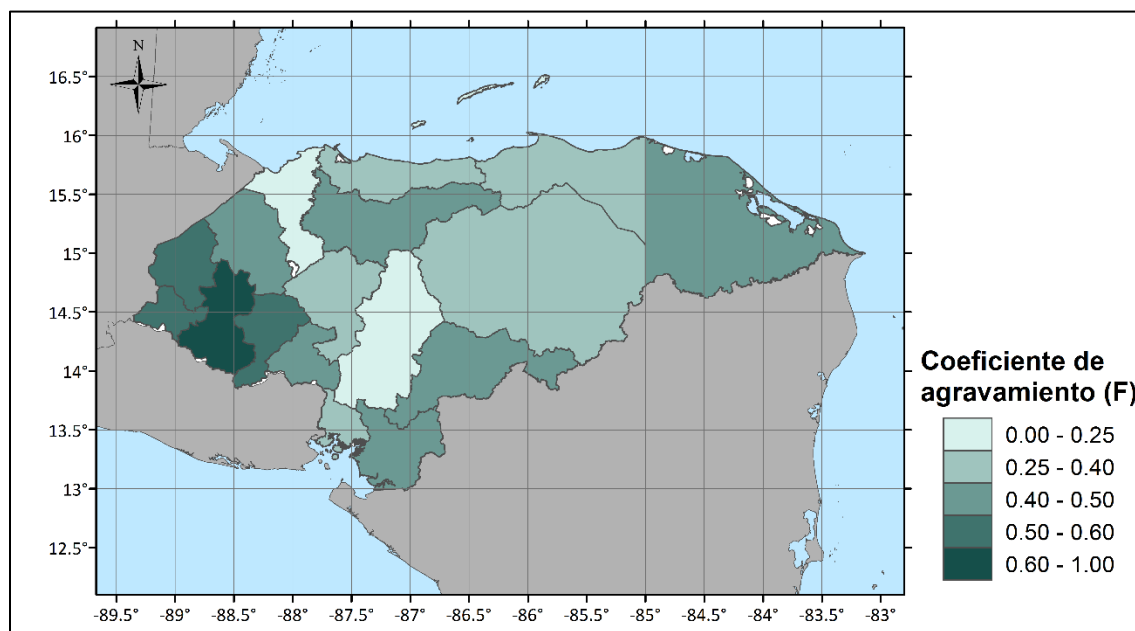
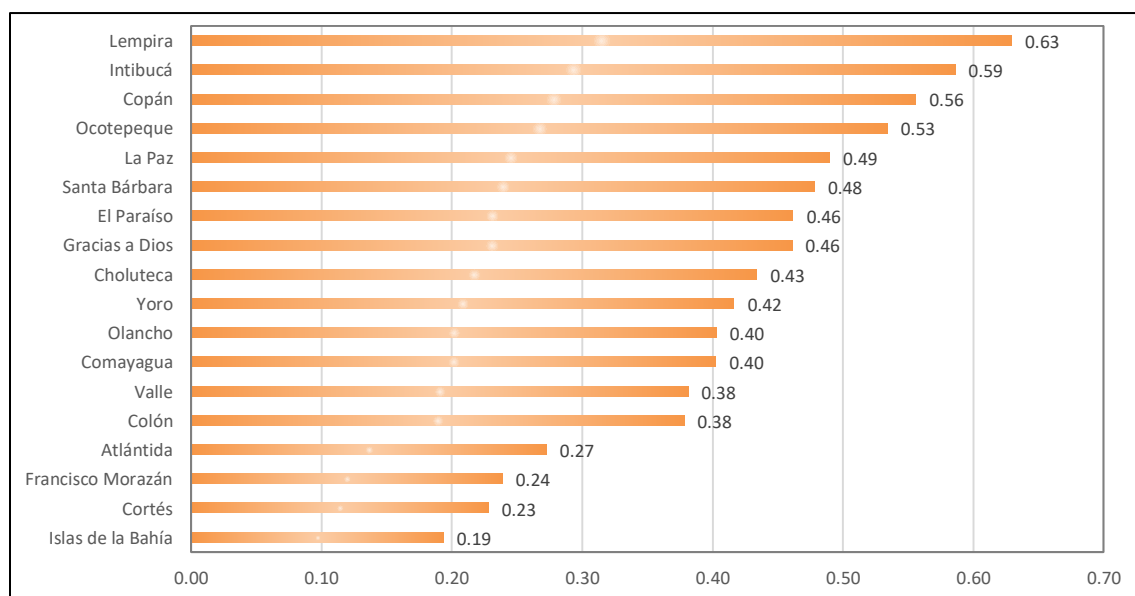


Figura A.6-22. Coeficiente de agravamiento,  $F$ , para los departamentos de Honduras

El riesgo físico para esta evaluación tiene en cuenta la pérdida anual esperada en términos relativos (Tabla A.6-19) para cuatro escenarios posibles: Clima base, RCP 2.6, RCP 4.5 y RCP 8.5. Las figuras A.6-23 a A.6-30 presentan los resultados obtenidos para Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo total,  $R_T$ , para los cuatro escenarios considerados.

Tabla A.6-19. Pérdida Anual Esperada por departamento

Departamento	Clima Base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
--------------	------------	---------	---------	---------

	<b>PAE Relativo (%)</b>	<b>PAE Relativo (%)</b>	<b>PAE Relativo (%)</b>	<b>PAE Relativo (%)</b>
Atlántida	9.04%	5.03%	9.34%	12.89%
Choluteca	4.93%	4.44%	5.73%	9.38%
Colón	2.92%	1.71%	3.35%	5.89%
Comayagua	9.20%	6.66%	11.34%	14.87%
Copán	3.48%	2.75%	3.61%	5.16%
Cortés	8.47%	4.47%	12.22%	16.07%
El Paraíso	4.84%	4.02%	6.74%	10.06%
Francisco Morazán	7.00%	5.56%	9.74%	13.39%
Gracias a Dios	9.29%	8.08%	8.61%	13.29%
Intibucá	2.31%	2.09%	4.27%	7.06%
Islas de la Bahía				
La Paz	2.40%	2.09%	5.65%	8.86%
Lempira	7.18%	5.29%	7.12%	9.42%
Ocotepeque	2.64%	2.02%	2.45%	3.84%
Olancho	8.97%	7.15%	9.28%	12.93%
Santa Bárbara	7.84%	5.11%	11.97%	15.91%
Valle	5.17%	4.99%	6.30%	10.09%
Yoro	8.52%	5.24%	9.61%	13.19%

Tabla A.6-20. Valores de Riesgo Físico,  $R_F$ , relativo por departamento y por escenario para Honduras

Departamento	Riesgo Físico (RF)			
	Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Atlántida	0,81	0,60	0,83	0,94
Choluteca	0,59	0,55	0,64	0,83
Colón	0,40	0,20	0,45	0,66
Comayagua	0,82	0,70	0,90	1,00
Copán	0,46	0,37	0,47	0,61
Cortés	0,79	0,55	0,92	1,00
El Paraíso	0,58	0,51	0,70	0,85
Francisco Morazán	0,72	0,63	0,84	0,96
Gracias a Dios	0,82	0,77	0,80	0,96
Intibucá	0,31	0,27	0,54	0,72
Islas de la Bahía	0,00	0,00	0,00	0,00
La Paz	0,32	0,27	0,64	0,81
Lempira	0,73	0,61	0,72	0,83
Ocotepeque	0,36	0,26	0,33	0,50
Olancho	0,81	0,73	0,82	0,95
Santa Bárbara	0,76	0,60	0,92	1,00
Valle	0,61	0,59	0,68	0,85
Yoro	0,79	0,61	0,84	0,95

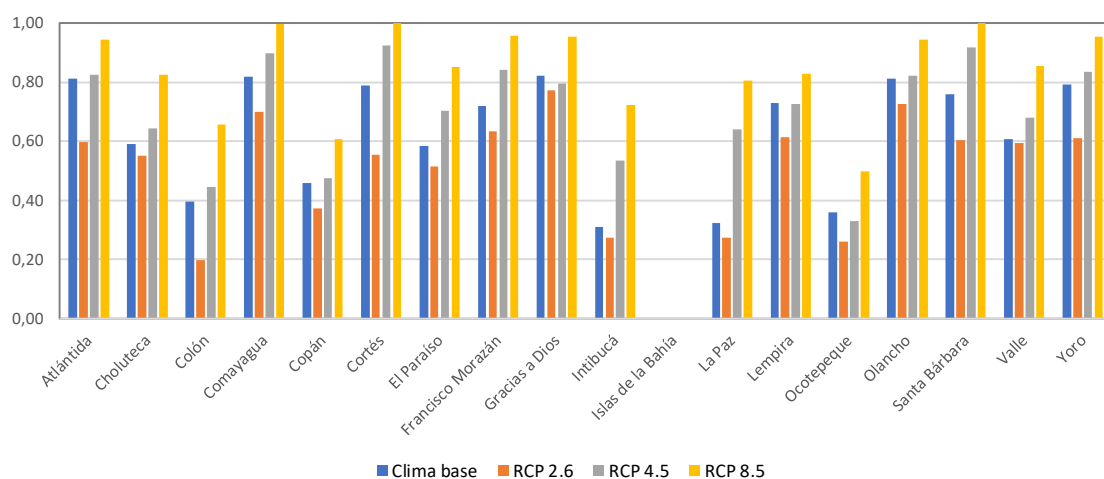
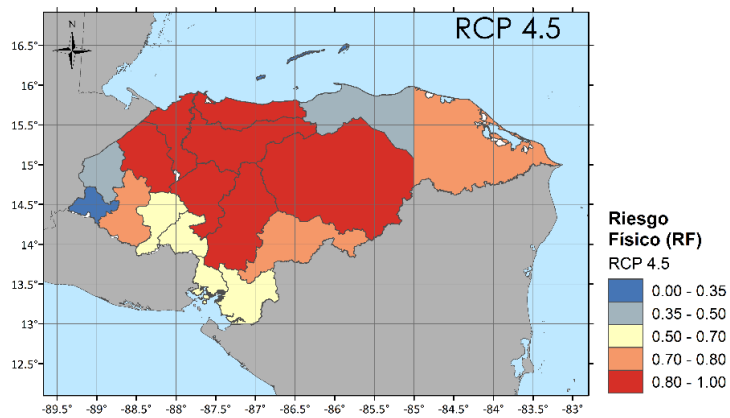
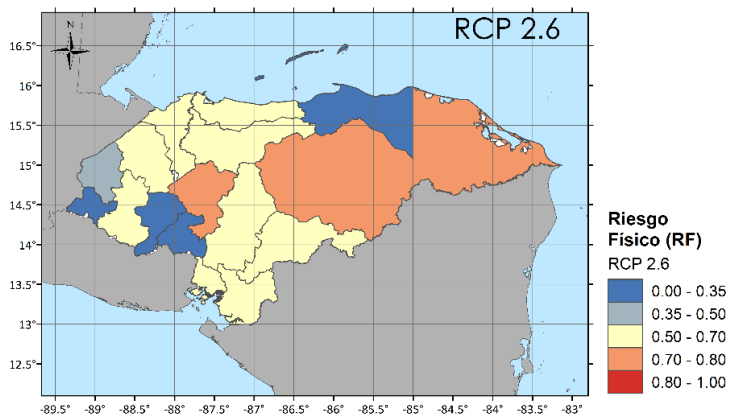
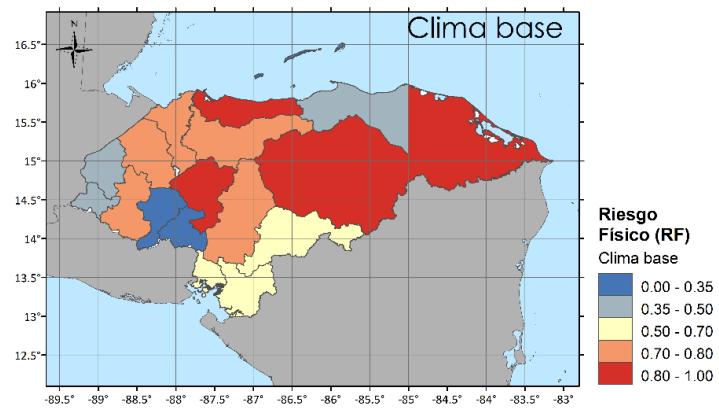


Figura A.6-23. Riesgo Físico,  $R_F$ , relativo por departamento, por escenario para Honduras



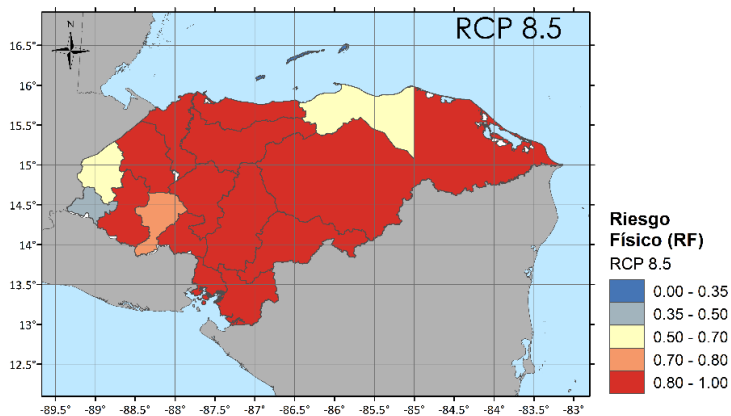


Figura A.6-24  
Riesgo Físico,  $R_F$ ,  
relativo en  
Honduras por  
departamento, para  
los 4 escenarios  
considerados

Tabla A.6-21. Valores de Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento y por escenario para Honduras

Departamento	Riesgo Total (RT)			
	Clima base	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Atlántida	1,03	0,76	1,05	1,20
Choluteca	0,84	0,79	0,92	1,19
Colón	0,54	0,27	0,61	0,90
Comayagua	1,15	0,98	1,26	1,40
Copán	0,72	0,58	0,74	0,94
Cortés	0,97	0,68	1,14	1,23
El Paraíso	0,85	0,75	1,03	1,25
Francisco Morazán	0,89	0,78	1,04	1,19
Gracias a Dios	1,20	1,13	1,16	1,40
Intibucá	0,49	0,43	0,85	1,14
Islas de la Bahía	0,00	0,00	0,00	0,00
La Paz	0,48	0,41	0,95	1,20
Lempira	1,19	1,00	1,18	1,35
Ocotepeque	0,55	0,40	0,51	0,76
Olancho	1,14	1,02	1,15	1,33
Santa Bárbara	1,12	0,89	1,35	1,48
Valle	0,84	0,82	0,94	1,18
Yoro	1,12	0,87	1,18	1,35

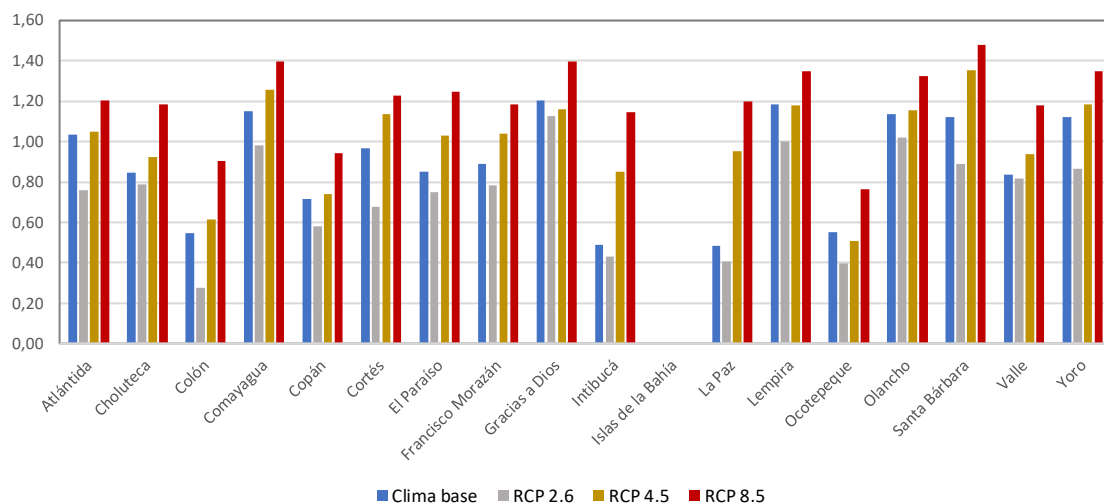
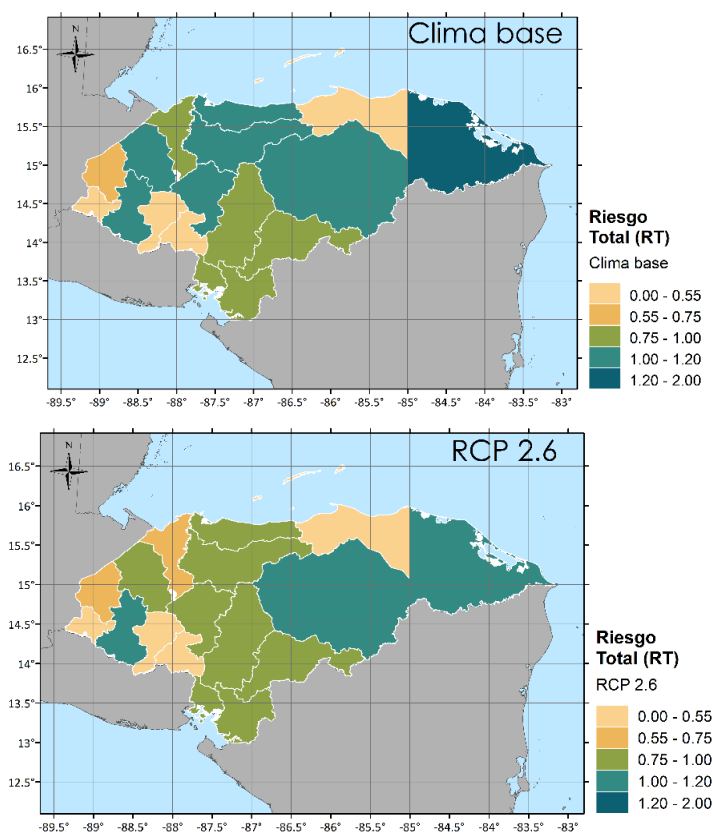


Figura A.6-25. Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento, por escenario para Honduras





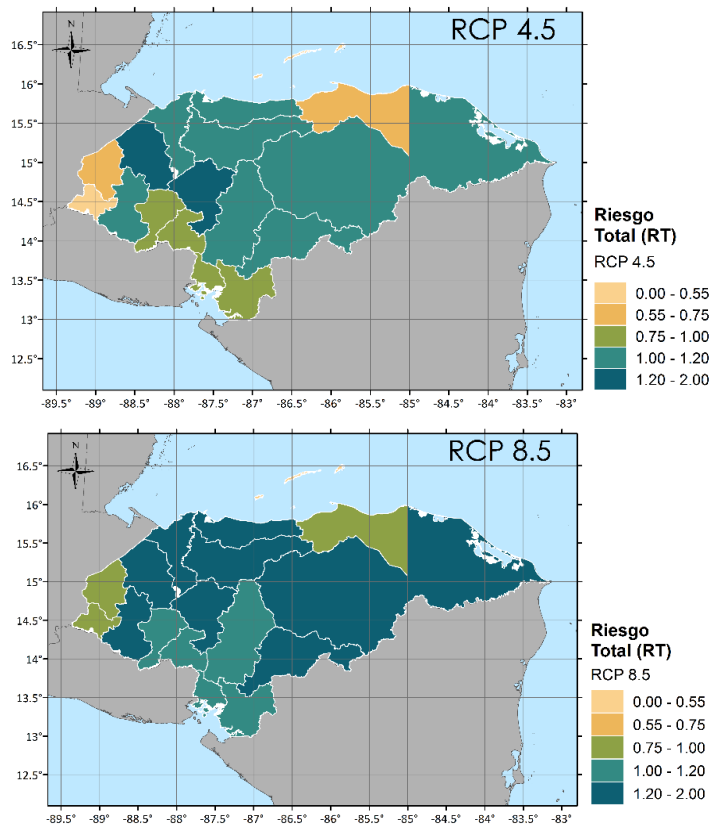


Figura A.6-26.  
Riesgo Total,  $R_T$ ,  
relativo en  
Honduras por  
departamento, para  
los 4 escenarios  
considerados

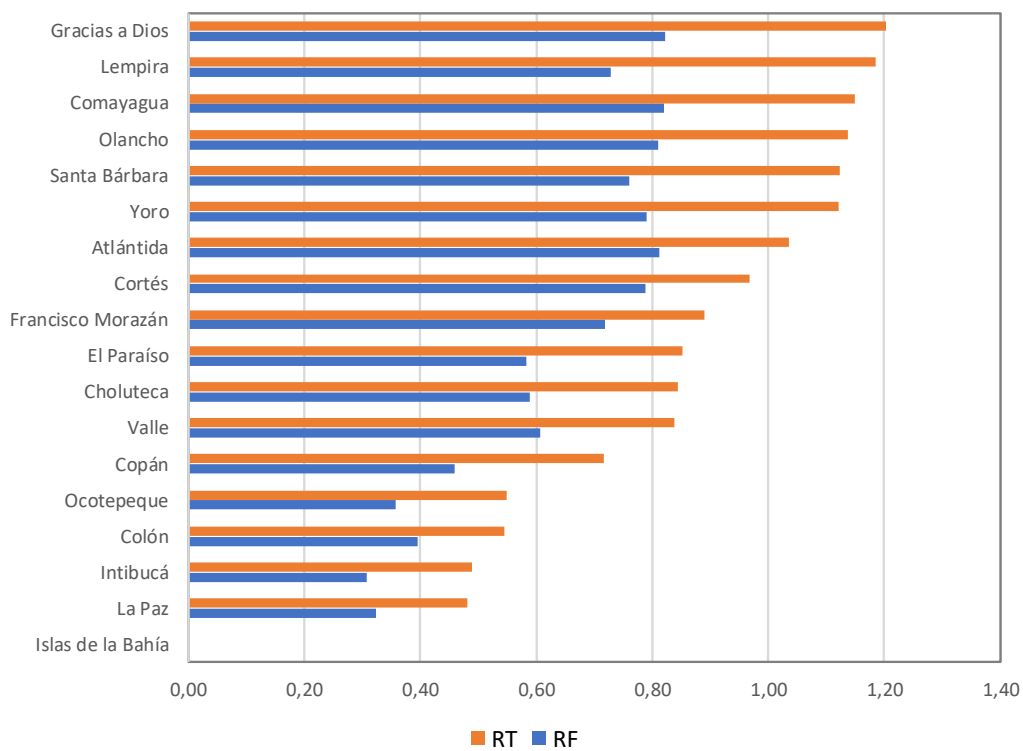


Figura A.6-27. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Honduras para el escenario Clima Base

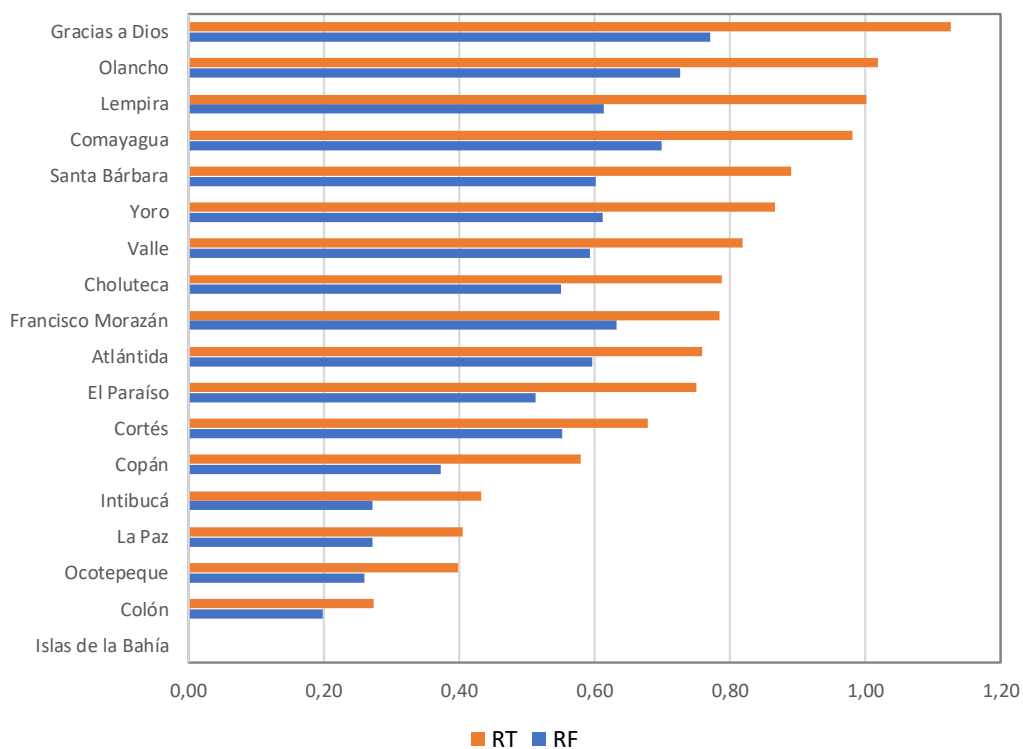


Figura A.6-28. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Honduras para el escenario RCP 2.6

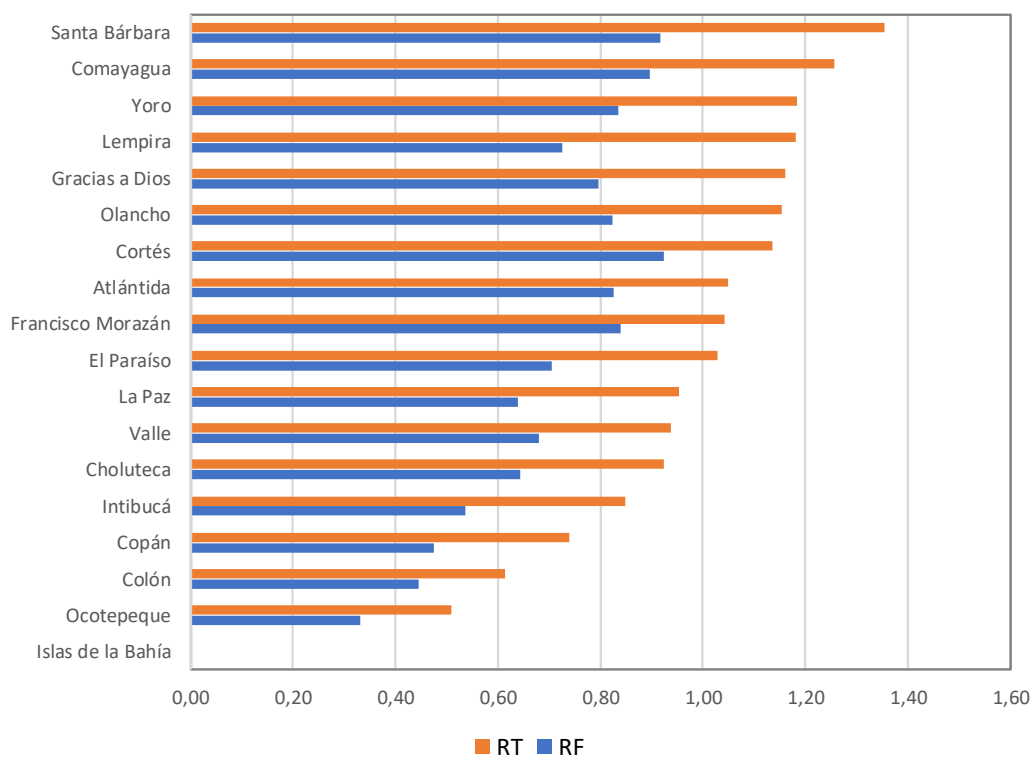


Figura A.6-29. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Honduras para el escenario RCP 4.5

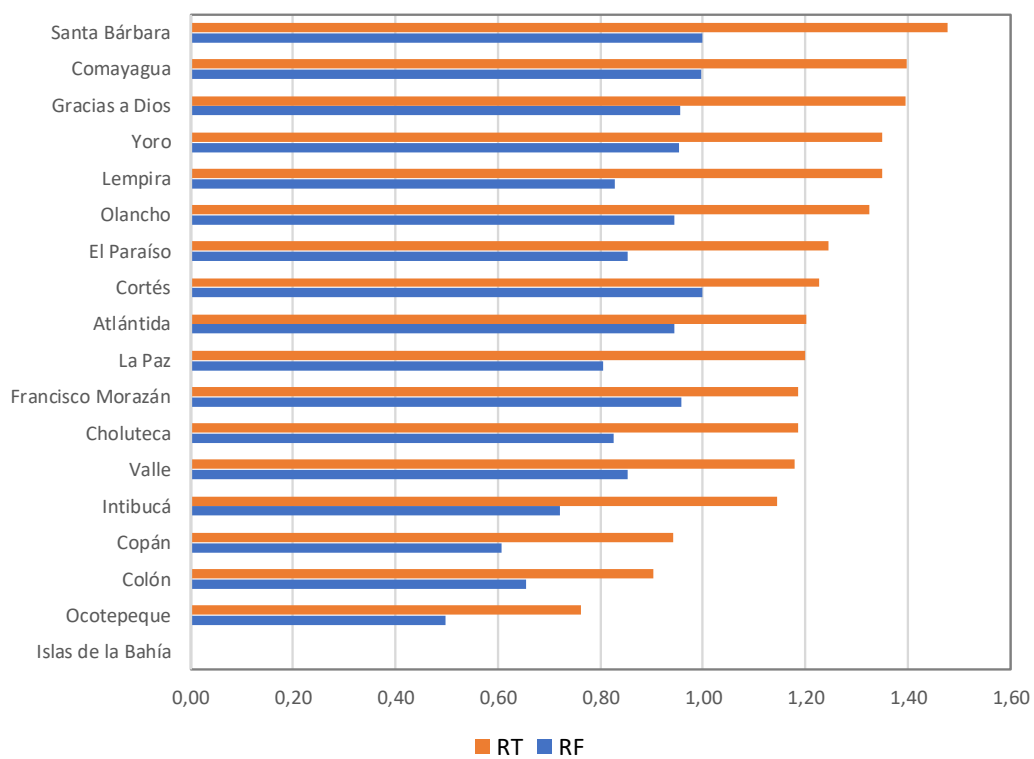


Figura A.6-30. Riesgo físico,  $R_F$ , y Riesgo Total,  $R_T$ , relativo por departamento en Honduras para el escenario RCP 8.5

## **A. 10 Condiciones estructurales condicionantes en el registro de impactos por desastres**

---

El registro de impactos por sequía en Centroamérica reviste una apreciable complejidad debido a una combinación de barreras estructurales y obstáculos propios de este tipo de riesgo. Esto explica por qué a la fecha, la imagen de los impactos de la sequía se compone de fragmentos de información, los que se han recopilado, además, desde hace relativamente poco tiempo. A continuación, se plantea una serie de factores que dificultan el análisis a varios niveles.

La revisión de información relacionada con daños y pérdidas asociadas con sequías en Centroamérica, y en concreto en los casos de El Salvador, Guatemala y Honduras, permite concluir que existen tres tipos de barreras genéricas que impiden desarrollar un análisis exhaustivo y detallado de los patrones de impacto en los países: calidad, cantidad, y comparabilidad y agregación de los datos.

### **A. 10.1 Calidad de los datos**

Los países adolecen de sistemas robustos de monitoreo que recolecten información útil a diferentes escalas. Las metodologías de recolección de datos, por lo menos para el caso de las sequías, no permiten estimar a cabalidad los impactos ni identificar la causalidad de los desastres a partir de la interacción de los impulsores subyacentes del riesgo. Ni en términos de monitoreo del fenómeno ni en los registros de impacto existen bases de datos que permitan establecer una clara relación de causalidad. Base de datos de desastres como DesInventar, que cuenta con registros de desastres por sequías, no están diseñadas para brindar la información de causalidad, duración del evento e impactos asociados a la amenaza.

Por otra parte, los países de la región cuentan con frágiles capacidades en sus sistemas estadísticos, situación que se viene profundizando desde finales de la pasada década de los ochenta. A raíz de ello, muchos de los compendios estadísticos están incompletos o han disminuido sus estándares de calidad y detalle geográfico. Existen importantes vacíos de información durante las pasadas décadas de los 80 y 90 (Ver Sección 3.1.1); y la densidad de la red meteorológica viene disminuyendo en los últimos 15 años (UNISDR, 2011).

### **A. 10.2 Cantidad de datos**

En los países del área del Triángulo del Norte no existen suficientes datos para realizar los análisis necesarios para todos los sectores productivos ni todas las áreas geográficas. Analizar dinámicas y patrones asociados con la sequía requiere, por un lado, contar con largas series de información climática e hidrológica; pero además disponer de datos económicos y productivos que permitan apreciar variaciones en modalidades y extensiones de las actividades agropecuarias a lo largo del tiempo. Ninguna de las dos es la situación para los países del proyecto. En el mejor de los casos existe información para áreas específicas, las que, por razones varias, como relevancia productiva, por ejemplo, han estado en el centro de la atención de procesos científicos o institucionales, como las zonas de producción de caña de azúcar, en Guatemala; o las zonas cafetaleras de El Salvador. Sin embargo, en términos generales, en el caso de los tres países es difícil hallar compendios de información que permitan hacer un diagnóstico representativo y robusto para la totalidad del territorio.

### **A. 10.3 Comparabilidad y agregación de los datos**

Las dificultades en términos de comparabilidad y agregación de la información pueden ser clasificadas en tres categorías:

- Análisis sectoriales

La mayoría de la literatura disponible presenta estimaciones generales y aproximadas para los impactos registrados en el sector agropecuario; sin embargo, bajo las grandes estimaciones que se presentan, se

encierra una apreciable diversidad que, debido a la naturaleza de la actividad, dificulta la estandarización la identificación de impactos registrados a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el registro de los impactos en la producción agrícola varía significativamente de la pecuaria; incluso dentro de estas dos grandes divisiones existe un amplio rango interno: los parámetros de contabilidad en la producción arroceras difieren de los de la producción de cítricos, hortalizas o sorgo; y la producción ganadera vacuna puede verse afectada de formas específicas y diferentes según sea de leche, de engorde o de doble propósito. Esta diversidad, que apenas se esboza superficialmente, dificulta la cuantificación de impactos de manera detallada y comparable.

- Unidades de medida

Los países del estudio carecen de mecanismos estandarizados para la estimación agregada de los impactos. Existe también una apreciable diversidad entre las unidades de medida que se utilizan para reportar el amplio rango de daños y pérdidas derivadas de los episodios de sequía. Esto plantea una barrera sustancial a la hora de presentar cifras agregadas, pues en muchas ocasiones los datos no son convertibles o comparables. Según el tipo de cultivo afectado, las estimaciones de impacto se cuantifican en unidades de peso de producto o área de cultivo afectada. En otros casos, las pérdidas se presentan en cantidad de dinero perdida por afectación en las cosechas. Otras instituciones realizan su contabilidad a partir de la cantidad de dinero invertido en atención a los damnificados, lo que a su vez puede contabilizarse en insumos agrícolas distribuidos, paquetes de alimentos o número de familias atendidas.

- Comparaciones entre países

La dimensión transfronteriza del riesgo de sequía justifica que los países reparen en el diseño e implementación de medidas de gestión del riesgo en el ámbito regional, que permitan maximizar y optimizar el uso de recursos técnicos y financieros, los cuales tienden a ser escasos en la región. La utilización de seguros paramétricos, por ejemplo, podría ser mucho más viable y costo/efectiva si los países lograrán estimar de mejor manera impactos agregados para sectores comunes. Sin embargo, las discrepancias en los métodos de cuantificación dificultan a los gobiernos, productores y entidades del sector privado diseñar productos de transferencia del riesgo y protección financiera que sean accesibles para los grupos de productores más vulnerables.

Cabe destacar que, adicionalmente, estos tres aspectos actúan de modo simultáneo, lo que torna el panorama técnico aún más complejo. La comparabilidad entre datos, por ejemplo climáticos, muchas veces no es posible en virtud de que pueden existir vacíos de información en un periodo específico. A nivel general también existe una asimetría entre la información disponible en la vertiente pacífica respecto a la caribe, por lo que los niveles de detalle son claramente distintos. Existen países que para ciertos cultivos tienen más y mejores compendios de información respecto a otros; en otras ocasiones, existen varias, dispersas y contradictorias fuentes de información, por ejemplo, las que aparecen reportadas por asociaciones de productores, organizaciones no gubernamentales, instituciones gubernamentales y entidades académicas.

#### **A. 10.4 Condiciones estructurales condicionantes en el registro de impactos por sequía**

Los elementos descritos anteriormente pueden ser extensibles a gran parte de las tareas de medición de impactos por desastres. Sin embargo, existen otros aspectos mucho más específicos de la sequía que condicionan la estimación de los impactos.

##### **A. 10.4.1 Vaguedad conceptual**

Las definiciones del concepto de sequía se cuentan por centenas (Wilhite y Glantz, 1985). Debido al desarrollo histórico de las disciplinas que se han ocupado de su estudio y los sectores e instituciones vinculadas, la sequía se interpreta de distintas maneras. Esto es un obstáculo central y estructural que,

mientras no se resuelva, seguirá sesgando la estimación de los impactos. Si la definición del fenómeno varía, en consecuencia, la valoración de los impactos será inexacta. Algunas de las confusiones más comunes que se han identificado son:

Tabla 0-1. Confusiones típicas en los conceptos de sequía

<b>Término</b>	<b>Relación con la sequía</b>	<b>Contexto genérico de aparición</b>
<b>Déficit de agua</b>	Es una manifestación posible de la sequía. Generalmente está definido por niveles establecidos de demanda de agua a partir de donde se establece el déficit.	El déficit no es un indicador exclusivo de la sequía y en muchas oportunidades se confunde fácilmente. La falta de agua puede obedecer a múltiples razones; además de la escasez de lluvia, puede tener su explicación en alteraciones de cuencas y otros cuerpos de agua superficial, el sobre uso de los recursos más allá de las capacidades de los ecosistemas o problemas con los mecanismos de distribución del agua.
<b>Zonas secas</b>	En principio las zonas secas tienen una mayor probabilidad de experimentar episodios de sequía. Dados los relativamente bajos niveles de precipitación, los umbrales para que la variabilidad climática pueda generar disminuciones significativas de lluvia son menores.	Las zonas secas se definen a partir de la precipitación que reciben. Con frecuencia se habla de sequía en casos en donde, debido a las condiciones ecológicas, las actividades que se han instalado no son compatibles con las condiciones climáticas del entorno o utilizan más recurso hídrico del que hay disponible.
<b>Inseguridad alimentaria</b>	Es una de las posibles manifestaciones de un desastre detonado por una sequía, especialmente en entornos en los que las comunidades dependen de sistemas agropecuarios de subsistencia. Sin embargo, las causas son mucho más complejas, y similar a como ocurre con la desertificación, el fenómeno juega en muchos casos un papel lateral dentro de los contextos de crisis.	La inseguridad alimentaria tiene un trasfondo estructural mucho más complejo y que va más allá del impacto de una sequía. Sus causas guardan una relación estrecha con fallas en los mercados y los gobiernos respecto a la regulación de los precios de los alimentos y la efectividad de sus políticas sociales básicas. Es difícil hallar casos de hambruna que no estén precedidos por condiciones exacerbadas de inequidad o pobreza, en donde la manifestación del evento natural se constituye en un mero detonante de una crisis estructural.

Fuente: Adaptado de Brenes (2017)

#### **A. 10.4.2 Diversidad del portafolio agropecuario**

El sector agropecuario de El Salvador, Guatemala y Honduras se compone de una importante diversidad interna. Más allá de una variedad de cultivos o tipos de producción pecuaria, el contexto es todavía más complejo en virtud de la variedad de modelos de producción y las características y condiciones de los productores. La realidad de los pequeños productores de granos básicos es claramente más vulnerable que la de muchos productores orientados hacia la agroindustria. El acceso a crédito, a transferencia tecnológica, a información, a tierra y a cadenas de comercialización condicionan la vulnerabilidad de grupos y territorios específicos y, en consecuencia, de los tipos de impacto y las magnitudes derivadas de la ocurrencia de la sequía.

La diversidad del portafolio agropecuario de estos países también se aprecia en las formas en que cada cultivo interacciona con las dinámicas naturales y, consecuentemente, puede verse impactado en momentos específicos de su ciclo productivo. Existen casos en donde el impacto de la sequía viene ligado a momentos concretos del desarrollo de la planta, y en donde, por ejemplo, la vulnerabilidad varía si el déficit de agua se da durante la germinación, etapas de crecimiento o durante la cosecha. Similar ocurre en el ámbito pecuario: según los estados de desarrollo, crianza y raza de los animales.

#### A. 10.4.3 Particularidades de la manifestación de las sequías

Al hablar de sequía conviene considerar, además de las formas en que se interpreta, también los múltiples patrones de manifestación y las dinámicas atmosféricas que determinan los momentos en que se desarrolla el fenómeno. En este sentido, cabe resaltar algunas nociones que prevalecen en la región y que pueden inducir a interpretaciones sesgadas o subvaloraciones de la ocurrencia del fenómeno.

- El vínculo con ENOS

Prevalece la idea de que ENOS guarda una relación explicativa directa con las sequías, lo que no siempre se cumple. En efecto, muchas de las sequías registradas durante los últimos 20 años guardan una relación, o al menos han ocurrido durante fases cálidas. No obstante, como la información estadística lo muestra, no todas las sequías pueden vincularse con la ocurrencia de ENOS. En los casos que se muestran en la Figura 0-1, la Figura 0-2 y la Figura 0-3 puede apreciarse cómo existen registros de déficit significativos fuera de periodos ENOS (resaltado por la sombra en las gráficas). Dicho de otro modo: es altamente probable que una fase cálida de ENOS incremente los niveles de déficit de precipitación; sin embargo, no todos los episodios de déficit (por lo tanto, no todas las sequías) se explican por acción de ENOS.

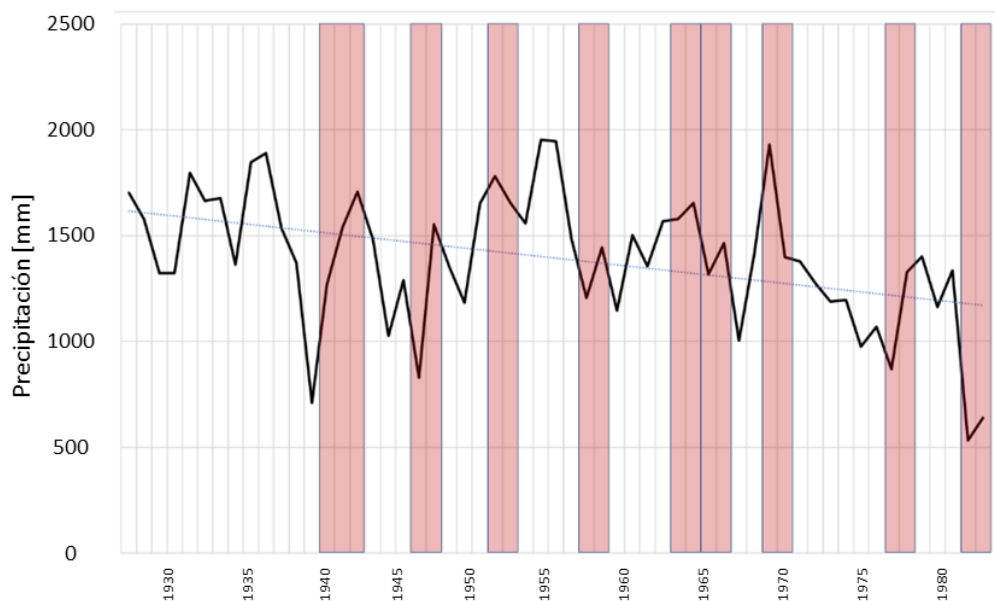


Figura 0-1. Precipitación anual acumulada (1927-1983) Estación Olomega. El Salvador.



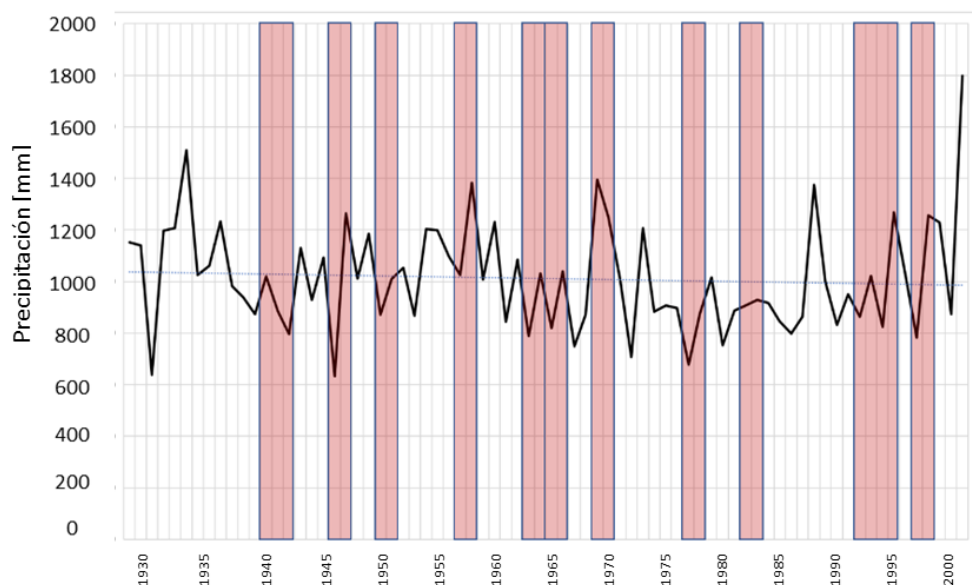


Figura 0-2. Precipitación anual acumulada (1928-2001) Estación INSIVUMEH. Guatemala

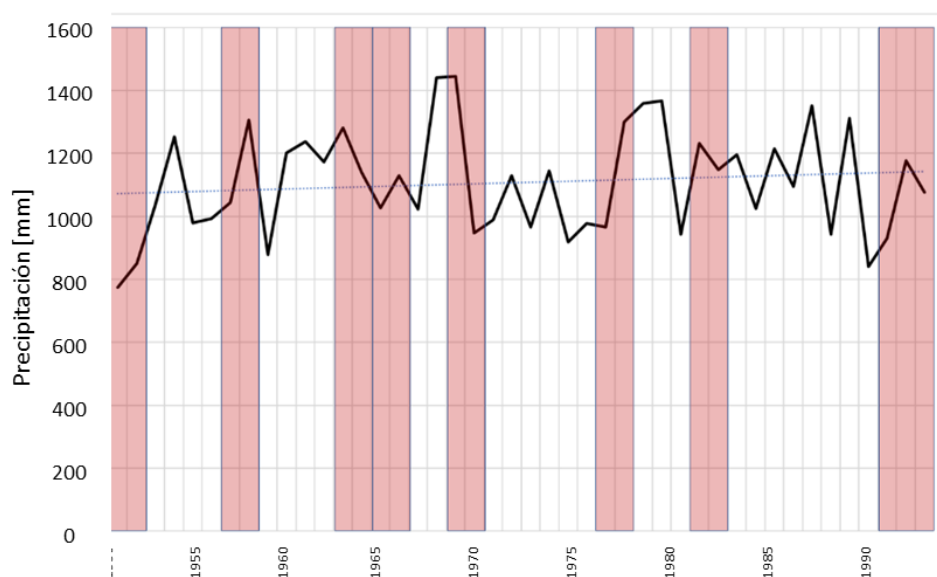


Figura 0-3. Precipitación anual acumulada (1955-1994). Estación Catcamas. Honduras

#### A. 10.4.4 Déficits en condiciones de “normalidad”

Aun dentro de años sin anomalías significativas, es común que prevalezcan condiciones de estrés hídrico en algunas regiones. Esto debido a que, ecológicamente, la región centroamericana tiene áreas xerófilas cuyas condiciones promedio de precipitación son comparativamente menores (aunque apreciablemente mayores que en otras regiones en donde, sin embargo, la sequía no tiene impactos tan severos).

Este es un elemento de relevancia y sin embargo poco estudiado hasta la fecha, pues en muchas ocasiones, bajo la idea de sequía, en realidad se contabilizan impactos cuya explicación radica en

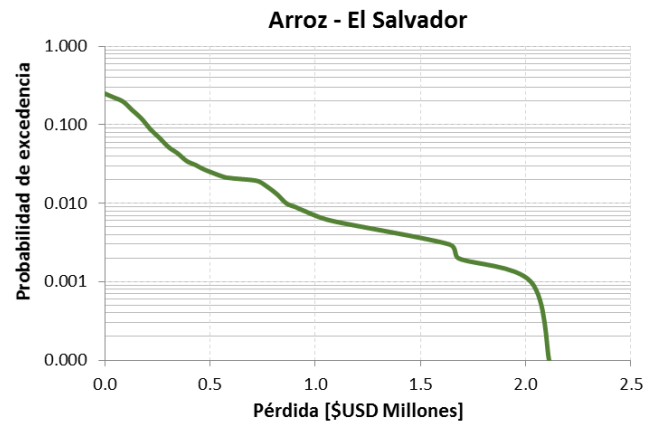
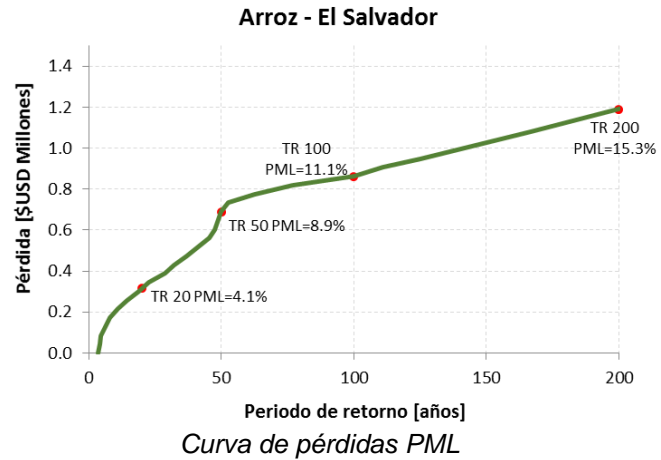
condiciones de conflicto entre las actividades productivas desarrolladas y la elasticidad y capacidad de carga de los ecosistemas. En Centroamérica existen significativos niveles de conflicto de uso del suelo; entre los efectos derivados puede contarse a los que se manifiestan en bajos rendimientos de las actividades agropecuarias ante la incompatibilidad con el entorno natural en el que se han emplazado.

## A. 11 Resultados de riesgo por cultivo

### A. 11.1 El Salvador

#### Arroz

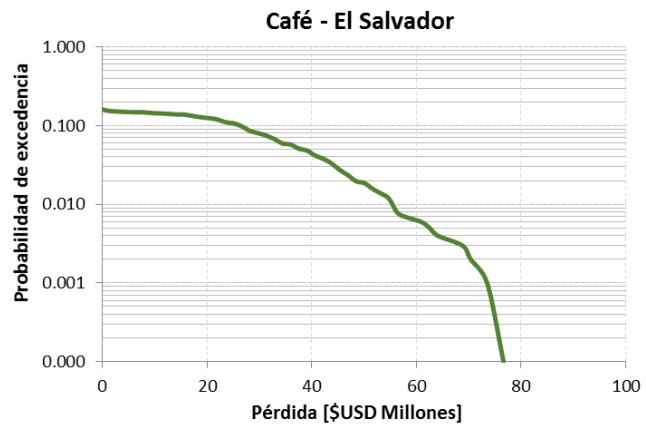
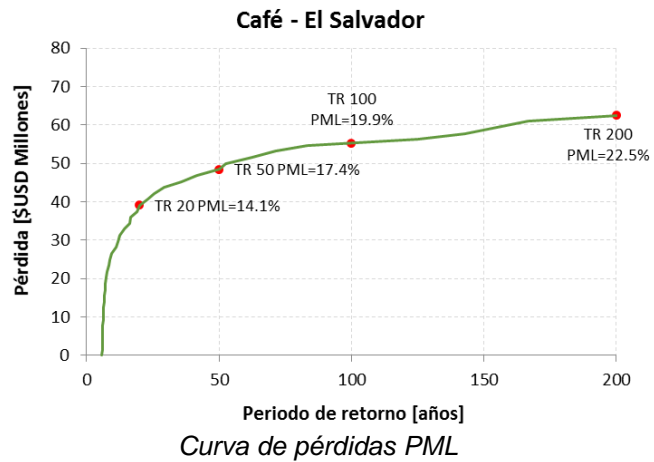
Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$7.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	0.85%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.315	4.1
50	\$0.690	8.9
100	\$0.863	11.1
200	\$1.190	15.3



Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

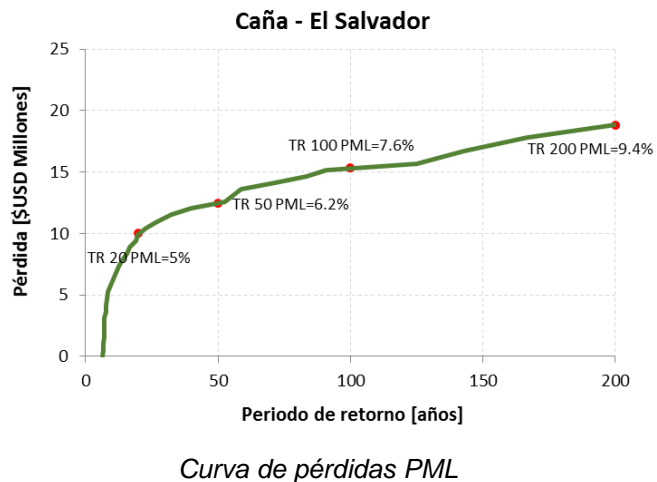
## Café

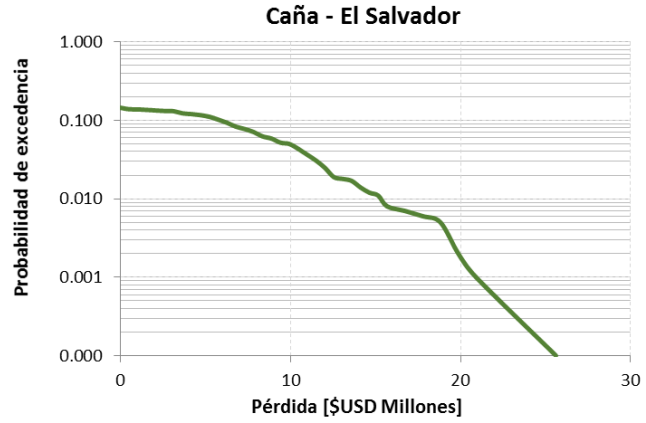
Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$278.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$5.4
	%	1.94%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$39.064	14.1
50	\$48.440	17.4
100	\$55.315	19.9
200	\$62.503	22.5



## Caña de Azúcar

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$201.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.3
	%	0.63%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$10.006	5.0
50	\$12.447	6.2
100	\$15.311	7.6
200	\$18.834	9.4

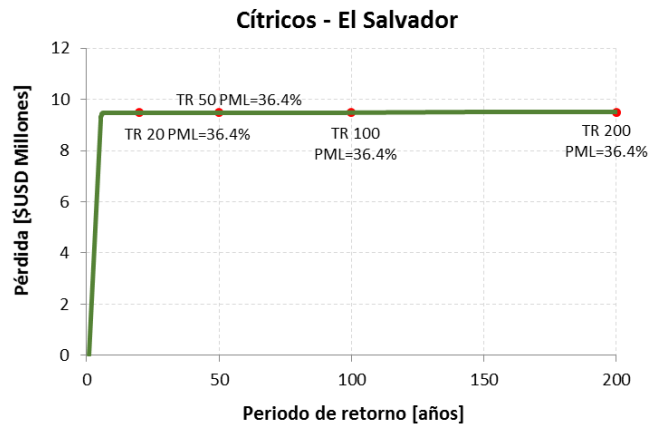




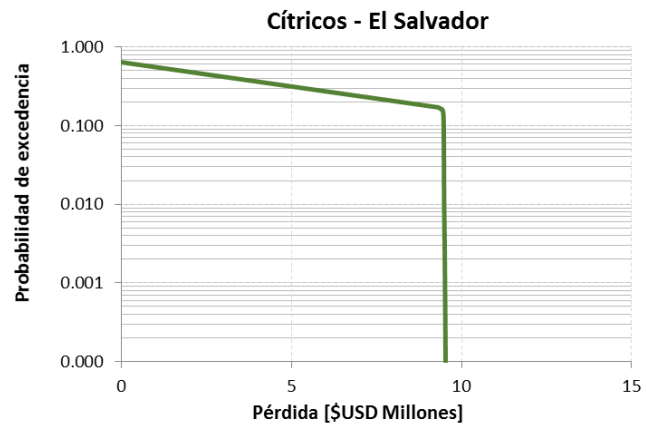
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

### Cítricos

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$26.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.8
	%	6.85%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$9.480	36.4
50	\$9.483	36.4
100	\$9.488	36.4
200	\$9.497	36.4



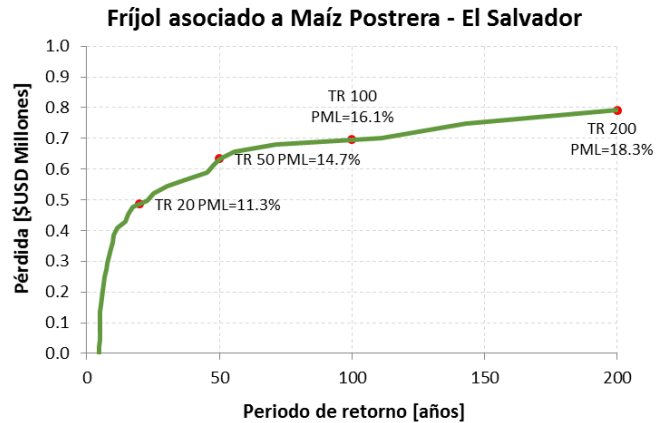
*Curva de pérdidas PML*



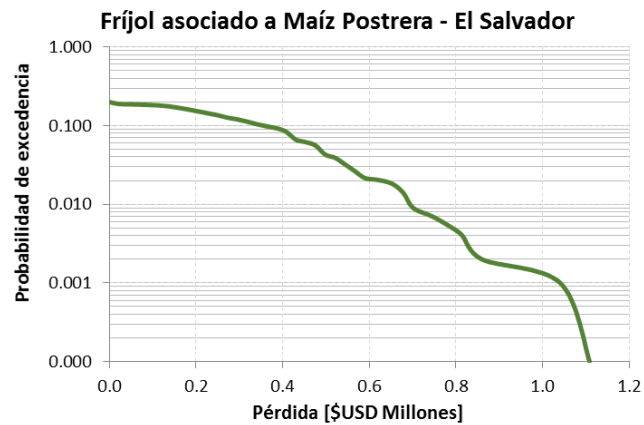
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

### Fríjol asociado a Maíz Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$4.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	1.82%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.487	11.3
50	\$0.634	14.7
100	\$0.695	16.1
200	\$0.792	18.3



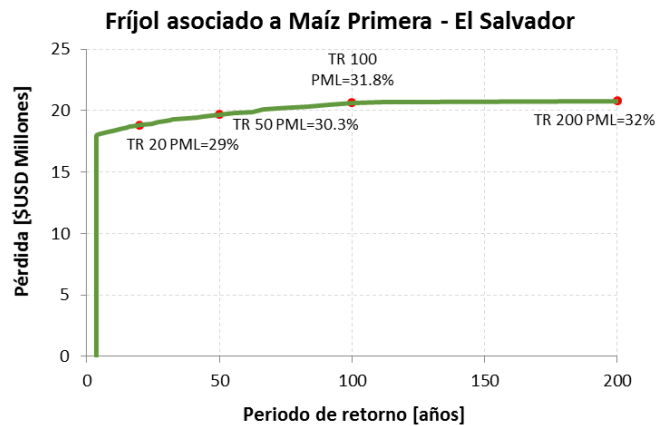
Curva de pérdidas PML



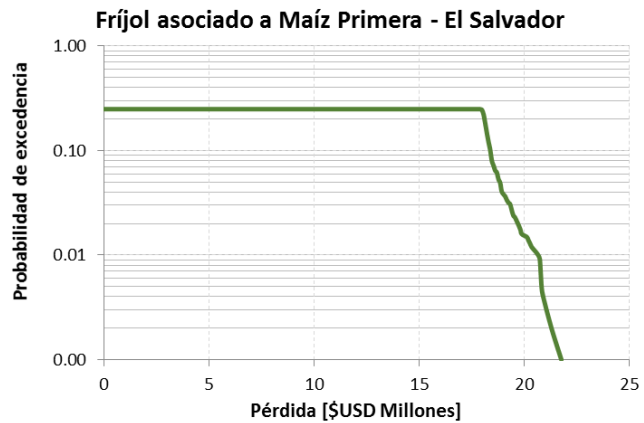
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

### Fríjol asociado a Maíz Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$65.0
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$5.3
	%	8.08%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$18.836	29.0
50	\$19.671	30.3
100	\$20.645	31.8
200	\$20.802	32.0



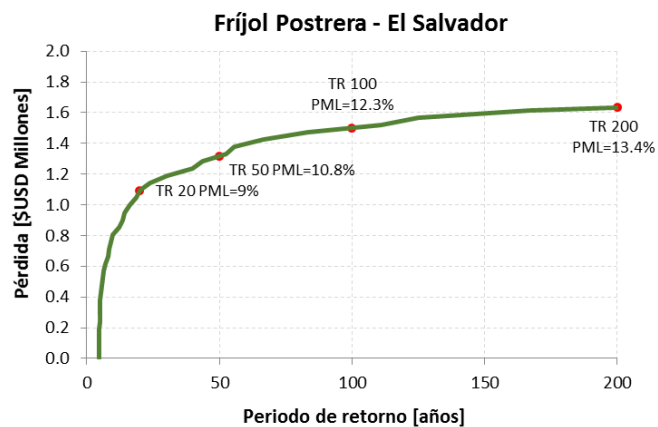
Curva de pérdidas PML



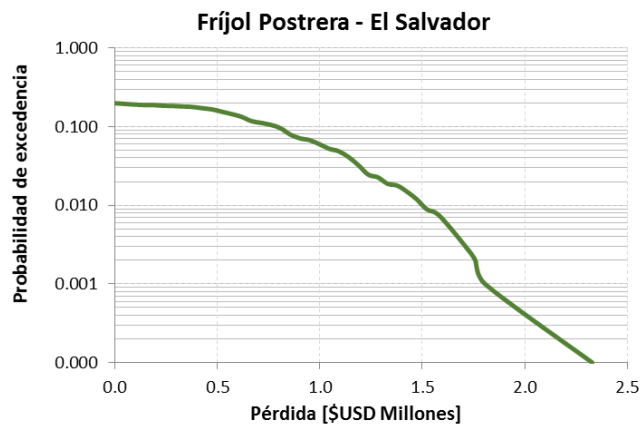
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

#### Fríjol Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$12.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.2
	%	1.44%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$1.092	9.0
50	\$1.316	10.8
100	\$1.501	12.3
200	\$1.634	13.4



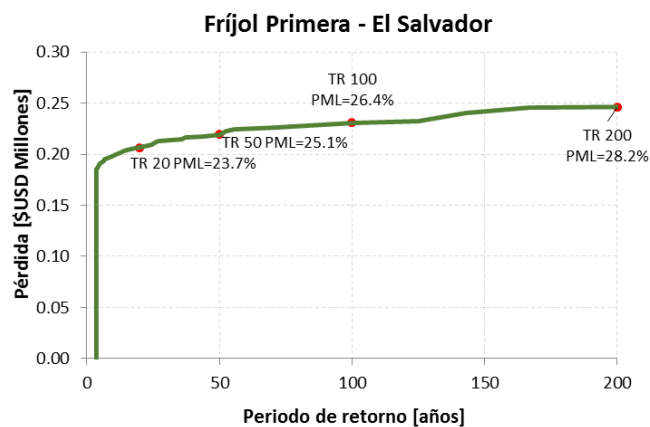
*Curva de pérdidas PML*



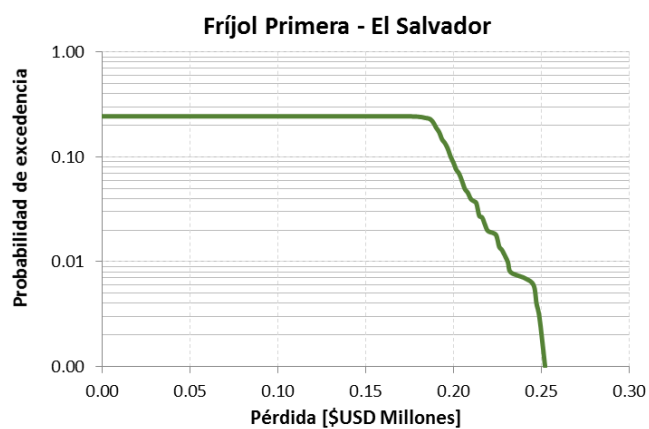
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Fríjol Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$0.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	6.45%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.207	23.7
50	\$0.219	25.1
100	\$0.231	26.4
200	\$0.246	28.2



Curva de pérdidas PML

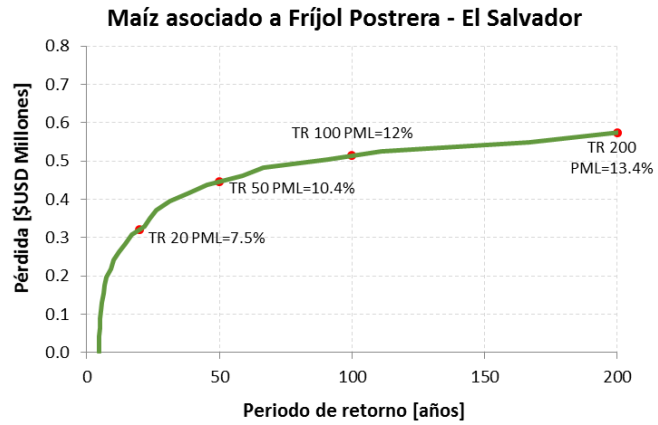


Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

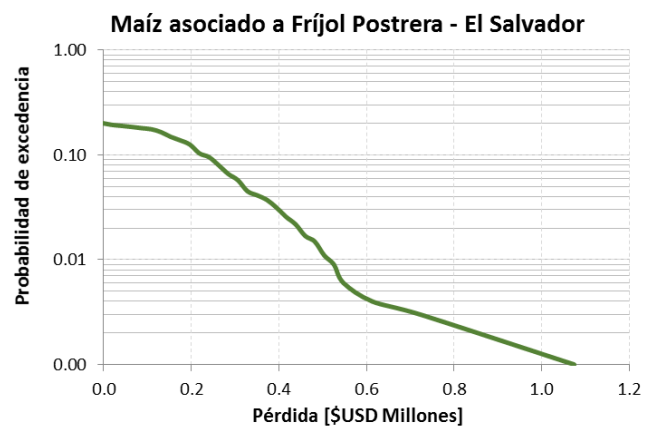
## Maíz asociado a Fríjol Postrera



Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$4.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	1.28%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.321	7.5
50	\$0.446	10.4
100	\$0.514	12.0
200	\$0.574	13.4



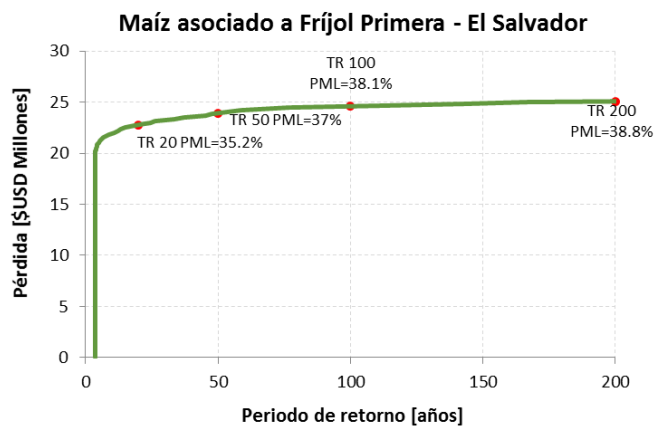
*Curva de pérdidas PML*



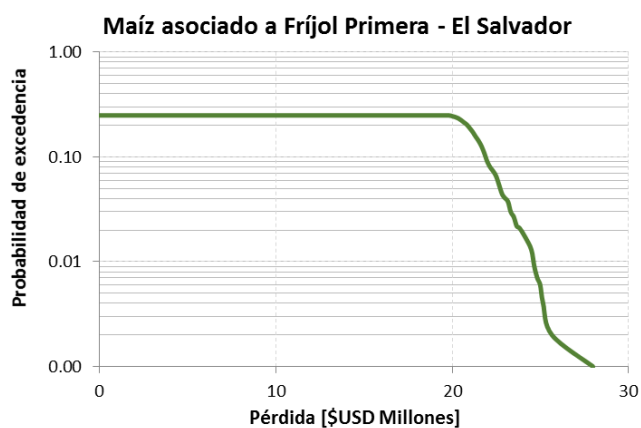
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

**Maíz asociado a Fríjol Primera**

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$64.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$6.2
	%	9.58%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$22.753	35.2
50	\$23.913	37.0
100	\$24.621	38.1
200	\$25.074	38.8



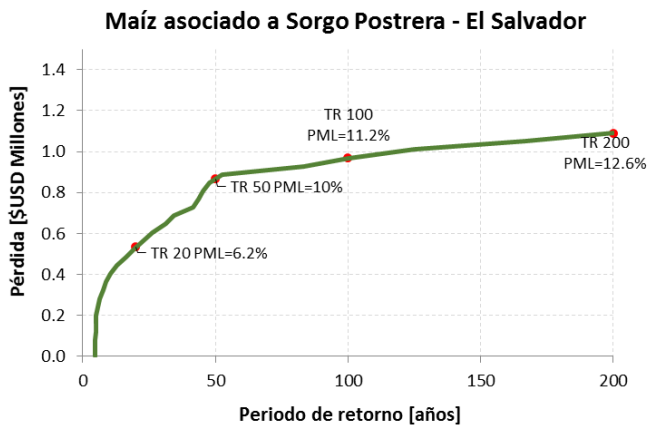
Curva de pérdidas PML



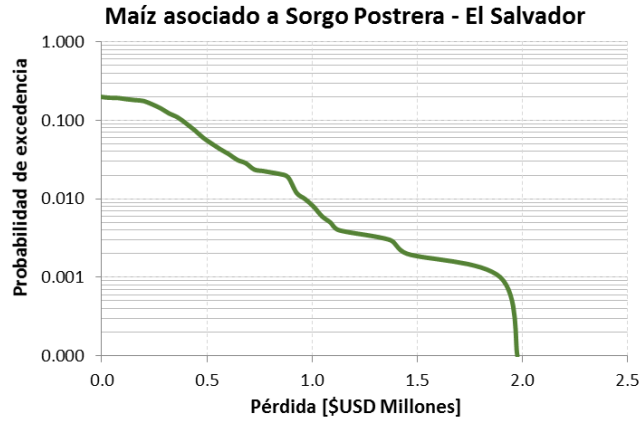
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

#### Maíz asociado a Sorgo Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$8.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	1.11%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.534	6.2
50	\$0.867	10.0
100	\$0.969	11.2
200	\$1.090	12.6



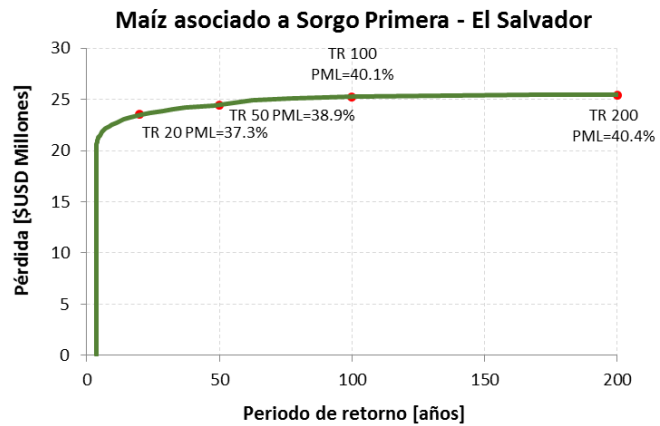
Curva de pérdidas PML



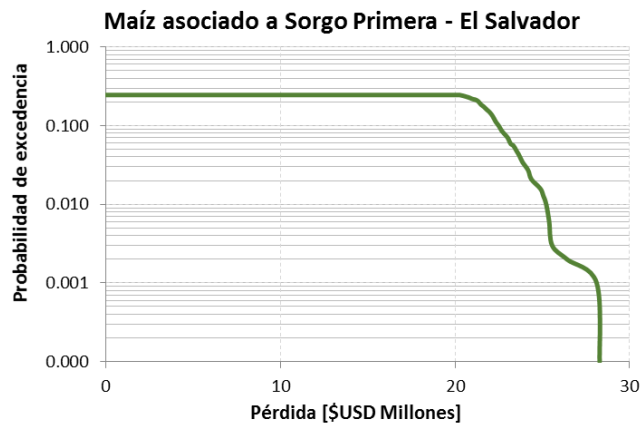
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

### Maíz asociado a Sorgo Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$63.0
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$6.4
	%	10.08%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$23.515	37.3
50	\$24.472	38.9
100	\$25.241	40.1
200	\$25.445	40.4



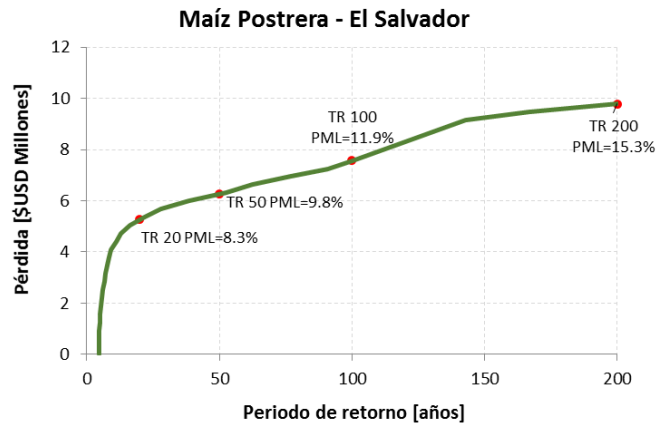
*Curva de pérdidas PML*



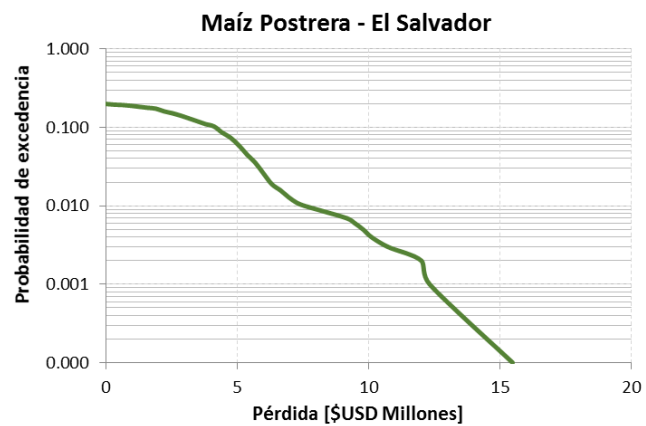
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Maíz Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$64.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.9
	%	1.41%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$5.261	8.3
50	\$6.252	9.8
100	\$7.573	11.9
200	\$9.781	15.3



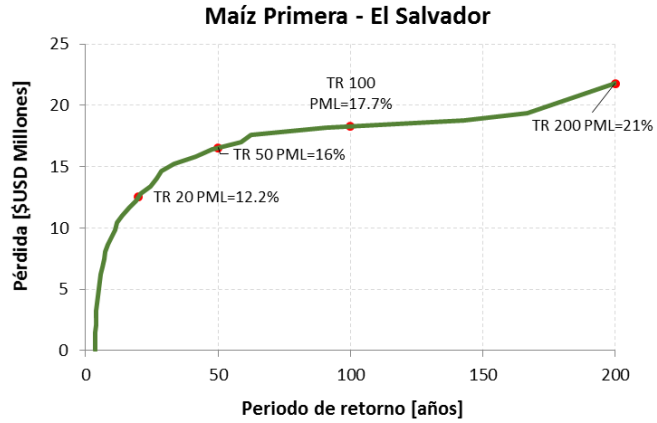
*Curva de pérdidas PML*



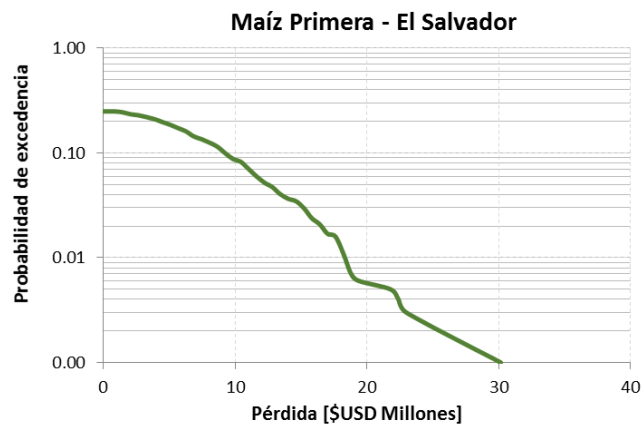
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Maíz Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$103.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$2.4
	%	2.31%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$12.569	12.2
50	\$16.531	16.0
100	\$18.300	17.7
200	\$21.777	21.0



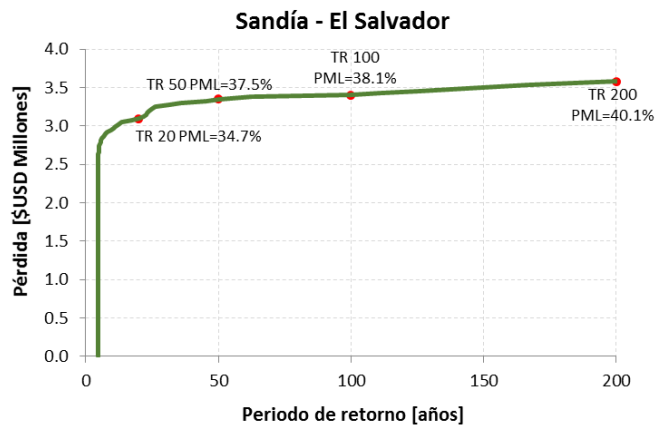
Curva de pérdidas PML



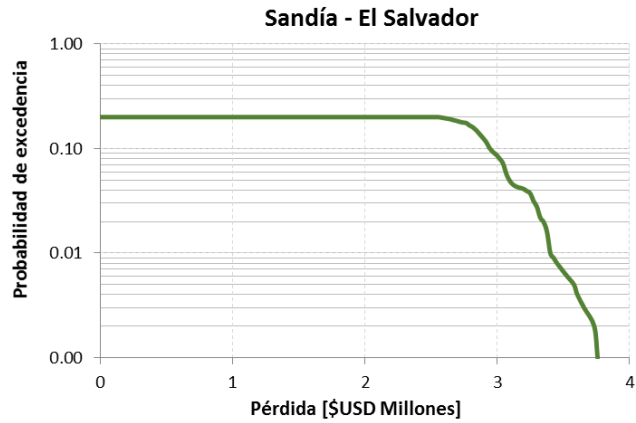
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Sandía

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$8.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.7
	%	7.47%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$3.096	34.7
50	\$3.351	37.5
100	\$3.402	38.1
200	\$3.581	40.1



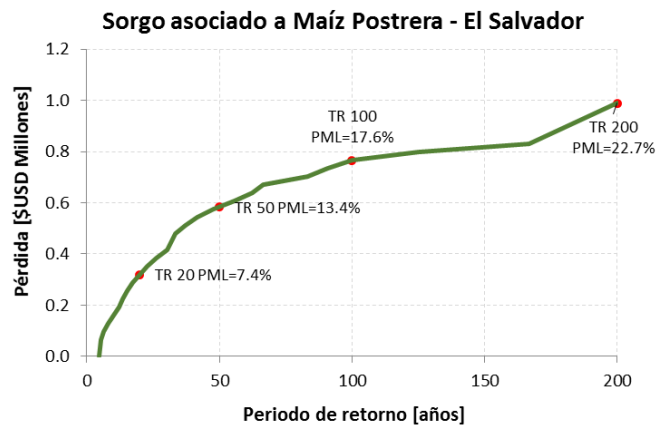
Curva de pérdidas PML



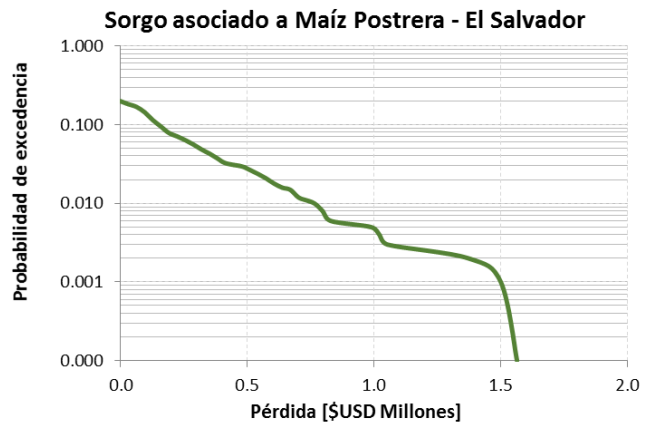
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

#### Sorgo asociado a Maíz Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$4.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	1.21%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.319	7.4
50	\$0.584	13.4
100	\$0.766	17.6
200	\$0.989	22.7



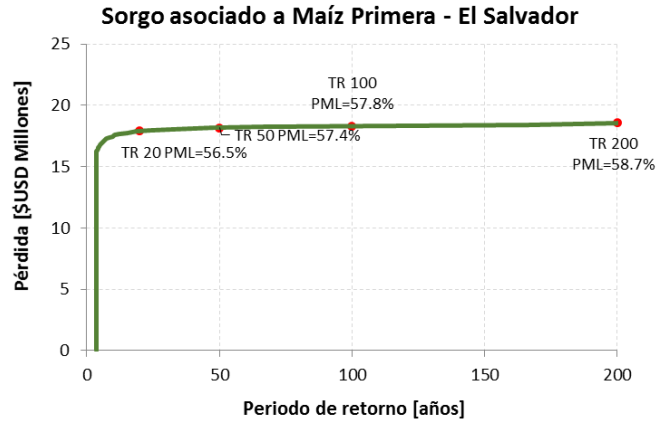
*Curva de pérdidas PML*



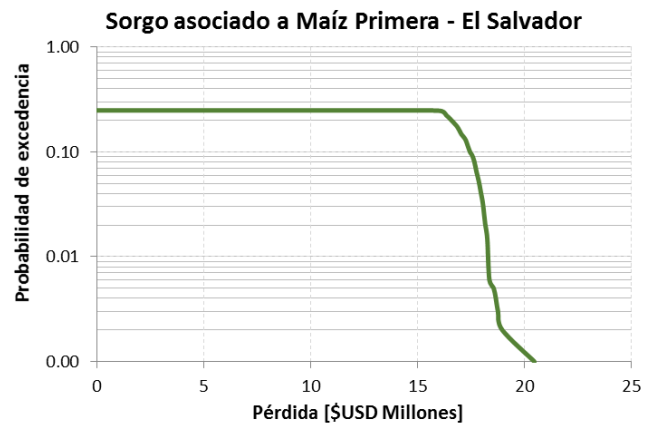
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

### Sorgo asociado a Maíz Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$31.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$4.9
	%	15.45%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$17.894	56.5
50	\$18.180	57.4
100	\$18.301	57.8
200	\$18.569	58.7



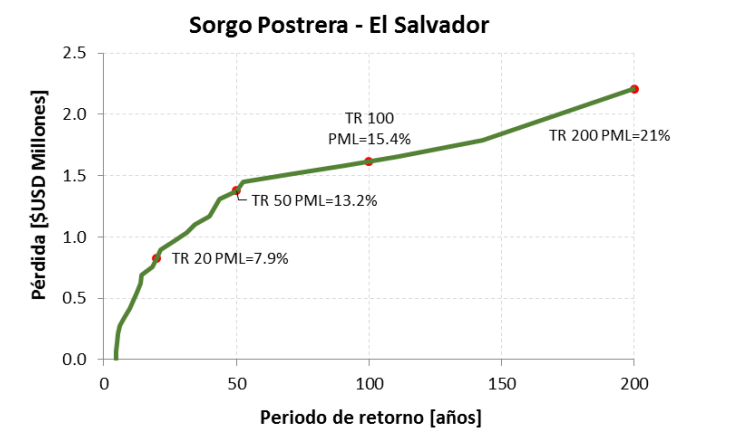
Curva de pérdidas PML



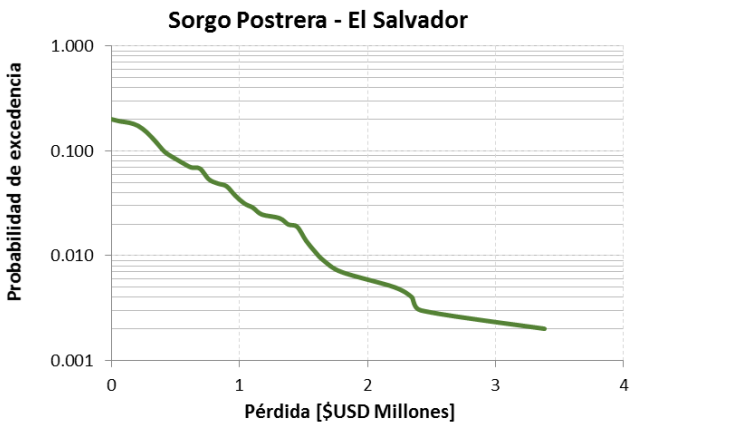
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

### Sorgo Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$10.5
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.1
	%	1.28%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.827	7.9
50	\$1.379	13.2
100	\$1.617	15.4
200	\$2.206	21.0



Curva de pérdidas PML

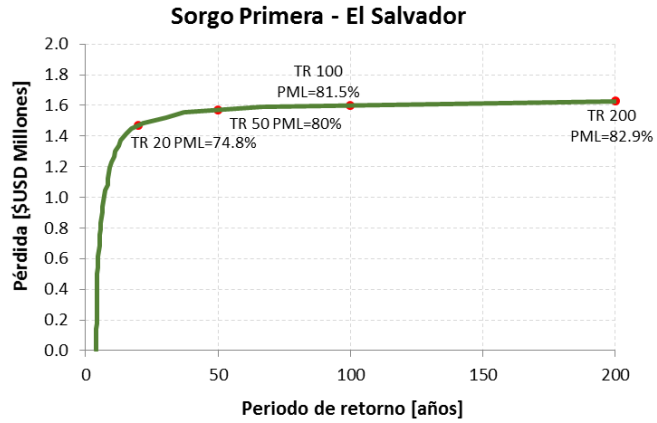


Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

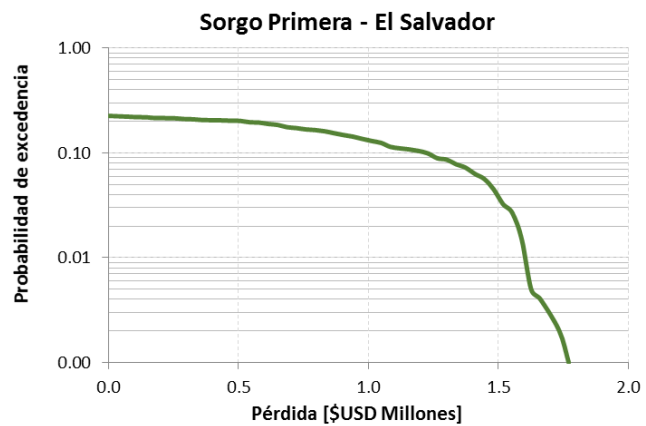
Sorgo Primera



Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$2.0
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.3
	%	13.50%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$1.469	74.8
50	\$1.571	80.0
100	\$1.601	81.5
200	\$1.628	82.9



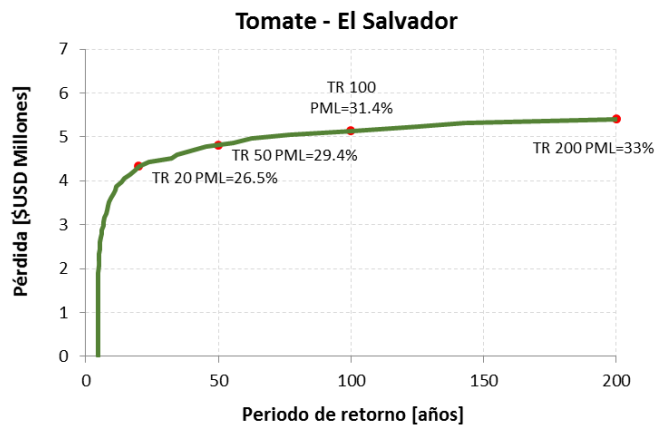
Curva de pérdidas PML



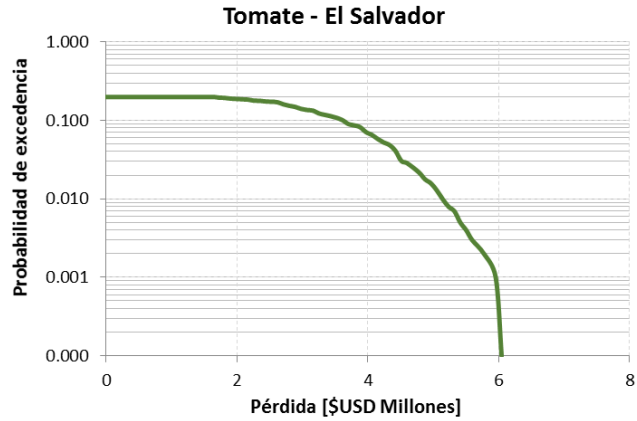
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Tomate

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$16.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.8
	%	4.84%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$4.330	26.5
50	\$4.821	29.4
100	\$5.140	31.4
200	\$5.410	33.0



Curva de pérdidas PML

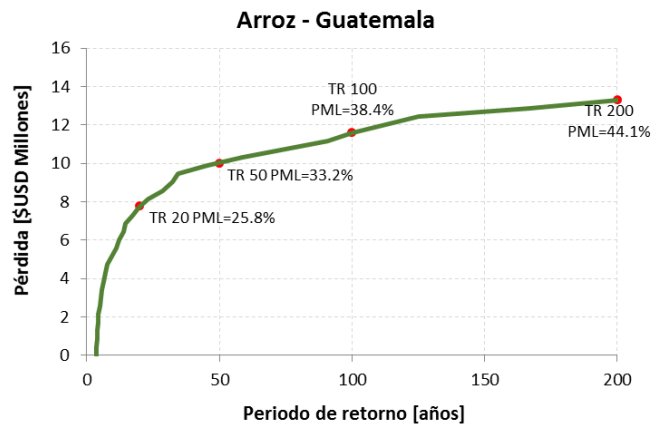


*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

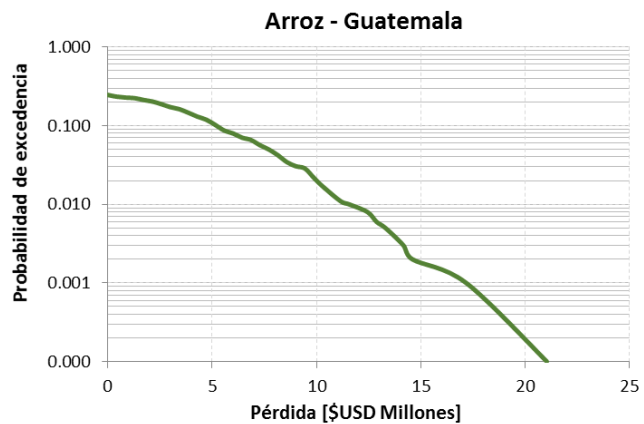
#### A. 11.2 Guatemala

##### Arroz

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$30.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.4
	%	4.56%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$7.775	25.8
50	\$10.022	33.2
100	\$11.593	38.4
200	\$13.310	44.1



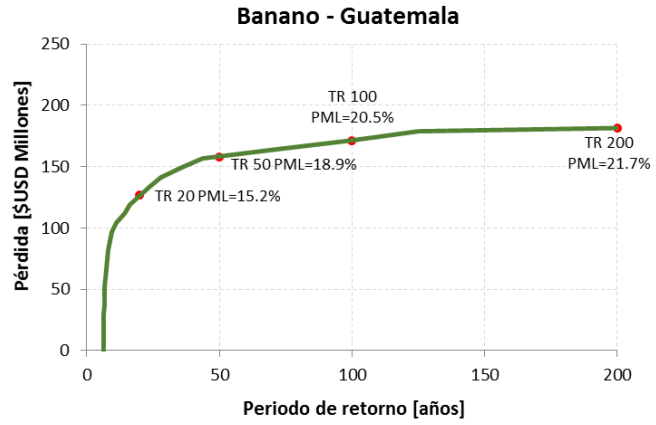
*Curva de pérdidas PML*



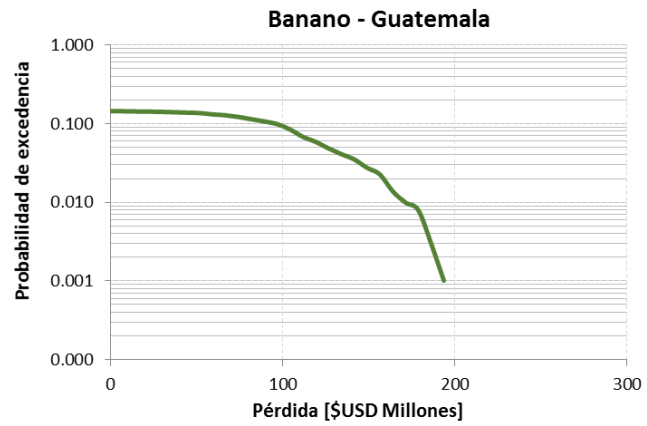
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Banano

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$837.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$17.8
	%	2.13%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$126.662	15.2
50	\$158.203	18.9
100	\$171.366	20.5
200	\$181.499	21.7



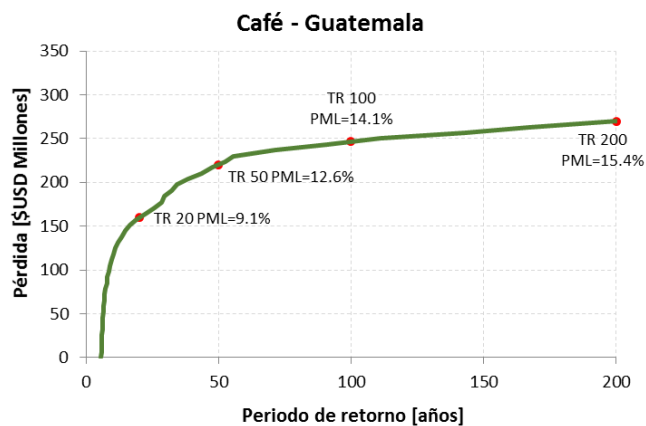
Curva de pérdidas PML



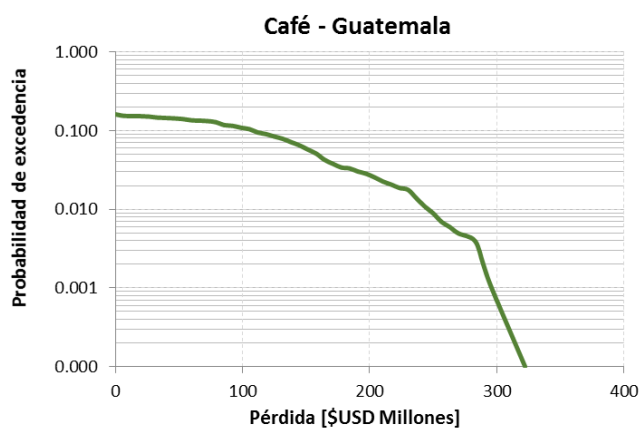
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Café

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$1,757.5
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$23.0
	%	1.31%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$159.772	9.1
50	\$220.157	12.6
100	\$246.300	14.1
200	\$269.648	15.4



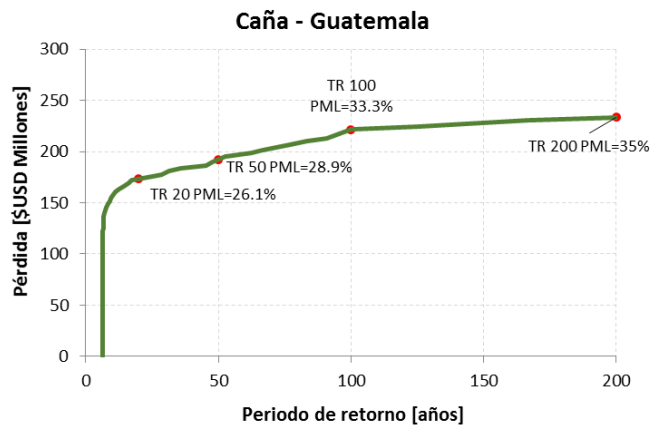
*Curva de pérdidas PML*



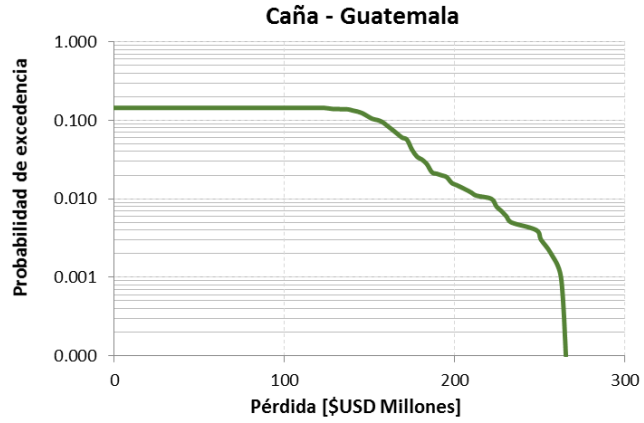
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Caña de azúcar

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$666.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$26.3
	%	3.94%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$173.383	26.1
50	\$192.458	28.9
100	\$221.619	33.3
200	\$233.283	35.0



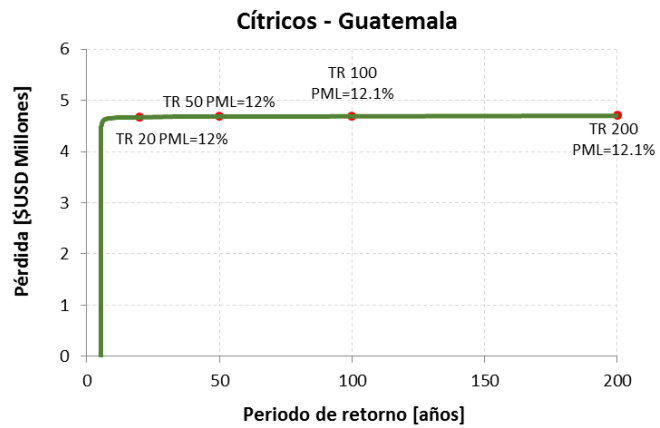
*Curva de pérdidas PML*



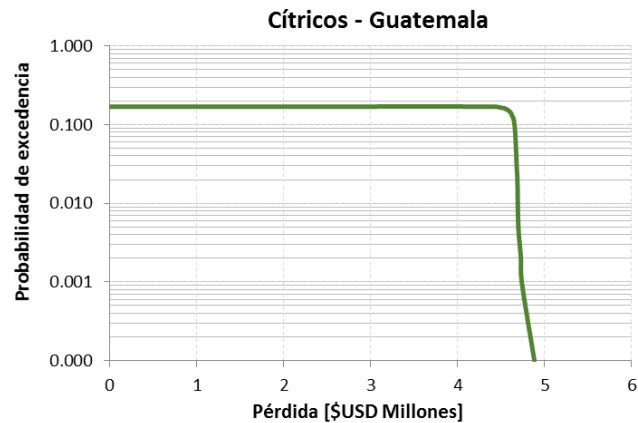
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Cítricos

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$39.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.9
	%	2.25%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$4.673	12.0
50	\$4.689	12.0
100	\$4.694	12.1
200	\$4.701	12.1



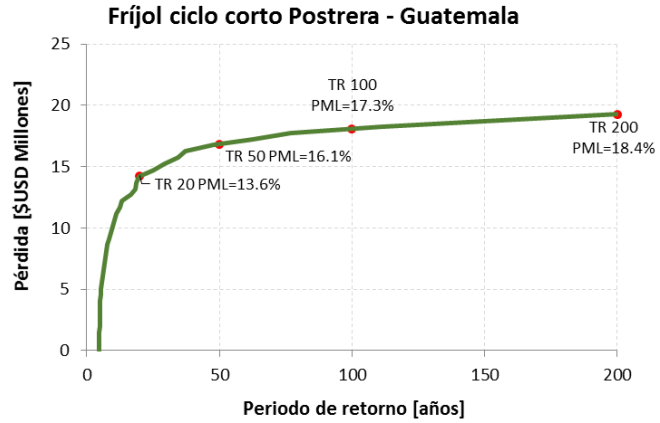
*Curva de pérdidas PML*



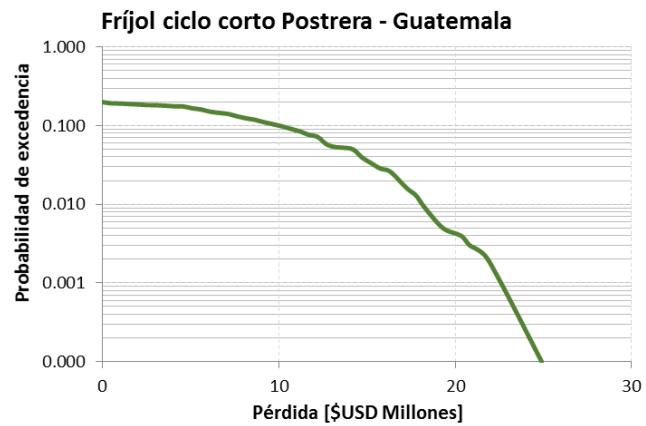
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

#### Fríjol ciclo corto Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$105.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$2.2
	%	2.10%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$14.250	13.6
50	\$16.833	16.1
100	\$18.109	17.3
200	\$19.289	18.4



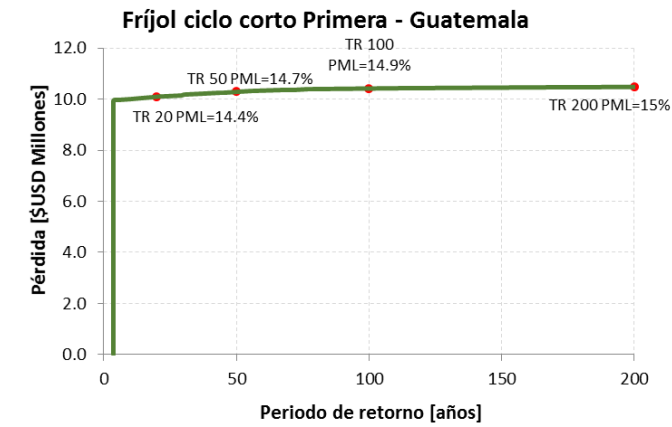
Curva de pérdidas PML



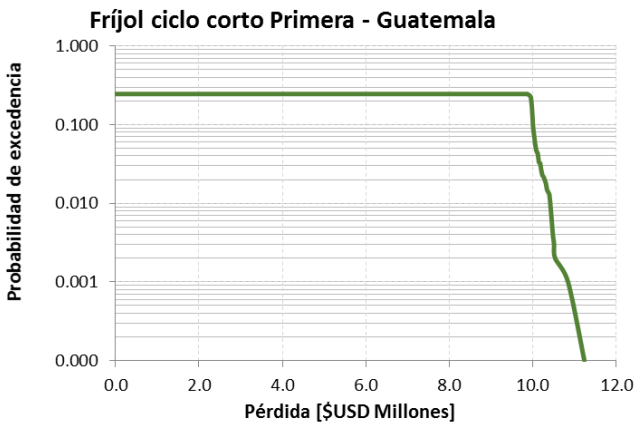
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

#### Fríjol ciclo corto Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$70.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$2.9
	%	4.07%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$10.084	14.4
50	\$10.290	14.7
100	\$10.420	14.9
200	\$10.468	15.0



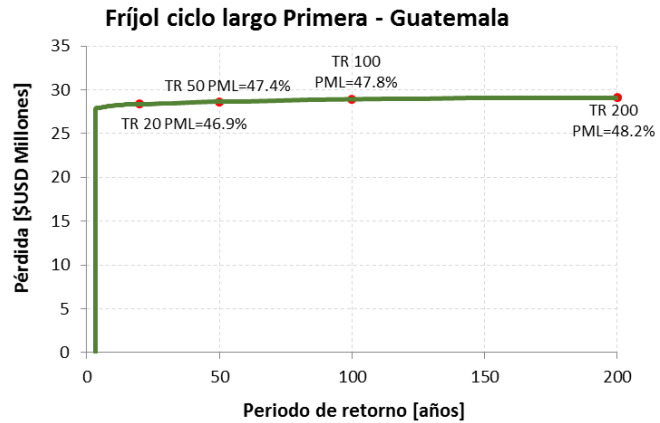
Curva de pérdidas PML



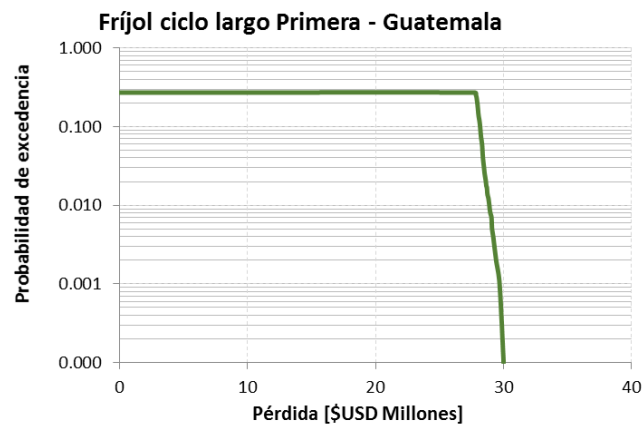
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

Fríjol ciclo largo Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$60.5
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$9.0
	%	14.83%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$28.364	46.9
50	\$28.629	47.4
100	\$28.896	47.8
200	\$29.112	48.2



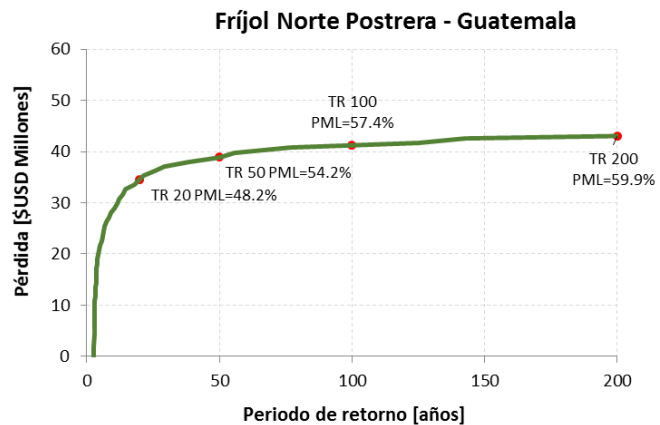
Curva de pérdidas PML



Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

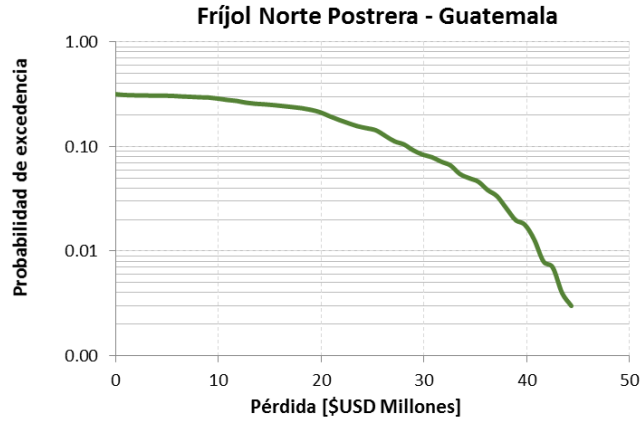
### Fríjol Norte Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$71.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$8.5
	%	11.90%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$34.604	48.2
50	\$38.916	54.2
100	\$41.161	57.4
200	\$43.019	59.9



Curva de pérdidas PML

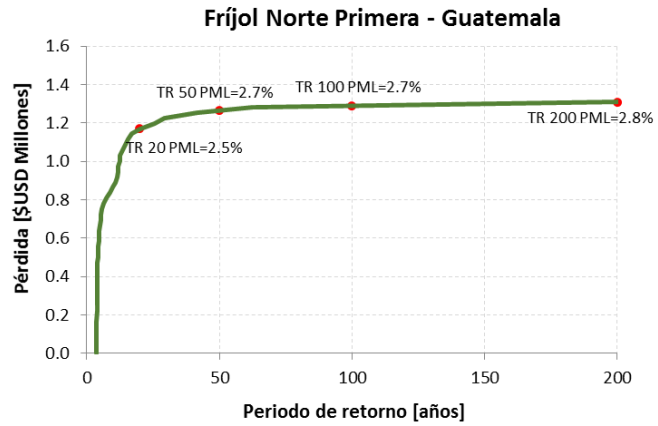




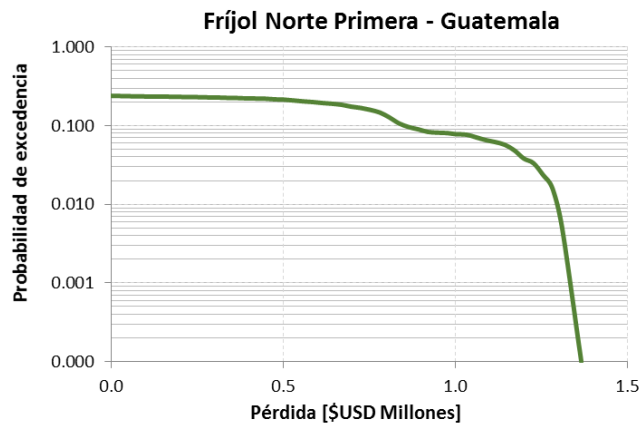
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

### Fríjol Norte Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$47.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.2
	%	0.48%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$1.171	2.5
50	\$1.265	2.7
100	\$1.290	2.7
200	\$1.310	2.8



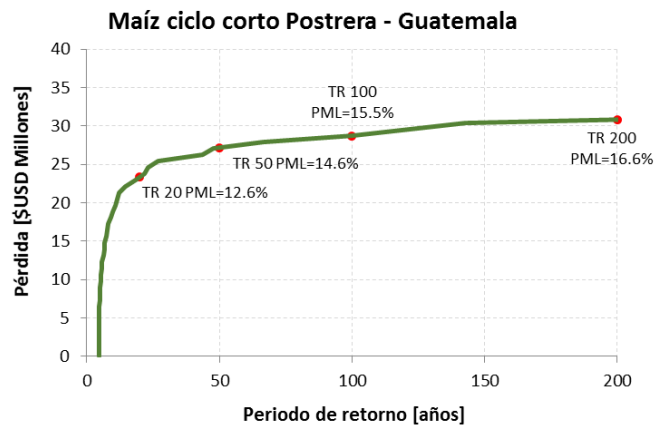
*Curva de pérdidas PML*



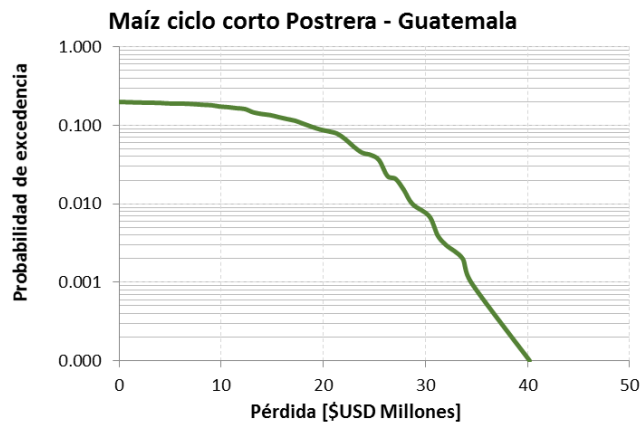
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

Maíz ciclo corto Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$186.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$4.0
	%	2.16%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$23.402	12.6
50	\$27.189	14.6
100	\$28.728	15.5
200	\$30.808	16.6



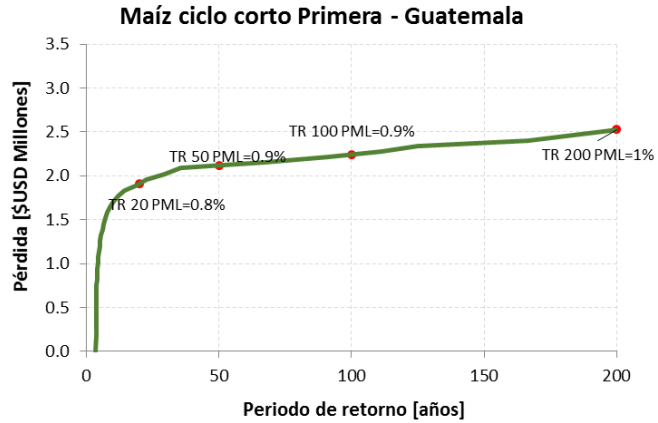
Curva de pérdidas PML



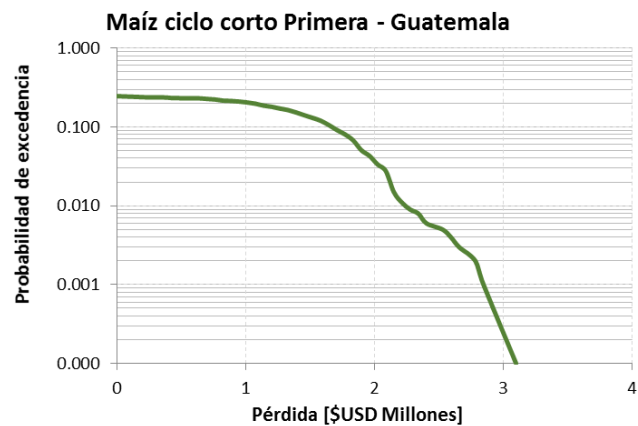
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

Maíz ciclo corto Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$258.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.4
	%	0.16%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$1.911	0.8
50	\$2.116	0.9
100	\$2.242	0.9
200	\$2.530	1.0



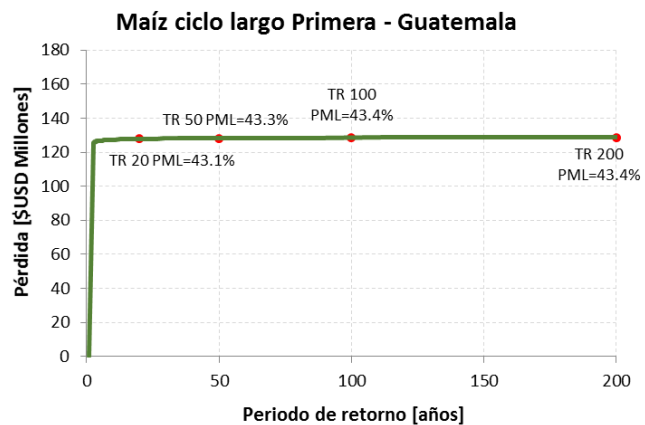
Curva de pérdidas PML



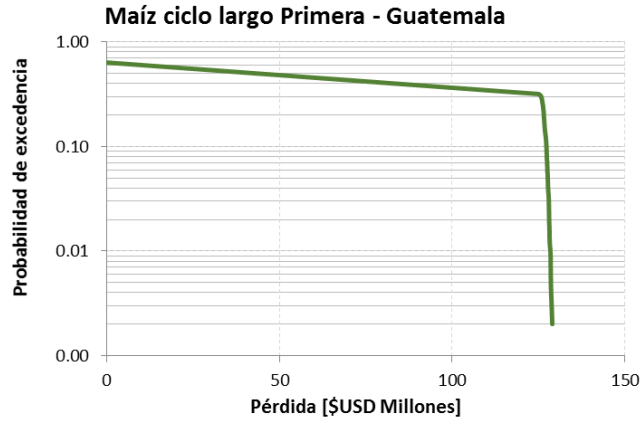
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

### Maíz ciclo largo Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$296.6
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$48.3
	%	16.30%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$127.792	43.1
50	\$128.189	43.3
100	\$128.505	43.4
200	\$128.688	43.4



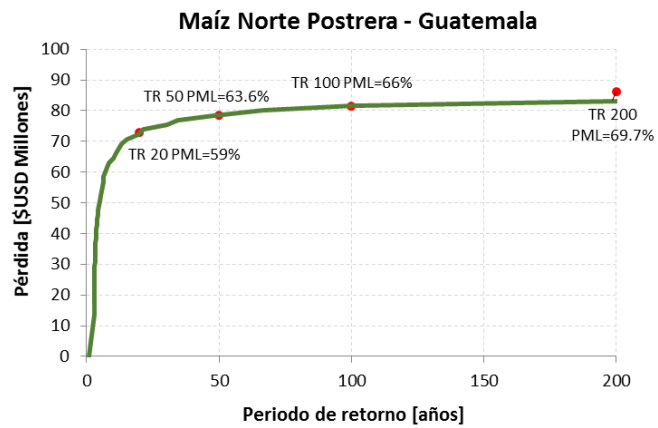
Curva de pérdidas PML



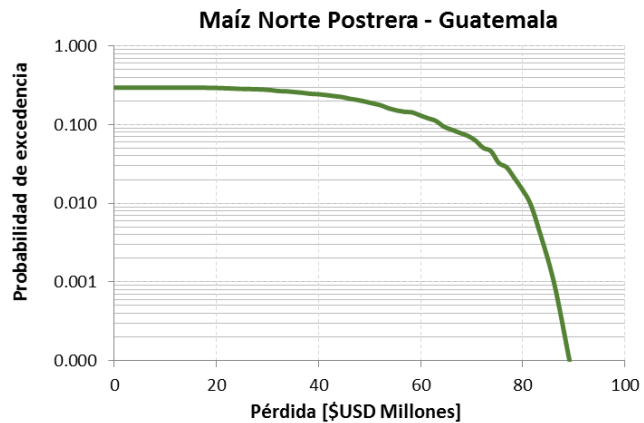
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

#### Maíz Norte Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$123.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$19.1
	%	15.43%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$72.861	59.0
50	\$78.630	63.6
100	\$81.516	66.0
200	\$86.132	69.7



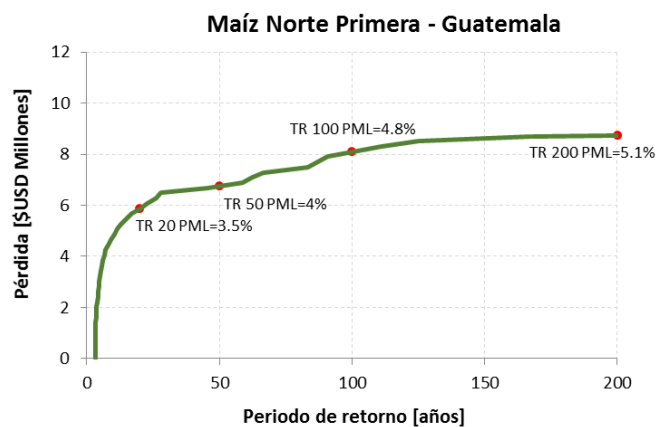
*Curva de pérdidas PML*



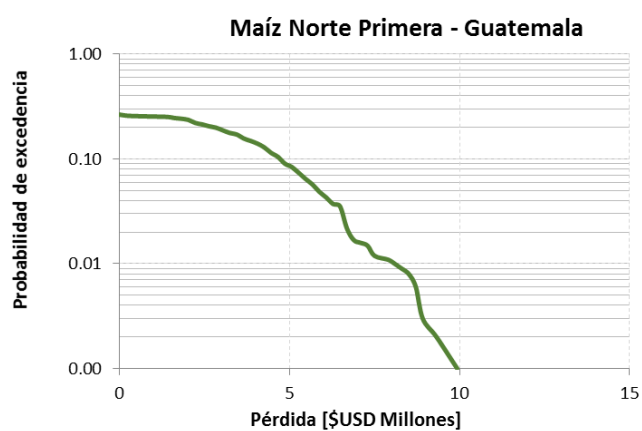
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Maíz Norte Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$171.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.3
	%	0.73%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$5.871	3.5
50	\$6.750	4.0
100	\$8.098	4.8
200	\$8.746	5.1



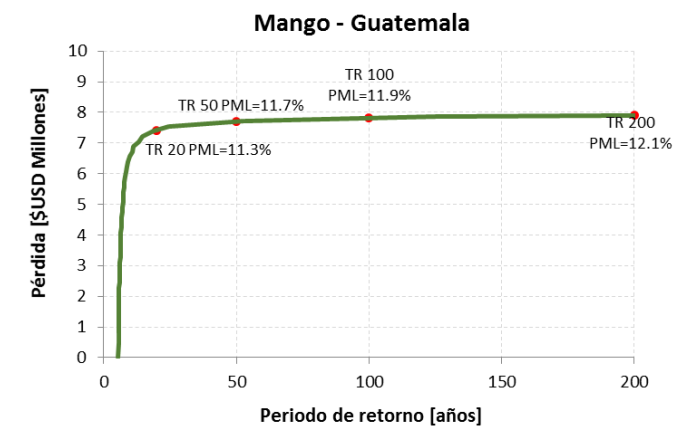
Curva de pérdidas PML



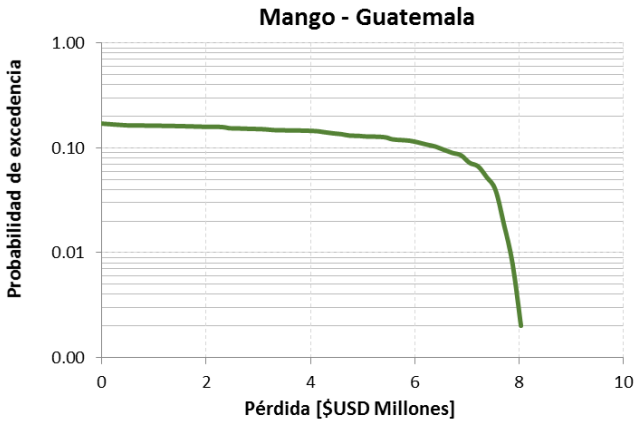
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Mango

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$65.8
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.1
	%	1.70%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$7.419	11.3
50	\$7.690	11.7
100	\$7.813	11.9
200	\$7.902	12.1



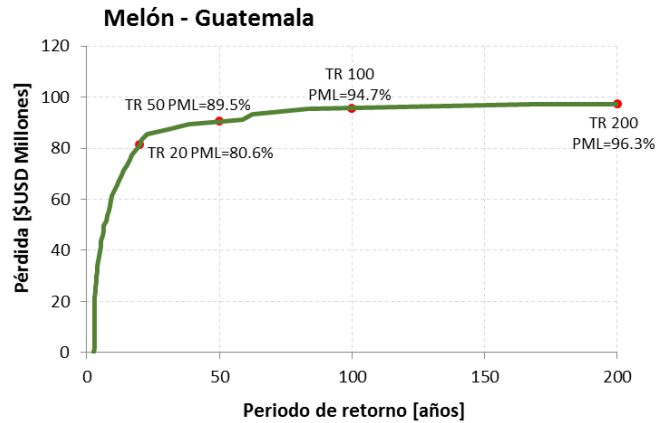
Curva de pérdidas PML



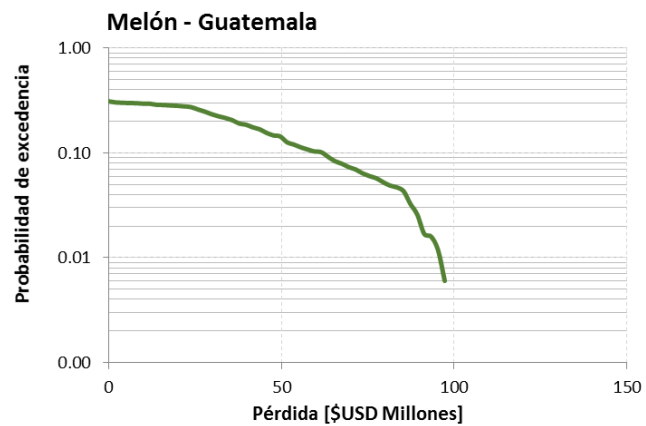
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

Melón

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$101.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$17.5
	%	17.32%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$81.415	80.6
50	\$90.483	89.5
100	\$95.712	94.7
200	\$97.301	96.3



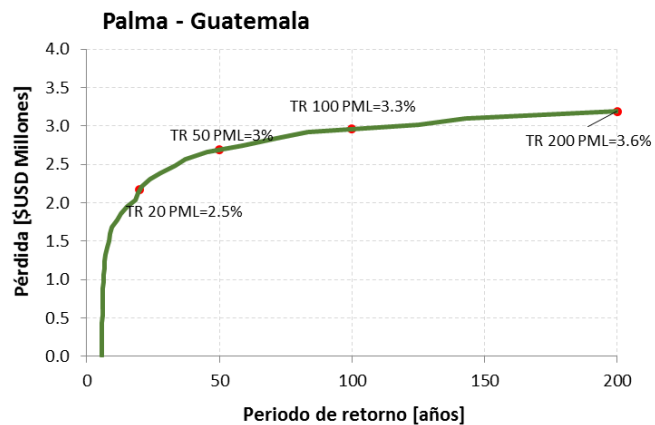
Curva de pérdidas PML



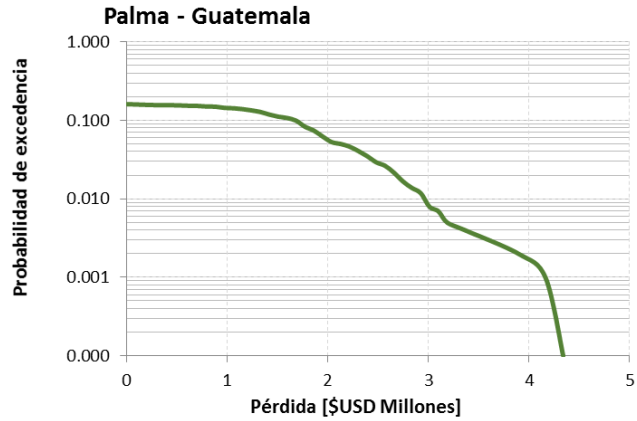
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Palma

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$90.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.3
	%	0.36%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$2.169	2.5
50	\$2.688	3.0
100	\$2.959	3.3
200	\$3.190	3.6



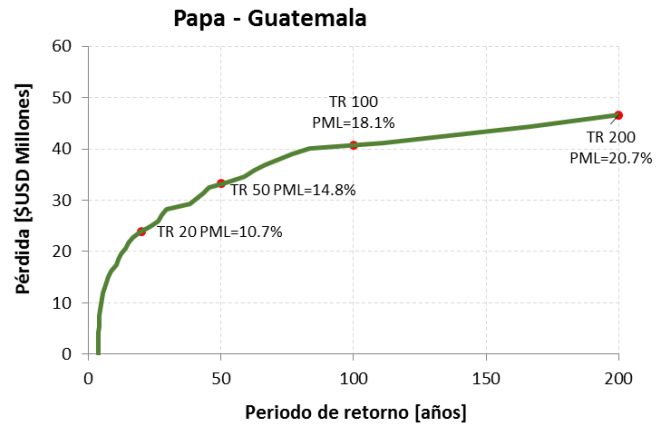
Curva de pérdidas PML



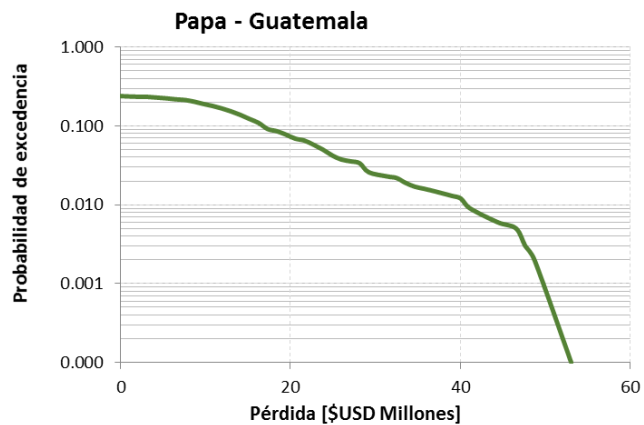
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Papa

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$225.5
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$4.6
	%	2.04%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$23.958	10.7
50	\$33.198	14.8
100	\$40.748	18.1
200	\$46.600	20.7



*Curva de pérdidas PML*

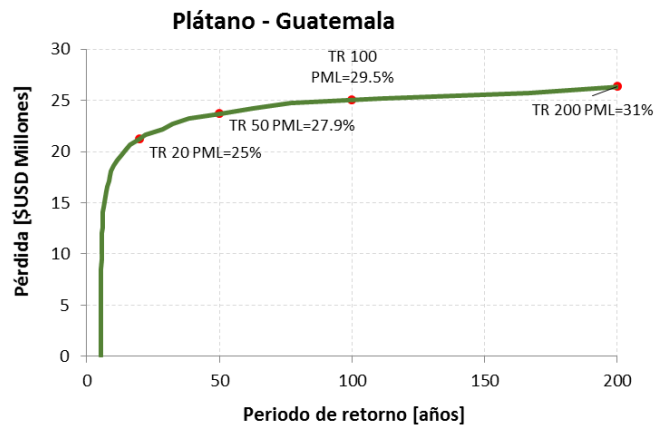


*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

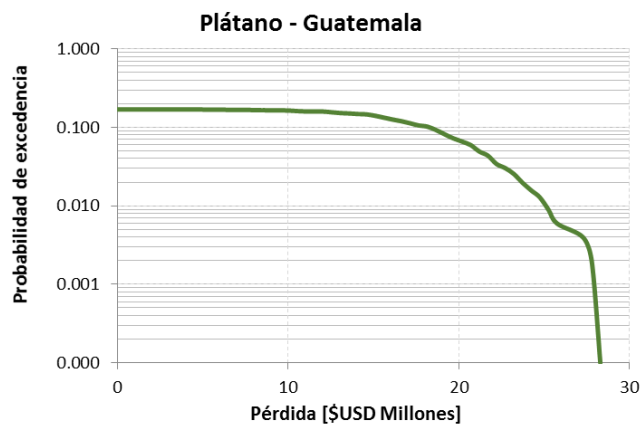


Plátano

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$85.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$3.5
	%	4.12%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$21.251	25.0
50	\$23.706	27.9
100	\$25.061	29.5
200	\$26.339	31.0



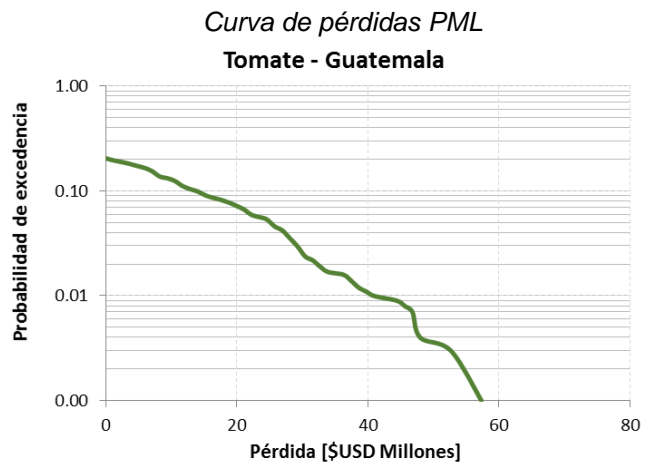
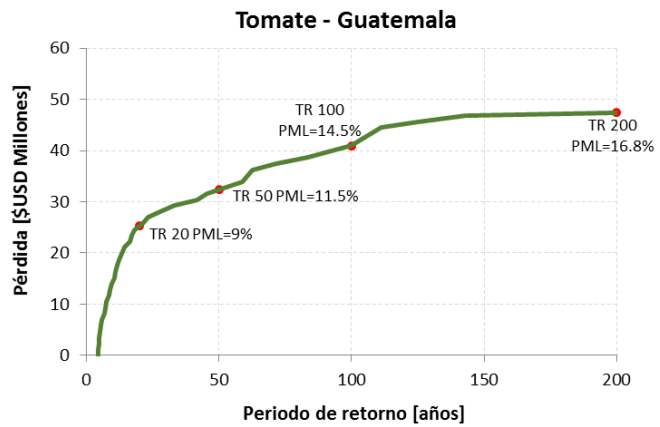
Curva de pérdidas PML



Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

Tomate

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$282.6
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$3.7
	%	1.30%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$25.257	9.0
50	\$32.330	11.5
100	\$40.949	14.5
200	\$47.423	16.8

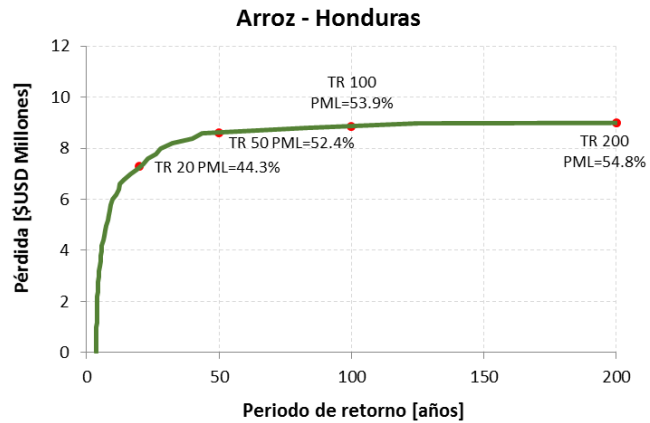


*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

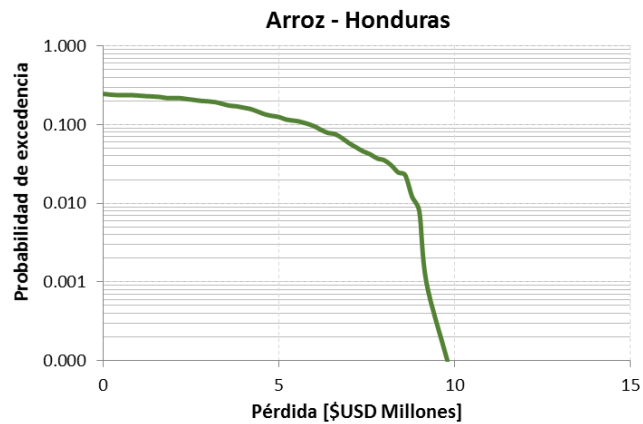
### A. 11.3 Honduras

#### Arroz

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$16.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.4
	%	8.47%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$7.279	44.3
50	\$8.615	52.4
100	\$8.862	53.9
200	\$8.999	54.7



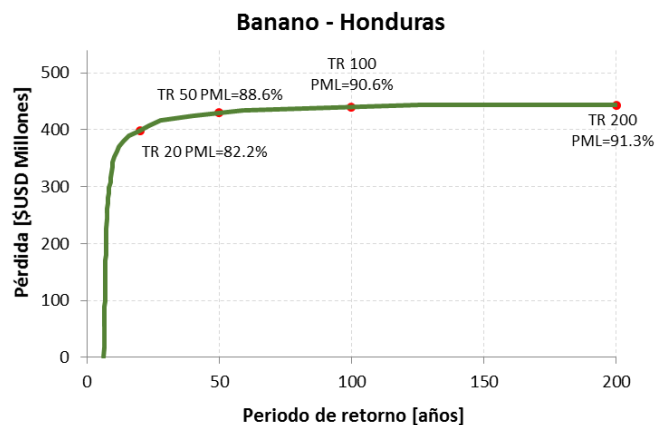
Curva de pérdidas PML



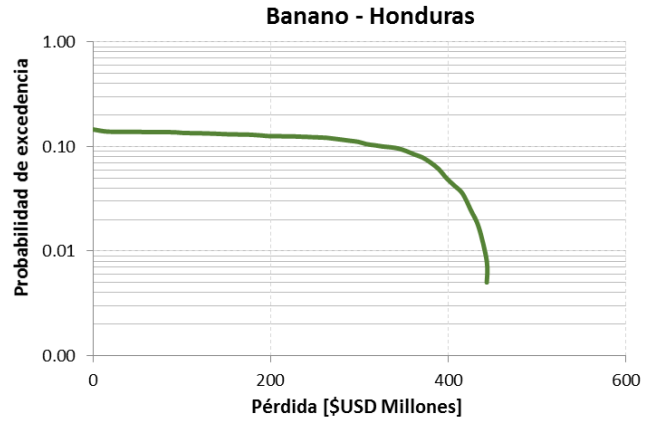
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Banano

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$485.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$52.8
	%	10.87%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$399.084	82.2
50	\$430.062	88.6
100	\$439.933	90.6
200	\$443.351	91.3



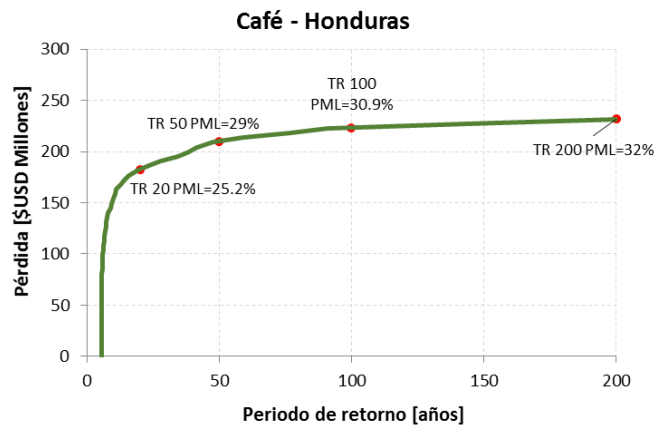
Curva de pérdidas PML



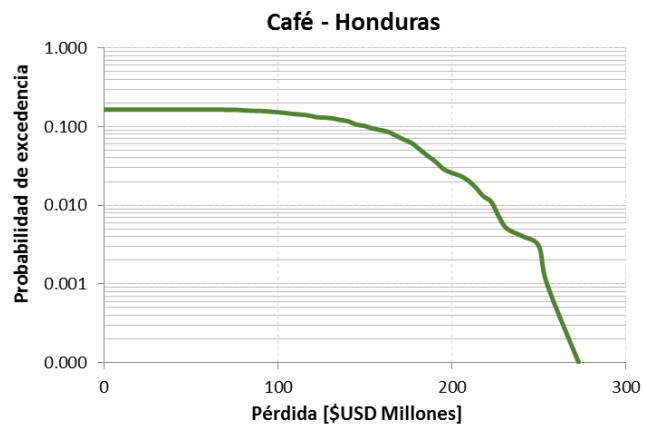
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Café

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$725.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$28.6
	%	3.94%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$182.409	25.2
50	\$209.924	29.0
100	\$223.461	30.9
200	\$231.801	32.0



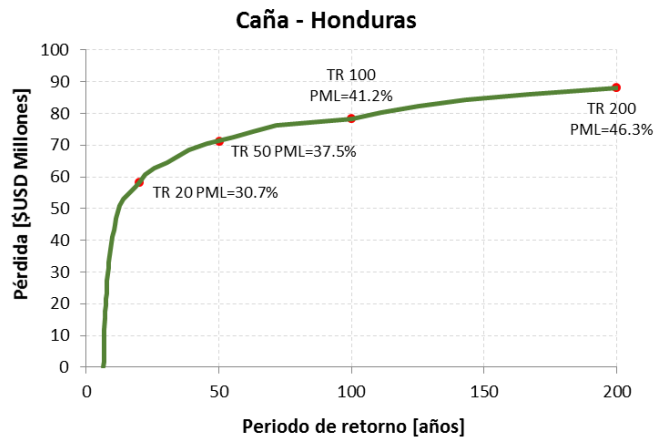
*Curva de pérdidas PML*



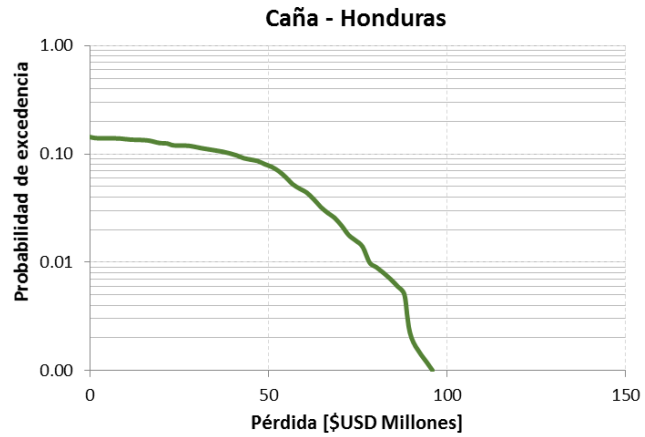
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Caña de Azúcar

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$190.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$7.6
	%	3.98%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$58.297	30.7
50	\$71.344	37.5
100	\$78.293	41.2
200	\$88.079	46.3



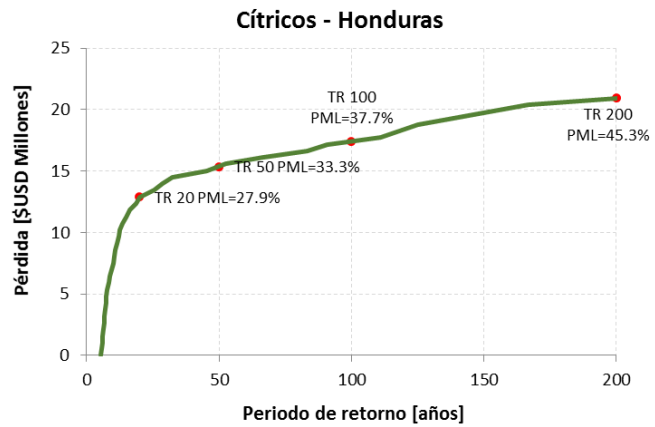
*Curva de pérdidas PML*



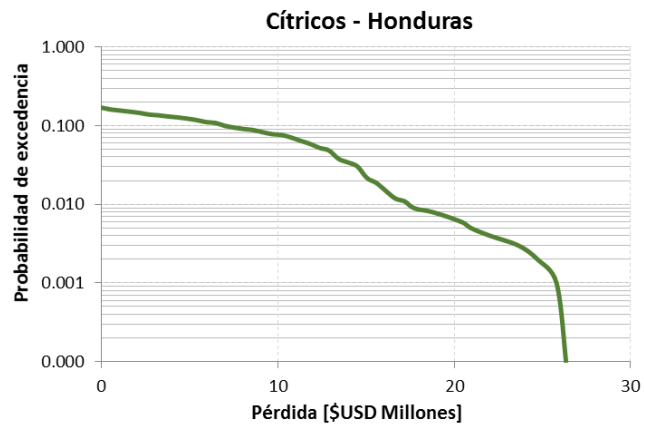
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Cítricos

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$46.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.7
	%	3.59%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$12.889	27.9
50	\$15.377	33.3
100	\$17.426	37.7
200	\$20.944	45.3



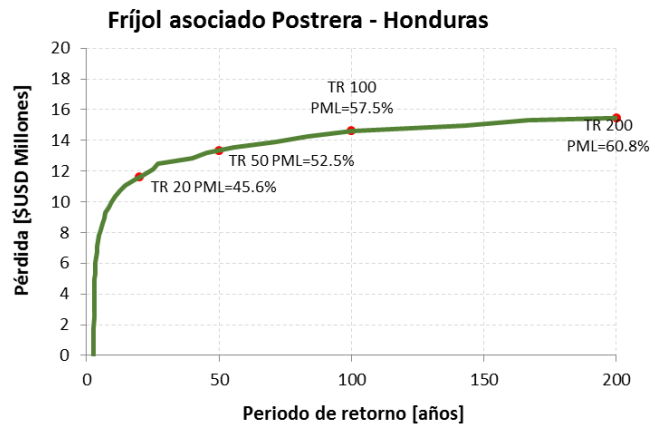
*Curva de pérdidas PML*



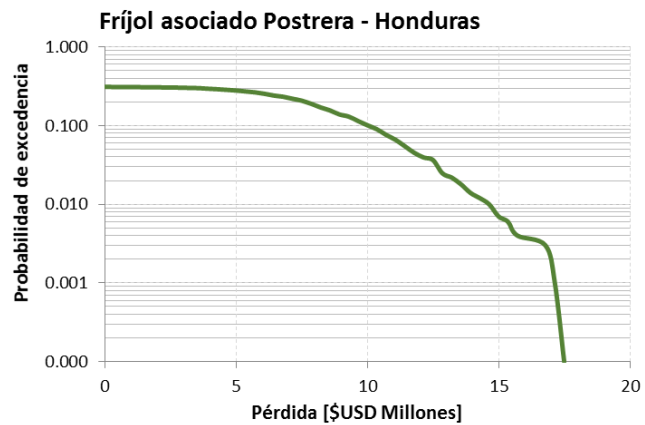
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Fríjol asociado Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$25.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$3.1
	%	12.29%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$11.604	45.6
50	\$13.350	52.5
100	\$14.616	57.5
200	\$15.471	60.8



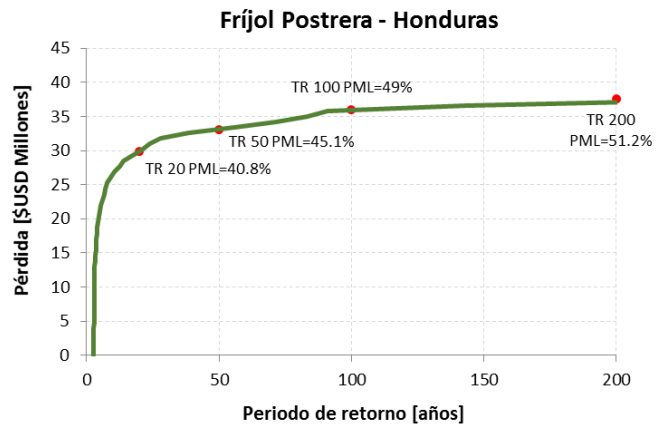
*Curva de pérdidas PML*



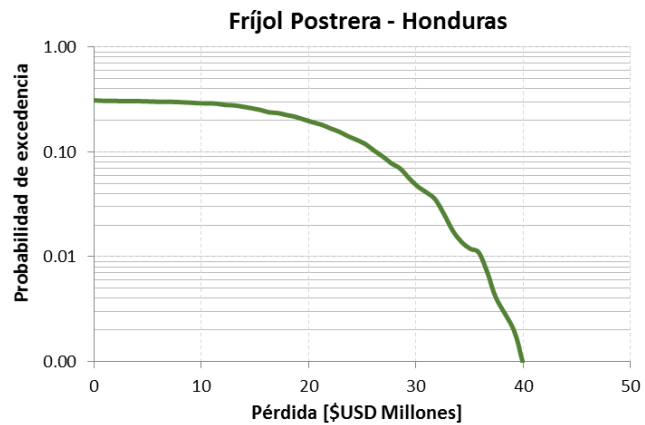
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Fríjol Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$73.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$8.1
	%	10.97%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$29.935	40.8
50	\$33.116	45.1
100	\$35.965	49.0
200	\$37.533	51.2



*Curva de pérdidas PML*

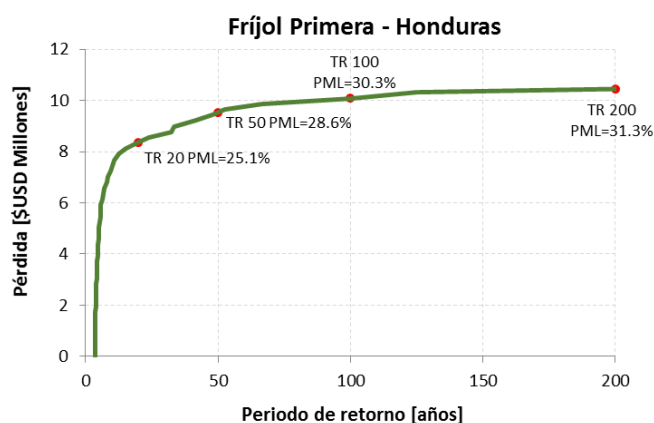


*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

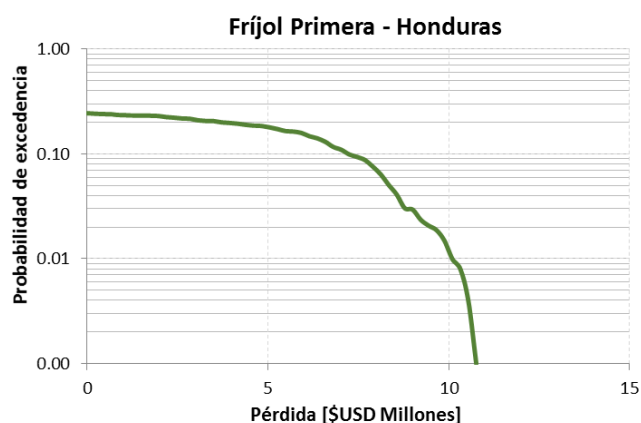


## Fríjol Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$33.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$1.7
	%	5.21%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$8.372	25.1
50	\$9.536	28.6
100	\$10.090	30.3
200	\$10.441	31.3



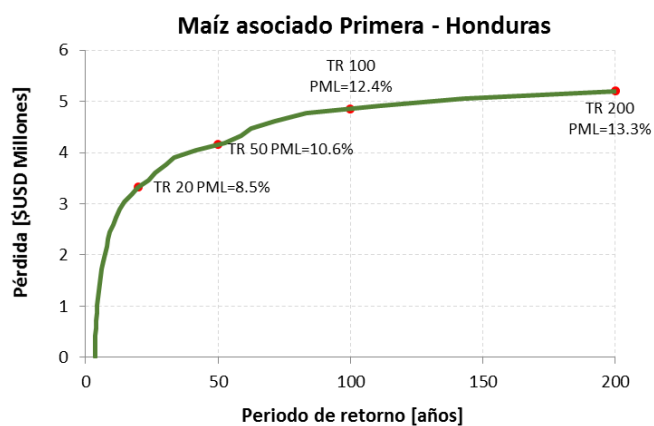
Curva de pérdidas PML



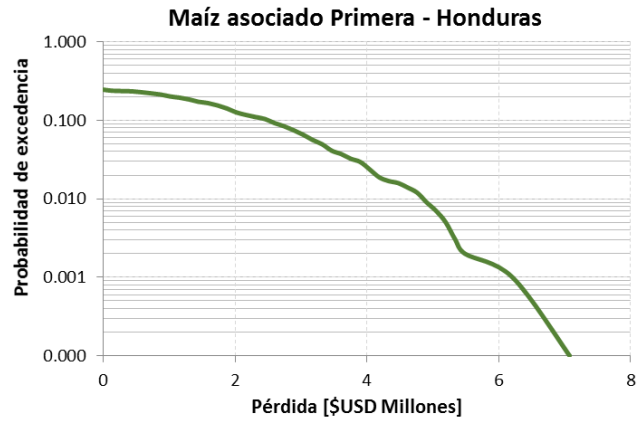
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Maíz asociado Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$39.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.6
	%	1.57%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$3.334	8.5
50	\$4.152	10.6
100	\$4.851	12.4
200	\$5.197	13.3



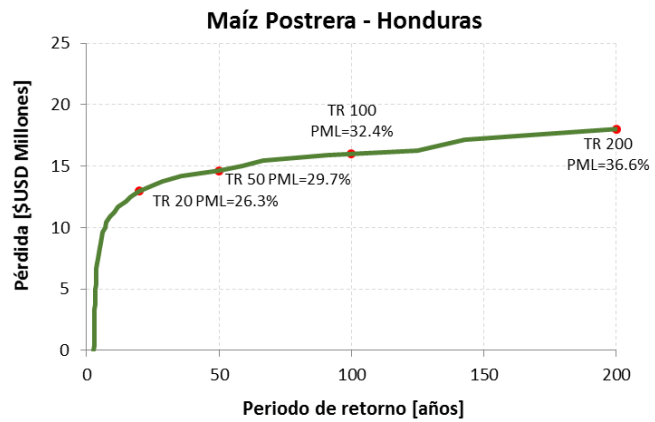
Curva de pérdidas PML



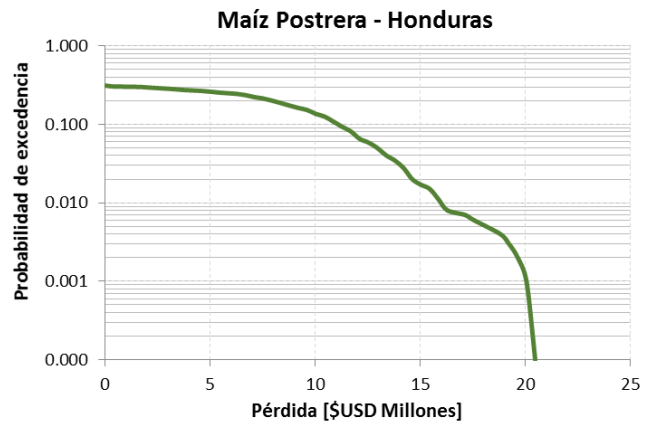
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

### Maíz Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$49.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$3.2
	%	6.55%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$12.974	26.3
50	\$14.610	29.7
100	\$15.973	32.4
200	\$18.033	36.6



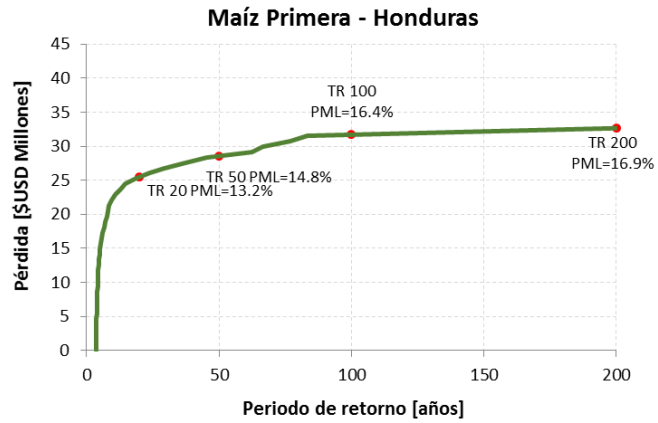
*Curva de pérdidas PML*



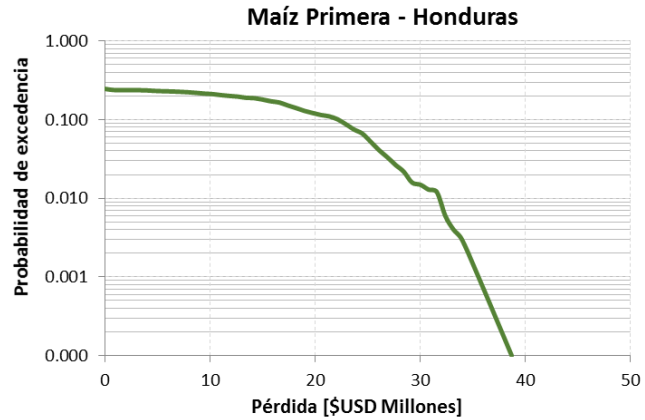
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Maíz Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$194.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$5.2
	%	2.70%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$25.455	13.2
50	\$28.599	14.8
100	\$31.700	16.4
200	\$32.647	16.9



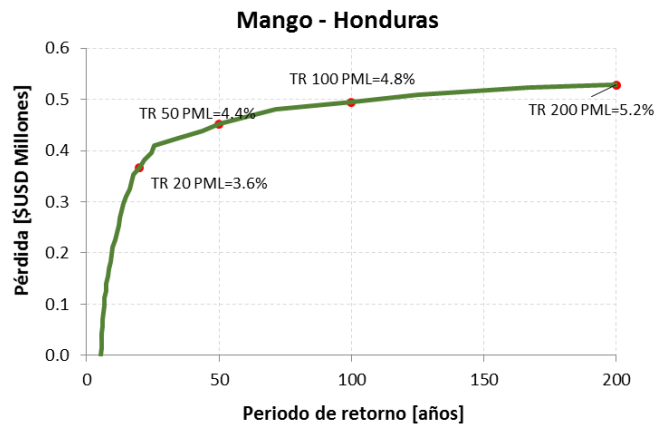
Curva de pérdidas PML



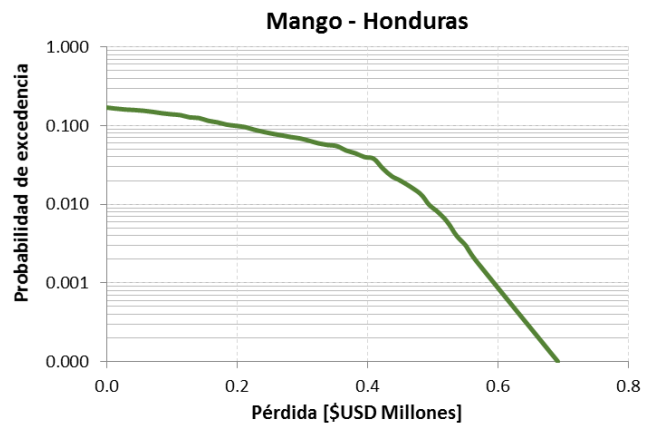
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Mango

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$10.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.0
	%	0.46%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$0.367	3.6
50	\$0.452	4.4
100	\$0.494	4.8
200	\$0.528	5.2



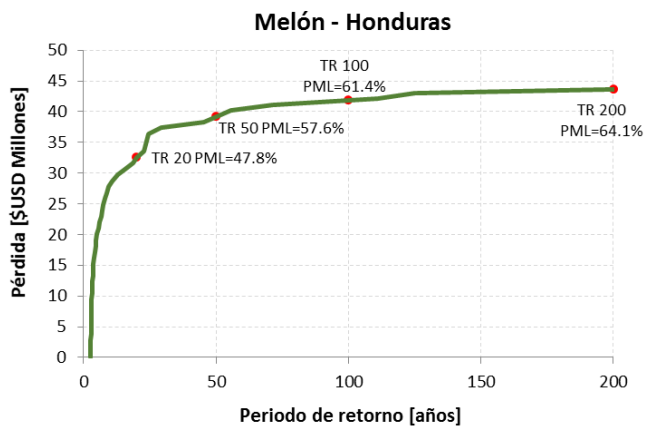
*Curva de pérdidas PML*



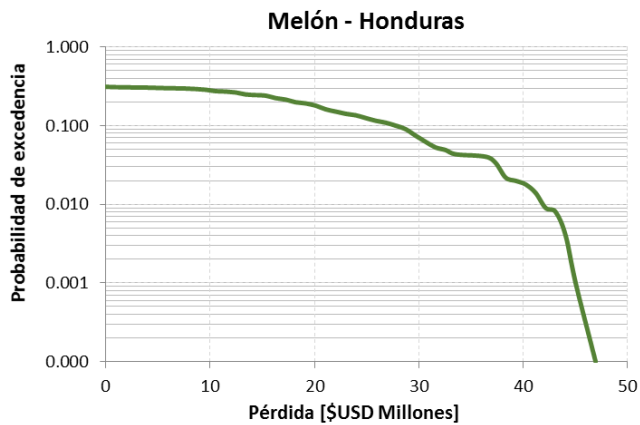
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

Melón

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$68.2
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$8.1
	%	11.82%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$32.542	47.8
50	\$39.242	57.6
100	\$41.845	61.4
200	\$43.645	64.1



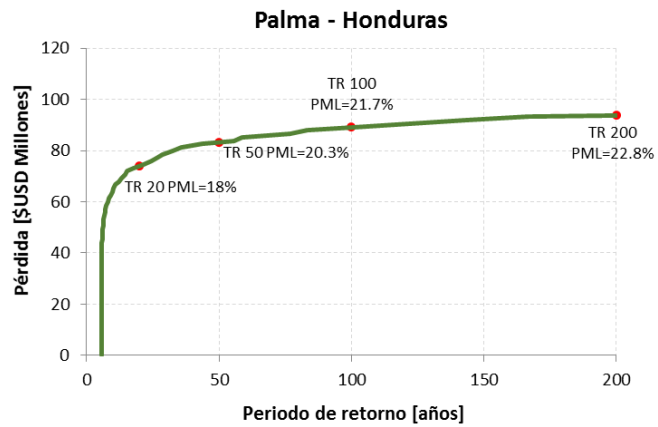
Curva de pérdidas PML



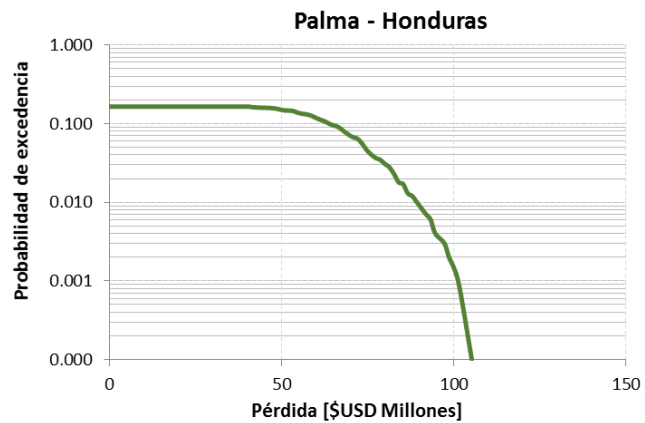
Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

## Palma

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$412.0
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$12.1
	%	2.93%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$74.146	18.0
50	\$83.290	20.3
100	\$89.216	21.7
200	\$93.734	22.8



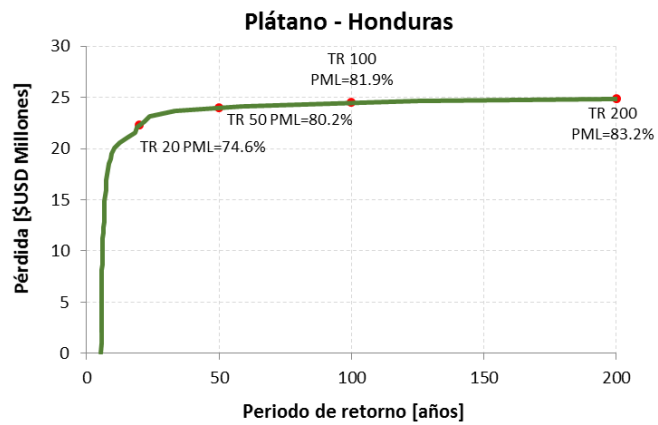
*Curva de pérdidas PML*



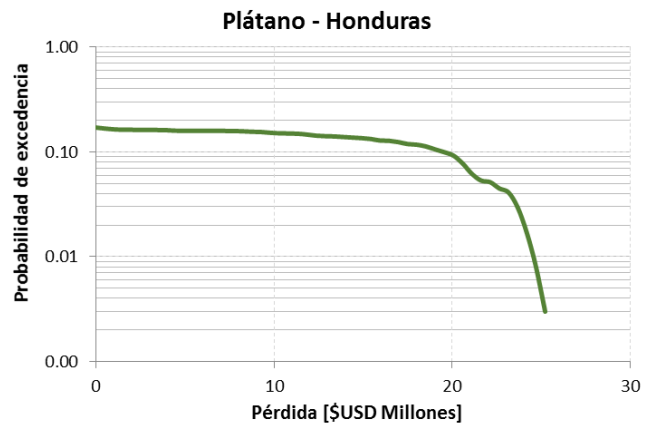
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Plátano

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$29.9
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$3.4
	%	11.40%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$22.307	74.6
50	\$23.982	80.2
100	\$24.480	81.9
200	\$24.859	83.2



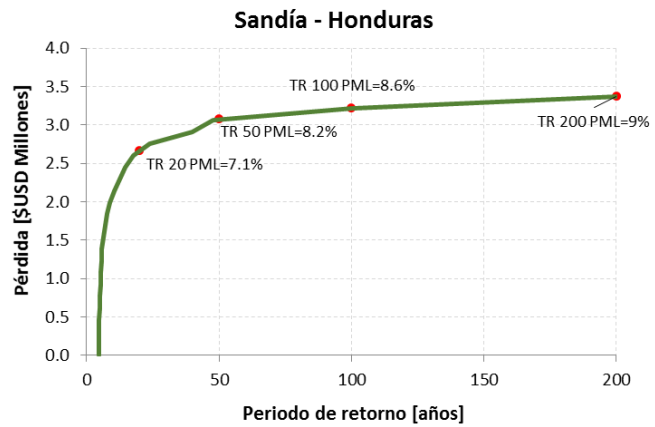
*Curva de pérdidas PML*



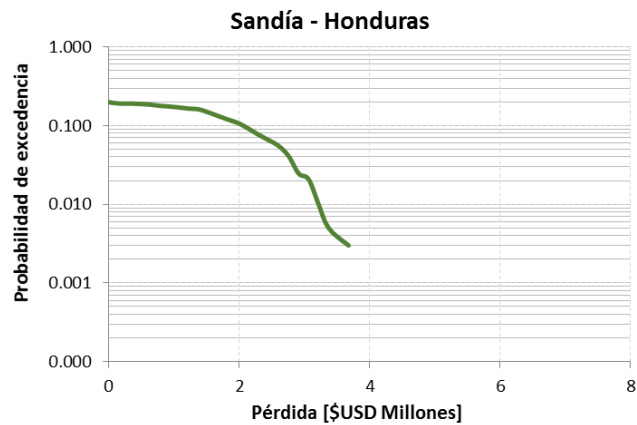
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Sandía

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$37.7
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.4
	%	1.18%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$2.668	7.1
50	\$3.075	8.2
100	\$3.221	8.6
200	\$3.375	9.0



Curva de pérdidas PML

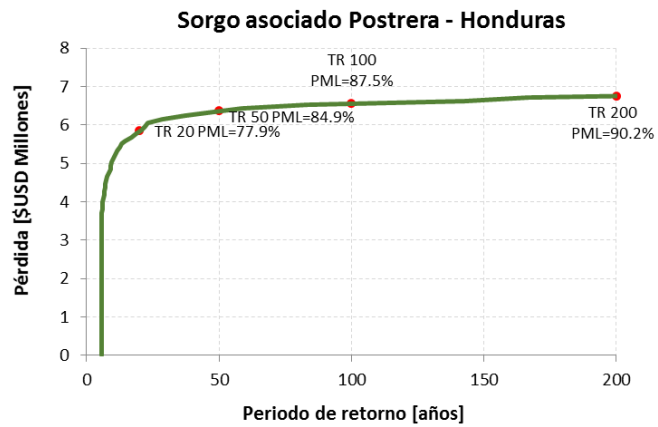


Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año

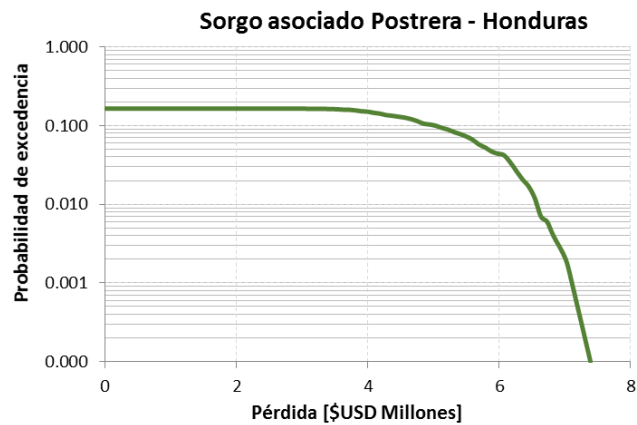


## Sorgo asociado Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$7.5
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.9
	%	12.64%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$5.842	77.9
50	\$6.366	84.9
100	\$6.561	87.5
200	\$6.760	90.2



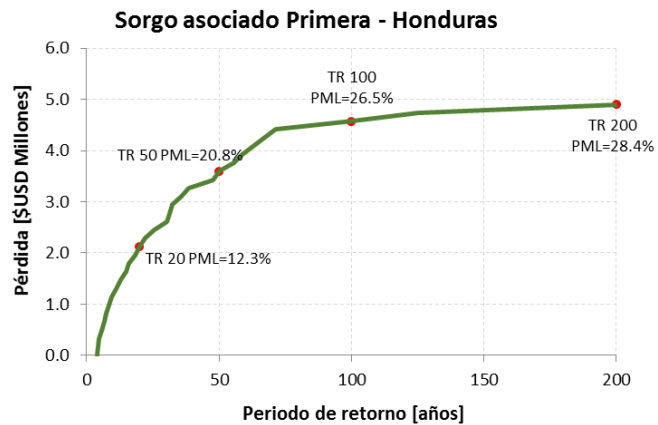
*Curva de pérdidas PML*



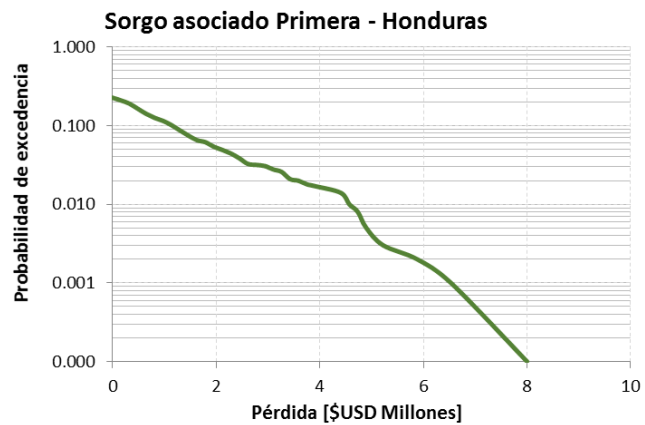
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Sorgo asociado Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$17.3
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.3
	%	1.98%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$2.123	12.3
50	\$3.594	20.8
100	\$4.574	26.5
200	\$4.900	28.4



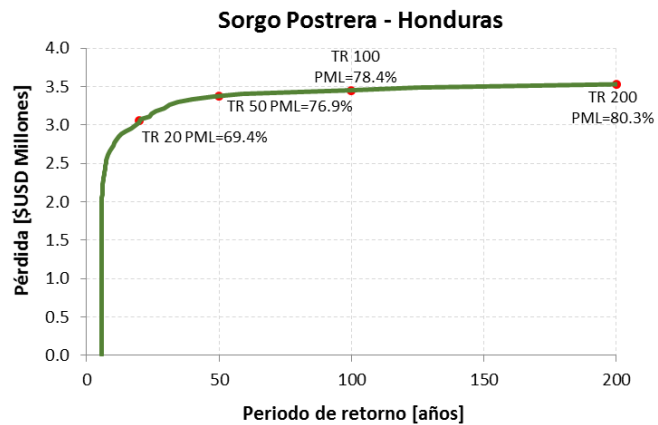
*Curva de pérdidas PML*



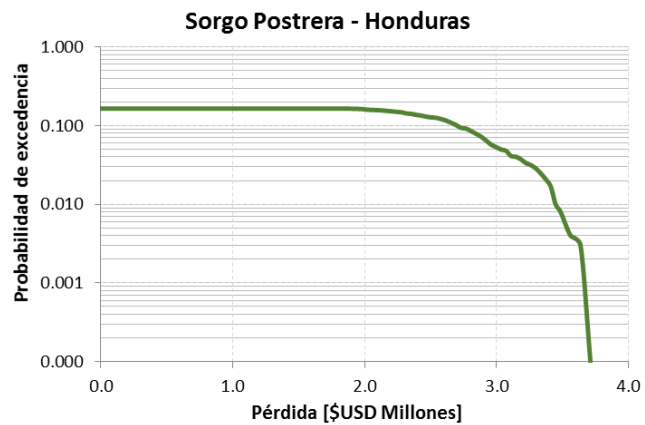
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Sorgo Postrera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$4.4
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.5
	%	11.55%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$3.051	69.4
50	\$3.380	76.9
100	\$3.447	78.4
200	\$3.530	80.3



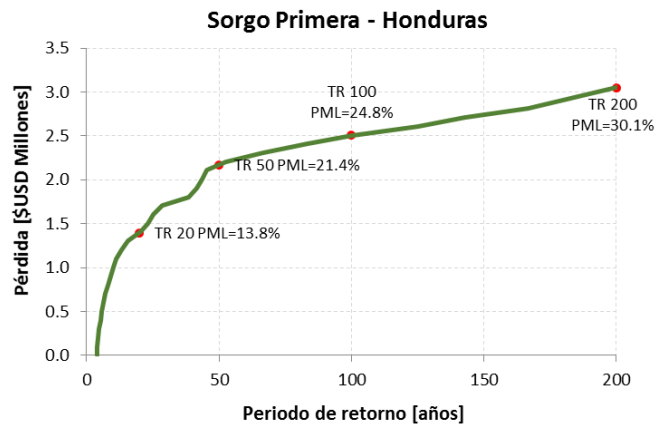
*Curva de pérdidas PML*



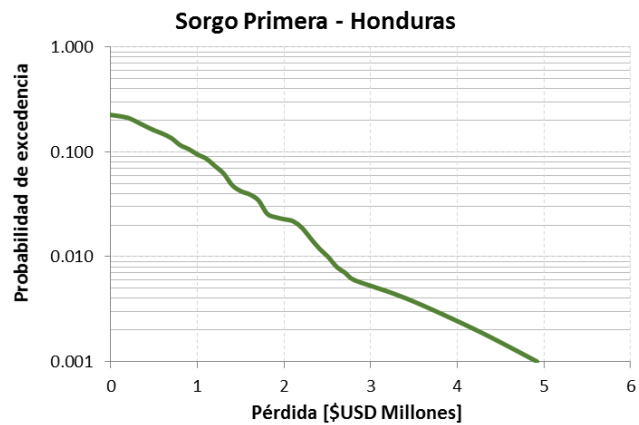
*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## Sorgo Primera

Resultados		
Valor Expuesto	USD Millones	\$10.1
Pérdida anual esperada	USD Millones	\$0.3
	%	2.47%
PML		
Periodo retorno	Pérdida	
años	USD Millones	%
20	\$1.396	13.8
50	\$2.171	21.4
100	\$2.508	24.8
200	\$3.050	30.1



*Curva de pérdidas PML*



*Probabilidad de que se supere la pérdida en el próximo año*

## A. 12 Archivos digitales de soporte de sequía

A continuación, se presenta una breve descripción de la información que se entrega como anexo a este informe en versión digital, pertinente a la evaluación de riesgo por sequía para El Salvador, Guatemala y Honduras. Para cada país se entrega los insumos para la evaluación del riesgo, las modelaciones realizadas con el software Drought Pro y los resultados obtenidos.

Carpeta	Insumo		Descripción
Insumos para riesgo	Clima	Cambio climático	Proyecciones de cambio en precipitación y temperatura media del modelo de circulación global MPI-ESM-MR para los escenarios de forcings antropogénicos RCP2.6, RCP4.5 y RPC8.5 (Representative Concentration Pathways) definidos en el informe AR5 del IPCC. Esta información se encuentra a nivel de regional.
		Clima base	Registros históricos (1981-2010) de las variables climáticas (acumulación diaria de precipitación, temperatura máxima, mínima y media, humedad del aire, radiación solar, presión atmosférica y la velocidad del viento) que fueron utilizadas para la evaluación probabilista de la amenaza por sequía.
	Exp		Mapas con la localización georreferencia y área sembrada en formato tipo shape (.shp) para todos los cultivos de cada país.
	Vul		Archivo de texto (.txt) con la definición de parámetros conservativos y no conservativos de cada cultivo. Archivo de tipo .CSV con la definición de parámetros conservativos y no conservativos del tipo de suelo.
Proyecto Drought Pro	Climate Model	ClimateInput	Archivos de entrada de temperatura máxima, mínima y media, precipitación y localización de las estaciones meteorológicas
		EToBase	Variables climáticas requeridas para el cálculo de la evapotranspiración (humedad del aire, radiación solar, presión atmosférica y la velocidad del viento)
		Indices	Índice SPEI con una escala de 12 meses calculado por el software para la identificación de condiciones de sequía del clima base y bajo condiciones de cambio climático.
		Simulations	Series modeladas de valores diarios de precipitación, temperatura (media, máxima y mínima) y evapotranspiración para 1,000 años equivalentes calculadas por el programa.
	RiskResults		Archivos de salida con la información de producción en Toneladas, pérdida económica en USD, producción potencial en toneladas, valor expuesto, para todos los escenarios de clima.
Resultados Riesgo			Hojas de cálculo de Excel con los datos usados para construir las curvas de PML y pérdidas presentadas en este informe