



BID

Banco Interamericano
de Desarrollo

Casos de Estudios de Adaptación al Cambio Climático

Impactos del Cambio Climático
durante las Sequías en la ciudad de
Trujillo, Perú

Roar Jensen
Anita May Asadullah
Alejandro Lasarte
Fernando Miralles-Wilhelm
Raúl Muñoz Castillo

División de Agua y
Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-811

Septiembre 2015

Casos de Estudios de Adaptación al Cambio Climático

Impactos del Cambio Climático durante las Sequías en la ciudad de Trujillo, Perú

Roar Jensen
Anita May Asadullah
Alejandro Lasarte
Fernando Miralles-Wilhelm
Raúl Muñoz Castillo

Septiembre 2015

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Casos de estudios de adaptación al cambio climático: impactos del cambio climático durante las sequías en la ciudad de Trujillo, Perú / Roar Jensen, Anita May Asadullah, Alejandro Lasarte, Fernando Miralles Wilhelm, Raúl Muñoz Castillo.

p.cm. — (Nota técnica del BID ; 811)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Climatic changes— Adaptation— Peru 2. Climate change mitigation—Peru. 3. Droughts—Peru. I. Jensen, Roar. II. Asadullah, Anita May. III. Lasarte, Alejandro. IV. Miralles Wilhelm, Fernando. V. Muñoz Castillo, Raúl. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. VII. Serie. IDB-TN-811

JEL code: Q01; Q25; Q53; Q54; Q56; Q57; F63; F64

Palabras claves: Desarrollo sostenible, agua, cambio climático, adaptación, desarrollo económico, BID, Banco Interamericano de Desarrollo, medio ambiente, Perú, América Latina y el Caribe

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2015 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 .



Casos de Estudios de Adaptación al Cambio Climático

Impactos del Cambio Climático durante las Sequías en la ciudad de Trujillo, Perú



Contenido

1	Introducción	7
1.1	Antecedentes.....	7
1.2	El Caso de Estudio.....	8
1.3	El Enfoque del Caso de Estudio	10
2	Resumen, Conclusiones y Recomendaciones.....	13
2.1	Análisis de Vulnerabilidad.....	13
2.2	Predicción de Cambio Climático	14
2.2.1	El pronóstico de cambio climático para la Cuenca del río Moche	14
2.2.2	El pronóstico de cambio climático para la cuenca del río Santa	14
2.3	Impactos del Cambio Climático en el Uso del Agua y en el Agua Subterránea.....	15
2.3.1	Impactos en el acuífero del Moche	15
2.3.2	Impactos sobre la disponibilidad de agua en el Proyecto Chavimochic	16
2.3.3	Impactos en el sector de riego	16
2.4	Esquema del Plan de Adaptación	17
2.4.1	Medidas de adaptación generales.....	17
2.4.2	Adaptación a un clima más seco	18
2.4.3	Adaptación a un clima más húmedo	18
2.5	Las Lecciones aprendidas de este Caso de Estudio.....	19
3	Estudio de Sensibilidad y Vulnerabilidad del Sistema.....	21
3.1	General	21
3.2	¿El suministro de agua a Trujillo, podría ser vulnerable al Cambio Climático?	22
4	Los Impactos del Cambio Climático en la Disponibilidad de Agua y en las Condiciones del Agua Subterránea	23
4.1	Pronósticos del Cambio Climático para Trujillo y la Cuenca del río Moche	23
4.1.1	Cambios en la precipitación.....	23
4.1.2	Cambios en la temperatura	24
4.1.3	Impactos del Cambio Climático en los flujos del río Moche y en la recarga del Acuífero	25
4.1.3.1	Enfoque	25
4.1.3.2	Impactos del Cambio Climático en los flujos del río Moche	27
4.1.3.3	Impactos del Cambio Climático en el Acuífero del Moche.....	31
4.1.3.4	La extracción actual de agua subterránea bajo escenarios climáticos futuros.....	32
4.1.3.5	El bombeo futuro bajo escenarios climáticos futuros.....	35

4.2	Pronósticos del Cambio Climático para la Cuenca del Río Santa	38
4.2.1	Cambios evaluados en la precipitación	41
4.2.2	Cambios evaluados en la temperatura.....	42
4.2.3	Cambios proyectados en la disponibilidad de agua para el canal Chavimochic	44
4.2.3.1	Los impactos en el caudal del río inducidos por el clima	44
4.2.4	Otras presiones en el flujo del río	46
5	Los Impactos del Cambio Climático en las Demandas de Riego en el Área de Trujillo.....	47
6	El Proceso de Adaptación	51
6.1	Posibles Medidas de Adaptación.....	52
6.2	Matriz de Análisis de Opciones	54
7	Esquema del Plan de Adaptación	61
7.1	Medidas Generales de Adaptación	61
7.2	Adaptación a un Clima más seco	62
7.3	Adaptación a un Clima más Húmedo	63
8	Referencias	65

Figuras

Figura 1.1	Ubicación de las cuencas del Moche y río Santa.....	9
Figura 1.2	Enfoque por pasos usado en los casos de estudios de este proyecto.	11
Figura 4.1	Cambio pronosticado en la precipitación (como un porcentaje de los valores actuales) hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2).....	24
Figura 4.2	Cambio pronosticado en la temperatura máxima diaria hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2).....	25
Figura 4.3	Cambio pronosticado en la temperatura mínima diaria hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2).....	25
Figura 4.4	Ubicación de las estaciones hidrológicas usadas en el modelaje de precipitación-escorrentía en la Cuenca Superior del río Moche	28
Figura 4.5	Calibración del modelo NAM modelo para la Cuenca del río Moche. Escorrentía promedio mensual simulada y observada en Quirihuac.....	29
Figura 4.6	Caudales mensuales simulados 75% confiables en el río Moche en Quirihuac, en la situación presente así como también para los escenarios optimistas y pesimistas del clima futuro.....	30
Figura 4.7	Contribuciones de aguas subterráneas simuladas 75% confiables al río Moche aguas arriba de Quirihuac, para la situación presente así como también para los escenarios optimistas y pesimistas del clima futuro.	30
Figura 4.8	La Extensión del Modelo Chavimochic del Acuífero del Moche.....	32

Figura 4.9	Aumento simulado de las aguas subterráneas desde las condiciones actuales hasta las condiciones bajo un escenario climático seco. Los valores negativos indican un descenso en el nivel freático.	33
Figura 4.10	Aumento simulado de las aguas subterráneas desde las condiciones actuales hasta las condiciones bajo un escenario climático húmedo. Los valores negativos indican un descenso en el nivel freático.	34
Figura 4.11	Áreas de Agregación: Acuífero entero (rojo) y área con profundidades simuladas a las aguas subterráneas de menos de 5 m en el escenario 3 (Brown).	35
Figura 4.12	Incremento del bombeo planificado desde el Acuífero para satisfacer la demanda en aumento del SEDALIB 2005 (Ref. 9).....	36
Figura 4.13	Cambios en la profundidad del agua subterránea desde las condiciones presentes hasta un clima futuro húmedo con una tasa de bombeo desde los pozos del SEDALIB de 1500 l/s.	37
Figura 4.14	Cambios en la profundidad del agua subterránea desde las condiciones presentes hasta un clima futuro seco con una tasa de bombeo desde los pozos del SEDALIB de 1500 l/s.	38
Figura 4.15	Importancia relativa de los factores que contribuyen a la incertidumbre en proyecciones de temperatura de un promedio de 10 años en Suramérica. Naranja: Variabilidad natural interna de temperaturas. Azul: Incertidumbre del modelo. Verde: escenario de incertidumbre. La escogencia del modelo climático es el factor más importante para el horizonte temporal 2030-2039. Fuente: Ref. 13	39
Figure 4.16	Importancia relativa de los factores que contribuyen a la incertidumbre en proyecciones de cambio climático para la precipitación de junio, julio y agosto en Suramérica. Naranja: Variabilidad natural. Azul: Incertidumbre del modelo. Verde: escenario de incertidumbre. Las proyecciones son más sensibles a la escogencia del modelo climático que la escogencia del escenario de emisiones, Fuente: Ref. 14.....	40
Figura 4.17	Cambios en la precipitación sobre la Cuenca del río Santa para el periodo 2030-2039 tal como previsto por los modelos MRI y NCAR. (Fuente: Ref. 1)	42
Figura 4.18	Las temperaturas proyectadas en la cuenca del Santa para el periodo 2030-2039 comparada con el periodo de referencia , de dos modelos climáticos, MRI y NCAR, bajo el escenario de emisiones A1B. Fuente: Ref. 1.....	43
Figura 5.1	Cambio en la evaporación de referencia en Trujillo, calculado por el cambio en el componente de temperatura en los estimados Penman-Monteith y manteniendo el resto de los parámetros en el nivel actual.....	48
Figura 6.1	UKCIP Adaptation Wizard v 2.0. UKCIP, Oxford (UKCIP, 2008).....	52



Tablas

Tabla 4.1	Escenarios de cambio climático simulados	29
Tabla 4.2	Incrementos simulados en los niveles de agua subterránea del acuífero de Moche (bombeo actual) bajo un clima futuro. Los cambios se dan como máximo, mínimo y promedio a lo largo del acuífero en su conjunto y sobre la parte del acuífero con profundidades de aguas subterráneas simuladas de menos de 5 m. Las dos áreas de agregación se indican en la figura 4.11.	34
Tabla 4.3	Incrementos simulados en los niveles de agua subterránea del acuífero de Moche del bombeo y condiciones del clima actuales a un clima futuro seco con un bombeo de 1500 l/s. Los cambios se dan como máximo, mínimo y promedio a lo largo del acuífero en su conjunto y sobre la parte del acuífero con profundidades de aguas subterráneas simuladas de menos de 5 m. Las dos áreas de agregación se indican en la figura 4.11.....	37
Tabla 4.4	Cambios proyectados en la precipitación en la Cuenca del río Santa, de dos modelos climáticos diferentes bajo la presunción del escenario A1B de emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente: Ref. 1.	41
Tabla 4.5	Los cambios proyectados de temperatura para la cuenca del río Santa de dos modelos climáticos. Fuente: Ref. 1.....	43
Tabla 4.6	Cambios proyectados en el flujo del río Santa en el cerro El Cóndor, aguas arriba de la toma de CHAVIMOCIC. Reproducido de la Ref. 1	44
Tabla 4.7	Área glaciaria tal como proyectada por un modelo glaciario usando las proyecciones de los dos modelos climáticos como datos de entrada. Ver Ref. 1.....	45
Tabla 4.8	Estimado y proyecciones de la población para Perú y la región de Ancash. (Ref. 12).....	46
Tabla 5.1	Factores de cambio calculados en la evaporación de referencia y la demanda futuro de riego para los cambios de temperatura previstos.....	49



1 Introducción

1.1 Antecedentes

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha contratado los servicios de DHI para realizar este estudio bajo el proyecto denominado “Productos de Conocimiento y Fortalecimiento de Capacidad”.

El objetivo general del proyecto es el desarrollo de un portafolio inicial de casos de estudio de adaptación, que permitan al BID responder a los requerimientos y necesidades de sus países miembros en establecer políticas específicas de adaptación al cambio climático con relación a los impactos en los recursos hídricos.

Los casos de estudios se basan en actividades en desarrollo del BID en la región de América Latina y que tienen por finalidad ofrecer información local y análisis que ayuden a los administradores de recursos hídricos locales en hacerle frente a los desafíos del cambio climático, así como también preparar directrices sobre la forma de integrar la adaptación al cambio climático en la implementación de proyectos financiados por el Banco y para identificar explícitamente el impacto de las medidas de adaptación.

El caso de estudio que se describe en el presente informe es parte de estos proyectos y los asuntos de interés:



Impactos del Cambio Climático durante las Sequías en la ciudad de Trujillo, Perú

Los objetivos específicos del estudio son:

- i. Contribuir con el fortalecimiento de la capacidad del operador de agua y saneamiento en Trujillo, SEDALIB, y las autoridades de la ciudad para responder de forma adaptativa al cambio climático en términos de sus necesidades y vulnerabilidades;
- ii. Definir, en términos de las variables cuantitativas medibles, la vulnerabilidad del sector de agua y saneamiento en América Latina (LAC) al cambio climático en diferentes tipos de proyectos.
- iii. Contribuir al establecimiento de directrices para "mejores prácticas" en la adaptación al cambio climático en el sector de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe (LAC).
- iv. Contribuir a los esfuerzos globales del Banco para clasificar, monitorear y evaluar sus inversiones en reducir la vulnerabilidad al cambio climático en la región.

Además de Trujillo, se han seleccionado otras tres ciudades para servir como casos para diferentes tipos de impactos del cambio climático, esta son:

1. Montevideo, Uruguay (eventos hidrológicos extremos en aumento)
2. Port-of-Spain, Trinidad y Tobago (ascenso del nivel del mar)
3. Quito, Ecuador (Hidrología de montaña/Recesión glaciaria)

En calidad de socio estratégico de la ciudad de Trujillo y del SEDALIB, el Banco Interamericano de Desarrollo durante los años recientes ha desarrollado varios proyectos de infraestructura básica de agua y saneamiento en la ciudad y, en la actualidad la División del BID de Agua y Saneamiento, bajo el cual se desarrolla el presente Proyecto, está trabajando con Trujillo bajo el alcance de "Ciudades Sostenibles" para mejorar la sostenibilidad de la ciudad en una escala amplia incluyendo el mejoramiento de la capacidad institucional para la gestión eficiente.

1.2 El Caso de Estudio

La ciudad de Trujillo está ubicada en la orilla del río Moche (ver Figura 1) y la ciudad recibe el agua de dos fuentes diferentes:

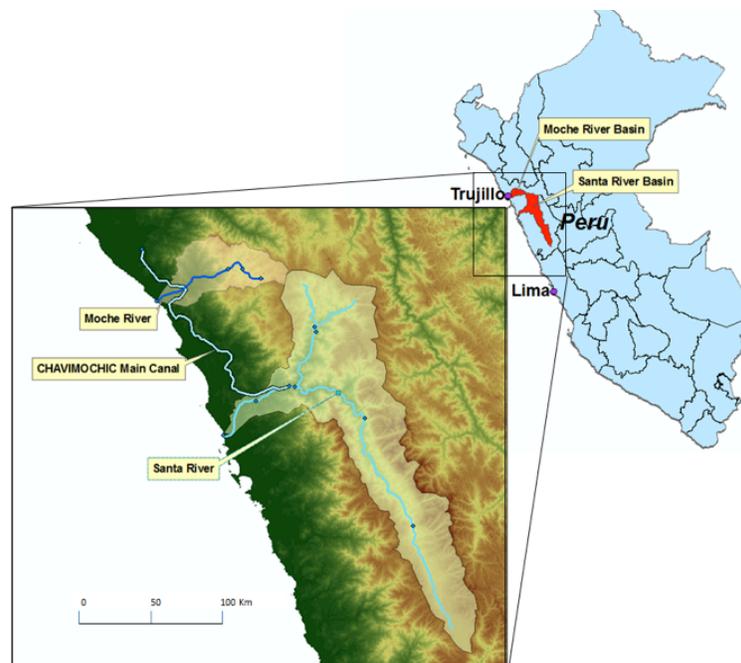
1. El acuífero subterráneo local en el Valle de Moche, y
2. La transferencia inter-cuenca vía el canal Chavimochic. Este canal transporta el agua desde el río Santa (perenne) y la distribuye a lo largo de la costa. El agua se utiliza principalmente para el riego de cultivos comerciales. En la actualidad, el suministro a Trujillo desde el canal (1,25 m³ / s) tiene la prioridad más alta (mayor que el riego) y asciende sólo a una pequeña fracción de la capacidad del canal.

La evaluación de la vulnerabilidad de la ciudad de Trujillo al cambio climático, por lo tanto, hará frente a los posibles impactos del clima en ambas fuentes y las consecuencias sobre el abastecimiento de la ciudad. Desde puntos de vista hidrológicos y climáticos, las dos fuentes son muy diferentes.

El río Moche es alimentado por una cuenca de 2.700 km² predominantemente situada en la parte árida o semiárida del país (ver Figura 1). No hay glaciares en la cuenca y el flujo varía significativamente en el transcurso del año y suele ser bastante bajo (por debajo de 1 m³ / s) en partes de la estación seca. Las únicas evaluaciones disponibles del cambio climático para la cuenca del Moche son las evaluaciones nacionales generales basados en los modelos de circulación global con una resolución muy gruesa. Además, la información hidrológica y los estudios del río son escasos. El caso de estudio ha analizado los posibles cambios en la recarga al acuífero Moche sobre la base de la información disponible.

La cuenca del río Santa tiene una superficie total de aproximadamente 12.200 Km², lo cual lo hace el segundo río peruano más grande y que fluye con mayor regularidad para llegar al Océano Pacífico (ver Figura 1). El río Santa es alimentado por los glaciares de la Cordillera Blanca, la cual define el límite oriental de la cuenca. La Cordillera Blanca contiene la concentración de glaciares tropicales más grande del mundo, la mayoría de los cuales fluyen hacia el oeste hacia el Océano Pacífico a lo largo del río Santa. El río Santa ha sido mejor investigado que el Moche. Se han establecido modelos regionales de reducción de escala para las proyecciones del cambio climático y están disponibles evaluaciones de impactos del cambio climático tanto para los caudales de los ríos como para los flujos de glaciares. Estos estudios existentes se han usado para cuantificar los posibles efectos del cambio climático en la ciudad de Trujillo. La asignación de los recursos de agua en el río Santa es políticamente sensible, y con la competencia por los recursos, sobre todo en la estación seca, además de las puramente climáticas, otras presiones podrían tener que ser tomadas en cuenta en la evaluación del suministro futuro de la ciudad de Trujillo.

Figura 1 Ubicación de las cuencas del Moche y río Santa



Además del suministro de agua para uso doméstico a la ciudad de Trujillo, el proyecto Chavimochic también suministra agua para riego a lo largo de la costa y en el valle de Moche. Los agricultores en el valle anteriormente bombeaban su agua de riego del acuífero del Moche, pero muchos de ellos ahora hacen uso del agua superficial del Chavimochic. Debido a las pérdidas por la irrigación este cambio en la fuente de agua significa una importación neta de agua al acuífero que en los últimos años ha elevado los niveles de agua subterránea en Trujillo a niveles que causan problemas para la fundación de edificios y carreteras, así como una congestión de los drenajes en las partes del valle aguas abajo. Por lo tanto, los problemas de recursos de agua que enfrenta Trujillo parecen estar más relacionados con la congestión de drenajes que con las sequías.

Debido a que SEDALIB todavía bombea parte de su agua cruda desde aguas arriba en el acuífero del Moche y desea expandir su bombeo, este caso de estudio incluye un análisis de sostenibilidad de dicho bombeo bajo un cambio climático.

En base a la evaluación de los impactos del cambio climático sobre el flujo del canal Chavimochic y del acuífero del Moche, se han identificado las posibles medidas de adaptación y clasificado de forma preliminar para crear un esquema inicial del plan de adaptación con un enfoque en el futuro próximo. Los resultados iniciales sobre las opciones de adaptación serán presentados y discutidos con las partes interesadas en Trujillo antes de producir un informe revisado del caso de estudio.

1.3 El Enfoque del Caso de Estudio

El enfoque utilizado en el estudio de caso se inspira en un enfoque paso a paso para incorporar la adaptación al cambio climático y la resiliencia en los proyectos de desarrollo, como ha sido desarrollado por USAID. Sin embargo, el enfoque se ha modificado para adaptarse a este proyecto, tanto en términos de alcance como de enfoque. Mientras que el enfoque original se centra principalmente en proyectos de infraestructuras nuevas, el presente caso de estudio considera la sostenibilidad del abastecimiento de agua existente y de los sistemas de drenaje de Trujillo y su adaptación a las condiciones climáticas futuras. Este enfoque se ilustra en la Figura 1.2.

Para garantizar la consistencia entre el enfoque del caso de estudio y las preocupaciones y problemas percibidos por las partes interesadas locales, se ha realizado un proceso participativo de forma paralela con los análisis y evaluaciones técnicas. Este proceso incluye:

- La recolección de la información inicial relacionada con asuntos de agua en Trujillo
- Un taller inicial con la Municipalidad y partes interesadas importantes en Trujillo
- Una reunión con partes interesadas, visitas de campo y visitas a las instituciones que guardan datos
- Un taller en Trujillo para la presentación de los resultados preliminares y la recolección de la retroalimentación de las partes interesadas
- Un taller del caso de estudio en el BID, Washington D.C.

En el transcurso de este proceso se hizo claro que los problemas principales en Trujillo estaban relacionados con la acumulación de agua más que con las sequías. En consecuencia, el enfoque original del estudio se ajustó para incorporar los problemas de congestión de drenajes de aguas subterráneas.

Figura 1.2 Enfoque por pasos usado en los casos de estudios de este proyecto.

1

- **Screening de Sensibilidad y Vulnerabilidad**
- Parece el sistema sensible y vulnerable al cambio climático?
- Si no es así, dejarlo hasta aquí.

2

- **Cuantificar los posible impactos climáticos en el sistema**
- Cuales son los impactos en los recursos hídricos disponibles / niveles del mar o en inundaciones y sequías

3

- **Evaluar la sensibilidad del sistema a los impactos del agua**
- **Comparar los impactos a los búfers/tampones de los sistemas y a los impactos de otras presiones.**

4

- **Identificar posibles medidas de adaptación**
- Son estas opciones sin- arrepentimiento/no-regret?
- Efectos adversos
- Mas estudios para reducir las incertidumbres del análisis

5

- Sugerir un plan de adaptación

2 Resumen, Conclusiones y Recomendaciones

2.1 Análisis de Vulnerabilidad

El suministro de agua de uso doméstico desde el río Santa a Trujillo vía el canal del Chavimochic probablemente no se vea afectado por el cambio climático. El suministro anual a Trujillo es solo el 4% del suministro de riego desde el canal y el suministro doméstico tiene prioridad sobre el riego. Además, la capacidad del canal del Chavimochic se ha diseñado para prestar servicios a un área más grande que la actual. Por lo tanto, debe haber un búfer en el proyecto Chavimochic aun para incrementar el abastecimiento a la ciudad, en caso que resulte necesario.

Parte del suministro se basa en el bombeo desde el acuífero de Moche y este bombeo puede ser sensible a las sequías. Por lo tanto, los impactos sobre el acuífero propuesto de bombeo en función de escenarios climáticos futuros - secos y húmedos- han sido analizados con un modelo existente de agua subterránea.

La ciudad de Trujillo podría ser vulnerable indirectamente al cambio climático a través de su posible impacto en el sector de riego que, en esencia, es la base para la sostenibilidad económica de la Ciudad. Los impactos del cambio climático en los flujos en el río Santa, según evaluado por otros estudios (Ref. 1), por lo tanto se han discutido y usado para analizar los impactos en los flujos del canal del Chavimochic.

También se ha llevado a cabo una evaluación de los posibles cambios en la demanda de agua de riego, en un escenario de cambio climático seco, y se incluye en los análisis para investigar la sensibilidad del sector de riego al cambio climático previsto.

Los análisis indican que Trujillo es vulnerable a la congestión de drenajes en un posible escenario climático futuro húmedo, pero que la ciudad podría sufrir escasez de agua para satisfacer las demandas internas después del 2020 bajo un posible clima más seco. Sin embargo, los análisis también sugieren que existen medidas de adaptación a ambas situaciones.

2.2 Predicción de Cambio Climático

El agua a la ciudad de Trujillo se origina en dos fuentes diferentes: la Cuenca del río Moche y del río Santa (a través del canal Chavimochic). Los pronósticos de cambio climático para estas dos áreas se estudian de manera separada.

2.2.1 El pronóstico de cambio climático para la Cuenca del río Moche

La mejor evaluación del cambio climático disponible para la cuenca del río Moche es la realizada en la Segunda Comunicación Nacional en Cambio Climático (Ref. 2). La evaluación se basa en los escenarios climáticos globales, utilizando metodologías de reducción de escala dinámicas y estadísticas reconocidas por el IPCC para el escenario A2 de emisiones altas.

Para esta evaluación nacional, se crearon los siguientes escenarios climáticos locales futuros y se analizaron para el presente caso de estudio:

- Un escenario seco de cambio climático asumiendo un *aumento* de temperatura de 1.2 grados en la Cuenca del Moche y una *disminución* correspondiente del 10% de la precipitación en la Cuenca.
- Un escenario húmedo de cambio climático asumiendo un *aumento* de temperatura de 0.4 grados en la Cuenca del Moche y un *incremento* correspondiente del 10% de la precipitación en la Cuenca.
- Un escenario de cambio climático para las áreas costeras asumiendo un aumento de la temperatura de 0.8 grados y ningún cambio en la precipitación, lo cual es insignificante en estas áreas desérticas.

2.2.2 El pronóstico de cambio climático para la cuenca del río Santa

Las proyecciones del cambio climático para la cuenca del río Santa y sus impactos en la disponibilidad de agua se modeló y fueron reportados por el MINAM y SENAMHI en el 2012 (Ref. 1). Este informe es el más actualizado de la zona y constituye la base de la información presentada aquí. El informe evalúa cambios para el horizonte temporal 2030-2039.

Se simularon las proyecciones de cambio climático para el río Santa para el escenario futuro A1B de las emisiones de gases de efecto invernadero. El escenario A1B se basa en los supuestos de crecimiento económico rápido y de bajo crecimiento demográfico, con una rápida introducción de tecnología nueva y más eficiente.

Se analizan los resultados de dos modelos climáticos: El modelo MRI japonés con alta resolución espacial (20 km x 20 km) y el modelo NCAR, el cual es resultado de la reducción de escala dinámica del modelo climático CCSM3 Global con una resolución de 5 km x 5 km.

Para el período 2030-2039 los dos modelos proyectan que las precipitaciones en los meses más húmedos aumentarían y las precipitaciones en los meses más secos de julio y agosto se reducirían ligeramente. Sin embargo, el modelo NCAR también proyecta una disminución de las precipitaciones en enero y febrero. *Los modelos predicen que la precipitación anual se incrementa en 3,2% y 16,1% para los modelos de NCAR y MRI, respectivamente.*

Ambos modelos climáticos muestran un aumento de la temperatura en la cuenca del Santa para todos los meses. *Los aumentos de temperatura están en el rango entre 0.9 y 1.7 grados C para ambos modelos.*

2.3 Impactos del Cambio Climático en el Uso del Agua y en el Agua Subterránea

2.3.1 Impactos en el acuífero del Moche

En base del análisis de la esorrentía de la cuenca del Moche Superior, llevado a cabo en este caso de estudio, la esorrentía mensual probable de 75% en Quirihuac, aguas arriba del acuífero, se ha encontrado que cambia por factores de 1.37 y 0.57 para los escenarios de clima húmedo y seco, respectivamente. Los factores correspondientes para el 75% del flujo de base probable (aporte de aguas subterráneas) son 1.41 para el escenario húmedo y 0.55 para el seco.

Un aumento del patrón de bombeo por los pozos de Chavimochic ha sido sugerido por un estudio previo (Chavimochic, Ref. 6) para combatir la congestión del drenaje. *Una combinación de este bombeo y la actual extracción por SEDALIB para el suministro doméstico se ha analizado en el escenario de clima seco y se ha encontrado que las tasas de bombeo actuales son sostenibles.* Debido a una inferior afluencia de aguas subterráneas al acuífero y a un río más seco, los niveles de agua subterránea serán menores en el escenario climático seco futuro. En general, los resultados muestran una caída promedio de 0.9 m en la parte del acuífero que actualmente tiene profundidades de aguas subterráneas menores de 5 metros.

Para el escenario de clima húmedo y el bombeo antes mencionado, los niveles de agua subterránea se elevarán por todo el acuífero porque tanto los caudales de los ríos y el flujo de entrada a las aguas subterráneas aumentarán. *El aumento promedio se ha calculado en 0.32 m para la zona, en la que el agua*

subterránea ya está a menos de 5 m por debajo del terreno. El aumento del bombeo para uso doméstico a 1.500 l / s como sugiere SEDALIB en el plan maestro del 2005 (Ref. 9) se ha encontrado, sin embargo, ser suficiente para controlar el aumento del nivel del agua e incluso bajar el agua subterránea en un promedio de 0.64 m debajo de las partes esenciales de la ciudad. Este escenario futuro de bombeo parece ser sostenible en las futuras condiciones húmedas.

El aumento de la extracción doméstica a 1.500 l / s también ha sido analizada en el escenario de clima seco. En este caso los resultados son la reducción sustancial de las aguas subterráneas en un promedio alrededor de 4.5 m debajo de las partes esenciales de la ciudad. *El escenario de bombeo todavía parece ser sostenible pero los niveles de agua subterránea, a lo largo de la línea costera se acercan a cero aunque todavía son positivos. Para evitar la posible intrusión salina en el acuífero, el escenario por tanto, debe ser investigado en mayor detalle y de llegar a implementarse, debe ir acompañado de un monitoreo intensivo del agua subterránea en la franja costera.*

Por lo tanto, los análisis realizados en el marco de este estudio con el modelo de agua subterránea existente, sugieren que el aumento propuesto en el bombeo, para satisfacer la demanda interna hasta el 2018, parece ser sostenible para ambos escenarios climáticos, y parece ser necesario y suficiente para el control del aumento de las aguas subterráneas bajo la ciudad en el escenario húmedo.

2.3.2 Impactos sobre la disponibilidad de agua en el Proyecto Chavimochic

En el futuro cercano, la verdadera variable de interés para Trujillo es el cambio en el futuro de la disponibilidad de agua para el proyecto Chavimochic en el río Santa.

Sobre la base de la precipitación-escorrentía y el modelaje glaciar, el MINAM y el SENAMHI han evaluado los cambios en el flujo en el Cerro El Cóndor, justo aguas arriba de la toma de CHAVIMOCHIC. Los resultados para ambos modelos climáticos *muestran un aumento del flujo en todos los meses e incrementos de alrededor del 15% para los meses más secos, en relación con el período 1969-1989. Esto sugiere que para el horizonte temporal 2030-2039, los cambios inducidos por el clima en el flujo por sí solo no causará problemas para el abastecimiento de agua de CHAVIMOCHIC.*

El aumento proyectado del flujo incluye un componente de escorrentía adicional debido a la pérdida de masa de hielo en la cuenca. Este componente se secará con el tiempo en la medida que los glaciares desaparezcan. Un rápido análisis de las tasas de derretimiento experimentadas sugiere, sin embargo, que los glaciares no son susceptibles de desaparecer en el horizonte temporal considerado (hasta el 2039).

2.3.3 Impactos en el sector de riego

El sector de riego es muy importante para la economía de Trujillo y su sostenibilidad social. Desde el punto de vista climático, las llanuras costeras de todo Trujillo son virtualmente desiertos. La precipitación media anual de Trujillo es insignificante y, por lo tanto, la incertidumbre en los estimados de precipitación, tiene poco efecto sobre los impactos del cambio climático en el riego. Sin indicios de una reducción en la disponibilidad de agua para CHAVIMOCHIC hasta el 2039, la evaluación de impactos se ha limitado a un análisis rápido de los cambios en la evapotranspiración. El análisis sugiere que el cambio en las demandas de riego anuales en el área de Trujillo puede ser alrededor de +6% en un clima futuro y que los cambios en el mes más crítico pueden ser + 7%. Si tales impactos se materializan, los mismos se pueden compensar

mediante la reducción en un 26% de la expansión prevista en la tercera etapa del proyecto. De manera alternativa, la demanda de riego se puede reducir a un nivel nuevo (sostenible) mediante la inversión en equipos de riego con ahorro de agua o por el reajuste de los patrones de cultivo y de riego. Sin embargo, la planificación de dichas medidas y la cuantificación de sus posibles efectos requieren de un análisis más detenido que lo posible bajo este estudio.

2.4 Esquema del Plan de Adaptación

Debido a que existen muchas incertidumbres incluídas en las evaluaciones de los impactos del cambio climático, las medidas de adaptación que se han identificado y clasificado en este caso de estudio dan preferencia a:

- escenarios ganar/ganar (escenarios que benefician al sistema en otras formas adicionales a solo la adaptación al cambio climático),
- opciones de no-arrepentimiento/no-regret (acciones que resultan buenas inversiones independientemente de cómo se desenvuelva el clima) y
- estudios que aumenten el conocimiento y ayuden en reducir algunas de las incertidumbres encontradas

Se han identificado unas medidas de adaptación y clasificado de manera preliminar mediante una matriz de criterios múltiples de puntaje, que se enfoca –entre otros- en los criterios antes mencionados. Las opciones de calificación a través de dicho análisis de criterio múltiple siempre será subjetiva y el asignar un puntaje o calificación puede ser cambiado si se alteran los criterios incluidos y el peso específico dado a cada uno. Las medidas de adaptación que se sugieren se incluyen en una lista a continuación, en una secuencia de acuerdo a su clasificación inicial. Tanto las opciones sugeridas de adaptación como su clasificación serán analizadas con las partes interesadas en Trujillo y la lista será revisada en la versión final de este informe.

2.4.1 Medidas de adaptación generales

- 1.1 Se debe iniciar *una evaluación detallada del cambio climático* de la cuenca del río Moche y áreas circundantes en línea con el trabajo desarrollado en la cuenca del río Santa. El objetivo es reducir la incertidumbre en los pronósticos climáticos y, como mínimo, restringir el impacto a una disminución del flujo o un aumento del flujo en la estación Quirihuac. Este trabajo debe utilizar varios modelos climáticos y reducciones de escala dinámicas.
- 1.2 *El establecimiento de un equipo de modelaje de aguas subterráneas* que realice estudios más detallados de aguas superficiales y subterráneas en acción en el acuífero del río Moche. Este equipo de trabajo debe habilitar a la ciudad, al SEDALIB y Chavimochic a responder de manera dinámica a los posibles cambios en el clima y en los patrones de bombeo, dirigido a mejorar las medidas de congestión de drenajes sin correr el riesgo del bombeo excesivo.

2.4.2 Adaptación a un clima más seco

- 2.1 *Realizar estudios de modelaje detallados* para revelar con mayor precisión, la tasa de bombeo sostenible desde el acuífero. Las evaluaciones rápidas de este estudio han indicado que el aumento de las tasas de bombeo planificadas hasta el 2018 parecen sostenibles bajo el clima más seco que se ha previsto.
- 2.2 *Negociar opciones para aumentar el suministro de agua de uso doméstico desde Chavimochic* en el caso que una nueva evaluación del clima señale hacia un escenario más seco que el que se ha analizado en este estudio, o si el análisis más detallado resulta en que las tasas de bombeo previstas no son sostenibles.
- 2.3 *Comenzar a planificar para el aumento de las demandas de riego*. Los estimados evaluados de aumento de las demandas de riego del 6% anualmente y del 7% en el mes más crítico (diciembre) no parecen ser alarmantes ya que el proyecto Chavimochic no está completamente desarrollado, y por tanto tiene un excedente de recursos hídricos suficiente para ajustarse a estos cambios. Sin embargo, los pronósticos deben ser afinados, y tomados en cuenta en la planificación del desarrollo subsiguiente del Proyecto, o compensado por cambios en los patrones de cultivo o ahorros de agua.
- 2.4 *Monitoreo de los niveles de aguas subterráneas en el acuífero*, particularmente a lo largo de la línea costera para impulsar un posible sobre-extracción y alterar los escenarios de bombeo de manera correspondiente.
- 2.5 Reducir las demandas brutas mediante la minimización de las pérdidas en el Sistema de distribución (reducción de la presión y/o trabajos de reemplazo).
- 2.6 *Exigir iniciativas de gestión* dirigidas a reducir la demanda neta por medio de la concientización, a través del aumento de precios o restricciones en el uso del agua. Los escenarios planificados de bombeo solo van a satisfacer las demandas hasta el 2020; si la demanda se reduce se puede prolongar el tiempo hasta que otras fuentes sean necesarias.
- 2.7 *Expansión de la extracción desde el canal de Chavimochic y aumentar la planta de tratamiento*. A ser realizado si estudios subsiguientes del escenario de bombeo del 2018 demuestran no ser sostenibles. Se sugiere una extensión de 750 l/s para compensar la diferencia entre el bombeo actual y las tasas de bombeo propuestas futuras.

2.4.3 Adaptación a un clima más húmedo

- 3.1 *Más estudios detallados* de la interacción entre aguas subterráneas y aguas superficiales el acuífero Moche para confirmar los resultados del presente estudio y para planificar una disminución mayor de la congestión de drenajes.
- 3.2 *Investigación de las oportunidades* de la expansión subsiguiente de los planes de desarrollo del proyecto Chavimochic abiertos por una disponibilidad mayor de agua.
- 3.3 Incrementar el bombeo del SEDALIB a los 1500 l/s planificados y utilizar éste para el suministro a la ciudad si la calidad del agua lo permite. El escenario de bombeo parece ser capaz de compensar por los efectos negativos del clima más húmedo.
- 3.4 *Incrementar el bombeo para el riego del valle*, tal como sugerido por Chavimochic en el Escenario 3 del estudio anterior (Ref. 6)

- 3.5 *Abstracción del agua del río para exportación fuera de la Cuenca.* Esto puede ayudar la congestión de drenaje pero necesita mayor investigación y cuantificación.
- 3.6 *Restringir el riego en ciertas áreas del valle.* Si la congestión del drenaje no puede ser controlada por otras medidas, será necesario restringir el riego en ciertas áreas del valle para ciertos tipos de cultivos con menor consumo de agua y fugas a las aguas subterráneas.

2.5 Las Lecciones aprendidas de este Caso de Estudio

En situaciones en las que las incertidumbres en las evaluaciones del cambio climático apuntan en diferentes direcciones hidrológicas (ya sea hacia un clima futuro más húmedo o más seco) las opciones estructurales sin lamentaciones (no-regret) pueden ser difíciles de definir, antes que predicciones climáticas más precisas concuerden en la dirección de la tendencia (climática). Por lo tanto, mejorar las predicciones climáticas locales se convierte en una prioridad.

La implementación de un aumento en el bombeo de agua subterránea en escenarios de clima seco requeriría de una evaluación, planificación y gestión de manera dinámica y detallada.

3 Estudio de Sensibilidad y Vulnerabilidad del Sistema

3.1 General

Trujillo tiene robustez ante los cambios climáticos, en particular con respecto a las sequías.

La vulnerabilidad de un sistema al cambio climático no sólo depende del cambio climático local o sus impactos sobre los recursos hídricos; también depende de la sensibilidad del sistema a tales cambios y en su capacidad para adaptarse a una situación de cambio.

Sistemas de abastecimiento de agua que toman el agua de una fuente abundante, por ejemplo, la extracción de una fracción insignificante del flujo de un río importante, no es probable que sean sensibles incluso a grandes cambios en los flujos de los ríos. En tales casos, por lo tanto, podría no ser necesario, desde el punto de vista de la oferta de agua, de invertir grandes esfuerzos en la planificación de la adaptación al clima.

En principio, un sistema también puede tener una capacidad intrínseca, de fácil acceso, para adaptarse a grandes cambios en la disponibilidad de recursos. También en estos casos, el sistema puede decirse que es robusto a los cambios climáticos y los análisis de adaptación adicionales pueden evitarse o posponerse. Sin embargo, los sistemas de abastecimiento de agua son normalmente diseñados para abastecer a una población de un tamaño determinado (a menudo cerca del tamaño real) con suficientes cantidades de agua en las condiciones hidrológicas presentes. Debido a que la población servida probablemente aumente en el futuro, y las iniciativas para reducir el consumo per cápita a menudo se llevan a cabo sobre una base "según sea necesario", entonces son pocos sistemas que, de hecho, tiene una capacidad adicional significativa para usar como protección contra una posible disminución de la disponibilidad de agua.

En las cuencas donde los recursos hídricos son compartidos por varios sectores (por ejemplo, suministro doméstico e industrial, de producción eléctrica, la agricultura y el medio ambiente) el suministro de agua potable tiene con frecuencia una prioridad más alta que el suministro a otros usos. Este hecho puede dar lugar a que el suministro de agua potable no sea directamente vulnerable a un cambio en el clima, porque las grandes extracciones de agua de otros sectores (frecuentemente, el sector de riego) podrían dar suficiente protección al suministro de agua potable contra los impactos de un clima cambiante. Sin embargo, un sistema en el que algunos sectores están sufriendo para proteger a otros, podría fácilmente generar problemas políticos. La necesidad de adaptación seguiría existiendo; solo se pasaría de un sector a otro.

3.2 ¿El suministro de agua a Trujillo, podría ser vulnerable al Cambio Climático?

Con los grandes aumentos previstos en la población urbana y la demanda correspondiente de agua en las próximas décadas, así como la actual capacidad del sistema de satisfacer la demanda actual, el sistema de suministro de agua de Trujillo es probable que sea a la vez sensible y vulnerable a los cambios en la disponibilidad de agua en la toma de agua superficial en el Canal Chavimochic y en el acuífero del Moche.

SEDALIB ya están cubriendo más de un tercio (750 l/s) del suministro de agua de uso doméstico de Trujillo (2000 l / s) desde los pozos en el acuífero del Moche y tiene planes para aumentar este bombeo para satisfacer los aumentos futuros proyectados en la demanda de agua (Ref. 1). Este plan puede ser sensible a los impactos del cambio climático sobre el acuífero.

En la actualidad, los altos niveles de agua subterránea en el valle del Moche están causando problemas a la infraestructura en Trujillo. La congestión de drenajes que se experimenta en el presente puede agravarse aún más si el clima en el Valle del Moche Superior cambia a un régimen más húmedo causando mayores flujos de entrada de aguas subterráneas y recargas desde el río al acuífero.

Este caso de estudio, por lo tanto, investigará los impactos en los niveles de agua subterránea en el acuífero del Moche de los cambios climáticos previstos en la cuenca del Moche Superior. Dado que la actual precipitación en Trujillo constituye menos del 1% de la evapotranspiración potencial (Ref. 10), cambios climáticos aún mayores en el área de la ciudad probablemente no tengan un efecto significativo sobre los recursos hídricos locales y por lo tanto no se continuará su estudio.

Aunque el flujo en el canal Chavimochic será sensible a los cambios futuros en el régimen de flujos del río Santa, el abastecimiento doméstico a Trujillo podría no verse amenazado por estos cambios, ya que está protegida por el hecho de tener la primera prioridad y porque las demandas actuales de extracción para el uso doméstico sólo representa una pequeña fracción del flujo del canal. Por tanto, las actividades de riego están actuando como una protección para el abastecimiento doméstico contra los efectos del cambio climático. Sin embargo, este estudio analizará los cambios previstos en los flujos del río Santa a fin de revelar si hay pronósticos que dichos flujos disminuyan, lo cual podría hacer más difícil para SEDALIB obtener agua adicional del canal en el futuro.

4 Los Impactos del Cambio Climático en la Disponibilidad de Agua y en las Condiciones del Agua Subterránea

4.1 Pronósticos del Cambio Climático para Trujillo y la Cuenca del río Moche

Para este caso de estudio, los pronósticos específicos de los cambios en las temperaturas y las precipitaciones sobre la cuenca del río Moche (y Trujillo) no han estado disponibles. Por tanto, los escenarios del cambio climático en la cuenca del río Moche utilizadas en este caso de estudio se han obtenido de la información cartografiada a escala nacional de la Segunda Comunicación Nacional (Ref. 3), la cual es la evaluación disponible más reciente del cambio climático. La evaluación se basa en los escenarios climáticos globales, utilizando metodologías de reducción de escala dinámicas y estadísticas reconocidas por el IPCC para el escenario A2 de emisiones altas.

4.1.1 Cambios en la precipitación

Los cambios previstos en las precipitaciones hasta el 2030 se han evaluado a partir del mapa nacional de los cambios de temperatura (Figura 4.1, Ref. 2). El mapa está a escala nacional y, por tanto, una escala bastante gruesa para hacer evaluaciones de la cuenca del río Moche, que representa sólo el 0.2% del territorio nacional. Sin embargo, se ha utilizado para la evaluación, ya que es la única información disponible para el área en este momento.

Para el área de interés, señalada en las figuras por el rectángulo azul, la precipitación media cerca del año 2030 se observa que va a desviarse entre -10% y + 10% de la precipitación anual de hoy. En este caso, los factores de cambio de estudio de 0.9 y 1.1 se han aplicado en las series de precipitación observadas para representar escenarios de precipitación seca y húmeda, respectivamente.

4.1.2 Cambios en la temperatura

De manera similar a los cambios en las precipitaciones, la única información sobre los cambios previstos en la temperatura es en forma de mapas a escala nacional. La Figura 4.2 muestra los cambios previstos en la temperatura máxima anual hasta el año 2030, mientras que la Figura 4.3 muestra un mapa similar de cambios en la temperatura mínima anual. Para el área de interés, señalado por un rectángulo azul en las dos figuras, la temperatura mínima podría aumentar en 0.4 a 0.8 ° C y la temperatura máxima de 0.4 a 1.2 ° C.

Suponiendo que el desarrollo de las temperaturas máximas y mínimas es representativo de la tendencia de las temperaturas medias mensuales, los aumentos en las temperaturas de la cuenca del río Moche hasta el 2030, se han evaluado en este caso de estudio en 0.4 ° C y 1.2 ° C, que representa escenarios futuros seco y húmedo, respectivamente. Los mapas muestran aumentos de temperatura menores para el área de servicio Chavimochic cerca de Trujillo a lo largo de las costas del Pacífico. Para esta zona, los estimados de aumento de temperatura de 0.4 ° C y 0.8 ° C para el período hasta el 2030 parecen ser más realistas.

Figura 4.1 Cambio pronosticado en la precipitación (como un porcentaje de los valores actuales) hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2).

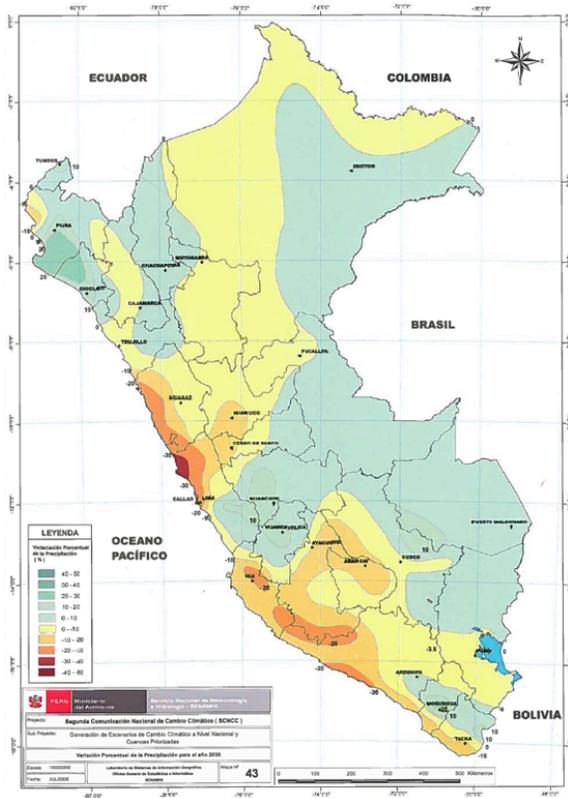


Figura 4.2

Cambio pronosticado en la temperatura máxima diaria hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2)

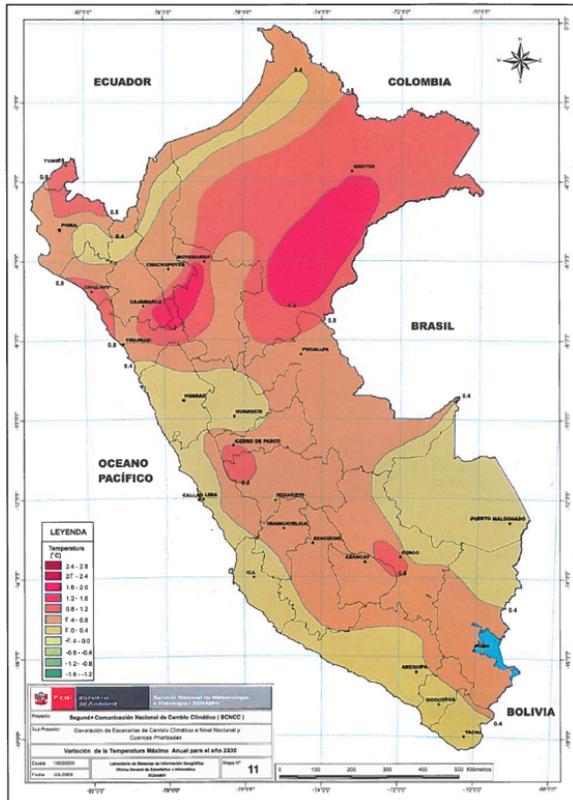
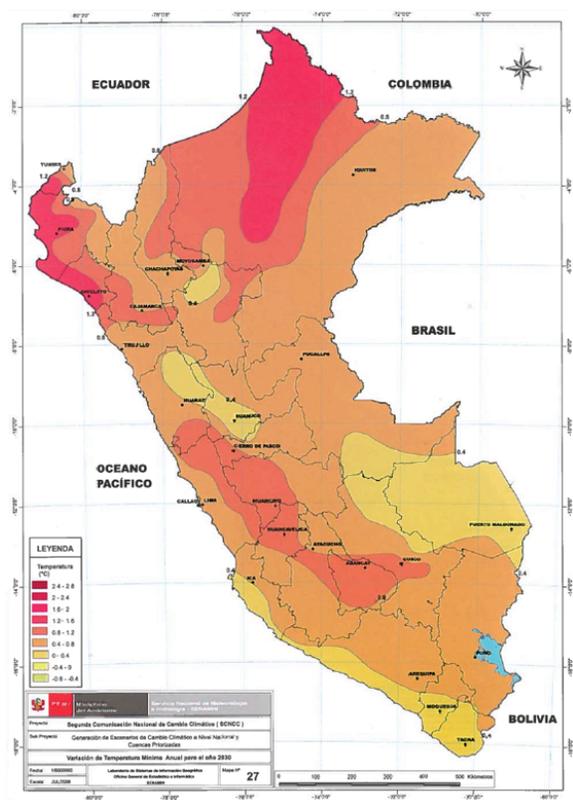


Figura 4.3

Cambio pronosticado en la temperatura mínima diaria hasta el 2030 para Perú. Fuente: Segunda Comunicación Nacional (Ref. 2)



4.1.3 Impactos del Cambio Climático en los flujos del río Moche y en la recarga del Acuífero

4.1.3.1 Enfoque

Aunque la ciudad de Trujillo se encuentra en un desierto, en la actualidad los mayores problemas que enfrenta la ciudad relacionados con el agua parecen ser la acumulación de agua y la congestión de drenajes en lugar de la escasez de agua y la sequía. El agua cruda destinada a la ciudad es tomada en parte de las aguas subterráneas en el acuífero del Moche y en parte de las aguas superficiales canalizadas por el Proyecto Chavimochic desde el río Santa en el sur.

El abastecimiento de agua a Trujillo está protegido de las sequías por lo siguiente:

- a) tener la prioridad más alta entre los usuarios de agua abastecidos por el canal Chavimochic;
- b) la abundancia actual de agua subterráneas (niveles de agua en aumento) en el Acuífero del Moche y
- c) solo una pequeña fracción de los flujos de entrada del acuífero se originan por las descargas desde la cuenca del río Moche aguas arriba.

La acumulación de agua en Trujillo parece proceder del agua transferida al acuífero a través de la filtración de los canales y campos de riego que, al menos en parte, utilizan el agua del Canal Chavimochic (agua superficial transferida).

El presente caso de estudio analiza la sensibilidad del balance hídrico del acuífero del Moche a los cambios climáticos en la cuenca del Moche Superior. El análisis se llevó a cabo como una evaluación de los impactos del cambio climático en los flujos del río Moche mediante un modelo lluvia-escurrentía de la totalidad de la cuenca aguas arriba seguido por la simulación de las condiciones del agua subterránea en el acuífero del Moche utilizando un modelo de agua subterránea para revelar la respuesta del acuífero a los cambios en los flujos del río y a los incrementos de la demanda doméstica futura. El modelo aplicado se desarrolló con anterioridad para Chavimochic a fin de estudiar posibilidades de mejorar la congestión de drenaje (Ref. 6).

Ascenso del Nivel del Mar

Una evaluación detallada de los impactos del aumento del nivel del mar no está en el ámbito de este caso de estudio y este párrafo, por tanto, sólo resume los posibles problemas de tal aumento. Un caso de estudio especial de Trinidad y Tobago, parte de este proyecto (Ref. 15) está dedicado a los impactos del aumento del nivel del mar y describe las posibles medidas de adaptación con más detalles.

El aumento del nivel del mar local en Trujillo será una combinación del aumento general en la región, que es en función de la expansión térmica del agua de mar y de la fusión de los casquetes polares, las condiciones hidrográficas locales y la tectónica local, cambios en los niveles del terreno. Ref. 15 cita de las últimas proyecciones de la subida global del nivel del mar en alrededor de 40 cm para el año 2050 y hasta alrededor de 2 m para el final del siglo 21.

El aumento local en el nivel del mar en Trujillo será una combinación del aumento general regional, el cual es una función de la expansión de calor de las aguas marinas y el derretimiento de las capas de hielo polares, las condiciones hidrográficas locales y los cambios locales tectónicos en niveles del terreno. La Ref. 15 cita las proyecciones más recientes del ascenso global del nivel del mar en alrededor de 40 cm para el 2050 y hasta aproximadamente 2 m para finales del siglo 21.

A menos que sea compensado por el ascenso tectónico del terreno local, el aumento del nivel del mar tendrá un impacto tanto en la congestión del drenaje y en los niveles de salinidad en el agua subterránea cerca de línea costera actual. La ubicación de la línea costera también puede retirarse como consecuencia del cambio de nivel del mar.

La pendiente del terreno cerca de la línea de la costa de Trujillo está en el orden del 1%, y la elevación del terreno es de alrededor de 10 metros sobre el nivel del mar actual a un kilómetro de la costa. Aunque el aumento del nivel del mar puede afectar los niveles de agua subterránea más hacia el interior, los niveles de aguas subterráneas ya están bastante cerca del terreno en las zonas costeras. De ser necesario, por

tanto, debería ser posible limitar el impacto del ascenso del nivel del mar a la franja costera mediante el establecimiento de drenajes paralelos a la costa, ya sea por medio de canales de drenaje por gravedad o por bombeo.

La intrusión salina en el acuífero cerca de la costa ya ha sido observada y puede agravarse por la subida del nivel del mar. Sin embargo, según SEDALIB el bombeo de agua subterránea cerca de la costa ya se ha suspendido debido a problemas de salinidad. En consecuencia, el suministro a la ciudad no debe verse amenazada por este efecto.

La posible intrusión salina a través de la boca del río no se considera un problema, ya que el agua dulce no se extrae cerca del mar. Los problemas con tal intrusión pueden ser combatidos a través de barreras de salinidad si esto demuestra ser un problema en el futuro.

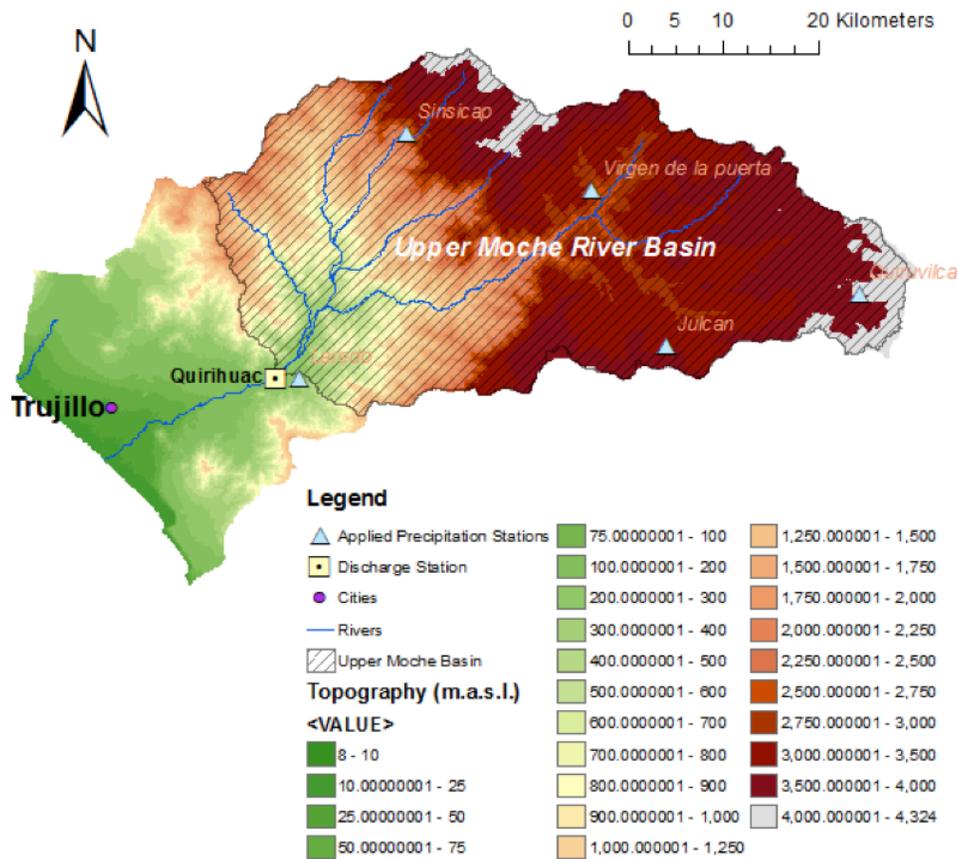
4.1.3.2 Impactos del Cambio Climático en los flujos del río Moche

Para analizar las posibles consecuencias de los cambios climáticos previstos sobre los caudales del río Moche, un modelo conceptual de lluvia-escorrentía (el modelo NAM, Ref. 4) ha sido establecido y calibrado en la cuenca del río Moche aguas arriba de la estación Quirihuac de medición de flujo (ver Figura 4.4). La cuenca superior tiene una superficie total de 1.830 km², con una altitud promedio de 2.680 msnm.

Utilizando series de precipitación diaria de las estaciones locales de la cuenca como datos de entrada, el modelo ha sido calibrado en los registros de caudal diario de la estación de Quirihuac para el período 1992-2004. La calibración del modelo ha sido posible para ajustarse al balance hídrico a largo plazo del periodo de calibración dentro del 1%, y el modelo simula bien la mayoría de los años en el período de calibración con un buen desempeño tanto en años secos y húmedos. Una comparación entre los flujos medios mensuales simulados y observados para el periodo de calibración se muestra en la Figura 4.7.

El modelo NAM puede caracterizarse como modelo determinista, concentrado, conceptual, y de cuantificación de humedad con requisitos de entrada moderados. El modelo NAM ha sido seleccionado porque ha demostrado que es capaz de simular las variaciones climáticas a corto plazo, tales como una serie de años secos o húmedos, por lo que también debe ser capaz de simular los cambios climáticos previstos en la cuenca del Moche. El modelo NAM es una herramienta de ingeniería bien probada que se ha aplicado a un gran número de cuencas en todo el mundo, que representan diversos regímenes hidrológicos y condiciones climáticas, incluyendo los Andes peruanos.

Figura 4.4 Ubicación de las estaciones hidrológicas usadas en el modelaje de precipitación-escorrentía en la Cuenca Superior del río Moche



Simulación de los Impactos del Cambio Climático

El modelo calibrado se ha utilizado para simular dos escenarios de cambio climático:

- Un escenario húmedo que combina un incremento bajo de temperatura (0.4 grados C) con un incremento alto de precipitación (+10%) y
- Un escenario seco que combina un incremento alto de temperatura (+1.2 grados C) con una disminución de la precipitación del 10%.

Los escenarios analizados están incluidos en la Tabla 4.2 y constituye lo más extremo de los cuatro escenarios, que surge de combinar los límites de los rangos de los escenarios de cambio climático descritos en la Sección 4.1.

Mediante estos análisis se ha encontrado que la escorrentía probable mensual del 75% en Quirihuac, cambia por factores de 1.37 y 0.57 para los escenarios climáticos húmedo y seco, respectivamente. Los factores correspondientes para el flujo base probable del 75% (contribución del agua subterránea) son 1.41 para el escenario húmedo y 0.55 para el escenario seco.

Figura 4.5 Calibración del modelo NAM modelo para la Cuenca del río Moche. Escorrentía promedio mensual simulada y observada en Quirihuac

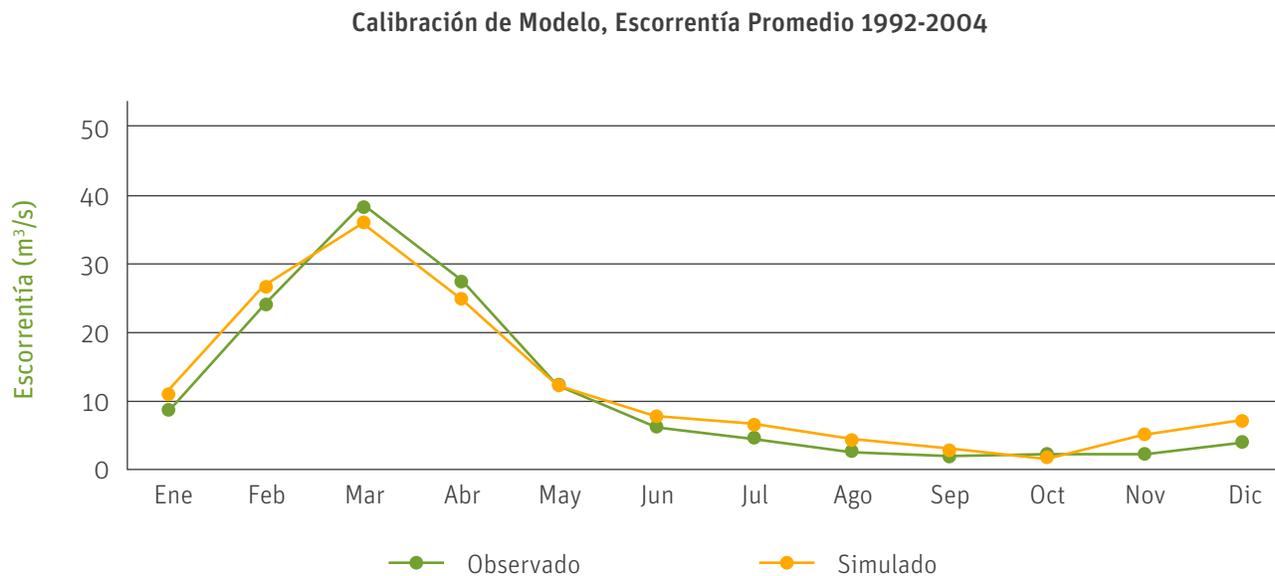


Tabla 4.1 Escenarios de cambio climático simulados

Cambio en Temperatura	Precipitación Factor de Cambio	ETO calculada Factor de Cambio	Incluido en el Análisis
Grados C	Fracción	Fracción	-
+0.4	1.1	1.02	Si, Estimado húmedo
+0.4	0.9	1.02	No
+1.2	1.1	1.04	No
+1.2	0.9	1.04	Si, Estimado húmedo

Figura 4.6 Caudales mensuales simulados 75% confiables en el río Moche en Quirihuac, en la situación presente así como también para los escenarios optimistas y pesimistas del clima futuro.

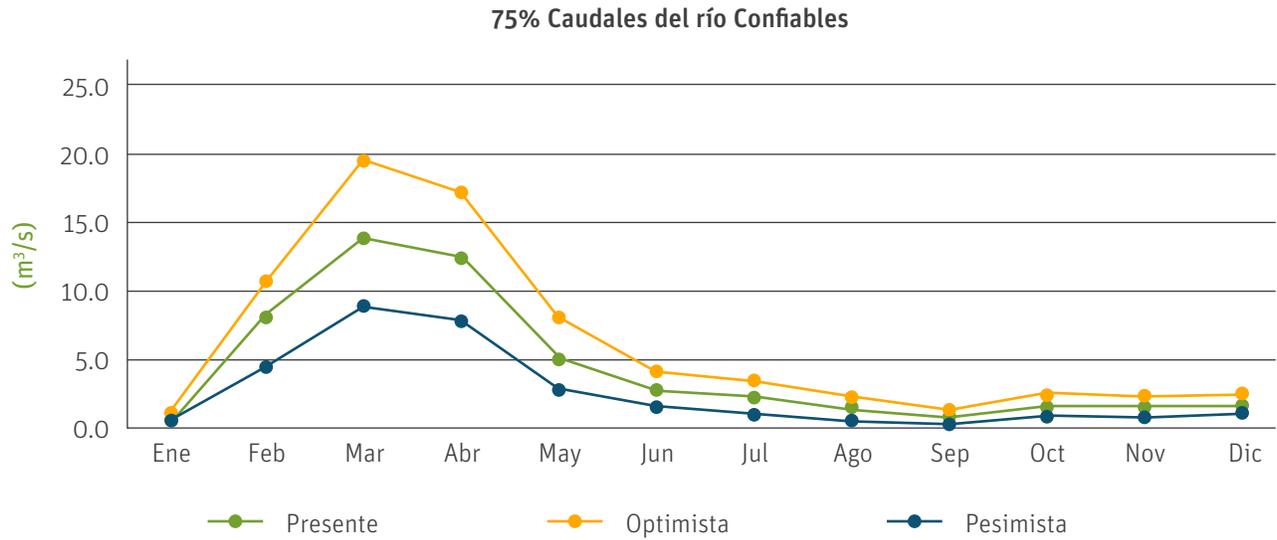
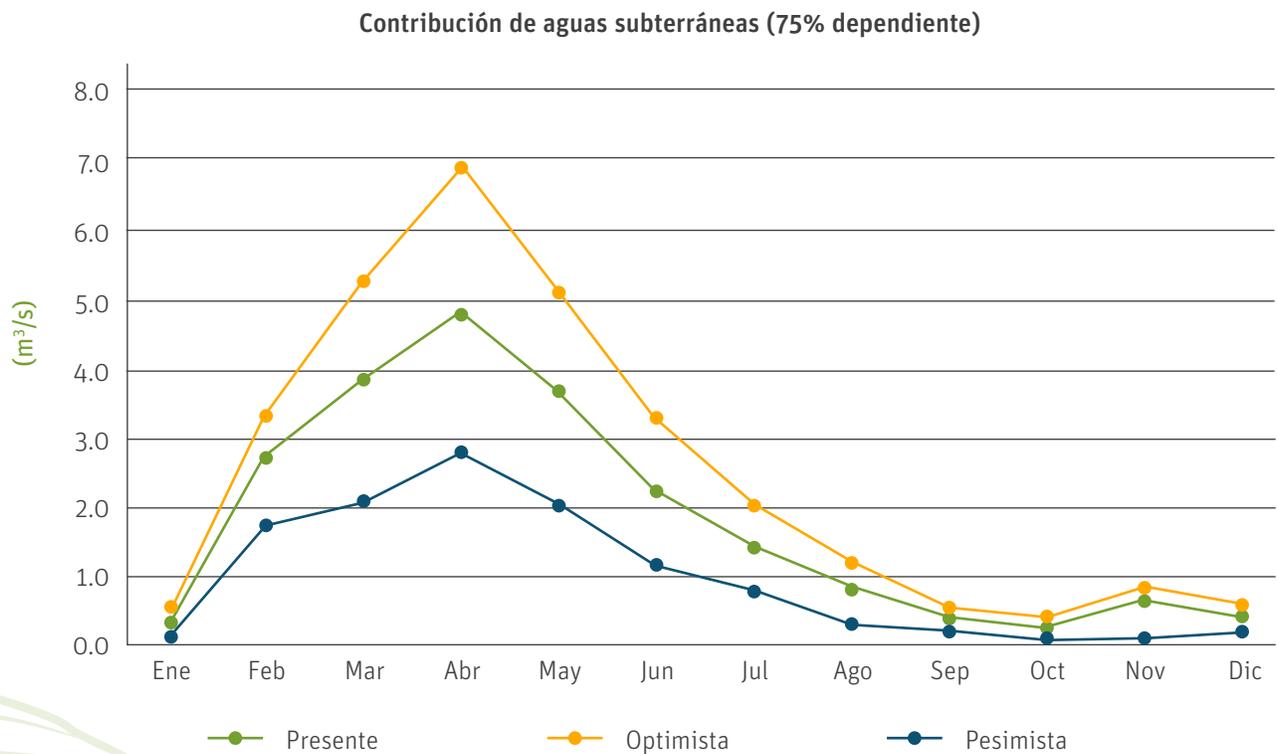


Figura 4.7 Contribuciones de aguas subterráneas simuladas 75% confiables al río Moche aguas arriba de Quirihuac, para la situación presente así como también para los escenarios optimistas y pesimistas del clima futuro.



4.1.3.3 Impactos del Cambio Climático en el Acuífero del Moche

Los efectos del clima en el bombeo sostenible desde el acuífero han sido analizados mediante un modelo de agua subterránea existente (Ref. 6). El modelo fue establecido originalmente para Chavimochic para analizar escenarios de bombeo para el alivio de la congestión de drenaje y se basa en el sistema de simulación de aguas subterráneas MODFLOW Visual (Ref. 7). Es un modelo de diferencias finitas de dos dimensiones del acuífero Moche desde la ubicación aproximada de la estación de medición Quirihuac en el extremo aguas arriba y hasta la costa en el extremo aguas abajo. La ciudad de Trujillo se encuentra ubicada centralmente cubriendo grandes partes del acuífero modelado. La extensión del modelo se indica con el rectángulo azul en la Figura 4.11 y el acuífero se señala por el área amarilla en los mapas. El acuífero es freático y consta de depósitos cuaternarios aluviales.

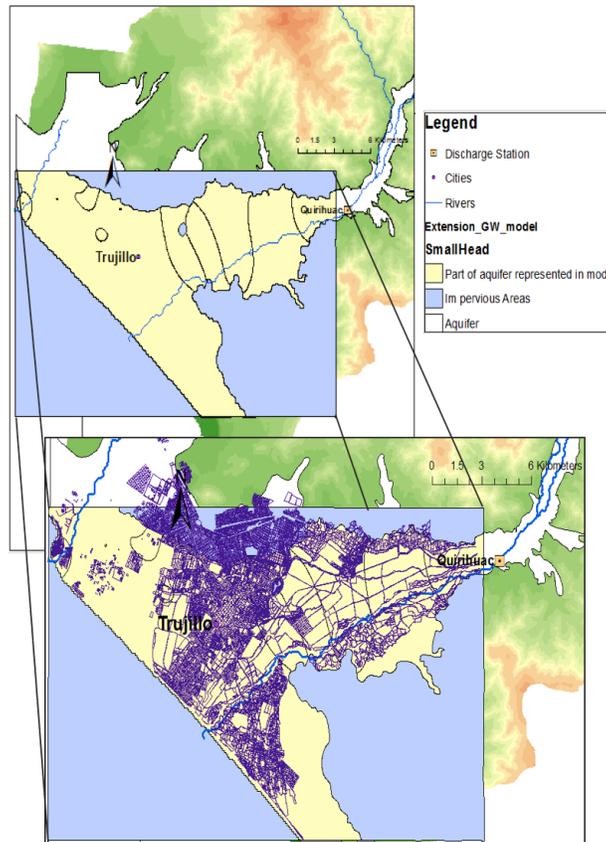
El modelo incluye todos los pozos de bombeo de la zona con sus tasas de bombeo presentes o sugeridas. Las simulaciones anteriores sugieren que el 9.7% de los flujos de entrada a los acuíferos es de filtraciones del río Moche, el 13,6% es agua subterránea de entrada de las partes superiores del acuífero mientras que el 76.7% restante es la filtración de los sistemas de riego.

La precipitación local sobre la parte baja del valle de Moche es insignificante, como se explica en la Sección 3.2. Por tanto, el modelaje de los impactos del cambio climático sobre el acuífero se ha realizado cambiando el flujo de entrada de los límites aguas arriba al modelo y la infiltración desde el río.

El alcance del presente estudio no ha permitido una revisión de la calibración del modelo ni tampoco una recalibración. Por lo tanto, simplemente se asume que el modelo existente refleja el comportamiento del acuífero de una manera satisfactoria.

A continuación se describen los resultados de los análisis de las condiciones del agua subterránea bajo los dos escenarios climáticos proyectados.

Figura 4.8 La Extensión del Modelo Chavimochic del Acuífero del Moche.



4.1.3.4 La extracción actual de agua subterránea bajo escenarios climáticos futuros

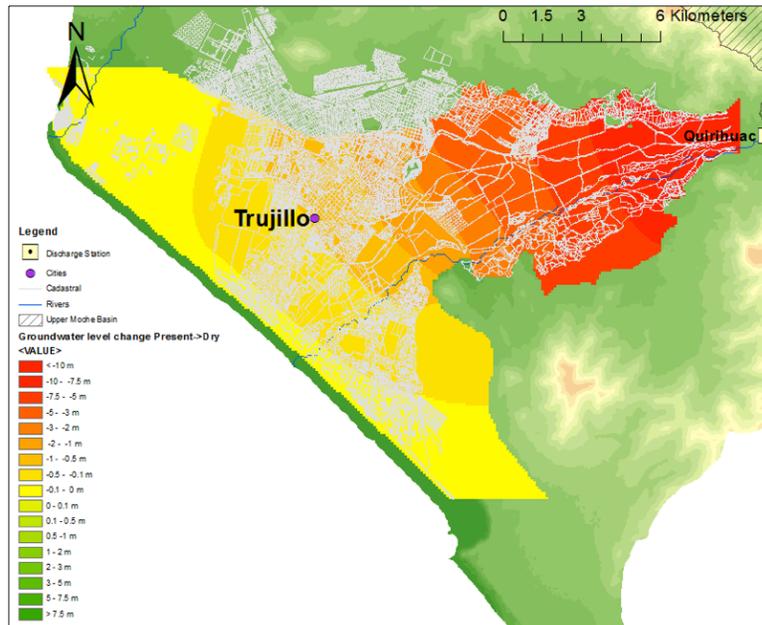
Los niveles de agua subterránea se han simulado para los dos escenarios climáticos futuros y comparados con una simulación de las condiciones actuales. El aumento simulado en el nivel freático en relación con las condiciones actuales se muestra en la Figura 4.9 para el escenario futuro de clima seco y en la figura 4.10 para el escenario futuro de clima húmedo.

Clima futuro seco

Debido a un flujo de entrada menor de aguas subterráneas al acuífero y al río más seco, los niveles de agua subterránea serán menores bajo un clima futuro más seco (Figura 4.9). Los impactos agregados sobre los niveles de aguas subterráneas se enumeran en la Tabla 4.2 y muestran una caída promedio de 1.2 m para el acuífero en su conjunto y una caída promedio de 0.9 m en la parte del acuífero que actualmente tiene profundidades de aguas subterráneas de menos de 5 metros. Las áreas de agregación se muestran en la Figura 4.11.

Los niveles de agua en las figuras están tomadas del modelo después de 6 años de simulación, una vez que los niveles se han estabilizado. Dado que no se ha identificado alguna indicación de niveles decrecientes, se puede concluir que el bombeo actual es sostenible incluso bajo un futuro clima más **seco**.

Figura 4.9 Aumento simulado de las aguas subterráneas desde las condiciones actuales hasta las condiciones bajo un escenario climático seco. Los valores negativos indican un descenso en el nivel freático.



Clima futuro húmedo

En el escenario de clima húmedo (Figura 4.10) los niveles de agua subterránea se elevarán en todo el acuífero porque tanto los caudales del río y los flujos de entrada de las aguas subterráneas aumentarán. El aumento promedio se ha calculado como 0.52 m para el acuífero como un todo y 0.32 m para la zona, en la que el agua subterránea está ya a menos de 5 m por debajo de la superficie (Tabla 4.2)

Figura 4.10

Aumento simulado de las aguas subterráneas desde las condiciones actuales hasta las condiciones bajo un escenario climático húmedo. Los valores negativos indican un descenso en el nivel freático.

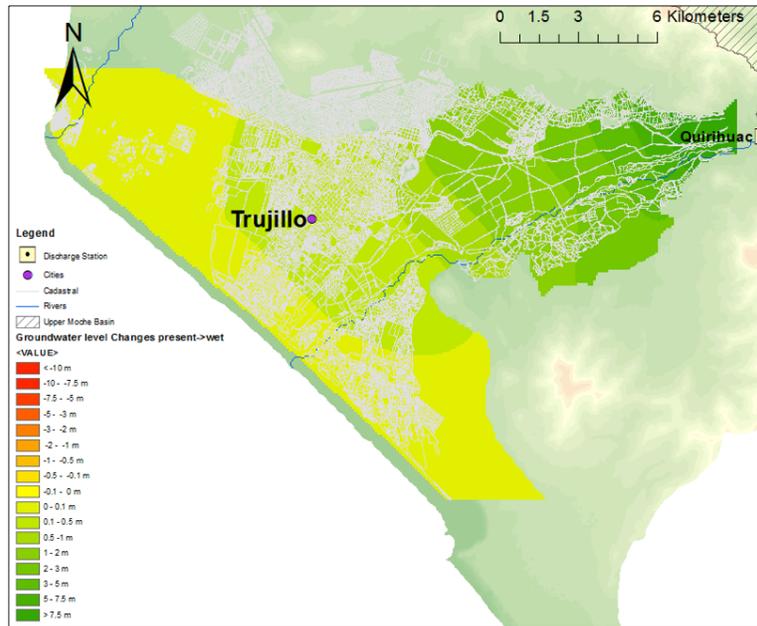
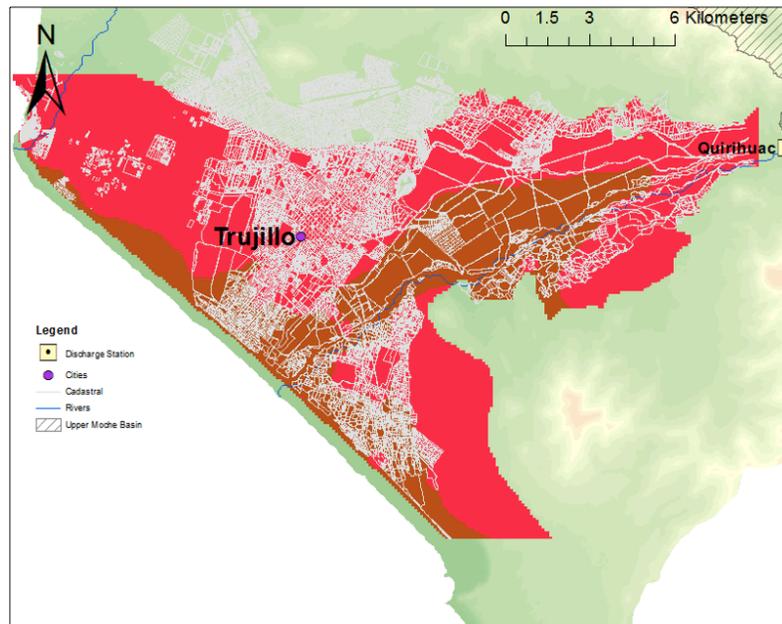


Tabla 4.2

Incrementos simulados en los niveles de agua subterránea del acuífero de Moche (bombeo actual) bajo un clima futuro. Los cambios se dan como máximo, mínimo y promedio a lo largo del acuífero en su conjunto y sobre la parte del acuífero con profundidades de aguas subterráneas simuladas de menos de 5 m. Las dos áreas de agregación se indican en la figura 4.11.

Clima futuro	Área de muestreo	MIN	MAX	MEDIA
Seco	Acuífero entero (195.2 km ²)	-11.34	0.00	-1.19
Seco	Profundidad al agua subterránea < 5m (58.4 km ²)	-5.14	0.00	-0.88
Seco	Acuífero entero (195.2 km ²)	0.00	7.73	0.52
Seco	Profundidad al agua subterránea < 5m (58.4 km ²)	0.00	2.21	0.32

Figura 4.11 Áreas de Agregación: Acuífero entero (rojo) y área con profundidades simuladas a las aguas subterráneas de menos de 5 m en el escenario 3 (Brown).



4.1.3.5 El bombeo futuro bajo escenarios climáticos futuros

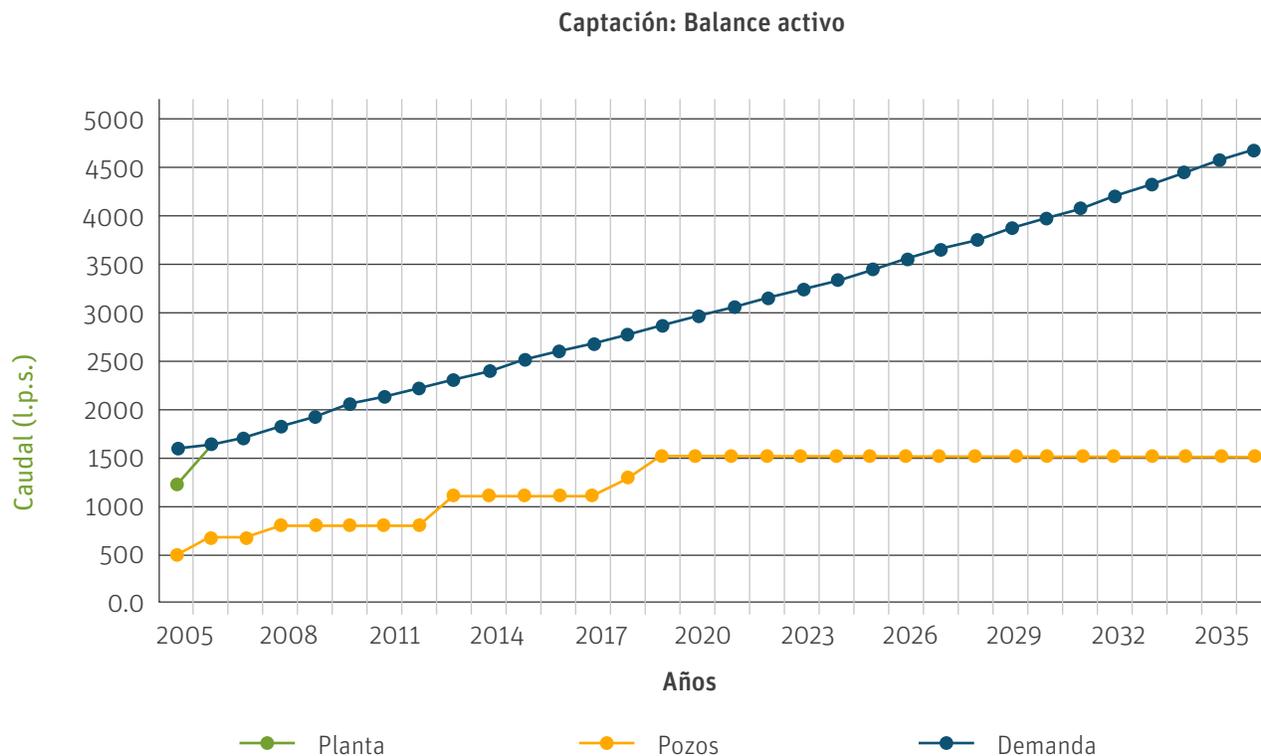
El plan maestro SEDALIB del 2005 (Ref. 8) incluye una proyección de la demanda futura de agua para Trujillo y una propuesta de aumento de bombeo del acuífero de Moche para satisfacer esta demanda (Figura 4.12). Para satisfacer la demanda hasta el 2018, se sugiere que el bombeo se incremente de la tasa del 2005 de 520 l / s a 1.500 l / s en el 2018.

Los escenarios de cambio climático utilizados en este caso de estudio son para un período que cubre hasta el 2030 y por lo tanto, es poco probable que el cambio climático pleno que aquí se ha informado ocurra dentro del horizonte temporal del escenario de bombeo proyectado 2005-2018. Sin embargo, hemos considerado oportuno investigar si las tasas de bombeo extendidas propuestas serán sostenibles bajo los climas futuros proyectados y analizar sus impactos en los niveles de agua subterránea.

Por consiguiente, las tasas de bombeo de los pozos SEDALIB en el escenario presente de bombeo han sido aumentadas a la tasa de bombeo propuesta de 1.500 l / s usando el mismo factor de incremento en todos los pozos y el escenario de bombeo ha sido sujeto a los futuros escenarios climáticos seco y húmedo. Los resultados se muestran en la Figura 4.13 y la Figura 4.14 que representan cambios en los niveles de agua subterránea bajo los escenarios de clima húmedo y seco, respectivamente.

Es interesante observar que el aumento de los niveles de agua subterránea introducidas por un clima húmedo futuro pueden ser controlados por el aumento del bombeo de los pozos SEDALIB a un total de 1.500 l / s, y que el nivel de las aguas subterráneas debajo de la ciudad incluso disminuirían en relación con el escenario actual bajo tales condiciones. Los cambios de nivel promedio se calculan ser de + 0.74m para todo el acuífero pero -0.64 m para las zonas con altos niveles de agua subterránea hoy (Tabla 4.3).

Figura 4.12 Incremento del bombeo planificado desde el Acuífero para satisfacer la demanda en aumento del SEDALIB 2005 (Ref. 9)



No es sorprendente que un clima futuro seco combinado con una mayor tasa de bombeo de 1.500 l / s hará bajar los niveles de agua subterránea. En promedio, sobre el acuífero entero, se prevé que los niveles disminuyan por 5.8 m y en promedio por 4.5 m sobre el área con actuales profundidades subterráneas de menos de 5 m. Cabe destacar que los nuevos niveles parecen estabilizarse en el período de simulación de 6 años, y que por lo tanto, las tasas de bombeo aumentadas parecen ser sostenibles en el marco del escenario de clima seco. También se observa que a pesar que los cambios en los niveles cerca de la línea de la costa son pequeños, los niveles pronosticados son muy cercanos a 0 msnm en esta zona. Por lo tanto, los niveles deben ser monitoreados cuidadosamente en el futuro con el fin de reducir el bombeo a nivel local para evitar la intrusión salina en el caso que los niveles de aguas subterráneas comiencen a caer aún más en esta área.

Incrementos simulados en los niveles de agua subterránea del acuífero de Moche del bombeo y condiciones del clima actuales a un clima futuro seco con un bombeo de 1500 l/s. Los cambios se dan como máximo, mínimo y promedio a lo largo del acuífero en su conjunto y sobre la parte del acuífero con profundidades de aguas subterráneas simuladas de menos de 5 m. Las dos áreas de agregación se indican en la figura 4.11.

Tabla 4.3

Clima futuro	Área de muestreo	MIN	MAX	MEDIA
Seco	Acuífero entero (195.2 km ²)	-41.96	0.00	-5.76
Seco	Profundidad al agua subterránea < 5m (58.4 km ²)	-14.92	0.00	-4.46
Húmedo	Acuífero entero (195.2 km ²)	-7.10	20.48	0.74
Húmedo	Profundidad al agua subterránea < 5m (58.4 km ²)	-2.58	1.57	-0.64

Figura 4.13

Cambios en la profundidad del agua subterránea desde las condiciones presentes hasta un clima futuro húmedo con una tasa de bombeo desde los pozos del SEDALIB de 1500 l/s.

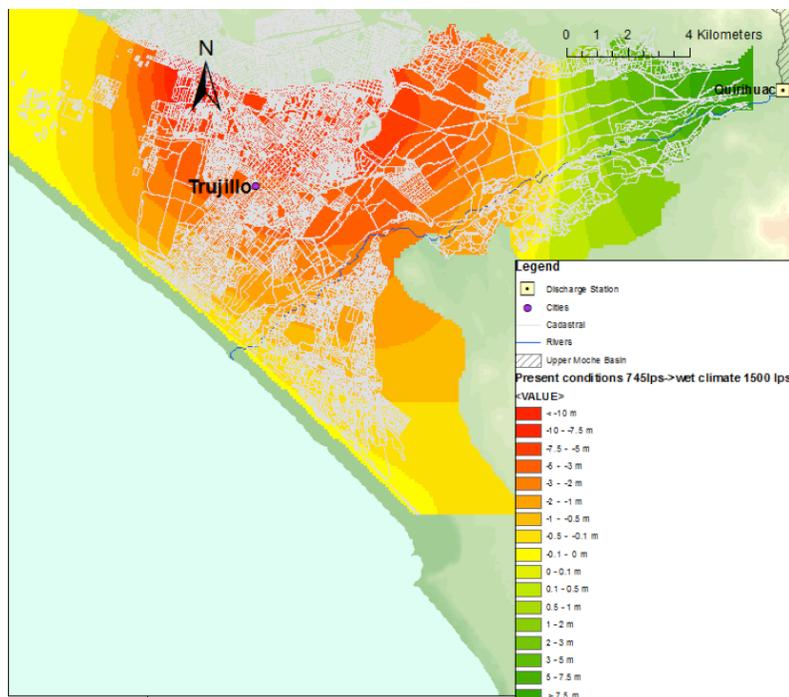
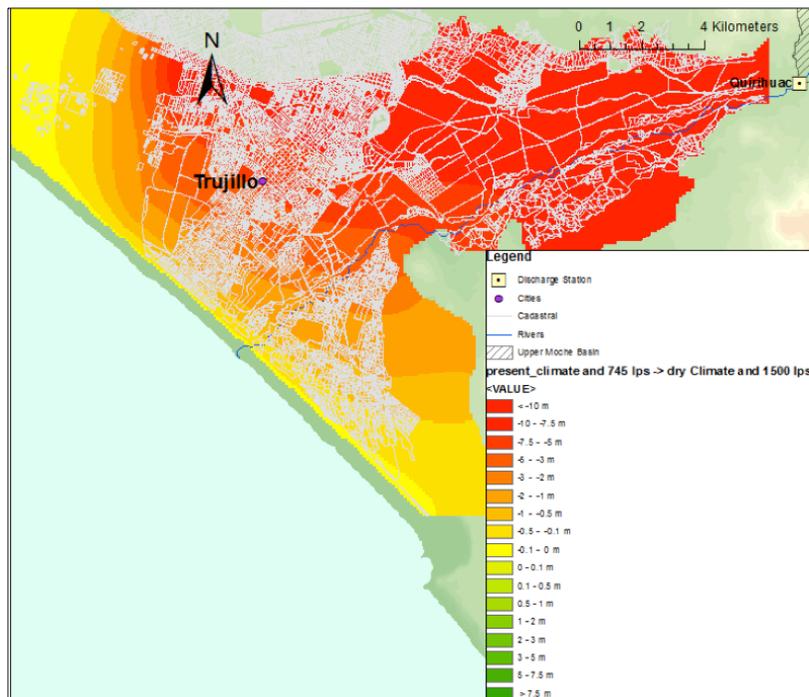


Figura 4.14 Cambios en la profundidad del agua subterránea desde las condiciones presentes hasta un clima futuro seco con una tasa de bombeo desde los pozos del SEDALIB de 1500 l/s.



4.2 Pronósticos del Cambio Climático para la Cuenca del Río Santa

Las proyecciones del cambio climático para la cuenca del río Santa y sus impactos en la disponibilidad de agua se modelaron y se reportaron por el MINAM y SENAMHI en el 2012 (Ref. 1). Este informe es el estudio de la zona más reciente hasta la fecha y es la base de la información presentada aquí. El informe evalúa cambios para el horizonte temporal 2030-2039.

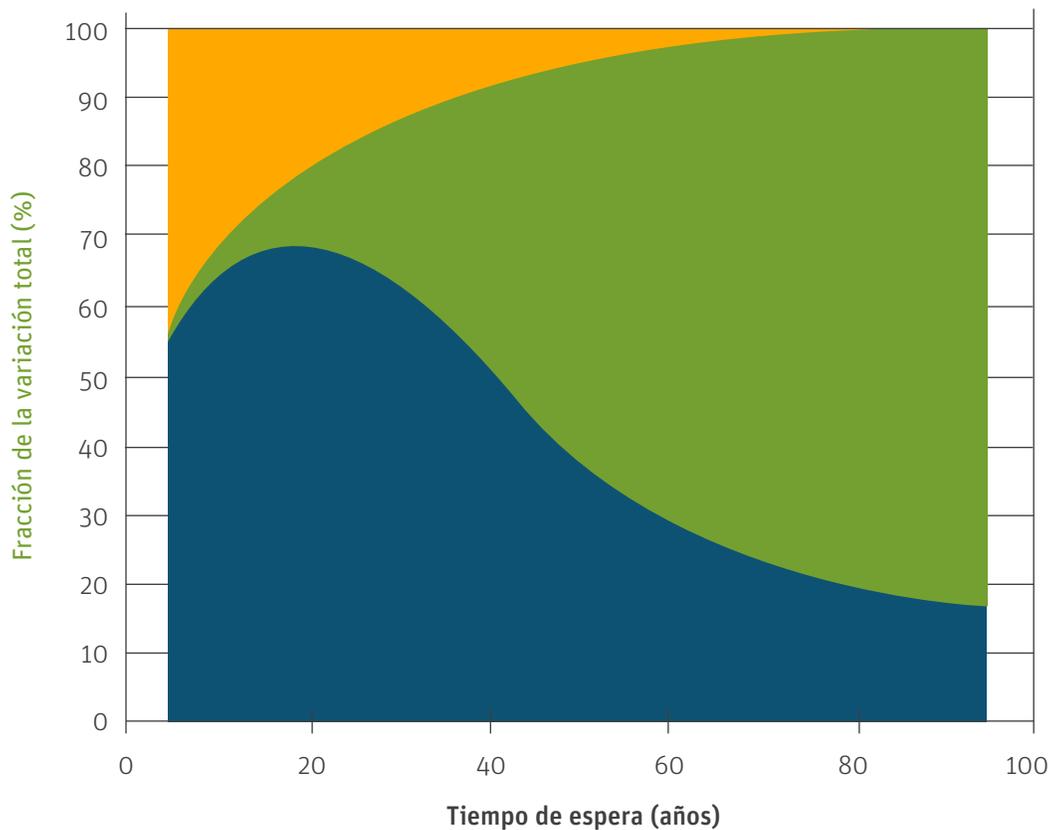
Las proyecciones de cambio climático fueron tomadas de dos modelos climáticos globales que estaban utilizando el escenario futuro A1B de emisiones de gases de efecto invernadero. El escenario A1B se basa en los supuestos de crecimiento económico rápido y de bajo crecimiento demográfico, con una rápida introducción de una tecnología nueva y más eficiente.

Se realizó la investigación de dos resultados de los modelos climáticos: MRI y NCAR. El modelo MRI es un modelo climático global desarrollado en Japón, que corre a una muy alta resolución (20 km cuadrados) en comparación con la mayoría de los modelos climáticos globales (100-200km cuadrados). El modelo NCAR es el resultado de la reducción de escala dinámica del modelo climático CCSM3 Global con una resolución de 5 kilómetros cuadrados (Ref. 1).

Hay muchas fuentes de incertidumbre en las proyecciones del cambio climático, tales como el escenario de emisiones, la elección del modelo climático y la variabilidad interna de la variable que está siendo proyectada (la variabilidad interanual natural de la temperatura o precipitación). Aunque aquí se investiga un solo escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios de la incertidumbre en las proyecciones climáticas muestran que, en general, para el plazo más corto (tiempo de espera de 20 años) la elección del escenario de emisiones no es la fuente más importante de incertidumbre (Figura 4.15 y la Figura 4.16). La mayor incertidumbre para el horizonte 2030-2039 proviene de la elección del modelo climático. Aunque es preferible analizar los resultados de un gran número de diferentes modelos climáticos, esto no siempre resulta práctico. Aquí se presentan los resultados de dos modelos, pero hay que señalar que estos no representan toda la gama de posibles proyecciones futuras.

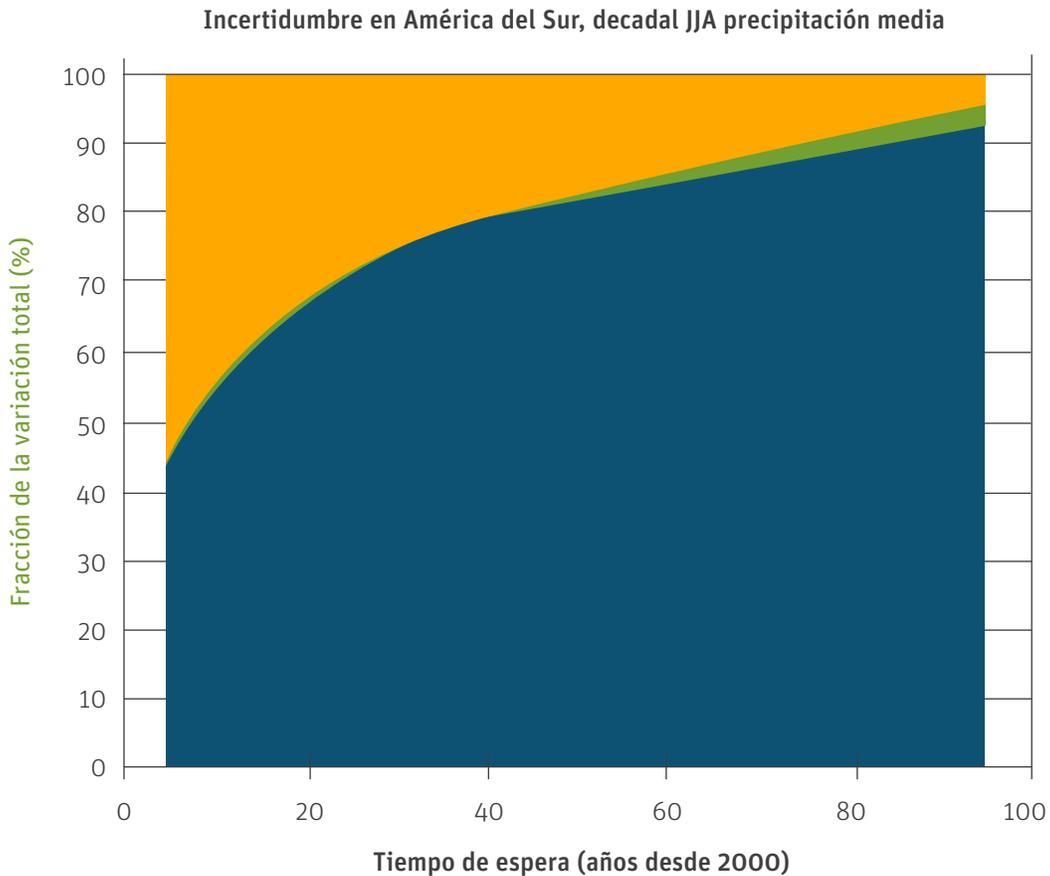
Importancia relativa de los factores que contribuyen a la incertidumbre en proyecciones de temperatura de un promedio de 10 años en Suramérica. **Naranja:** Variabilidad natural interna de temperaturas. **Azul:** Incertidumbre del modelo. **Verde:** escenario de incertidumbre. La escogencia del modelo climático es el factor más importante para el horizonte temporal 2030-2039. Fuente: Ref. 13

Figura 4.15



Importancia relativa de los factores que contribuyen a la incertidumbre en proyecciones de cambio climático para la precipitación de junio, julio y agosto en Suramérica. **Naranja:** Variabilidad natural. **Azul:** Incertidumbre del modelo. **Verde:** escenario de incertidumbre. Las proyecciones son más sensibles a la escogencia del modelo climático que la escogencia del escenario de emisiones, Fuente: Ref. 14

Figura 4.16



Los cambios proyectados en el clima tienen un impacto en el balance hídrico de la cuenca ya que la precipitación y evaporación se cambian. Los cambios en la temperatura y las precipitaciones también afectan a las zonas de glaciares y el derretimiento de los glaciares causa impactos en el agua disponible en el río para la transferencia CHAVIMOCHIC.

4.2.1 Cambios evaluados en la precipitación

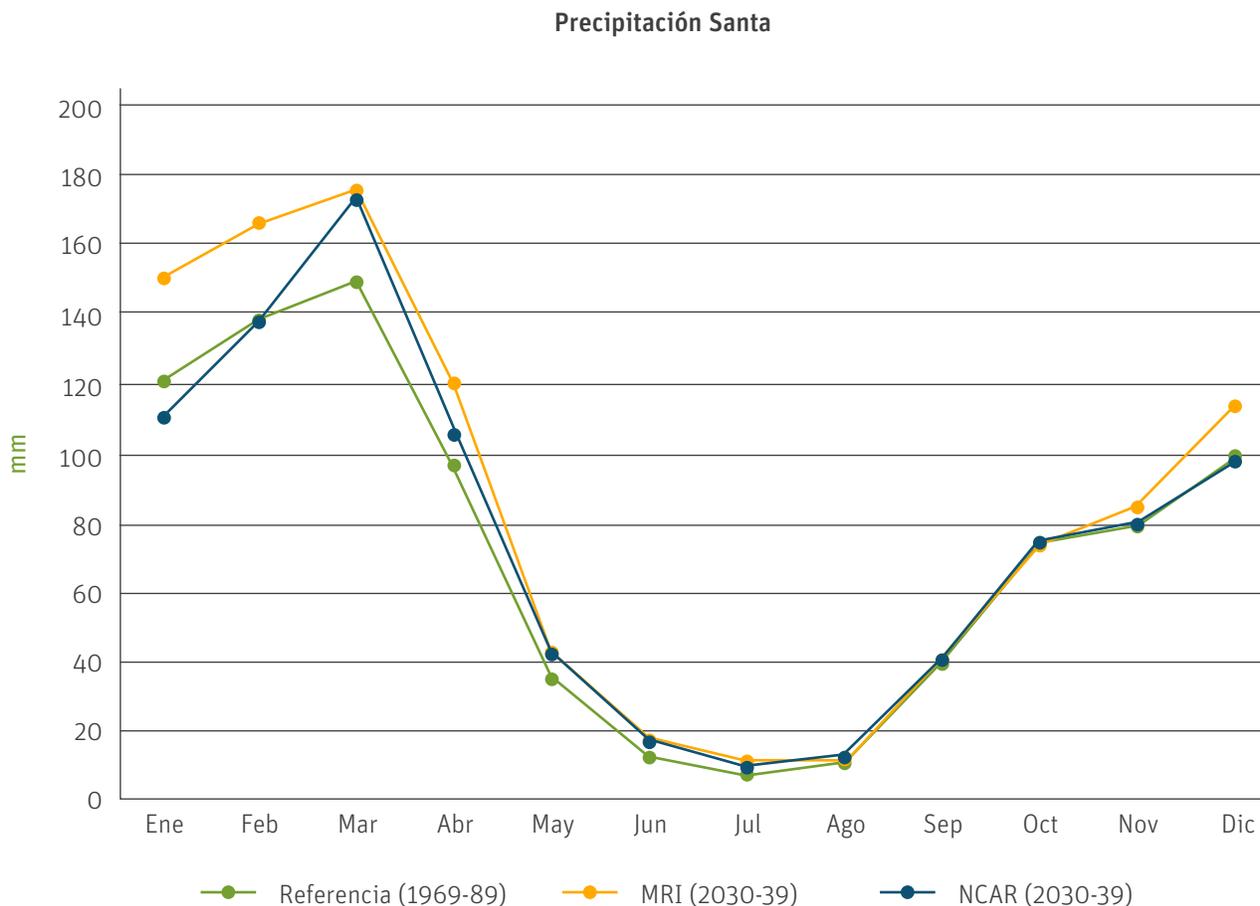
Los cambios en las precipitaciones en la cuenca del Santa provenientes de los dos modelos para el período 2030-2039 ambos bajo el escenario A1B, las precipitaciones en los meses más húmedos aumentarían y las precipitaciones en los meses más secos de julio y agosto se reducirían ligeramente (Figura 4.7). Sin embargo, el modelo de NCAR proyecta una disminución de las precipitaciones en enero y febrero. Los modelos predicen que la precipitación anual se incremente en 3.2% y 16.1% para los modelos de NCAR y MRI, respectivamente (Tabla 4.2).

Tabla 4.4

Cambios proyectados en la precipitación en la Cuenca del río Santa, de dos modelos climáticos diferentes bajo la presunción del escenario A1B de emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente: Ref. 1.

	Santa				
	Referencia (1969-89)	MRI (2030-39)	NCAR (2030-39)	MRI	NCAR
	mm	mm	mm	Δ %	Δ %
ene	121.9	150.6	112.2	23.6	-7.9
feb	138.4	169.0	136.2	22.2	-1.5
mar	149.2	173.5	168.5	16.2	12.9
abr	98.9	119.5	106.1	20.8	7.3
may	33.6	45.7	43.0	35.9	28.1
jun	12.7	18.8	18.7	47.8	46.8
jul	6.6	3.9	6.3	-40.3	-3.8
ago	12.2	10.5	11.6	-13.5	-4.9
sep	39.7	38.2	39.6	-3.7	-0.3
oct	70.1	75.2	73.4	7.3	4.7
nov	80.6	88.5	79.4	9.7	-1.5
dic	104.0	114.2	100.6	9.9	-3.3
Total	867.8	1007.6	895.6	16.1	3.2

Figura 4.17 Cambios en la precipitación sobre la Cuenca del río Santa para el periodo 2030-2039 tal como previsto por los modelos MRI y NCAR. (Fuente: Ref. 1)



4.2.2 Cambios evaluados en la temperatura

Los cambios de temperatura de ambos modelos climáticos en la cuenca del Santa muestran un aumento de la temperatura en todos los meses (Tabla 4.3 y Figura 4.8). Existe un mayor acuerdo entre los dos modelos climáticos con respecto a las proyecciones de temperatura en comparación con las proyecciones de precipitación. Esto es de esperarse ya que la temperatura es una variable que puede ser modelada de manera más simple que las precipitaciones ya que se basa en un menor número de procesos atmosféricos subyacentes.

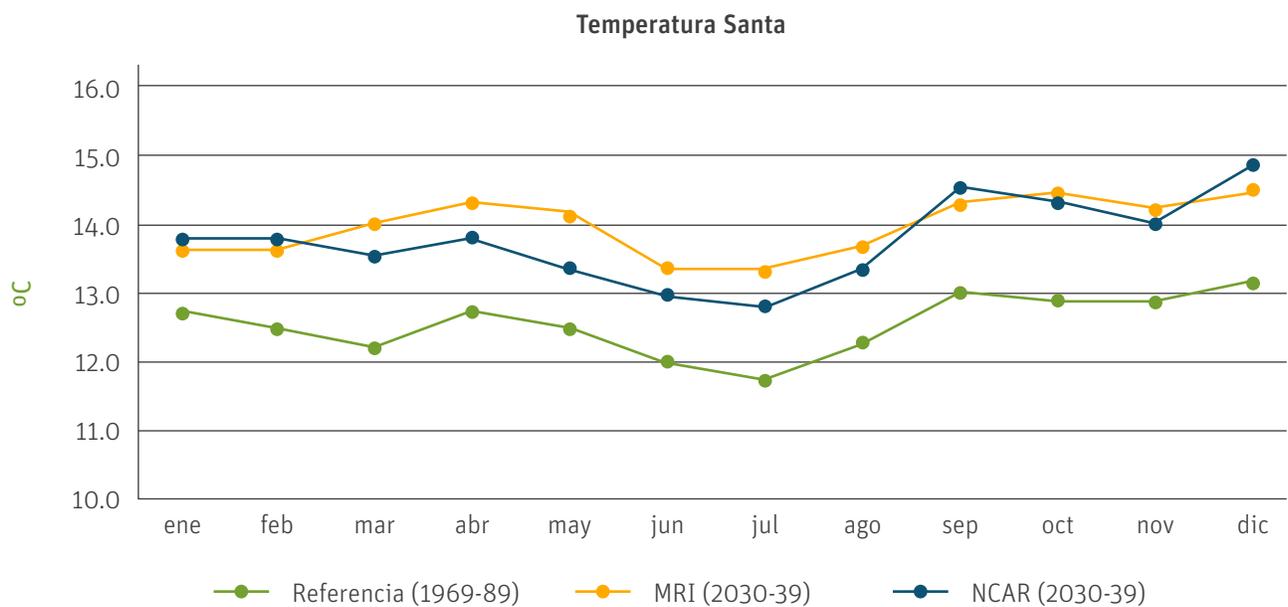
Tabla 4.5

Los cambios proyectados de temperatura para la cuenca del río Santa de dos modelos climáticos. Fuente: Ref. 1

	Santa				
	Referencia (1969-89)	MRI (2030-39)	NCAR (2030-39)	MRI	NCAR
	°C	°C	°C	Δ°C	Δ°C
ene	12.7	13.7	13.8	0.9	1.1
feb	12.5	13.7	13.9	1.2	1.3
mar	12.4	14.0	13.6	1.7	1.2
abr	12.7	14.2	13.9	1.5	1.1
may	12.4	14.1	13.5	1.7	1.0
jun	12.0	13.3	13.0	1.3	0.9
jul	11.8	13.2	12.8	1.4	1.1
ago	12.3	13.7	13.3	1.4	1.0
sep	13.0	14.2	14.4	1.2	1.4
oct	12.9	14.4	14.3	1.4	1.4
nov	12.9	14.1	13.9	1.2	1.0
dic	13.1	14.4	14.8	1.3	1.7
Total	12.6	13.9	13.8	1.4	1.2

Figura 4.18

Las temperaturas proyectadas en la cuenca del Santa para el periodo 2030-2039 comparada con el periodo de referencia, de dos modelos climáticos, MRI y NCAR, bajo el escenario de emisiones A1B. Fuente: Ref. 1.



4.2.3 Cambios proyectados en la disponibilidad de agua para el canal Chavimochic

La verdadera variable de interés para Trujillo es el cambio en la disponibilidad de agua para el proyecto Chavimochic. Esto depende no sólo de los cambios climáticos y sus impactos en el río, sino también en los cambios en el uso del agua dentro de la cuenca del Santa y en el acuerdo de asignación del agua con el proyecto Chavimochic.

4.2.3.1 Los impactos en el caudal del río inducidos por el clima

Los modelos climáticos proyectan un aumento de las temperaturas y un cambio en la distribución de las precipitaciones durante el año. Para evaluar cómo estos cambios afectan el flujo en el río, se utilizó un modelo de balance hídrico para simular los caudales de los ríos bajo los escenarios futuros (Ref. 1).

Los cambios en el flujo se evaluaron en el cerro El Cóndor, justo aguas arriba de la toma CHAVIMOCHIC. Los resultados para ambos modelos climáticos muestran un aumento del flujo en todos los meses y aumentos de alrededor del 15% para los meses más secos, en relación con el período 1969-1989 (véase la Tabla). Esto sugiere que para el horizonte temporal 2030-2039, los cambios inducidos por el clima sobre el flujo por sí solo no causará problemas para el abastecimiento de agua de CHAVIMOCHIC.

Tabla 4.6 Cambios proyectados en el flujo del río Santa en el cerro El Cóndor, aguas arriba de la toma de CHAVIMOCIC. Reproducido de la Ref. 1

Flujos Pasados y Futuros del Santa en el cerro El Cóndor (m ³ /s)			
Mes	Referencia (1969-1989)	MRI (2030-2039)	NCAR (2030-2039)
enero	207.7	248.9	227.7
febrero	299.4	351.0	320.0
marzo	307.4	337.1	350.6
abril	231.8	234.8	240.2
mayo	109.5	119.4	131.2
junio	71.2	89.2	100.6
julio	57.3	64.8	76.6
agosto	56.0	65.5	77.0
septiembre	70.4	89.3	107.4
octubre	99.5	138.6	142.5
noviembre	124.8	139.7	151.9
diciembre	162.5	218.1	205.6

Retiro Glaciar

Parte del aumento en el flujo se deriva del derretimiento de los glaciares, que libera agua en el río, que previamente existía en forma de hielo. Las proyecciones de deshielo de los glaciares se informan en la Ref. 1, y muestran la reducción en el área cubierta por los glaciares para cada año entre el 2030 y 2039. Los resultados para el año 2030, basado en la proyecciones climáticas del MRI producen una zona glaciar de 324.2 km² y utilizando los resultados del clima del NCAR, estos generan un área de 391.3 km². Sin embargo, el informe también señala que en el 2006 había una zona glaciar de 343.6 km² en la cuenca del Santa. Esto sugiere que el modelaje del retiro glaciar con las proyecciones climáticas del NCAR no puede derretir el hielo lo suficientemente rápido ya que el área proyectada para 2030 en NCAR (391.3 km²) es mayor que el área observada en el 2006 (343.6 km²). Las proyecciones del MRI resultan en una zona glaciar menor (324.2 km²) para el 2030 que las proyecciones de NCAR, pero todavía no es mucho más pequeña que el área medida en el 2006 (343.6 km²) lo que sugiere que las proyecciones de MRI tampoco dan como resultado un retiro glaciar lo suficientemente rápido.

Tabla 4.7 Área glaciar tal como proyectada por un modelo glaciar usando las proyecciones de los dos modelos climáticos como datos de entrada. Ver Ref. 1.

		Área Glaciar (km ²)										
		Referencia	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Santa	Referencia (1967)	510.2										
	MRI		324.2	319.4	314.5	309.7	304.4	299.0	295.8	292.6	289.3	284.8
	NCAR		391.3	382.8	375.9	369.2	362.6	357.4	352.3	346.9	341.9	337.2

Hay una gran cantidad de incertidumbre en las proyecciones climáticas y también en cómo el cambio climático afectará la cubierta de hielo. Sin embargo, incluso si los glaciares se derritieran más rápidamente de lo previsto, en el corto plazo, esto sólo podría conducir a un mayor flujo en el río, ya que más del agua almacenada en forma de hielo sería liberada del almacenamiento. Sin embargo, si los glaciares se derriten por completo, se espera una disminución de los flujos, ya que no habría entonces más agua liberada del almacenamiento para complementar las contribuciones de la precipitación, y todo el flujo sería derivado de la precipitación solamente.

Para el período 2030-2039 los resultados del modelaje glaciar sugieren una pérdida anual de áreas de glaciares de -4.4 km² / año y -6.0 km² / año, para el clima pronosticado por los modelos MRI y NCAR, respectivamente. El uso de estas tasas de derretimiento en las áreas glaciares observadas en el 2006 de 343,6 km², resultaría en un área glaciar restante de 199 km² y 145 km² según las predicciones del MRI y del NCAR, respectivamente. Dado que estos números corresponden a un 40% -60% de las áreas glaciares en el 2006, no se espera que se produzca una pérdida completa de las zonas glaciares dentro del horizonte temporal 2012-2039.

4.2.4 Otras presiones en el flujo del río

Si bien los modelos climáticos proyectan un incremento en el flujo de agua en el río, esta agua puede no necesariamente estar disponible para el proyecto de transferencia de CHAVIMOCHIC ya que otros cambios en la cuenca podrían aumentar las presiones sobre el suministro de agua.

Se espera que la población de Perú aumente en un 16%, entre el 2010 y 2025, pero se espera que la población en Ancash crezca alrededor de un 8% en el mismo período (Ref. 12). Si la población de la cuenca del Santa se incrementa en un 10% en el 2030 (tomando el aumento de población en Ancash y extrapolando aproximadamente al 2030), esta población adicional pondría presión adicional sobre los recursos hídricos en la cuenca y probablemente resulte en flujos más bajos en el río en el punto de la toma de CHAVIMOCHIC, además de lo que se espera por los cambios en el clima.

Se proyecta un aumento de alrededor del 15% en el flujo de la estación seca como resultado del cambio climático en el 2030-2039 con respecto a 1969-1989, pero este aumento en el flujo será por lo menos en parte compensado por los aumentos proyectados en la población. Se proyecta un aumento del 19% en la población de la provincia de Ancash en un período de tiempo similar pero más corto (1995-2025) (Ref. 12).

Tabla 4.8 Estimado y proyecciones de la población para Perú y la región de Ancash. (Ref. 12)

Área	1995	2000	2005	2010	1015	2020	2025
Perú	23,926,300	25,983,588	27,810,540	29,461,933	31,151,643	32,824,358	34,412,393
Departamento de Ancash	1,012,624	1,049,379	1,084,038	1,116,265	1,148,634	1,177,080	1,201,465

Además de los aumentos de la población, el uso del agua en la cuenca del Santa puede cambiar. Las temperaturas más altas y la menor precipitación en la estación seca podrían conducir a la extracción de más caudal en la estación seca para fines de riego.

El desarrollo económico en la cuenca del Santa también puede aumentar la presión en el suministro de agua, sobre todo si la agricultura en la cuenca se desarrolla; hay planes de nuevas tomas para el riego desde el río aguas arriba de la toma de CHAVIMOCHIC.

5 Los Impactos del Cambio Climático en las Demandas de Riego en el Área de Trujillo

El sector de riego es muy importante para la economía de Trujillo y su sostenibilidad social por lo cual un análisis de los impactos del cambio climático en el sector tanto es relevante.

Un análisis exhaustivo de la demanda de agua del sector, posibles iniciativas de ahorro de agua y el potencial de desarrollo es un estudio grande en sí mismo y por lo tanto fuera del alcance del presente caso de estudio. Sin embargo, es todavía relevante hacer una evaluación general de los posibles impactos del cambio climático previstos en la demanda de agua del sector hasta el año 2030, que se aborda en esta sección.

Climáticamente, las llanuras costeras de todo Trujillo son prácticamente desiertos. La precipitación media anual de Trujillo está a sólo 7 mm, que es menos del uno por ciento de la evapotranspiración de referencia (ETO) de 1.070 mm (estimación Penman-Monteith, Ref. 10). Por lo tanto, los cambios previstos en las lluvias de +/- 10% no tendrán ninguna influencia significativa en el futuro la demanda de agua para riego, la cual en consecuencia, puede calcularse únicamente a partir de los cambios en la ETO.

En la sección 4.1.1 se pronostica que el aumento de la temperatura en la zona estará en el rango de 0.4 a 0.8 grados C. El impacto de este cambio en la ETO se ilustra en la Figura 5.1 y los impactos sobre las demandas de riego de Chavimochic se evalúan en la Tabla 5.1. A partir de la tabla se observa que la variación anual de la demandas de riego puede ser alrededor del 6%. El cambio más fundamental parece ocurrir en diciembre, donde la demanda de riego puede aumentar de 73,8 mill. m³ a 78,9 mill. m³, o de 27.5 m³ / s a 29.5 m³ / s (7%). Las demandas se originan en el 'Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Chavimochic Tercera Etapa - Primera Fase ', que también indica que el 27% de la demanda de riego (187,5 mill m³) es para nuevas áreas de riego.

Debido a que no hay indicios de una disminución en los bajos flujos en el río Santa generados por el clima, los cuales, de hecho, tienen probabilidades de aumentar hasta el 2039, la principal fuente de agua de riego es probable que aún esté disponible en el futuro. Por lo tanto, es probable que los impactos del cambio climático en el sector del riego se limitarán a los cambios en la evapotranspiración (7% en el mes más crítico). Si ese cambio se materializa puede adaptarse ajustando en un 26% la expansión futura prevista en la tercera etapa del proyecto. También se puede adaptar invirtiendo en equipos de riego de ahorro de agua o ajustes en los patrones de cultivo o de riego. La planificación de las medidas y la cuantificación de sus posibles efectos y costos requieren un análisis detallado de los diferentes esquemas y prácticas de riego en la zona lo cual se extiende más allá del alcance de este proyecto.

En la etapa actual de desarrollo, Chavimocic tiene agua abundante. Esta situación puede, sin embargo, cambiar si el área de servicio del sistema se expande hacia el Valle Chicama al norte de Moche. Si se necesita la extracción de agua de los ríos Chao, Virú y Moche o de sus acuíferos para servir dicha expansión del sistema, entonces los impactos del cambio climático en la disponibilidad de agua en estos valles se deben tomar en cuenta en los cálculos de viabilidad de la de expansión. Se ha encontrado que los flujos en Moche son sensibles al cambio climático (Sección 4.1.3) y los ríos Chao y Virú son propensos a mostrar una sensibilidad similar a los cambios climáticos como la del Moche.

Considerando la escala de inversión en relación con dicha expansión se deben iniciar evaluaciones más detalladas de los cambios en la precipitación y la temperatura en las cuencas si la disponibilidad de agua es crítica para su factibilidad. Posteriormente, los impactos sobre los recursos locales pueden ser evaluados siguiendo métodos similares a los utilizados en este estudio o los refinamientos sugeridos en la Sección 6.1.

Figura 5.1

Cambio en la evaporación de referencia en Trujillo, calculado por el cambio en el componente de temperatura en los estimados Penman-Monteith y manteniendo el resto de los parámetros en el nivel actual.

Evaporación de referencia ETO en Trujillo

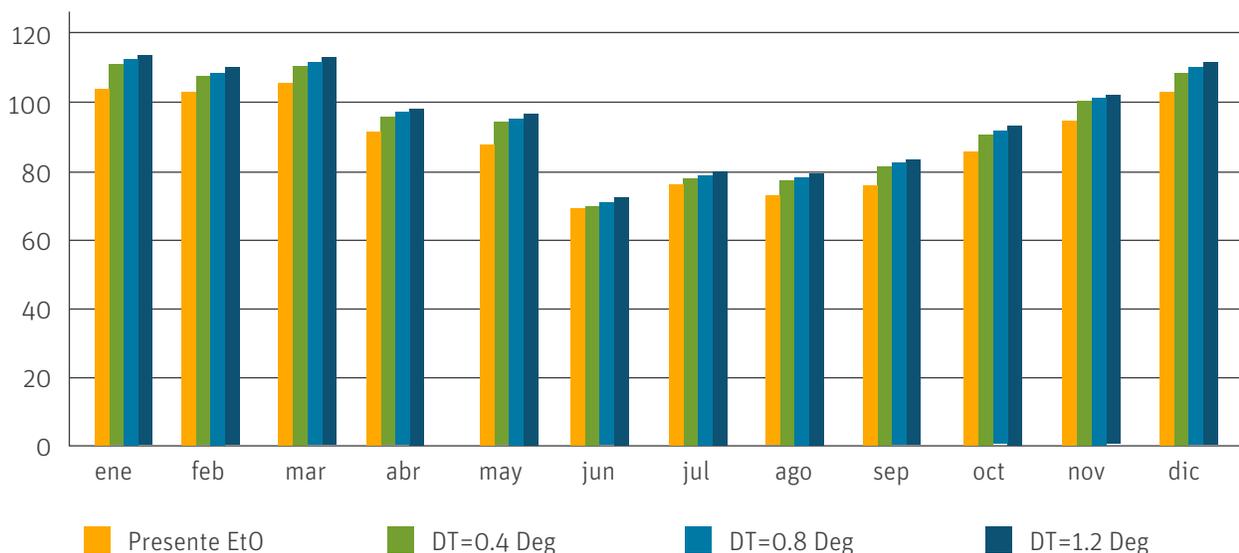


Tabla 5.1

Factores de cambio calculados en la evaporación de referencia y la demanda futuro de riego para los cambios de temperatura previstos

Cambio de temperatura (grados C)	0.4	0.8	-	-	-	0.4	0.8	0.4	0.8
Variable	EtO		Demandas Actuales de Chavimochic *			Demanda futura		Cambio en demanda	
Sector			Total	Domestica	Riego	Riego	Riego	Riego	Riego
Unidad	factor	factor-	MCM	MCM	MCM	MCM	MCM	MCM	MCM
Enero	1.07	1.08	67.2	2.4	64.8	69.0	69.9	4.2	5.1
Febrero	1.04	1.05	61.4	2.2	59.2	61.6	62.3	2.4	3.1
Marzo	1.05	1.06	66.1	2.5	63.6	66.6	67.3	3.0	3.7
Abril	1.04	1.06	67.4	2.5	65.0	67.7	68.6	2.8	3.6
Mayo	1.07	1.09	59.6	2.5	57.1	61.4	62.2	4.3	5.1
Junio	1.01	1.02	47.3	2.3	44.9	45.3	46.0	0.4	1.1
Julio	1.02	1.03	40.6	2.4	38.2	38.9	39.5	0.8	1.3
Agosto	1.06	1.08	44.7	1.9	42.7	45.5	46.1	2.7	3.4
Septiembre	1.07	1.08	51.2	1.8	49.4	52.7	53.4	3.3	4.0
Octubre	1.06	1.07	62.6	1.9	60.6	64.2	65.0	3.5	4.4
Noviembre	1.05	1.07	74.1	2.2	71.9	75.8	76.8	3.9	4.9
Diciembre	1.05	1.07	76.1	2.3	73.8	77.8	78.9	4.0	5.1
Anual	1.05	1.06	718.2	27.0	691.2	726.5	736.1	35.3	44.8

*Fuente: Chavimochic. Explotación de Aguas Subterráneas en los Valles de Chao, Viru y Moche, Proyecto Chavimochic, Región La Libertad (Ref. 11). Estudio de Prefactibilidad del Proyecto Chavimochic Tercera Etapa – Primera Fase

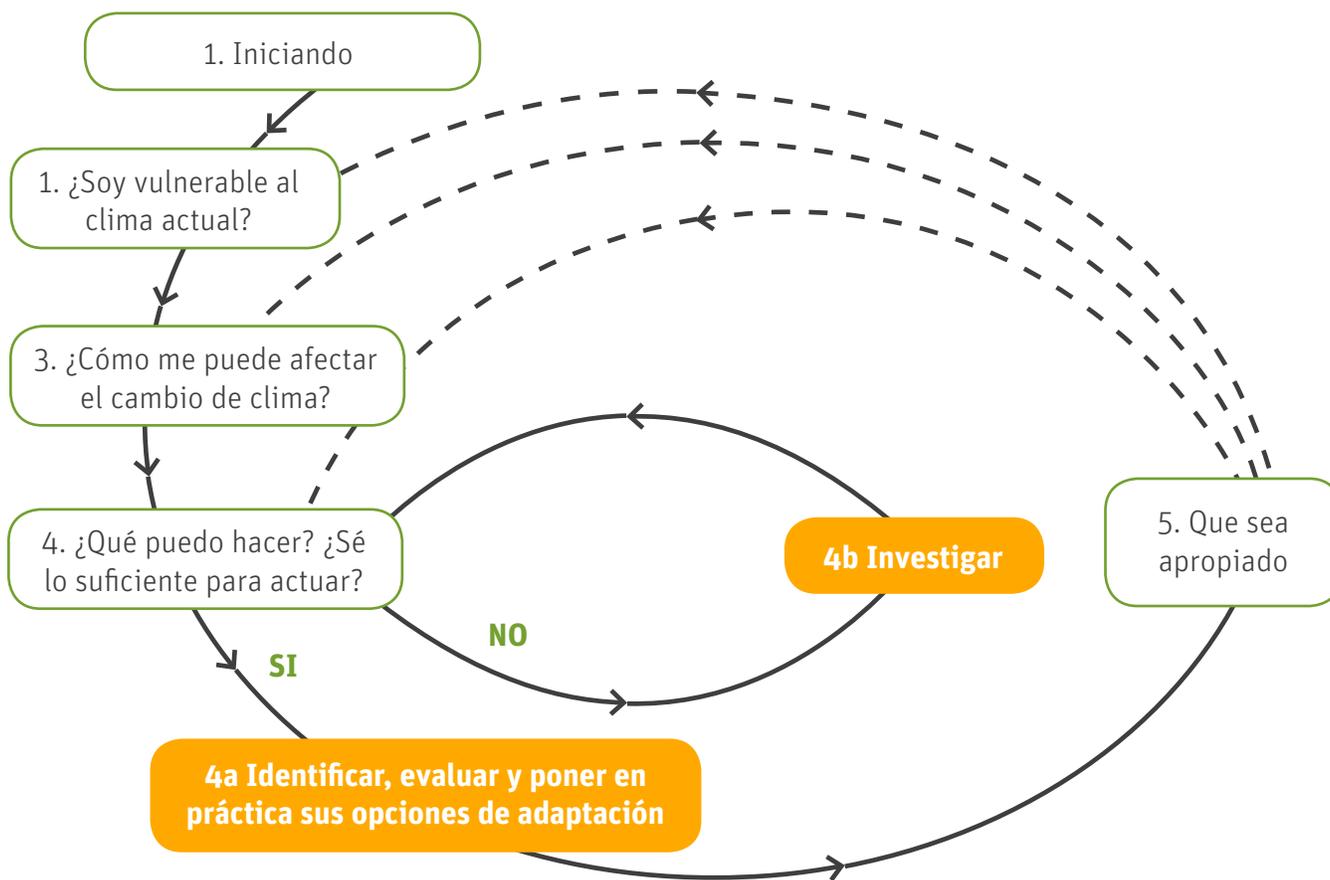
6 El Proceso de Adaptación

De las secciones anteriores debe quedar claro que la predicción de los impactos del cambio climático en el suministro de agua a Trujillo, en los niveles de agua subterránea en el acuífero de Moche, y en el suministro de agua al canal Chavimochic está, en la actualidad, relacionada con grandes incertidumbres. Para el Acuífero de Moche, los dos escenarios climáticos analizados incluso apuntan en direcciones opuestas. Por lo tanto, la viabilidad o incluso la relevancia de determinadas medidas de adaptación podrían ser cuestionadas.

En particular, sin que se detenga el proceso de adaptación, cuando las incertidumbres son grandes, es importante poner en marcha actividades destinadas a enfrentar y reducir las incertidumbres y, posteriormente, volver al proceso de adaptación con un mejor conocimiento.

Dado que algunas medidas de adaptación podrían, sin embargo tomar un tiempo considerable para ponerse en práctica, tomar la decisión de posponer su implementación podría no ser aceptable. El Programa de Impacto Climático del Reino Unido sugiere un enfoque gradual por pasos pero cíclico de planificación de la adaptación, como se indica en la Figura 6.1. Para evitar el estancamiento del proceso es importante en una etapa temprana de identificar los escenarios de ganar-ganar y sin arrepentimiento, es decir, que se beneficiarán del sistema de otras maneras que sólo la adaptación climática y escenarios que serían beneficiosas independientemente de cómo el clima realmente se desarrolle. Por lo tanto, las medidas de adaptación que se indican a continuación se centrarán en estudios con vistas a la reducción de la incertidumbre, en escenarios de ganar-ganar y medidas sin-arrepentimiento.

Figura 6.1 Asistente de Adaptación UKCIP v 2.0. UKCIP, Oxford (UKCIP, 2008).



6.1 Posibles Medidas de Adaptación

Se han identificado un conjunto preliminar de opciones de adaptación. Las diversas opciones han sido evaluadas subjetivamente en una matriz de puntuación y calificadas para formar un esquema del plan de adaptación.

Cabe destacar, que la lista de opciones es preliminar y que la lista final de opciones y su clasificación es un proceso detallado y de más duración, que se extiende más allá del alcance de este caso de estudio. Será preciso re-examinar y revisar el plan de adaptación cada vez que se dispongan de predicciones más detalladas o evidencias del cambio climático local o cuando los cambios en los pronósticos de la demanda lo hagan relevante. En este sentido, el proceso de adaptación al cambio climático no difiere de la planificación normal de los recursos hídricos o de la gestión del suministro de agua.

La lista preliminar de opciones y la clasificación se incluyen aquí para servir como referencia y se espera que puedan facilitar el arranque del proceso de adaptación al cambio climático y el desarrollo de un plan de adaptación al cambio climático.

Las siguientes medidas de adaptación han sido identificadas:

General

- 1 No Acción. Aunque el análisis realizado en este caso de estudio no revela una vulnerabilidad alarmante a los impactos del cambio climático, la incertidumbre de los posibles cambios sigue siendo tan grande que, como mínimo, la situación debe monitorearse intensivamente y ser más estudiada.
- 2 Debe iniciarse la evaluación detallada del cambio climático de la cuenca del río Moche y áreas circundantes en línea con el trabajo llevado a cabo en la cuenca del Santa. El objetivo es reducir la incertidumbre considerable en las predicciones climáticas, como mínimo, para limitar el impacto de una disminución o un aumento del flujo en la estación de Quirihuac. El trabajo debe implicar varios modelos meteorológicos y de reducción de escala dinámica para reducir la incertidumbre en las predicciones climáticas, como mínimo, para limitar el impacto ya sea a una disminución del flujo o aumento de flujo en la estación de Quirihuac.
- 3 Establecimiento de un equipo de modelaje de aguas subterráneas que conduzca estudios de interacción del agua subterránea-superficial del acuífero de Moche. El equipo debe habilitar a la ciudad y Chavimochic para responder dinámicamente a los posibles cambios en el clima y en el patrón de bombeo del acuífero con el objetivo de mejorar las medidas de congestión de drenaje sin correr el riesgo de un exceso de bombeo, particularmente a lo largo de la costa. El equipo de trabajo debe establecer una herramienta de apoyo a las decisiones de las aguas subterráneas con capacidad de modelaje actualizada para reflejar la variación estacional del flujo de entrada y la aplicación del riego, modelaje más directo de la influencia de los flujos de entrada al acuífero, la posible intrusión salina, los impactos de cambios de bombeo y una evaluación de la calidad del agua subterránea. La herramienta establecida debe calibrarse con particular atención a la profundidad de la capa freática.

Adaptación a un Clima más Seco.

- 4 Realizar estudios detallados de modelaje para revelar con mayor precisión el nivel de bombeo sostenible del acuífero. La rápida evaluación en este estudio ha indicado que los aumentos previstos en las tasas de bombeo hasta el 2018 parecen ser sostenibles bajo el clima más seco previsto, pero esto tiene que ser confirmado por estudios más detallados. La actividad abordará la falta de agua debido al cambio climático, así como las congestiones de drenaje. Ganar-Ganar.
- 5 Exigir iniciativas de gestión de la demanda encaminadas a reducir la demanda neta mediante políticas de fijación de precios o por restricciones en el uso del agua. Los escenarios de bombeo previstos sólo satisfarán las demandas hasta el 2020.
- 6 Reducir las demandas brutas mediante la minimización de las pérdidas en el sistema de distribución (reducción de la presión y/o trabajos de reemplazo).
- 7 Monitoreo de los niveles de agua subterránea en el acuífero, particularmente a lo largo de la línea costera para generar alertas de sobrepaso de extracciones y alternar escenarios de bombeo de forma correspondiente.

- 8 Negociar opciones para aumentar el suministro de agua para uso doméstico desde Chavimochic, en caso que nuevas evaluaciones climáticas apunten a un escenario más seco que el considerado en este estudio o si los análisis detallados determinan que las tasas de bombeo previstas son insostenibles.
- 9 Comenzar a planificar para el aumento de la demanda de riego. Si bien no resulta alarmante la evaluación del aumento en demandas de riego del 6% anual y un 7% en el mes más crítico (diciembre), la proyección del incremento de la temperatura que provocará dicho aumento es más seguro que las predicciones de precipitaciones que determinaron los pronósticos de los cambios de caudal en los ríos locales. Dado que el proyecto Chavimochic no está completamente desarrollado, éste todavía tiene excedente de recursos hídricos que le permiten incorporar tales cambios. Sin embargo, los pronósticos deber ser afinados, y tomados en cuenta en la planificación del desarrollo subsiguiente del Proyecto, o compensado por cambios en los patrones de cultivo o ahorros de agua.
- 10 La expansión de la extracción del canal Chavimochic y el aumento de la planta de tratamiento, a ser efectuada si estudios posteriores del escenario de bombeo del 2018 muestran que es insostenible. Se sugiere una extensión de 750 l / s para compensar por la diferencia entre el presente bombeo y las tasas de bombeo futuras propuestas.

Adaptación a un Clima más Húmedo

- 11 Más estudios de la interacción entre aguas subterráneas y superficiales en el acuífero del Moche para confirmar los resultados del presente estudio y para planificar una mayor disminución de la congestión de drenajes.
- 12 Incrementar el bombeo del SEDALIB a los 1500l/s planificados y utilizar éste para el suministro a la ciudad si la calidad del agua lo permite. El escenario de bombeo parece ser capaz de compensar por los efectos negativos del clima más húmedo.
- 13 Incremento del bombeo para riego en el Valle, tal como sugerido por Chavimochic en el Escenario 3 del estudio anterior (Ref. 6)
- 14 Restringir el riego en ciertas áreas del valle. Si la congestión del drenaje no puede ser controlada por otras medidas, será necesario restringir el riego en ciertas áreas del valle para ciertos tipos de cultivos con menor consumo de agua y fugas a las aguas subterráneas.
- 15 Investigación de las oportunidades de expansión en los planes de desarrollo del Proyecto Chavimochic posibles mediante una mayor disponibilidad de agua.

6.2 Matriz de Análisis de Opciones

Todas las posibles medidas de adaptación se han incluido en una matriz de análisis de opciones y se sometieron a una evaluación inicial sobre la base de conocimientos generales y de las condiciones específicas del sitio, Esta es una evaluación cualitativa, donde cada medida es evaluada según los siguientes criterios:

- Ganar/Ganar
- Arrepentimiento/No-arrepentimiento
- Flexibilidad
- Mejoramiento de la resiliencia
- Urgencia
- Aceptación política
- Costos

Las evaluaciones narrativas se complementan por “puntos” que van de “+ + +” para la mejor puntuación positiva, a través de “0” como neutral, a “- - -” como la peor puntuación. Los “puntajes” positivos y negativos se resumen de manera separada con los siguientes significados:

- Puntuación positiva alta = alta prioridad de ejecución
- Puntuación negativa alta = un alto nivel de controversia, alto costo o medida de otro modo problemática.

Las medidas evaluadas actualmente, los criterios de evaluación y los puntajes reales pueden estar incompletos y no siempre son representativos de la situación actual de una manera totalmente objetiva. Por lo tanto, las matrices de evaluación deben ser actualizadas y/o ampliadas adecuadamente mediante la participación interactiva de las partes interesadas.

ID	Medida de Adaptación	Ganar/ganar	Arrepentimiento/ No-arrepentimiento	Flexible	Resiliencia Alta	Urgencia	Aceptación Política	Costos	Puntaje	Valor
General										
0	No acción	---	-- Algunas medidas toman tiempo para ser implementadas. La no-acción puede causar arrepentimiento.	-- En este caso esperar más tiempo no hará que las opciones luego sean más flexibles	-- sin tomar acción la vulnerabilidad crecerá	0 No es relevante	-- Normalmente el no abordar problemas que se han identificado no resulta en una buena estrategia política	-- Ningún costo ahora puede conducir a mayores costos después	0+/-12-	-
1.1	Evaluación detallada del cambio climático en la cuenca del río Moche y áreas circundantes	++ Mejorar las posibilidades de calibración de los modelos meteorológicos e hidrológicos mejora el conocimiento para el diseño de nuevas estructuras	++ expandir el conocimiento nunca causa arrepentimiento	++ Abrirá para más ideas de adaptación	0 No mejorará la resiliencia por sí sola.	+++ es urgente, para ayudar en decisiones futuras	++ Políticamente aceptable	+++ bajos costos	+14/-0	1
1.2	Establecimiento de un equipo de trabajo para modelaje de aguas subterráneas	++ Mejora la adaptación a ambos climas presentes, clima más seco y clima más húmedo. Proveer evidencia para medidas de adaptación	++ expandir el conocimiento nunca causa arrepentimiento	++ Abrirá para más ideas de adaptación	++ mejorará la resiliencia abriendo una res- puesta más dinámica a los problemas encontrados	+ es urgente, para ayudar en decisiones futuras	+++ Políticamente aceptable	+ relativamente bajos costos	13+/-0	2

ID	Medida de Adaptación	Ganar/ganar	Arrepentimiento/ No-arrepentimiento	Flexible	Resiliencia Alta	Urgencia	Aceptación Política	Costos	Puntaje	Valor
Adaptación a un Clima más Seco										
2.1	Una evaluación más detallada del bombeo sostenible	++ Protección del acuífero, del suministro a la ciudad y combatir la congestión de drenajes	++ No arrepentimiento	++ mejorará en vez de limitar las decisiones	0 No mejorará la resiliencia por sí sola.	++ Relativamente urgente para ayudar en decisiones futuras	++ Políticamente aceptable	++ bajos costos	11+/0-	3
2.2	Exigir iniciativas de gestión dirigidas a reducir la demanda neta mediante los precios o restricciones en el uso del agua	++ Reducir la necesidad de bombeo o inversión en tratamiento de aguas superficiales para cubrir el aumento de las demandas futuras	++ No arrepentimiento Ahorros siempre son buenos.	++ Puede ser implementado y cambiado en cualquier momento pero se necesita tiempo para ver resultados	0 No mejorará la resiliencia por sí sola.	++ Puede ser implementado en cualquier momento pero es preferible pronto que más tarde	-- Puede ser políticamente sensible.	++ bajos costos	9+/2-	8
2.3	Reducir las demandas brutas mediante la minimización de las pérdidas en el sistema de distribución	++ Beneficiará tanto la disponibilidad de agua como los costos de operaciones	++ No arrepentimiento. Ahorros siempre son buenos.	++ La implementación puede empezar en cualquier momento	++ Una distribución efectiva es más resistente (mas resiliencia)	++ Puede ser implementado en cualquier momento pero es preferible pronto que más tarde	++ No es políticamente sensible	-- Relativamente altos costos	10+/2-	7

2.4	Monitoreo de los niveles de aguas subterráneas en el acuífero	+ Beneficiará tanto la congestión de drenajes como la sostenibilidad del bombeo	++ No arrepentimiento	++ La implementación puede comenzar en cualquier momento	+ puede mejorar la resiliencia al considerar un bombeo más alto	+ es algo urgente, para ayudar en decisiones futuras	+ No es políticamente sensible	+ Relativamente bajos costos	9+/0-	6
2.5	Negociar opciones para incrementar el envío de agua de uso doméstico desde Chavimochic	0	++ No arrepentimiento	++ La implementación puede comenzar en cualquier momento	+ conducirá a una mayor flexibilidad de los recursos	+ es algo urgente, para ayudar en decisiones futuras	Políticamente aceptable	++ bajos costos	10+(0-	4
2.6	Comenzar a planificar para el aumento de la demanda de riego	0	++ No arrepentimiento	++ La implementación puede comenzar en cualquier momento	+ debe conducir a una mayor resiliencia de sus sistemas de irrigación	+ es algo urgente, para ayudar en decisiones futuras	Políticamente aceptable	++ bajos costos	10+/0-	5
2.7	Expansión de la extracción desde el canal de Chavimochic e incremento de la planta de tratamiento	0 Beneficiará el suministro de agua solamente	0 Podría causar arrepentimiento si las predicciones climáticas se muestran muy conservadoras	+ La implementación toma tiempo y no debe establecerse antes que evidencias del clima más sólidas y tasas de bombeo sostenibles estén disponibles	++ Conducirá a una mayor resiliencia en los sistemas de riego	0 No muy urgente	Políticamente aceptable	-- Altos costos	5+/2-	9

ID	Medida de Adaptación	Ganar/ganar	Arrepentimiento/ No-arrepentimiento	Flexible	Resiliencia Alta	Urgencia	Aceptación Política	Costos	Puntaje	Valor
Adaptación a un clima más húmedo										
3.1	Más estudios detallados de interacción de aguas subterráneas y superficiales del Acuífero del Moche	+ Beneficiará la adaptación tanto a climas más secos y a climas más húmedos	++ No arrepentimiento	++ La implementación puede comenzar en cualquier momento	+ debe conducir a una resiliencia mayor	+ es algo urgente, para ayudar en decisiones futuras	++ Políticamente aceptable	+ bajos costos	10+/0-	3
3.2	Aumento en el bombeo planificado de SEDALIB a 1500 l/s	++ Beneficiará tanto la disponibilidad de agua y la congestión de drenajes	++ No arrepentimiento	+ Implementación gradual, puede comenzar en cualquier momento	++ Resiliente. Conducirá a una mayor flexibilidad de los recursos	0 Puede ser implementado en cualquier momento pero no más tarde de lo requerido por el desarrollo de la demanda	++ No es políticamente sensible	-- Altos costos	9+/2-	5
3.3	Incremento en el bombeo para riego en el Valle	++ Beneficiará tanto la disponibilidad de agua y la congestión de drenajes	++ No arrepentimiento	+ Implementación gradual, puede comenzar en cualquier momento	++ Resiliente. Conducirá a una mayor flexibilidad de los recursos	+ es algo urgente	- Podría ser políticamente sensible	-- Altos costos	8+/3-	6
3.4	Restringir el riego en ciertas áreas en el Valle	0 No es Ganar/Ganar	0 Puede causar arrepentimiento	+ Bastante flexible	0 No mejorará la resiliencia por sí sola.	0 no es urgente	-- No es políticamente sensible	-- Podría ser costoso	1+/3-	8

3.5	Investigación de las oportunidades de una expansión del riego futura	+ Beneficiará principalmente el sector de riego pero también el desarrollo general del área	++ No arrepentimiento	++ La implementación puede empezar en cualquier momento	0	+ es algo urgente, para ayudar en decisiones futuras	++ Políticamente aceptable	+ bajos costos	9+/0-	4
3.6	Abstracción de agua del río para exportar fuera de la Cuenca	++ beneficiara tanto la congestión de drenajes y el riego de otras áreas	0 Depende de las predicciones del clima	+ Necesitas más estudios	++ Resiliente. Conducirá a una capacidad de regulación	0 no es urgente	+ Políticamente aceptable	-- altos costos	5+/2-	7
Fuentes Adicionales										
10	Expansión de los Ríos Orientales	+++ Ganar/ganar, impulsará la disponibilidad de agua y hará el suministro de agua menos vulnerable a los flujos de lodo (destrucción de tuberías) y produce electricidad	+ No arrepentimiento. Este Proyecto parece ser necesario aun cuando el cambio climático no está considerado. Pero es un desafío técnico y una inversión grande, por lo cual podría provocar posible arrepentimiento	-- No muy flexible	+++ Mejora la resiliencia a las erupciones volcánicas (flujos de lodo)	+ Algo urgente	++ No es políticamente sensible	-- altos costos	10+/4-	9

7 Esquema del Plan de Adaptación

Se les han asignado prioridades a las opciones identificadas de acuerdo con la clasificación en la matriz de análisis. Este esquema del plan tiene que ser discutido con la ciudad de Trujillo, SEDALIB y Chavimochic que tendrán que estudiarlo con más detalle antes de la implementación.

La lista preliminar con las clasificaciones de medidas se divide en tres secciones de las cuales las dos últimas, adaptación a un clima más seco y a un clima más húmedo se clasifican en paralelo.

7.1 Medidas Generales de Adaptación

- 1.1 Debe iniciarse la evaluación del cambio climático detallada de la cuenca del río Moche y zonas aledañas en línea con el trabajo llevado a cabo en la cuenca del Santa. El objetivo es reducir la incertidumbre considerable en las predicciones del clima, como mínimo para restringir el impacto ya sea a una disminución del caudal o un aumento del caudal en la estación de Quirihuac. El trabajo debe incluir varios modelos meteorológicos y de reducción de escala dinámica para reducir la incertidumbre en las predicciones climáticas, como mínimo para limitar el impacto a una disminución del caudal o un aumento del caudal en la estación de Quirihuac.

- 1.2 Establecimiento de un equipo de trabajo para el modelaje de aguas subterráneas que conduzca estudios detallados de interacción de aguas subterráneas y superficiales del acuífero de Moche. El equipo debe habilitar a la Ciudad y a Chavimochic para responder de manera dinámica a los posibles cambios en el clima y en el patrón de bombeo del acuífero, con el objetivo de mejorar las medidas de congestión de drenaje, sin correr el riesgo de un exceso de bombeo, particularmente a lo largo de la costa. El equipo debe establecer una herramienta de apoyo a las decisiones de las aguas subterráneas con capacidad de modelaje actualizado para reflejar la variación estacional del flujo de entrada y la aplicación del riego, un modelaje más directo de la influencia de los flujos de entradas al acuífero, la posible intrusión salina, el impacto del cambio de bombeo y evaluación de la calidad de las aguas subterráneas. La herramienta establecida debe calibrarse con particular atención a la profundidad del nivel freático.

7.2 Adaptación a un Clima más seco

- 2.1 Conducir estudios de modelaje detallado para revelar con mayor exactitud el bombeo sostenible del acuífero. Las evaluaciones rápidas de este estudio han indicado que el aumento planificado en las tasas de bombeo hasta el 2018 parece ser sostenible bajo el clima más seco previsto, pero esto tiene que ser confirmado por estudios más detallados. La actividad abordará el problema de la escasez de agua debido al cambio climático, así como la congestión del drenaje. Es un ganar-ganar, no-arrepentimiento y opción de bajo costo que puede iniciarse en cualquier momento.
- 2.2 Negociar opciones para aumentar el suministro de agua para uso doméstico de Chavimochic a efectuarse en caso de nuevas evaluaciones climáticas apunten a un escenario más seco que la realizada en este estudio o si los análisis detallados determinan que las tasas de bombeo previstas no son sostenibles. Es un ganar-ganar, no-arrepentimiento y opción de bajo costo que puede iniciarse en cualquier momento.
- 2.3 Comenzar a planificar para el aumento de la demanda de riego. Si bien no resulta alarmante la evaluación del aumento en demandas de riego del 6% anual y un 7% en el mes más crítico (diciembre), la proyección del incremento de la temperatura que provocará dicho aumento es más seguro que las predicciones de precipitaciones que determinaron los pronósticos de los cambios de caudal en los ríos locales. Dado que el proyecto Chavimochic no está completamente desarrollado, éste todavía tiene excedente de recursos hídricos que le permiten incorporar tales cambios. Sin embargo, los pronósticos deben ser afinados, y tomados en cuenta en la planificación del desarrollo subsiguiente del Proyecto, o compensado por cambios en los patrones de cultivo o ahorros de agua. Es un ganar-ganar, sin arrepentimiento, aumenta la resiliencia y opción de bajo costo que puede iniciar en cualquier momento.
- 2.4 Monitorear los niveles de agua subterránea en el acuífero, especialmente a lo largo de la costa para activar las advertencias de posible sobre-extracción y alterar los escenarios de bombeo en consecuencia. Es un Ganar-Ganar, sin arrepentimiento, la resistencia creciente y opción de bajo costo que puede iniciarse en cualquier momento
- 2.5 La reducción de las demandas brutas al minimizar las pérdidas en el sistema de distribución (reducción de presión y / u obras de reemplazo). Es un Ganar-Ganar, sin arrepentimiento, y opción de bajo costo que puede iniciarse en cualquier momento. Puede, sin embargo, ser algo costoso.

- 2.6 Exigir iniciativas de gestión de la demanda encaminadas a reducir la demanda neta mediante políticas de fijación de precios o por restricciones en el uso del agua. Los escenarios de bombeo previstos sólo satisfarán las demandas hasta el 2020. Es un ganar-ganar, sin arrepentimiento, aumenta la resiliencia y opción de bajo costo que puede iniciar en cualquier momento. Sin embargo, puede tomar tiempo en producir resultados y ser políticamente sensible.
- 2.7 La expansión de la extracción del canal Chavimochic y el aumento de la planta de tratamiento, a ser efectuada si estudios posteriores del escenario de bombeo del 2018 muestran que es insostenible. Se sugiere una extensión de 750 l / s para compensar por la diferencia entre el presente bombeo y las tasas de bombeo futuras propuestas. Puede causar arrepentimiento y es costosa pero puede demostrar ser necesario en el largo plazo.

7.3 Adaptación a un Clima más Húmedo

- 3.1 Más estudios de la interacción entre aguas subterráneas y superficiales en el acuífero del Moche para confirmar los resultados del presente estudio y para planificar una mayor disminución de la congestión de drenajes.
- 3.2 Investigación de las oportunidades de expansión en los planes de desarrollo del Proyecto Chavimochic posibles mediante una mayor disponibilidad de agua.
- 3.3 Incrementar el bombeo del SEDALIB a los 1500l/s planificados y utilizar éste para el suministro a la ciudad si la calidad del agua lo permite. El escenario de bombeo parece ser capaz de compensar por los efectos negativos del clima más húmedo.
- 3.4 Incremento del bombeo para riego en el Valle, tal como sugerido por Chavimochic en el Escenario 3 del estudio anterior (Ref. 6)
- 3.5 Abstracción del agua del río para exportar fuera de la cuenca. Esto puede ayudar la congestión de drenajes pero necesita de más investigación y cuantificación.
- 3.6 Restringir el riego en ciertas áreas del valle. Si la congestión del drenaje no puede ser controlada por otras medidas, será necesario restringir el riego en ciertas áreas del valle para ciertos tipos de cultivos con menor consumo de agua y fugas a las aguas subterráneas.

- Ref. 1 Min. de Ambiente, SENAMHI (2012): DISPONIBILIDAD HIDRICA SUPERFICIAL EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS SANTA, RIMAC Y MANTARO BAJO CONTEXTO DE CAMBIO CLIMATICO PARA EL HORIZONTE 2030-2039.
- Ref. 2 Min. of Environment, SENAMHI (2009): Climate Change Scenarios for Peru to 2030, Second National Communication on Climate Change, Executive Summary.
- Ref. 3 Min. del Ambiente, SENAMHI (2010) Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
- Ref. 4 MIKE BY DHI (2011).MIKE 11 a Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual
- Ref. 5 SEDALIB (2005): Plan Maestro Optimizado 2005-2035
- Ref. 6 Chavimochic (2008): Proyecto especial de Chavimochic. Modelo Matemático de Simulación del Acuífero Moche
- Ref. 7 Visual Modflow (2012): <http://www.swstechnology.com/groundwater-modeling-software/visual-modflow-flex>
- Ref. 8 SEDALIB 2012: PLAN MAESTRO OPTIMIZADO, EPS SEDALIB S.A. PERIODO 2012 -2042
- Ref. 9 SEDALIB (2005): Plan Maestro Optimizado 2005-2035
- Ref. 10 FAO 2005: Climwat 2.0 for Cropwat
- Ref. 11 Chavimochic (200?): Explotación de Aguas Subterráneas en los Valles de Chao, Virú y Moche. Proyecto Chavimochic, Región La Libertad
- Ref. 12 INEI, 2010. Estimaciones y Proyecciones de población por departamento, sexo y grupos Quinquenales de Edad 1995-2025. Boletín de Análisis Demográfico No. 37. Online <http://www.inei.gov.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0846/index.htm> Accesado el 22/06/2012.
- Ref. 13 Hawkins, Ed, Rowan Sutton, 2009: The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 1095-1107. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>
- Ref. 14 Hawkins, Ed, Rowan Sutton, 2011 The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. Climate Dynamics, 2011, Volume 37, Numbers 1-2, Pages 407-418
- Ref. 15 IADB 2012: Casos de Estudios de Adaptación al Cambio Climático

