

Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector agua y saneamiento en ALC

Inundaciones: Aportes para la estimación
de inversiones en mitigación

Autor:
José Luis López

Editores técnicos:
Mauro Nalesso
Alejandro Liñayo

División de Agua y Saneamiento

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-02103

Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector agua y saneamiento en ALC

Inundaciones: Aportes para la estimación de inversiones en
mitigación

Autor:
José Luis López

Editores técnicos:
Mauro Nalesso
Alejandro Liñayo

Diciembre 2020

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo
López, José Luis.

Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector
agua y saneamiento en ALC: Inundaciones: aportes para la estimación de inversiones
en mitigación / José Luis López; editores, Mauro Nalesso, Alejandro Liñayo.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2103)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Flood damage prevention-Latin America. 2. Flood damage prevention-Caribbean
Area. 3. Water-supply-Environmental aspects-Latin America. 4. Water-supply-
Environmental aspects-Caribbean Area. 5. Climatic changes-Risk management-Latin
America. 6. Climatic changes-Risk management-Caribbean Area. 7. Climate change
mitigation-Economic aspects-Latin America. 8. Climate change mitigation-Economic
aspects-Caribbean Area. I. Nalesso, Mauro, editor. II. Liñayo R., Alejandro, editor. III.
Banco Interamericano de Desarrollo. División de Agua y Saneamiento. IV. Título. V.
Serie.

IDB-TN-2103

Códigos JEL: Q25, Q51.

Palabras clave: Riesgo climático, estrategias financieras, inundaciones,
aludes torrenciales, cambio climático.

El autor y editores desean agradecerle al equipo que aportó a la elaboración de este
documento y a la discusión sobre la temática, y en particular a los especialistas Sergio
Marín, José Córdoba y Jenny Moreno.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 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.



Riesgo climático y definición de estrategias financieras para su mitigación en el sector agua y saneamiento en ALC

Inundaciones:
Aportes para la estimación de inversiones en mitigación



BID

Banco Interamericano
de Desarrollo

TABLA DE CONTENIDO

R	Resumen	6
	Introducción	9
1	1. Costos referenciales de algunas experiencias en gestión de riesgo de Inundaciones y Aludes Torrenciales en América Latina y el Caribe	11
	1.1 Acciones de diagnóstico	12
	1.1.1 Caso de estudio "Mapa de Vulnerabilidad Social del Área Metropolitana de Caracas" - Venezuela	12
	1.1.2 Caso de estudio: "Amenazas por Inundaciones y Aludes Torrenciales en el Valle de Caracas" - Venezuela	13
	1.1.2.1 Generalidades	13
	1.1.2.2 Costos estimados del estudio	18
	1.1.3 Caso de estudio "Base de Datos: Estudios y Desastres" - Venezuela	18
	1.1.3.1 Información del proyecto "Estudios y Desastres"	20
	1.1.3.2 Resumen	21
	1.1.3.3 Objetivo	21
	1.1.3.4 Tipos de eventos y estudios	21
	1.1.3.5 Metodología	22
	1.1.3.6 Inventarios base	22
	1.1.3.7 Criterios selectivos utilizados para la recopilación y selección de información	22
	1.1.3.8 Opciones de búsqueda (eventos y estudios)	23
	1.1.3.9 Costos	23
	1.2 Gestión correctiva	23
	1.2.1 Caso de estudio "Control de Deslaves en Lima" - Perú	23
	1.2.1.1 Antecedentes	23
	1.2.1.2 El Problema de los Huaycos en Chosica	24
	1.2.1.3 Instalación de barreras dinámicas de protección	25
	1.2.1.4 Impacto de los deslaves de Marzo del 2017	28
	1.2.1.5 Costos de las obras de protección	31
	1.2.2 Caso de estudio "Control de Aludes Torrenciales en el estado Vargas"- Venezuela	33
	1.2.2.1 Antecedentes	33
	1.2.2.2 Las presas de control de sedimentos	34
	1.2.2.3 Características del área de estudio	35
	1.2.2.4 Las obras de control de sedimentos en el estado Vargas	37
	1.2.2.5 Desempeño de las presas	42
	1.2.2.6 Las obras construidas en el río Naiguatá	46

TABLA DE CONTENIDO

1.2.2.7	Costo de las obras de protección construidos en el río Naiguatá	53
1.2.3	Caso de estudio "Control de Erosión en una Microcuenca Andina en Mérida - Venezuela"	55
1.2.3.1	Antecedentes	55
1.2.3.2	Área de estudio	55
1.2.3.3	Características de la microcuenca	56
1.2.3.4	El problema	57
1.2.3.5	El proyecto de control de erosión	57
1.2.3.6	Resultados del proyecto	62
1.2.3.7	Beneficios del proyecto	62
1.2.3.8	Dificultades existentes	64
1.2.3.9	Costos estimados del proyecto	65
1.2.4	Caso de estudio "Control de Inundaciones Pluviales en la Isla de Margarita - Venezuela"	66
1.2.4.1	Antecedentes	66
1.2.4.2	Características de las obras	71
1.2.4.3	Información básica empleada en el proyecto	77
1.2.4.4	Alcance del proyecto	79
1.2.4.5	Desarrollo del proyecto	79
1.2.4.6	Criterios y consideraciones de diseño	83
1.2.4.7	Resultados	84
1.2.4.8	Costos de proyecto / ingeniería	84
1.2.4.9	Costos de construcción	85
1.3	Gestión reactiva	86
1.3.1	Algunas experiencias con Sistemas de Alerta Temprana ante Inundaciones y Aludes Torrenciales	87
1.3.1.1	Estableciendo estándares para estimar los costos de un SAT ante Inundaciones/aludes torrenciales	87
	-Iniciativas de carácter institucional	88
	-Iniciativas de carácter técnico-académicas	88
	-Iniciativas de tipo comunitarias	88
1.3.1.2	Algunas consideraciones a la hora de estimar costos regionales de un SAT	90
1.3.1.3	Caso de estudio: Estudio de percepción social de riesgos de Catia La Mar	92
1.3.1.4	Otros estudios de casos SAT y sus costos asociados	93
	-SAT del Gobierno autónomo municipal de La Paz - Bolivia	93
	-SAT de Río de Janeiro - Brasil	93

TABLA DE CONTENIDO

	-SAT de la cuenca del río Piura, cuenca alta del río Inambari y de la Microcuenca del río Quesermayo - Perú	94
	-Otros casos de SAT a nivel mundial	94
	-Caso de estudio "Fortalecimiento del Sistema de Alerta Temprana de la Cuenca del Río Coyolate - Guatemala"	99
	-Proyecto de prevención de Inundaciones y Alerta Temprana del Nilo Oriental (Egipto, Sudán y Etiopía) - fase 1	101
1.4	Acciones transversales	103
1.4.1	Caso de estudio: "Desarrollando capacidades institucionales para la toma de decisiones y el diseño, evaluación y seguimiento de políticas públicas usando técnicas de analítica avanzada de datos masivos" - Chile	103
1.4.1.1	Resumen del proyecto	104
1.4.1.2	Objetivo	105
1.4.1.3	Áreas temáticas de estudio	105
1.4.1.4	Metodología	105
1.4.1.5	Costos	105
1.4.2	Caso de estudio: "Programa Nacional de Investigación Aplicada a la Reducción de Desastres" - Venezuela. Fuente: Liñayo (2016)	106
1.4.2.1	Resumen del proyecto	106
1.4.2.2	Objetivo	107
1.4.2.3	Áreas temáticas de estudio	107
1.4.2.4	Metodología	107
1.4.2.5	Resultados	108
1.4.2.6	Costos	108
2.	Índice de Compromiso País (ICPGRIAT) y GAP del sector	109
2.1	Acciones de diagnóstico	112
2.2	Gestión correctiva	113
2.3	Gestión prospectiva	114
2.4	Gestión reactiva	115
2.5	Acciones transversales	115
C	Conclusiones	117
R	Referencias	121

LISTA DE ACRÓNIMOS

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BiVaPaD	Biblioteca Virtual Andina para la Prevención y Atención de Desastres
BM	Banco Mundial
BVS	Biblioteca Virtual en Salud y Desastres - Guatemala
CANDHI	Red Latinoamérica sobre de Información sobre Desastres y Salud
CARDIN	Caribbean Disaster Information Network
CDEMA	Caribbean Disaster Emergency Management Agency
CE	Comisión Europea
CENAPREC	Centro Nacional de Prevención de Desastres - México
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPRODE	Centro de Protección para Desastres - El Salvador
CIES	Centro de Investigaciones y Estudios de la Salud - Nicaragua
CISD	Centro de Información en Salud y Desastres - Nicaragua
CRED	Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres
CRID	Centro Regional de Información sobre Desastres para América Latina y El Caribe
EIRD	Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres
FONDUR	Fondo de Desarrollo Urbano - Venezuela
FUNVISIS	Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas - Venezuela
IFRC	Federación Internacional de Sociedad de la Cruz Roja y la Media Luna Roja
IMF-UCV	Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil - Perú
INE	Instituto Nacional de Estadística-Venezuela
LA RED	La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería - Costa Rica
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica - Costa Rica
MARN	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales -Venezuela
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente - Uruguay
OEA	Organización de los Estados Americanos
ONEMI	Oficina Nacional de Emergencia - Chile
OPS/OMS	Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud
OSSO	Corporación OSSO
PREDECAN	Prevención de Desastres en la Comunidad Andina
SEGOB	Secretaría de Gobierno, México
SINAPROC	Sistema Nacional de Protección Civil - Panamá
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNAN	Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
ULA	Universidad de Los Andes - Venezuela
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
UWI	University of the West Indies - Jamaica

RESUMEN

En este documento se presentan estudios de casos típicos que han sido exitosos en la gestión integral del riesgo de desastres por inundaciones y aludes torrenciales en algunos países de la región y se discuten las bondades, beneficios, dificultades y las inversiones requeridas en esos proyectos.

Inicialmente se presentan casos de estudio que forman parte de las denominadas Acciones de Diagnóstico dentro de la concepción holística de la gestión de riesgos. En particular se discute la elaboración de mapas de vulnerabilidad social y mapas de amenaza asociados a la ocurrencia de inundaciones y aludes torrenciales en el Área Metropolitana de Caracas, los cuales son fundamentales para instrumentar políticas y normas para la regulación del uso del suelo y para el establecimiento de planes para una adecuada planificación urbana y ordenamiento del territorio, así como para el desarrollo de los sistemas de alerta temprana. El costo de ambos estudios, donde se logró consolidar el mapa de vulnerabilidad social del área metropolitana de la ciudad de Caracas, y el mapa de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales, está en el orden de 550.000 dólares. También se incluye el caso de la creación de la Base de Datos “Estudios y Desastres” la cual corresponde a un inventario de consulta virtual de los desastres y eventos socio-naturales y tecnológicos que han ocurrido en Venezuela desde el año 1900, adicionalmente dicho instrumento incluye los diferentes estudios desarrollados en gestión integral de riesgo en el país; este proyecto tuvo un costo de 32.000 dólares.

En el campo de las medidas y acciones correspondientes a la Gestión Correctiva se presentan cuatro (4) casos que abordan diferentes procesos asociados con fenómenos hidroclimáticos y geodinámicos: Deslaves en Lima, Perú; Aludes Torrenciales en Vargas, Venezuela; Inundaciones Pluviales en la Isla de Margarita, Venezuela y Control de Erosión en una Microcuenca Andina en Mérida, Venezuela.

El primer caso analizado es el control de deslaves en la localidad de Chosica, ubicada en la zona este a unos 30 km de Lima, Perú, donde se producen frecuentemente deslizamientos y deslaves de tierra, roca y lodo en las laderas de la montaña, tal como ocurrió con el fenómeno de El Niño de 1987. Las medidas estructurales implementadas, consistentes en la construcción de 22 barreras dinámicas en 9 barrancos en las laderas de los cerros de Chosica, instaladas el año 2016, impidieron la ocurrencia de un desastre debido a las lluvias torrenciales que cayeron en marzo del 2017, las cuales nuevamente generaron deslaves en la montaña. El monto de la inversión requerida para las 22 barreras está en el orden de 3,5 millones de dólares.

El segundo caso se refiere a las medidas estructurales implementadas en el Estado Vargas, Venezuela, para proteger a las poblaciones asentadas en los abanicos aluviales de las quebradas que descienden de la montaña El Ávila, que generaron los catastróficos aludes torrenciales en diciembre de 1999. Entre los años 2001 y 2008, se construyeron 63 presas de retención de sedimentos distribuidas entre 24 cuencas. Se discuten las características de las obras y su desempeño, que incluyen presas de diferentes materiales como gaviones, concreto armado, concreto ciclópeo, elementos tubulares de acero y barreras dinámicas de acero, así

como presas de diferentes tipos, tales como presas abiertas de ventana, de ranura, de rastrillo y de enrejado, y presas cerradas. En particular se presenta en detalle el caso de las obras del río Naguayá, para proteger a la población del mismo nombre, donde el costo de construcción de una presa de 5 m de altura y de la canalización de 1,6 km está en el orden de 6,2 millones de dólares.

El tercer caso presenta el problema de las inundaciones pluviales en zonas muy planas, con drenajes deficientes, con poca capacidad de conducción, como es el caso de las medidas de canalización adoptadas en la Isla de Margarita, en Venezuela. Con el fin de proteger a la población de los desbordes del río San Juan y la falta de un sistema de drenaje superficial adecuado, se diseñaron y construyeron obras de canalización en una longitud de 453 m y cunetas de concreto en una longitud de 460 m, con un costo total de 1,9 millones de dólares.

El cuarto caso de la Gestión Correctiva trata sobre las medidas de control de erosión adoptadas en una microcuenca andina, la cuenca de la quebrada La Virgen, en Mérida, Venezuela, con el objeto de estabilizar torrentes de alta pendiente. Este caso ilustra claramente las prácticas que deben ser aplicadas para el manejo de cuencas torrenciales con graves problemas de erosión fluvial. El proyecto consistió en la construcción de 17 diques pequeños de consolidación hechos en gavión o en mampostería, de tamaños entre 1,5 y 6m. Después de más de 40 años de haber sido instaladas, las estructuras han demostrado ser efectivas para mantener fijo el lecho y márgenes del torrente y para estabilizar un gran deslizamiento que era la fuente principal productora de sedimentos. Un estimado del costo total del proyecto de consolidación y control de erosión en la quebrada La Virgen está en el orden de 700.000 dólares.

En el grupo de la Gestión Reactiva, se presentan los esfuerzos que deben hacerse para fortalecer las capacidades de preparación y respuesta ante este tipo de desastres, como es el caso de los sistemas de alerta temprana (SAT), que forman parte importante del enfoque holístico planteado en este proyecto. Se han identificado tres (3) experiencias regionales, asociadas al establecimiento de sistemas de alerta temprana en los países de estudio, que brindan información sobre la naturaleza de las inversiones que acompañan a este tipo de proyectos: a) el SAT del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Bolivia, con una inversión de 1,9 millones de dólares en equipos de monitoreo (pluviómetros y radares); b) el SAT de Río de Janeiro, Brasil, el cual cuenta con el sistema de alarma Geo-Rio de sirenas en 103 comunidades en zonas de alto riesgo, además de un radar y sistema de alerta comunitaria para un valor estimado de 3,8 millones de dólares; y c) el SAT instalado en la cuenca del río Piura, en la cuenca alta del río Inambari y en la Microcuenca del río Quesermayo en Perú, los cuales tuvieron un precio de instalación de 520.220 dólares.

En el grupo de las Acciones Transversales para la gestión integral del riesgo de desastres, se reportan dos casos. El primero se refiere a las experiencias en Chile para el fortalecimiento de los recursos humanos, el desarrollo de casos prácticos de uso de datos para el diseño de políticas públicas y la elaboración de metodología de réplica y acciones de conocimiento, en un proyecto financiado por el BID con un costo de US\$ 250.000. El segundo caso se refiere al fortalecimiento de las capacidades de los países de la región para mejorar el conocimiento y gestionar el riesgo

de desastres, en este sentido se hace referencia a un programa nacional de investigación aplicada a la reducción de desastres, desarrollado e implementado en Venezuela entre los años 2001 y 2007, promovido y gestionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), donde se desarrollaron 37 proyectos de investigación, por un monto total aproximado de 3.5 millones de dólares.



INTRODUCCIÓN

Este documento da continuidad a dos informes técnicos que fueron previamente elaborados y presentados ante el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), con el fin de conocer el estado del arte y la naturaleza de los retos que deben ser enfrentados por los países de América Latina y El Caribe para mejorar las capacidades de preparación y respuesta tanto de las instituciones como de la población ante la ocurrencia de desastres originados por aludes torrenciales e inundaciones.

En aquellos documentos se mostraba la importancia que la gestión del riesgo de aludes torrenciales e inundaciones tenía para todos y cada uno de los países de la región, y se justificaba la necesidad de definir estrategias financieras para la reducción de riesgos hidroclimáticos que priorizarán tanto el desarrollo de medidas estructurales para el control de inundaciones y aludes (medidas de gestión correctiva o compensatoria), como el abordaje de medidas para preparación y respuesta comunitaria e institucional ante desastres (gestión reactiva) (Figura A).

En este documento se presentan estudios de casos típicos que han sido exitosos en la gestión del riesgo de desastres por inundaciones y aludes torrenciales en algunos países de la región, y se discuten las bondades, beneficios, dificultades y las inversiones requeridas en esos proyectos.

En particular se presentan tres casos de la gestión integral de riesgos a inundaciones y aludes torrenciales que abordan diferentes procesos asociados con fenómenos hidroclimáticos: deslaves en Lima, Perú; Aludes Torrenciales en Vargas, Venezuela e Inundaciones Pluviales en Porlamar, Venezuela.

Es necesario destacar, que, aunque los términos “deslave” y “alud torrencial” se utilizan indistintamente en la literatura técnica sobre el tema, el primero se refiere, estrictamente hablando, al fenómeno geodinámico que ocurre en las laderas de los cerros, el cual consiste en un flujo superficial no confinado, y que aporta material sedimentario al “alud torrencial” que se genera en el cauce de las quebradas y torrentes.

El primer caso trata el control de deslaves en Lima, Perú, donde las medidas estructurales de construcción de barreras dinámicas en las laderas de los cerros en la zona de Chosica, instaladas el año 2016, impidieron la ocurrencia de un desastre debido a las lluvias torrenciales de marzo del 2017.

El segundo caso se refiere a las medidas estructurales implementadas en el estado Vargas, Venezuela, para proteger a las poblaciones asentadas entre la montaña y el mar, de los aludes torrenciales de 24 quebradas o torrentes que bajan de la montaña y que han generado eventos catastróficos como el ocurrido el año 1999.

El tercer caso trata el problema de las inundaciones pluviales en zonas muy planas, con drenajes deficientes, con poca capacidad de conducción, como es el caso de las medidas de canalización

adoptadas en la Isla de Margarita en Venezuela.

Adicionalmente, se presenta un cuarto caso que trata de las medidas de control de erosión adoptadas en una microcuenca andina, la cuenca de la quebrada La Virgen en Mérida, Venezuela, con el objeto de estabilizar torrentes de alta pendiente, que ilustra las prácticas que deben ser aplicadas para el manejo de cuencas torrenciales.

El último caso de estudio que se presenta se concentra en los esfuerzos que deben hacerse para fortalecer las capacidades de preparación y respuesta (Gestión Reactiva) ante este tipo de desastres, como parte del enfoque holístico planteado en el esquema de la Figura A. La consolidación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) constituye uno de los cinco grupos de acciones consideradas como necesarias a la hora de garantizar la gestión integral del riesgo de aludes torrenciales e inundaciones. En este informe se recopila información de distintas fuentes y que permiten estimar la naturaleza y el volumen de las inversiones que pudieran ser requeridas a la hora de promover la consolidación de los sistemas SAT en los países de América Latina y El Caribe.

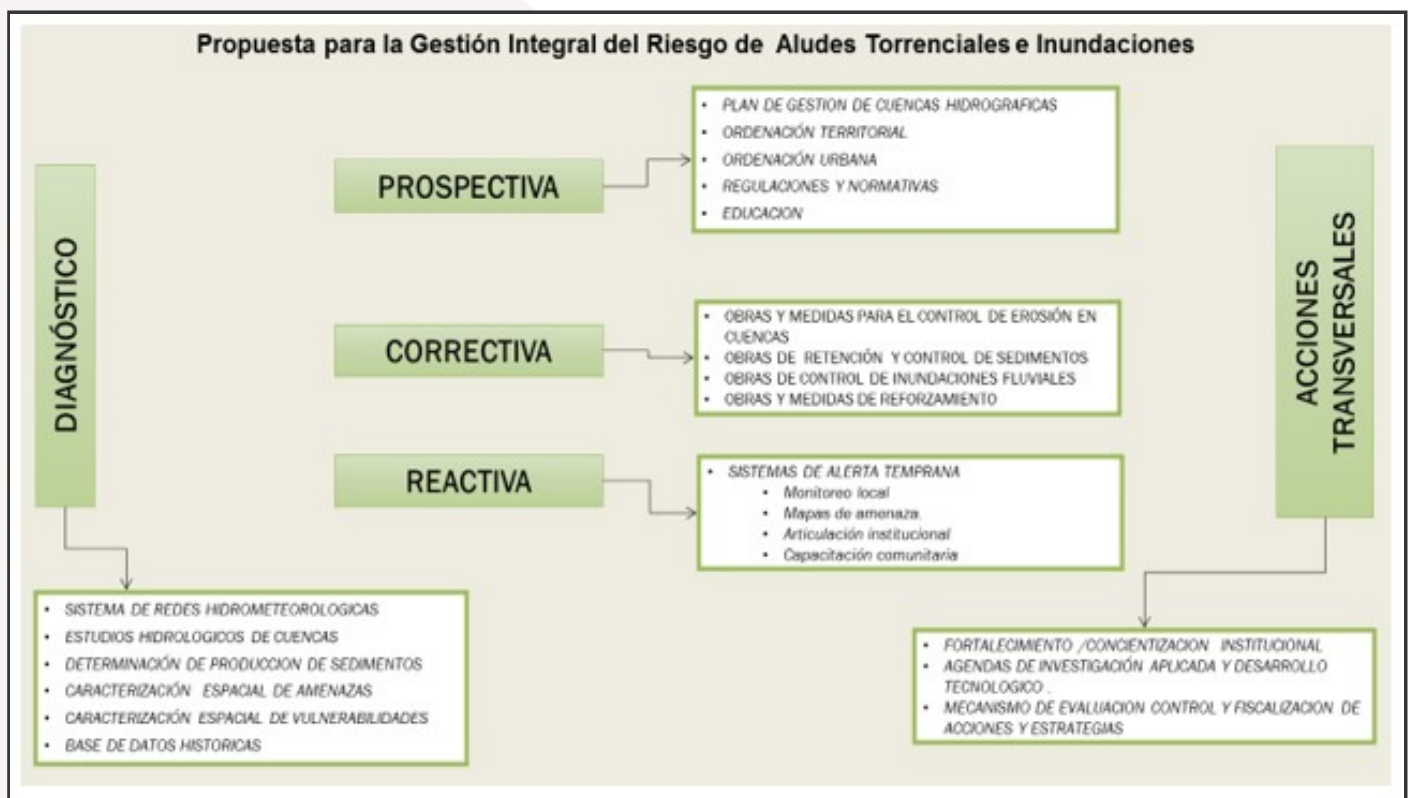



Figura A. Esquema planteado que identifica las acciones y los grupos de acciones propuestas, para gestionar el riesgo de desastres por aludes torrenciales e inundaciones en nuestra región. **Fuente:** Elaboración propia.



**1. COSTOS REFERENCIALES DE ALGUNAS EXPERIENCIAS EN
GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIONES Y ALUDES
TORRENCIALES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE**



1.1 ACCIONES DE DIAGNOSTICO

1.1.1 Caso de Estudio “Mapa de Vulnerabilidad Social del Área Metropolitana de Caracas” - Venezuela

Este estudio de campo fue elaborado por un equipo de consultores contratados en el marco del proyecto denominado “Plan Básico de Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Caracas” y que fue desarrollado durante los años 2002-2005 con el financiamiento de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

Desde el punto de vista metodológico este proyecto conjugó esfuerzos desarrollados tanto por expertos en el diseño y desarrollo de estudios cuantitativos de corte empírico-analítico, como aportes de un nutrido equipo de investigadores de las ciencias sociales que centraron sus trabajos en el uso de metodologías de carácter etnográfico y que incluyeron el uso de grupos focales, reuniones con actores claves (*Stakeholder Analysis*), técnicas de investigación participante, así como de otras técnicas propias de la investigación social (Figura 1).

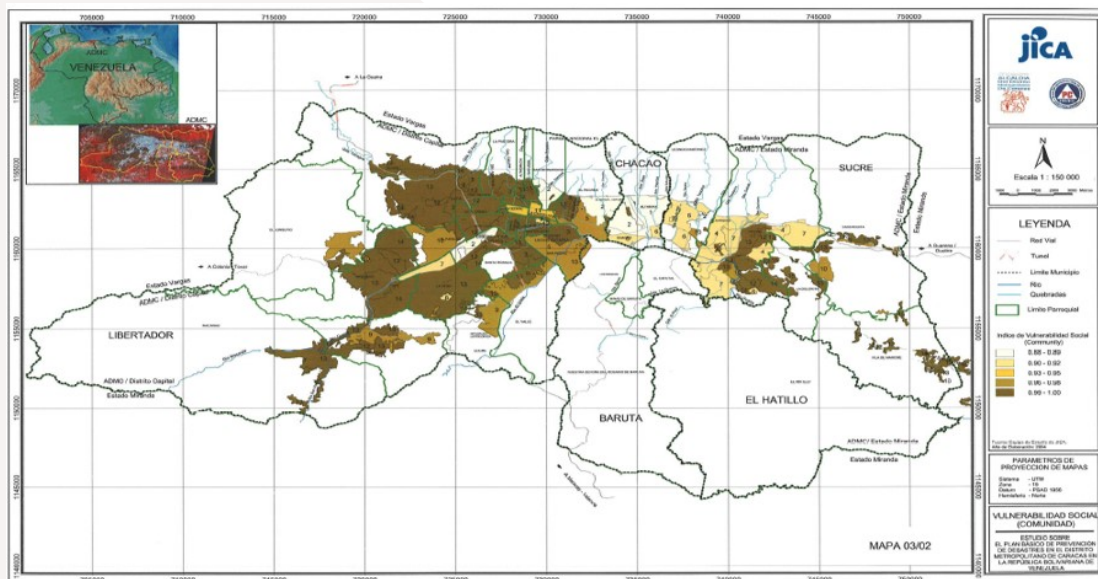


Figura 1. Mapa de Vulnerabilidad Social de Caracas. Fuente: JICA (2004).

El monto global de este estudio alcanzó los cuatrocientos mil dólares americanos (USD 400.000), y gracias al mismo se logró consolidar el mapa de vulnerabilidad social del área metropolitana de la ciudad de Caracas, siendo probablemente uno de los resultados más importantes de este esfuerzo es su utilidad para demostrar la marcada diferencia que existe entre distintas comunidades de una ciudad, en términos de sus fortalezas y debilidades para la gestión local de riesgos, hecho este que invita a evitar seguir asumiendo que las estrategias de intervención social ante el riesgo local de desastres en un entorno urbano sigan siendo homogéneas.

1.1.2 Caso de Estudio: “Amenazas por Inundaciones y Aludes Torrenciales en el Valle de Caracas” - Venezuela

1.1.2.1 Generalidades

La gran mayoría de los desastres de origen hidrometeorológico que se producen se deben a la ocupación inadecuada del territorio de los ríos. Una gran parte de las ciudades y poblaciones de la región latinoamericana se ha desarrollado sobre las orillas, planicies fluviales y abanicos aluviales de los cursos fluviales que las atraviesan. Las planicies de inundación y los abanicos aluviales son parte del territorio del río, que este ocupa cada cierto tiempo con la ocurrencia de las crecientes extraordinarias. La Figura 2, muestra desarrollos urbanos asentados a lo largo del valle y la planicie inundable del río Mocotíes, en Mérida, y en los abanicos aluviales del Estado Vargas, Venezuela.

La mejor medida de prevención, para reducir el riesgo de inundación, es entonces evitar la ocupación de estos espacios, mediante la regulación del uso del suelo y una adecuada planificación urbana y rural, a través de la elaboración de planes para el ordenamiento del territorio. Los mapas de amenaza se convierten entonces en una herramienta indispensable para conocer la extensión y magnitud de la amenaza, por inundaciones fluviales y aludes torrenciales, en una determinada área o centro poblado.



Figura 2. Ocupación de valles y planicies inundables del río Mocotíes en el Estado Mérida (izquierda) y del abanico aluvial del río Cerro Grande en Tanaguarena, Estado Vargas (derecha). **Fuente:** Mora (2005) y López (2010).

Investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela (IMF-UCV), han propuesto una metodología para la elaboración de mapas de amenaza en zonas urbanizadas, basada en el uso de modelos matemáticos de simulación de flujos, combinado con el uso de modelos digitales del terreno (DTM) y de Sistemas de Información Geográfica (GIS) (López, et al. 2002; García, et al. 2003). Un esquema mostrando las acciones a desarrollar, de manera secuencial, y sus resultados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Metodología para la elaboración de mapas de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales

Fuente: Elaboración propia.

ACCIONES	RESULTADOS/PRODUCTOS
Recolección de información: <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de eventos históricos - Datos: pluviométricos, edafológicos, y geológicos - geomorfológicos de la cuenca - Caudales y niveles de crecientes - Muestras de sedimentos del lecho - Mapas topográficos-secciones transversales del cauce - Fotos aéreas/ortofotomapas - Imágenes satelitales 	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de un modelo digital del terreno (MDT) - Archivos de entrada de datos para ejecución de modelos matemáticos
Análisis de lluvias extremas, estimación de las tormentas de diseño y modelación hidrológica del proceso de lluvia-escorrentía de la cuenca usando modelos tipo HSM (<i>Hydrologic Modeling System</i>), o similar.	Generación de hidrogramas de crecientes (caudal líquido) para diferentes periodos de retorno.
Estimación de concentraciones máximas de sedimentos en base a observaciones históricas y visitas de campo.	Generación de hidrogramas de caudales sólidos (sedimentos) para diferentes periodos de retorno.
Modelación hidráulica de diferentes escenarios de flujo usando modelos bidimensionales (FLO-2D o HydroBID Flood).	Generación de mapas de inundación mostrando intensidad de la afectación (extensión superficial, profundidades y velocidades del flujo) para diferentes periodos de retorno.
Calibración y validación de resultados de la modelación hidrológica e hidráulica usando información de eventos anteriores.	Modelos validados con eventos reales.
Delimitación de zonas de amenaza.	Mapa de amenaza en formato GIS.

Para evaluar el grado de la amenaza, se utiliza el método suizo, que define tres grados de peligrosidad (PREVENE, 2001), adaptado a las condiciones de nuestro país. En un mismo sitio pueden ocurrir eventos de diferentes intensidades y probabilidades. Los eventos más intensos son, generalmente, los menos frecuentes. Cada evento implica un grado de peligrosidad, que se determina en función de la intensidad del fenómeno y de su probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con el gráfico de la Figura 3. Se distinguen tres clases de peligrosidad o amenaza: alta (color rojo), media (naranja) y baja (amarillo). La amenaza se evalúa a partir de las intensidades de tres eventos hidrológicos asociados a precipitaciones de 10, 100 y 500 años, de período de retorno. El grado de intensidad del evento se define en función de la profundidad y velocidad del flujo, estableciéndose una diferencia entre flujo convencional de agua y sedimentos, y alud torrencial, de acuerdo con la Tabla 2.

La Tabla 3, presenta una descripción cualitativa del significado de los diferentes niveles de amenaza y las medidas o acciones que deben aplicarse en dichas áreas. Básicamente, el área de amenaza baja se entiende como un área de sensibilización, el área de amenaza media como un área de reglamentación, y el área de amenaza alta como un área de prohibición. Su principal uso es entonces en la planificación territorial, y su propósito es servir de base a las medidas de regulación del uso del suelo, y a la elaboración de normas y reglas en materia de riesgo.

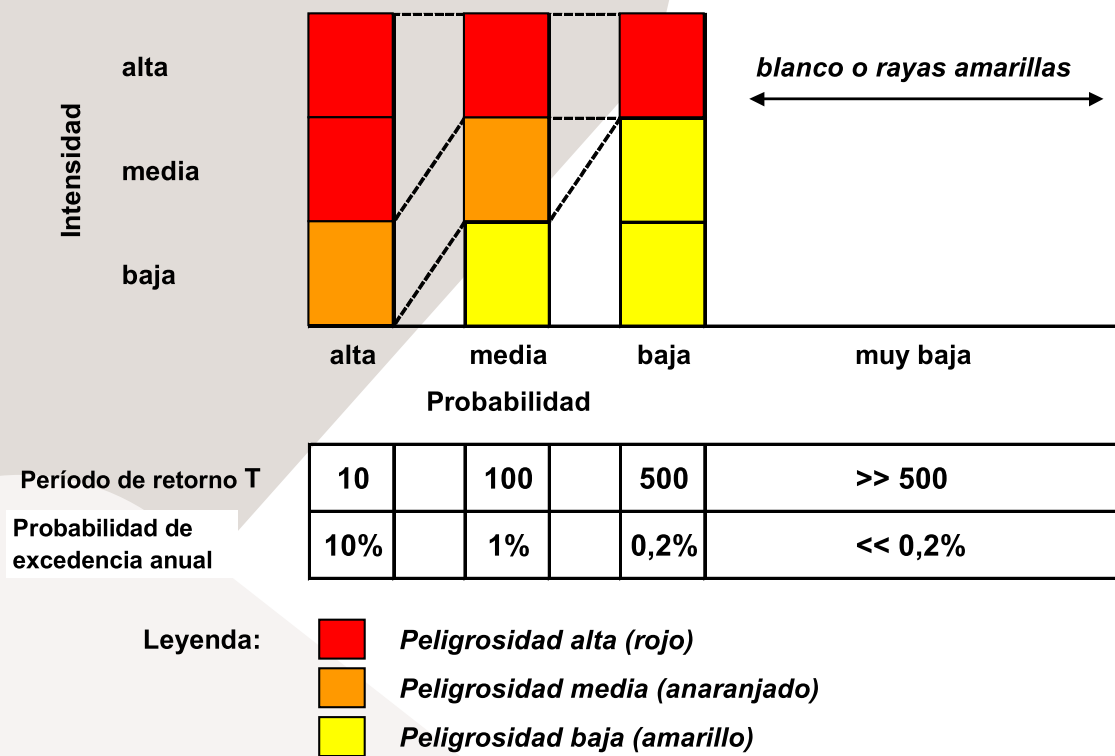


Figura 3. Grado de amenaza en función de los niveles de intensidad y de probabilidad del evento hidrológico
Fuente: PREVENE (2001).

Tabla 2. Definición de niveles de intensidad del evento hidrológico (h = profundidad máxima; v = velocidad máxima del flujo). Fuente: PREVENE (2001).

FLUJO CONVENCIONAL DE AGUA Y SEDIMENTOS			
Intensidad alta	$h > 1,5 \text{ m}$	ó	$v h > 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad media	$0,5 \text{ m} < h \leq 1,5 \text{ m}$	ó	$0,5 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 1,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad baja	$0,1 \text{ m} < h \leq 0,5 \text{ m}$	y	$0,1 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$
FLUJO DE ALUD TORRENCIAL			
Intensidad alta	$h > 1,0 \text{ m}$	ó	$v h > 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad media	$0,2 < h \leq 1,0 \text{ m}$	y	$0,2 \text{ m}^2/\text{s} < v h \leq 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad baja	$0,2 < h \leq 1,0 \text{ m}$	y	$v h \leq 0,2 \text{ m}^2/\text{s}$

Tabla 3 . Descripción cualitativa del significado de los mapas de amenaza y acciones recomendadas para la mitigación del riesgo. **Fuente:** López et al. (2010).

GRADO DE AMENAZA	DESCRIPCIÓN	ACCIONES RECOMENDADAS
Alta	Áreas sujetas a: (a) eventos con alturas y velocidades del flujo considerables que pondrían en peligro a las personas dentro y fuera de las edificaciones con amenaza de destrucción total de las mismas, o (b) eventos con alturas y velocidades menores pero que pudieran ocurrir con mayor frecuencia.	Áreas que deberían considerarse preferiblemente no desarrollables o como espacios públicos de baja inversión. Los espacios ya edificados ameritan obras de mitigación o medidas de reubicación.
Media	Áreas sujetas a eventos con alturas y velocidades del flujo menores que pondrían en peligro a las personas fuera de las edificaciones y daños a las mismas, pero sin destrucción total.	Zonas que ameritan reglamentación y criterios técnicos para ser desarrolladas. No deberían permitirse instalaciones vitales. Las edificaciones existentes deberían protegerse con medidas adecuadas de mitigación.
Baja	Áreas sujetas a eventos que representan poco o ningún peligro para las personas, pero con posibles daños en el interior de las edificaciones.	Zonas con niveles bajos de afectación y que deberían ser objeto de programas de sensibilización y fortalecimiento en preparativos.

Para la determinación de los valores de profundidad y velocidad del flujo, se usan modelos matemáticos de simulación dinámica, tal como el modelo bidimensional FLO-2D, que permite el análisis del flujo en planicies de inundación con alto grado de intervención urbana, pudiendo considerar la presencia de elementos como calles, canales, puentes y edificaciones (López, et al. 2002; García, et al. 2003). El modelo puede tomar en cuenta tanto flujos convencionales como aludes torrenciales.

La metodología descrita, ha sido aplicada para definir mapas de amenaza, en escala 1:25.000, en las cuencas afectadas por los deslaves de 1999, en el estado Vargas. La Figura 4 muestra el mapa de amenaza obtenido para el río San José de Galipán, en la población de Macuto, donde se observa que las áreas de amenaza alta (color rojo) ocupan la mayor parte del área afectada, siendo esta aproximadamente igual a 36,44 ha. La Figura 5 presenta el mapa resultante de aplicar la metodología en forma integrada a las quebradas que drenan el macizo Ávila y el río Guaire, en el valle de Caracas (López, et al. 2010). El estudio permitió elaborar los mapas de amenaza del río Guaire, el río Valle, la quebrada Baruta y de los afluentes torrenciales Catuche, Cotiza, Anauco, Gamboa, Maripérez, Chapellín, Chacaíto, quebrada Seca, Pajaritos, Sebucán, Agua de Maíz, Tócome y Caurimare, en escala 1:10.000. Estos mapas se superpusieron y ensamblaron para constituir el mapa general por amenaza por inundaciones en el valle de Caracas. Los resultados indican que importantes sectores del área metropolitana están ubicados sobre zonas de amenazas media y alta.

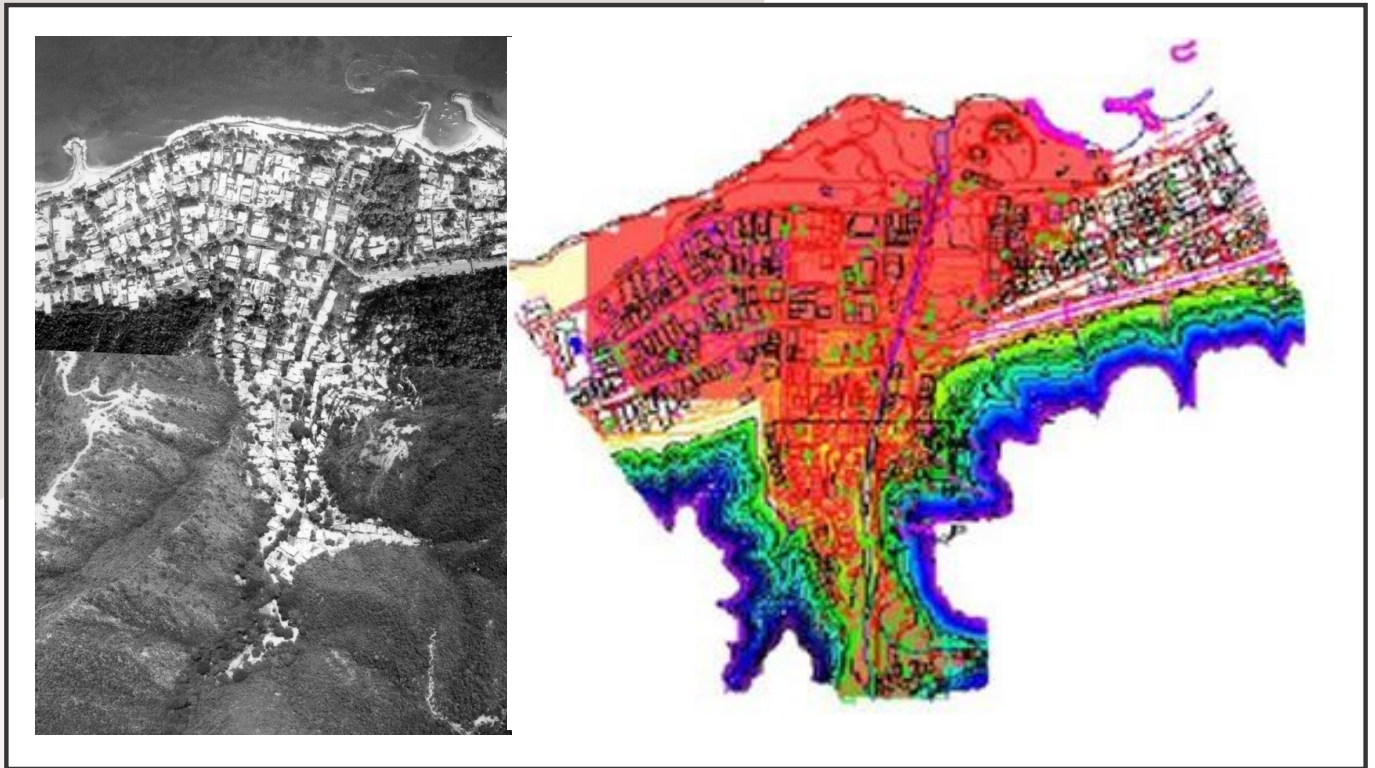


Figura 4. Foto aérea de la población de Macuto (antes del deslave de 1999) y mapa de amenaza obtenido mediante simulación con el modelo FLO-2D en el río San José de Galipán. **Fuente:** García, et al. (2003).

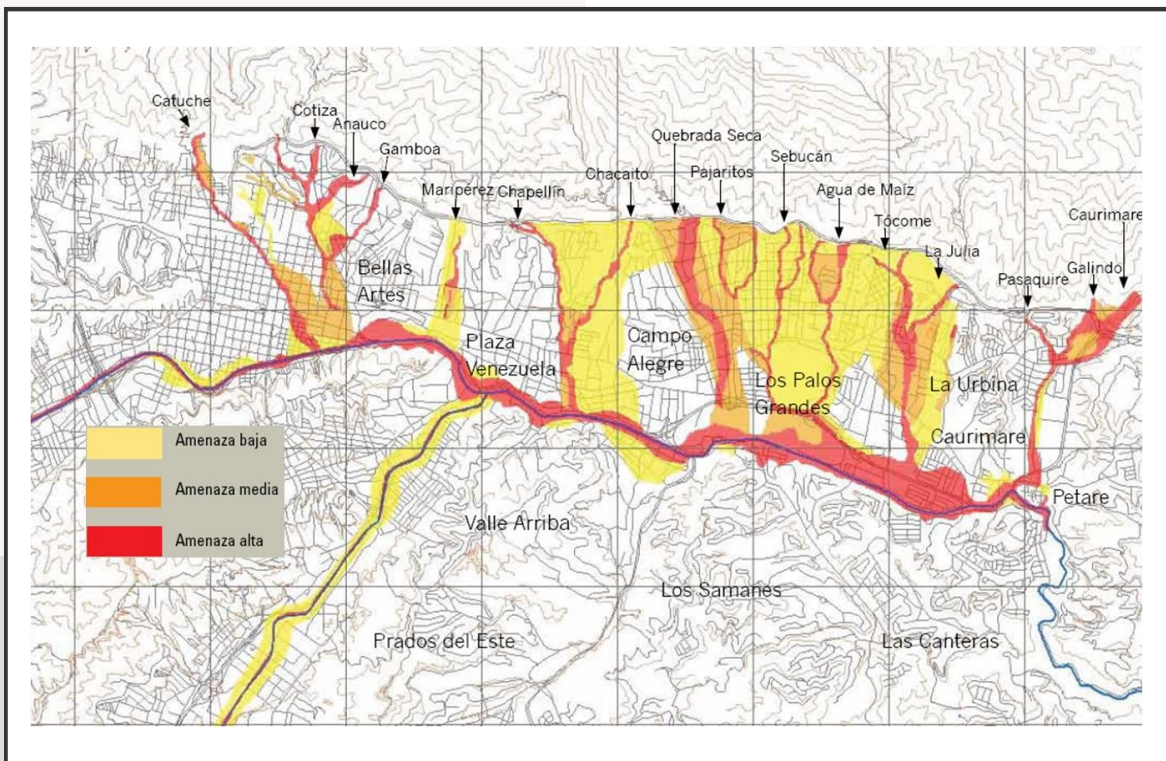


Figura 5. Mapa integrado de amenazas por inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas. **Fuente:** López, et al. (2010).

1.1.2.2 Costos estimados del estudio

El estudio denominado “Impacto y Prevención de Inundaciones y Aludes Torrenciales en el Valle de Caracas” fue realizado por un grupo de investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela para el Ministerio de Ciencia y Tecnología. El estudio contempló el desarrollo de todas las acciones que se detallan en la sección 1.2.2 Caso de Estudio “Control de Aludes Torrenciales en el Estado Vargas” - Venezuela (estudio hidrológico, sedimentológico e hidráulico) hasta llegar a la determinación de los mapas de amenaza para los 16 cursos de agua que se indican en el plano de la Figura 5, incluyendo el río Guaire, el principal drenaje de la ciudad.

El costo del estudio fue de Bs. 129.000.000, equivalentes a US\$151.231 aproximadamente, al cambio para ese momento.

1.1.3 Caso de estudio “Base de Datos: Estudios y Desastres” - Venezuela

El manejo y gestión de los datos es parte vital para la ejecución de cualquier proyecto y el funcionamiento de una institución, ya que permiten obtener una mejor visualización y entendimiento del comportamiento y frecuencia de las distintas variables, suministrando de esta manera los insumos necesarios que facilitan la planificación y la toma de decisiones. Para el caso de la Gestión de Riesgos de Inundaciones y Aludes Torrenciales, donde los tiempos de retorno y la magnitud de los distintos eventos juega un papel vital en el conocimiento y caracterización de los mismos, una buena y robusta base de datos facilita enormemente el trabajo ya que muestra de manera sistematizada toda la información necesaria en función de diferentes criterios (ejemplo el tiempo), son el pilar fundamental para realizar proyecciones y simulaciones, permiten optimizar y concentrar los recursos y finalmente, ayudan a proporcionar una visión más general de la problemática en estudio. El diseño de la estructura y los criterios de elegibilidad y confiabilidad de la información que formara parte de éstas es parte fundamental, ya que en base a ello se inicia el proceso de recopilación, selección y llenado.

En América Latina y El Caribe existen diferentes experiencias en esta área, algunas bases de datos se concentran en el inventario de documentos temáticos y otras, al registro de eventos naturales y sociales que han ocasionado emergencias y desastres, como se muestran en la Tabla 4 y Figura 6. Es importante señalar que los organismos encargados del monitoreo de variables hidroclimáticas manejan su propia base de datos, las cuales gran parte de ellas se encuentran disponible en la web y son vitales para el diseño e implementación de todo el conjunto de acciones que involucra la gestión integral de riesgo de inundaciones y aludes torrenciales.

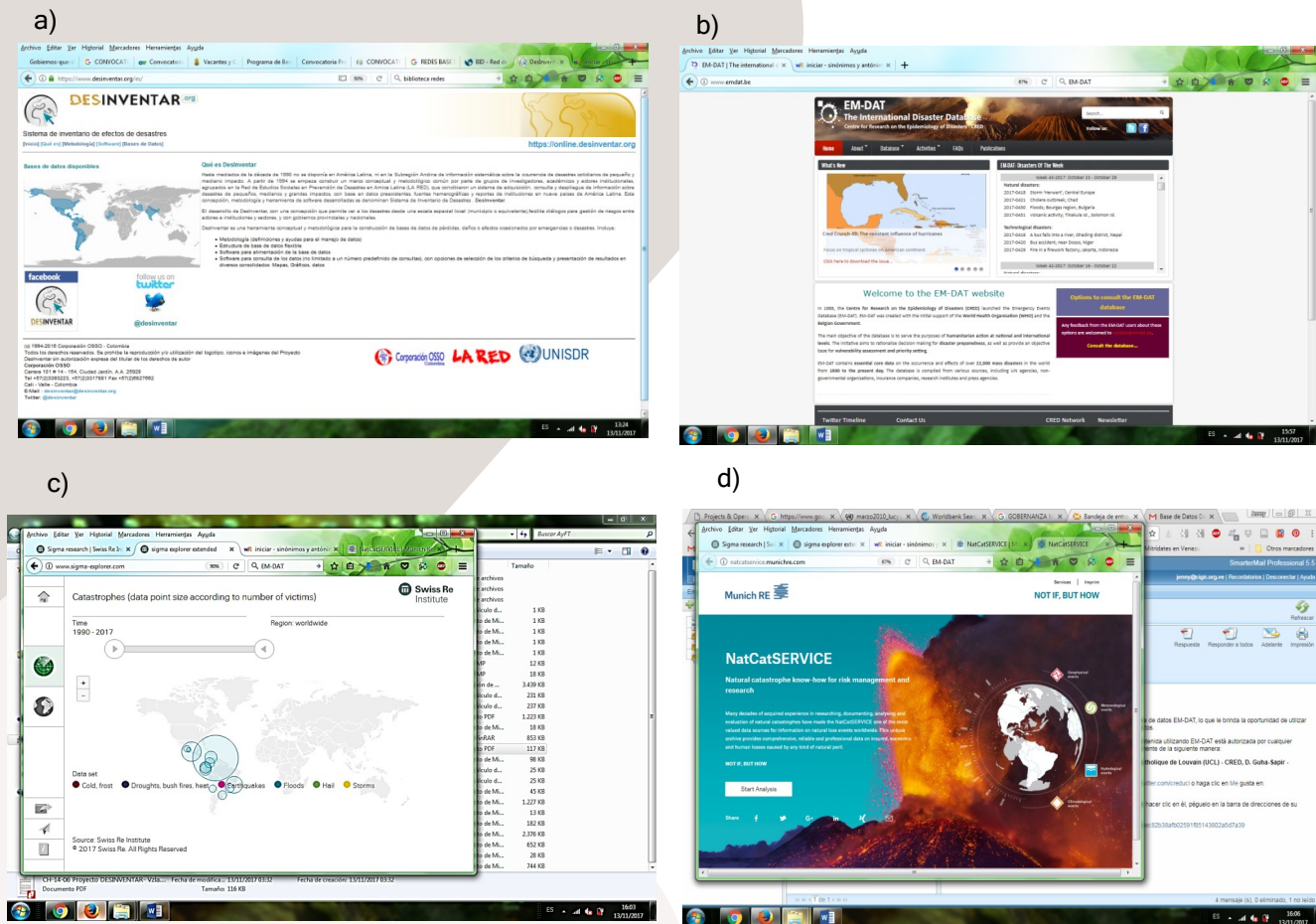


Figura 6 . Principales base de datos de eventos históricos de ALyC.
a) Desinventar. b) EM-DAT. c) Sigma DATA. d) NatCatSERVICE.

Tabla 4. Algunas bases de datos en ALyC: Temáticas - documentales y de emergencias – desastres.

LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE				
ALCANCE	NOMBRE	TIPO	INSTITUCIÓN	ENLACE
Mundial	EM-DAT	Eventos, Emergencias y Desastres	CRED	Acceso
Mundial	NatCatSERVICE		Munich Re	Acceso
Mundial	Sigma DATA		Swiss Re Institute	Acceso
ALyC. Países BID no incluidos: Bahamas, Brasil, Belice y Surinam	Desinventar		OSSO - LA RED UNISDR	Acceso
El Caribe	Cardin Disaster Database		CDEMA - UWI	
Centroamérica y El Caribe	Caribbean Virtual Disaster Database	Documental		
América	CRIDTC	Documental	UNAH	
América	Base de datos de derecho relativo a los desastres	Documental	IFRC	Acceso
América	Red Interamericana de Mitigación de Desastres	Documental	OEA	Acceso
ALyC	CEPALSTAT	Documental - Infográfica	CEPAL	Acceso
ALyC	Redatam	Estadística - Censos		Acceso

ALyC	Colección de Documentos	Documental	CRID	
Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia	Red BiVa-PAD	Documental	CE, PREDECAN, CA, OPS, EIRD, CRID	
Mundial	World Bank Open Data	Documental	BM	Acceso
POR PAÍS				
PAÍS	NOMBRE	TIPO	INSTITUCIÓN	ENLACE
Bolivia	Biblioteca Virtual Andina para la Prevención y Atención de Desastres (BiVaPAD)	Documental	Viceministerio de Defensa Civil	Acceso
Chile	Repositorio Digital ONEMI	Documental - Estadística	ONEMI	Acceso
Colombia	Biblioteca Virtual Andina para la Prevención y Atención de Desastres (BiVaPAD)	Documental	UNGRD	
Costa Rica	Centro de Documentación e Información (CEDO)	Documental	CNE	
	MAG - MIDEPLAN	Eventos, Emergencias y Desastres	MAG - MIDEPLAN	
Ecuador	Consolidado de Eventos Adversos y Afectaciones	Eventos, Emergencias y Desastres	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos	
	Biblioteca	Documental		Acceso
El Salvador	Biblioteca Virtual CEDOC	Documental	CEPRODE	
Guatemala	Biblioteca Virtual en Salud y Desastres (BVS)	Documental	OPS, CRID, NL, CE, USAC	Acceso
Honduras	DESAS	Documental	UNAH	Acceso
México	Atlas Nacional de Riesgos	Metadatos: Eventos, Emergencias y Desastres	SEGOB - CENAPREC - UNAM	Acceso
Nicaragua	Biblioteca Virtual en Desastres (BVS)	Documental	CIES - OPS - CANDHI	
	Centro de Información en Salud y Desastres (CISD-SIBUL)	Documental	UNAH	
Panamá	Biblioteca Virtual	Documental	SINAPROC	Acceso
Perú	Biblioteca Virtual en Prevención y Atención de Desastres (BVPAD)	Documental	INDECI	Acceso
Uruguay	Biblioteca DINAMA - DINOT	Documental	MVOTMA	Acceso
Venezuela	Estudios y Desastres	Eventos, Emergencias y Desastres	FUNVISIS	

Como pudo observarse en el Tabla 4, las Bases de Datos que se encargan de registrar los eventos socionaturales que causan emergencias y desastres son variadas, algunas corresponden a proyectos privados a nivel mundial (NAT - CAD y Sigma); otras, incluyen todo o casi todos los países de un continente o región (EM-DAT, Desinventar, CARDIN, entre otras) y por último, existen unas que solo se concentran en inventarios a nivel país (MAG-MIDEPLAN, Estudios y Desastres, entre otras).

1.1.3.1 Información del proyecto “Estudios y Desastres”

La base de datos “Estudios y Desastres”, formó parte del proyecto “Recopilación y Socialización de Información sobre caracterización de Riesgos existentes en el País”, llevado a cabo por el Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias (MPPCTII) de Venezuela, bajo la ejecución de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Consiste en una base de datos que brinda información sobre los eventos socio-naturales y tecnológicos de envergadura y desastres que se han generado en el país desde el

año 1900, también incluye un inventario sobre los estudios e investigaciones relacionados con la gestión de riesgos; es una herramienta e instrumento de consulta pública. El área de estudio fue todo el territorio nacional, con especial énfasis en las capitales de los Estados, salvo algunos casos especiales.

1.1.3.2 Resumen

Para disminuir el riesgo de desastres en espacios locales es necesario tener un adecuado nivel de conocimiento de los escenarios de riesgos; en vista de los últimos avances y esfuerzos en la producción de estudios en términos de caracterización de amenazas, vulnerabilidad y riesgo en el país, junto a la producción de base de datos existentes referentes a eventos históricos de desastres, se genera la necesidad de consolidar y transmitir todas esas iniciativas sociales e institucionales, e informaciones destinadas a disminuir el riesgo de desastres en espacios locales. El objetivo principal del proyecto es poner a disposición de la ciudadanía y de las instituciones, un inventario de información que contenga tanto el inventario de los trabajos de caracterización de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que han sido desarrollados hasta la fecha en distintas zonas del país, como un registro histórico nacional que permita conocer la recurrencia y el impacto que los eventos históricos de emergencias y desastres que han ocurrido en el país a lo largo de su historia reciente.

1.1.3.3 Objetivo

Recopilar y poner a disposición del público en general la información disponible sobre riesgos de desastres de origen natural y/o tecnológico que existen en el país.

1.1.3.4 Tipos de eventos y estudios

Los registros son a partir del año 1900 y corresponden a eventos de origen natural: sísmico, geotécnico, hidrometeorológico; y de origen tecnológico: incendios, derrames, escapes, etc. Todos ellos fueron clasificados en 4 categorías, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Eventos y registros de fichas de la base de datos “estudios y desastres”.

Tipo de Evento	Estudios	Registros
Tecnológico	51	3190
Sísmico	218	396
Hidrometeorológico	362	4336
Movimientos en Masa	348	1658
Diagnóstico de vulnerabilidad	67	N/A

1.1.3.5 Metodología:

Para facilitar el desarrollo del proyecto a nivel nacional, se realizó una sectorización de las áreas de trabajo, dicha subdivisión implicó la agrupación de todos los Estados que conforman el territorio nacional, en cuatro regiones de trabajo: Central, Centro - Occidente, Occidente y Oriental. El levantamiento de la información se realizó en 5 niveles:

- **Nivel 1 - Compiladores de información:** Los compiladores de información tuvieron como actividad principal el llenado de las fichas tanto en físico como en digital, a través, de la página de captura de información del portal. Se contó con compiladores para el inventario de estudios y para el inventario de eventos.
- **Nivel 2 - Líder de grupo o coordinador:** Fue el encargado de coordinar y hacer seguimiento a los compiladores de información en las regiones, principalmente con fines operativos.
- **Nivel 3 - Validadores regionales:** Fue el personal encargado de hacer el proceso inicial de validación y control de calidad de las fichas en la región, una vez que fueron ingresadas en formato digital al sistema. Estos son profesionales que están trabajando de la mano de las instituciones aliadas del proyecto.
- **Nivel 4 - Validadores por temas:** Es el nivel superior de validación y control de la data. Dichos validadores se encargaron de revisar detalladamente y aprobar el ingreso de fichas a la base de datos definitiva en el sistema.
- **Nivel 5 - Coordinación:** Representó el nivel superior de coordinación del proyecto.

1.1.3.6 Inventarios base

Esta base de datos se basó en dos inventarios: Inventario de Estudios de Caracterización de Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgo del país, elaborado en base a trabajos previos realizado por universidades, centros de investigación y entes similares del país; y el Inventario Nacional de Eventos Adversos Históricos, donde la principal fuente de información fue la prensa local. También se tomó en cuenta la información disponible en DesInventar (www.desinventar.org) desarrollado por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, y los recientes esfuerzos del proyecto sobre Prevención de Desastres en la Comunidad Andina.

1.1.3.7 Criterios selectivos utilizados para la recopilación y selección de información

- **Para el caso de estudios y trabajos de investigación:** Se incluyeron, salvo algunas excepciones, aquellos trabajos que se enfocaron en caracterizar espacialmente los niveles de amenaza, vulnerabilidad o riesgo existentes en escalas nacionales, estatales y municipales.
- **Para el caso de eventos adversos registrados:** Se registraron exclusivamente los eventos de importante magnitud (cuya atención y cuyos efectos hubiesen exigido mecanismos contingentes de respuesta y cooperación por parte de los organismos locales responsables) y cuya ocurrencia se asocie a eventos de carácter sísmicos, geotécnicos, hidrometeorológicos y tecnológicos. (No se considerarán los incendios forestales que

sólo hayan afectado la vegetación).

1.1.3.8 Opciones de búsqueda (eventos y estudios)

Estado, Municipio, Centro poblado, Localidad y Palabras clave.

1.1.3.9 Costos

Los costos asociados a este proyecto fueron aproximadamente \$ 32.000.

1.2 GESTIÓN CORRECTIVA

1.2.1 Caso de estudio "Control de Deslaves en Lima" -Perú

1.2.1.1 Antecedentes

El río Rimac cruza Lima, la capital del Perú, de este a oeste, uniendo esta ciudad con las vastas regiones de Los Andes y la jungla amazónica hasta descargar en el Océano Pacífico en el puerto de El Callao. La cuenca, de topografía abrupta, cubre un área de 3.500 km² a lo largo de tan solo 111 km, desde elevaciones cercanas a 5.200 m, con una pendiente promedio de 4,7%. La precipitación media es de tan solo 10 mm/año en la región árida costera, pero alcanza valores de 950 mm/año en las zonas altas (Figura 7). En los sectores intermedios de la cuenca, la precipitación es escasa, entre 15 y 300 mm/año. En esta región, durante la estación seca que ocurre entre abril y diciembre, la meteorización desintegra la roca desnuda y se genera una gran cantidad de material inestable. Cuando caen las lluvias torrenciales de enero a marzo, este material se humedece, debilita y comienza a moverse en las laderas de alta pendiente, dando origen a los deslaves y aludes torrenciales, denominados "huaycos" en el Perú.

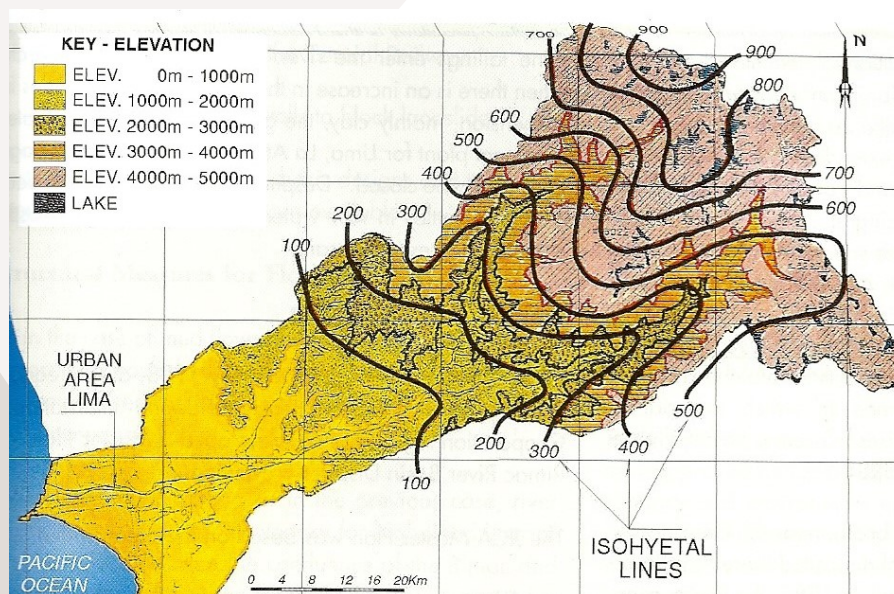


Figura 7. Límites de la cuenca del río Rimac, indicando isoyetas de precipitación media (mm/año) y la ubicación de la ciudad capital de Lima. **Fuente:** Kuroiwa (2004).

1.2.1.2 El Problema de los Huaycos en Chosica

Los huaycos se producen en la cuenca del río Rimac, cuando las fuertes lluvias se desplazan unos pocos kilómetros hacia el oeste, asociadas al fenómeno meteorológico de El Niño, y caen en barrancos y cárcavas ubicadas en zonas intermedias de la cuenca que han estado secas por decenas de años. Un ejemplo de esto se observa en la localidad de Chosica, ubicada en la zona este a unos 30 km de Lima, donde se producen frecuentemente deslizamientos y deslaves de tierra, roca y lodo en las laderas de la montaña, tal como ocurrió con el fenómeno de El Niño de 1987. Un pequeño tributario denominado El Pedregal, en la zona de Chosica, que había estado seco por décadas, generó un huayco que transportó enormes rocas causando severos destrozos y pérdidas en la población. Esta localidad de El Pedregal ya había sido destruida por huaycos en 1925, un año en el cual ocurrió un El Niño muy intenso. La Figura 8 muestra la ubicación de la población de Chosica y de El Pedregal. La Figura 9 muestra los destrozos en El Pedregal durante El Niño de 1987. El mapa de amenaza elaborado para esta región se presenta en la Figura 10 (Kuroiwa, 2004).

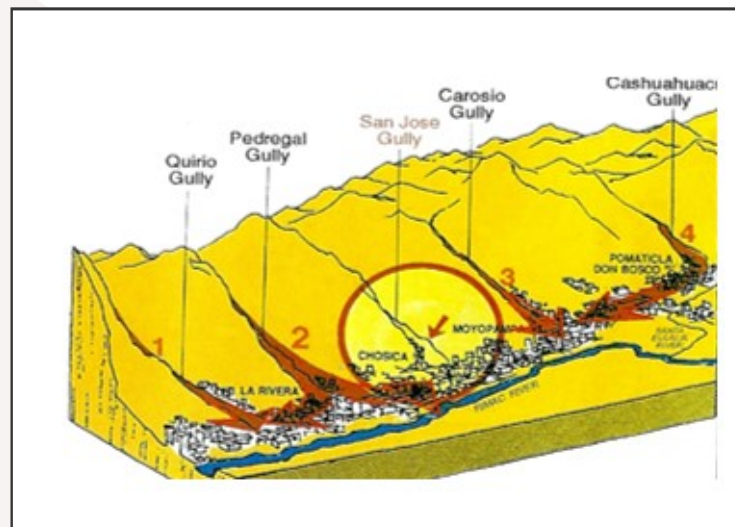


Figura 8. Perspectiva de las laderas y barrancos de los cerros en la zona de Chosica, a unos 30 km al este de Lima.

Fuente: Kuroiwa (2004).

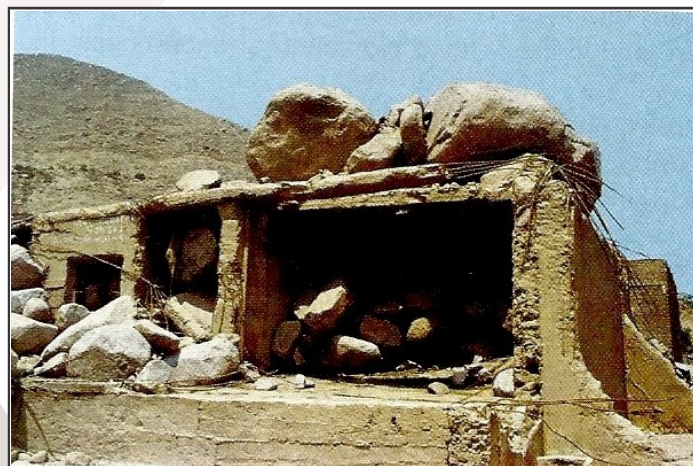


Figura 9. Rocas inmensas transportadas por huaycos destruyeron muchas viviendas en El Pedregal, Chosica, durante el fenómeno de El Niño de 1987. **Fuente:** Kuroiwa (2014).

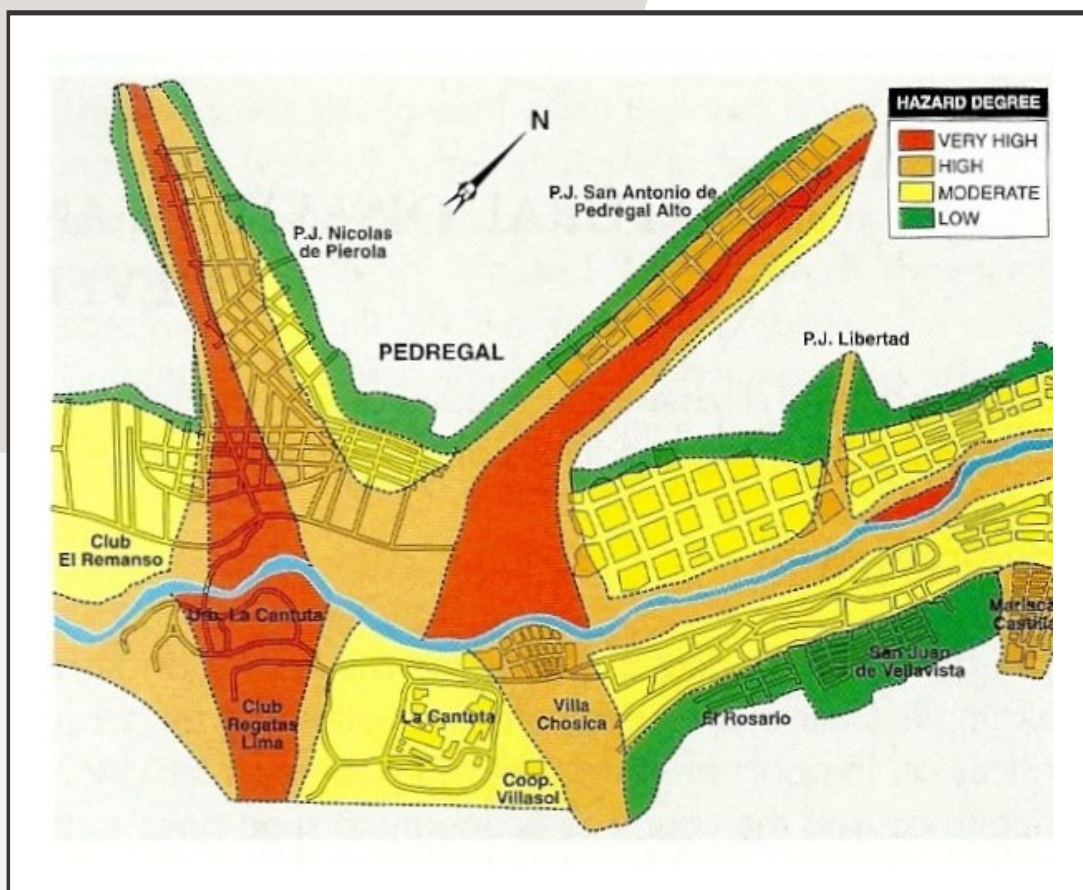


Figura 10. Mapa de amenaza en El Pedregal, Chosica, Perú. **Fuente:** Kuroiwa (2004).

1.2.1.3 Instalación de barreras dinámicas de protección

A principios de 2016, el gobierno local de Lima con el apoyo de la empresa Geobrugg instaló veintidós (22) presas (barreras flexibles de protección) repartidas en nueve torrentes o barrancos, como se le denominan en Perú, en la zona de Chosica. Las barreras flexibles fueron instaladas en pocos meses, debido a que su bajo peso permite una instalación manual (Geobrugg, 2017).

Las Figuras 11 a 15 muestran fotografías de las barreras instaladas para proteger a la población aguas abajo, en el momento de su construcción en marzo 2016. La altura de las estructuras varía entre 4 y 6 m, con longitudes de hasta 60 m. El diámetro de los anillos de acero es de 0,30 m (Geobrugg, 2017).



Figura 11 . Vista hacia aguas abajo de una barrera de protección contra deslaves en las montañas de Chosica en Lima.
Fuente: Geobruigg, (2017a).



Figura 12. Vista desde aguas arriba de una barrera de protección en Chosica.
Fuente: Geobruigg (2017a).



Figura 13. Vista del cauce torrencial de alta pendiente donde se han instalado barreras de protección en Chosica.
Fuente: Geobruigg (2017a).



Figura 14. Vista lateral cercana de una de las barreras de 6 m de altura instaladas en Chosica.
Fuente: Geobruigg (2017a).



Figura 15. Vista lateral cercana del empotramiento de una de las barreras flexibles instaladas en uno de los barrancos de Chosica. **Fuente:** Geobruigg (2017a).

1.2.1.4 Impacto de los Deslaves de Marzo del 2017

En marzo de 2017 el fenómeno El Niño en Perú, donde lo han denominado El Niño Costero, causó nuevamente intensas lluvias, generando deslizamientos, aludes torrenciales (denominados huaycos en Perú) e inundaciones en las 24 regiones del país, incluyendo a Lima. Para el 31 de marzo del 2017, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) indicaba un total de 101 fallecidos, 353 heridos, 19 desaparecidos, 141.000 damnificados y casi un millón de afectados a nivel nacional desde diciembre del 2016.

Las veintidós barreras instaladas el año anterior para proteger a la población de Chosica en Lima funcionaron adecuadamente, mitigando el efecto de los deslaves.

Las fotografías que se muestran en las Figuras 16 a 20 ilustran el comportamiento de las barreras en un tramo de aproximadamente 60 m donde se construyeron 4 barreras a diferentes niveles. Dos de estas barreras están al 95% de su capacidad de retención, lo cual supone un volumen cercano a 10.000 m³ de sedimentos. La zona residencial no sufrió daños y no hubo pérdidas de vidas humanas. Las instalaciones situadas aguas abajo, siguen protegidas al haber todavía dos barreras vacías, con su capacidad de retención intacta.



Figura 16. Vista del primer nivel de barreras donde se detuvieron aproximadamente 7.000 m³ de sedimentos.
Fuente: Geobruigg (2017a).



Figura 17. Vista del segundo nivel de barreras donde se atraparon cerca de 3.000 m³ de sedimentos.
Fuente: Geobruigg (2017a).



Figura 18. Vista hacia aguas arriba desde el segundo nivel hasta el primer nivel de las barreras colmatadas de sedimentos.
Fuente: Geobruigg (2017a).



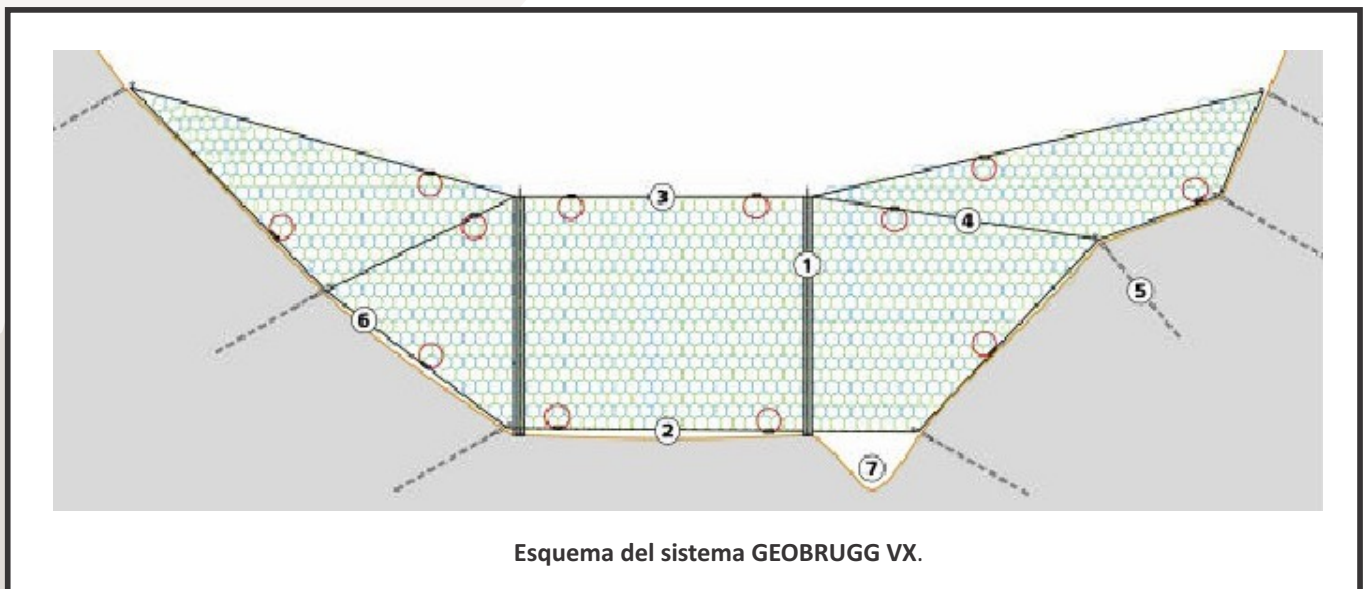
Figura 19. Vista hacia aguas abajo de la segunda barrera mostrando la cercanía de la ciudad.
Fuente: Geobruigg (2017a).

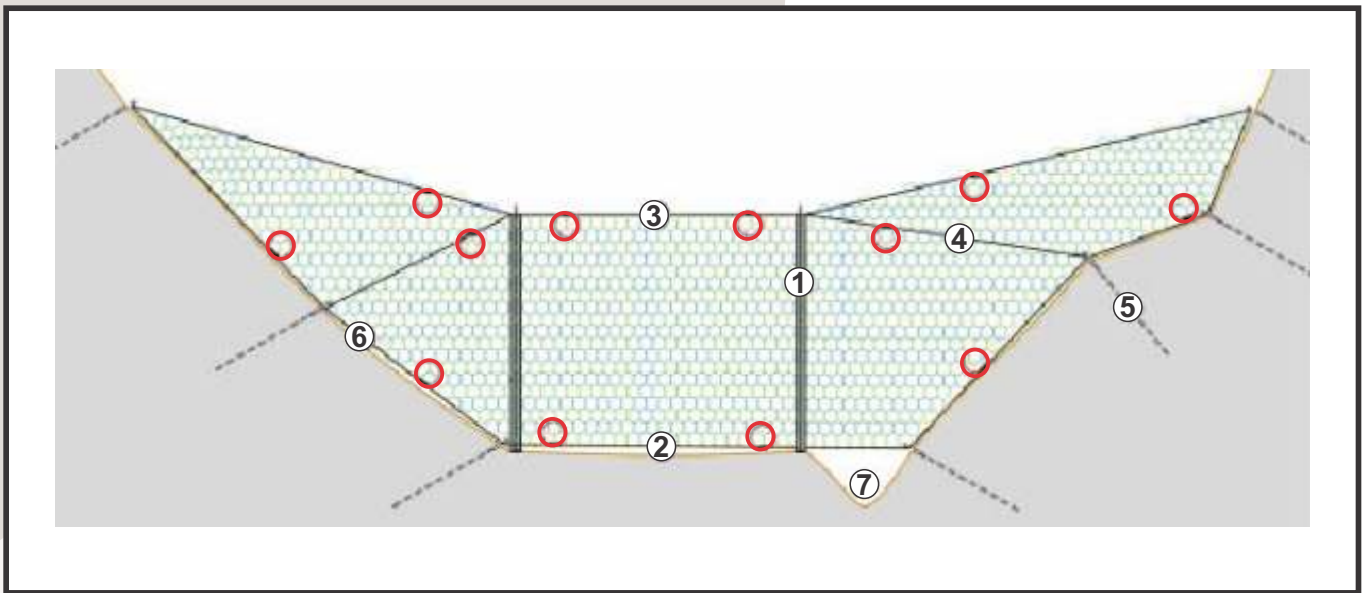


Figura 20. Vista hacia aguas abajo desde el cuarto nivel de las barreras, la cual no ha sido afectada por los deslaves, manteniendo intacta su capacidad de almacenamiento de sedimentos. **Fuente:** Geobrugg (2017a).

1.2.1.5 Costos de las Obras de Protección

La Figura 21 muestra los elementos típicos que componen una barrera flexible del sistema GEOBRUGG, en sus dos modalidades VX (sin postes) y UX con postes intermedios cuando el ancho de la sección transversal es mayor de 15 m.





Esquema del sistema GEOBRUGG UX.

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. Poste de acero | 5. Anclaje de cables flexible |
| 2. Cable de soporte inferior | 6. Cable perimetral lateral |
| 3. Cable de soporte superior | 7. Aliviadero para descarga normal |
| 4. Cable de soporte intermedio | |

Figura 21. Esquema de los principales elementos que componen el sistema de barreras flexibles GEOBRUGG. Arriba: sistema tipo VX sin postes de soporte intermedio. Abajo: sistema tipo UX con postes intermedios cuando el ancho de la sección transversal es mayor de 15 m. **Fuente:** Geobrugg (2017b).

La Tabla 6 presenta las cantidades de obra estimada para una barrera típica de 6 m de altura, ancho inferior de 15 m y ancho superior de 30 m. El costo del suministro de una barrera típica UX180 con esas dimensiones está en el orden de los 80.000 dólares. Los costos de instalación se suponen en un orden de costo similar al de instalación, por lo que el costo total de una barrera típica de ese tamaño y con ese ancho estaría en el orden de US\$ 160.000 (Tabla 7).

Se estima entonces que el costo aproximado de las veintidós (22) barreras flexibles de protección a la población en la zona de Chosica estuvo en el orden de los 3.520.000 dólares.

Tabla 6. Cantidades de obra típicas, estimadas para una presa o barrera típica (DebFlow) de 6 m de altura, ancho inferior de 15 m y ancho superior de 30 m. **Fuente:** Geobruigg (2017b).

N°	Item	Unidad	Cantidad
1	Generalidades: Movilización, instalaciones y desmovilización	SG	1
2	Preparación del terreno: Perfilado leve y eliminar pendientes negativas a lo largo de cicatrices de la cresta y grietas; limpieza del área de barrera, etc.	m ²	700
3	Replanteo	SG	1
4	Suministro de barrera DebFlow; de longitud superior de 30 m, de longitud inferior de 15 m, de 6 m de altura, 138 m ² área de malla, 14 anclajes espiral de 9 m, 18 anclajes de 12 m, 4 barras anclajes de 12 m y 2 de 6 m para fundaciones de postes; 2 postes HEB y cables de acero.	SG	1
5	Perforación D75-90 mm (L = 6, 9 y 12 m, capacidad máx. para 12 m de profundidad), colocación de anclajes / barras e inyección de lechada de cemento (A/C = 0.4 a 0.5 con aprox. 15 kg de mortero por metro longitudinal de perforación) bombeada a presión por manguera “perdida” de inyección (D12 a 16mm) llenando el barreno desde su fondo:	m	402
6	Instalación de barrera DebFlow, incluso montaje de todos los componentes (postes, cables, redes de anillos, grilletes, anillos frenado, sujeta cables, etc.) según el manual del proveedor	m ²	138
7	Excavación para fundaciones para postes	m ³	1
8	Construcción de fundaciones de concreto $f_c=250$ k/cm ² ; de 1 x 0,5 x 1 m. Incluyendo armado de acero de barras ½ pulg. c.10 cm, f_y 4200 k/cm ²	Unidad	1

SG: Suma Global

Tabla 7. Costo aproximado de una barrera dinámica de 6 m de altura, ancho inferior de 15 m y ancho superior de 30 m. **Fuente:** Geobruigg (2017b).

Partida	Costo (USD\$)
Suministro Barrera Dinámica, tipo UX180-H6:	80.000
Instalación Barrera Dinámica	80.000
Total:	160.000

1.2.2 Caso de Estudio “Control de Aludes Torrenciales en el Estado Vargas”- Venezuela

1.2.2.1 Antecedentes

Las lluvias torrenciales que se produjeron, a lo largo de la región norte-costera de Venezuela, entre el 1 y el 16 de diciembre de 1999, causaron la peor tragedia de origen natural, que haya ocurrido en ese país (Figura 22). En la estación pluviométrica de Maiquetía a 43 msnm, los registros muestran una lluvia cercana a 300 mm entre el 01/12 y el 13/12, continuando con 911 mm durante los días 14, 15 y 16, hasta totalizar 1.207 mm para el 18 de diciembre. El periodo de retorno, para las lluvias de 1 y 3 días (410 y 911 mm) en Maiquetía, fue estimado entre 500 y 1000 años (González y Córdova, 2003). Aproximadamente 24 cuencas, con áreas entre 5 y 40 km², y

altas pendientes en los tramos superiores, promedios de 30% y máximos de 50% (27°) generaron deslaves masivos y aludes torrenciales en el macizo Ávila a lo largo de una extensión de 50 km entre Los Caracas y Catia La Mar. Barrios y urbanizaciones enteras fueron barridos por las avalanchas de los flujos de barros, rocas y escombros que descendieron de la montaña (Figura 22). Los volúmenes de sedimentos depositados en los abanicos aluviales fueron calculados en el orden de 20 millones de metros cúbicos y la extensión superficial de las tierras ganadas al mar, se estimó en 150 hectáreas (López y Pérez, 2010). Unas 260.000 personas, aproximadamente el 70% de los habitantes de Vargas, fueron afectadas por los deslaves. Los daños materiales superaron los cuatro mil millones de dólares (Genatios y La Fuente, 2006). Sin embargo, la cifra de personas muertas nunca fue cuantificada con precisión. El estudio de CAF-PNUD (2000) reporta entre 15.000 y 50.000 víctimas, y un trabajo reciente de investigación estima en un número no mayor a 800 personas, el total de víctimas (entre fallecidos y desaparecidos) de los deslaves de 1999 en Vargas (Altez, 2010). Detalles sobre el evento de 1999 se encuentran descritos exhaustivamente en las referencias CAF-PNUD (2000), López y García (2006), y López (2010).

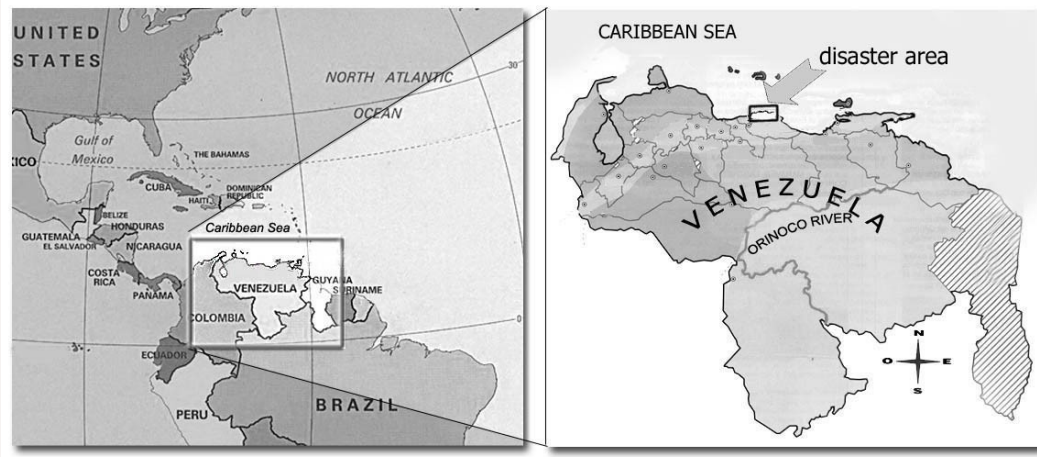


Figura 22. Localización del área del desastre en la región norte-costera de Venezuela.
Fuente: López et al. (2003).

A consecuencia de este evento catastrófico, las autoridades gubernamentales a través de la Corporación para la Recuperación y el Desarrollo del Estado Vargas, CORPOVARGAS, iniciaron en el año 2001 un programa intensivo para construir presas de control de sedimentos y canalizaciones en la mayoría de las cuencas afectadas, con el objeto de proteger a las poblaciones aguas abajo.

1.2.2.2 Las presas de control de sedimentos

Las presas de control o retención de sedimentos pueden ser del tipo cerradas o abiertas. Ambas cumplen la función de retener toda o una parte importante de la carga sólida, reduciendo la concentración de sedimentos y la descarga pico de las crecientes. Las presas cerradas interceptan la mayor proporción del material arrastrado, excepto las partículas más finas que pasan cuando las crecientes desbordan la presa. Las presas abiertas se construyen con

aberturas en el cuerpo de la estructura. En esta forma se interceptan los materiales gruesos y restos vegetales, y se permite que parte del sedimento pase a través de las aberturas. Estas estructuras pueden mantener intacta su capacidad de almacenamiento por periodos más largos de tiempo, además de reducir el impacto erosivo sobre los tramos aguas abajo ya que el caudal sólido no es interrumpido bruscamente. Si las aberturas son lo suficientemente grandes, los eventos ordinarios (crecientes anuales) no deberían reducir su capacidad de almacenamiento, dejándola intacta para los grandes crecientes.

Diferentes tipos de materiales pueden usarse para la construcción de las presas, tales como gaviones, mampostería, concreto ciclópeo, concreto armado, y perfiles de hierro y tubos de acero. Las presas abiertas pueden agruparse en cuatro grandes grupos: las presas de ventanas, las presas de ranuras, las presas de rastrillo, y las presas de enrejado. Las presas de ranura pueden tener una o varias aberturas que alcanzan la cresta del vertedero y pueden extenderse hasta el lecho. Las presas de ventana están provistas de aberturas rectangulares o circulares en el cuerpo del dique, debajo de vertedero. Las presas de rastrillo consisten en una serie de elementos verticales, perfiles de acero, tubos o columnas de concreto, encajados en una zapata de concreto. Las presas de enrejado están formadas por una retícula de perfiles de hierro, concreto armado o tubos de acero, anclados en el fondo y lateralmente.

Dependiendo del tamaño de las aberturas, las presas abiertas cumplen la función de filtrar los sedimentos, ramas y troncos de árboles, o de dosificar el transporte de sedimentos aguas arriba. Si la abertura es estrecha, la dosificación del transporte ocurre por medio del remanso hidráulico que se genera arriba de la presa. Si la abertura es estrecha, la dosificación del transporte ocurre por medio del remanso hidráulico que se genera arriba de la presa. Si las aberturas son grandes, o si la presa es del tipo mallado, la retención se produce por la acción mecánica de filtro que ejerce la malla. La selección del tipo de presa a usar para el control de los sedimentos depende en buena medida del tipo de flujo o alud torrencial que se pueda generar en la cuenca. Por ejemplo, los flujos de detritos, donde predomina el material grueso, exigen la construcción de presas abiertas en el cañón del torrente para remover los grandes clastos de la matriz del flujo. Los flujos de barros, donde predomina el material fino (arenas, limos y arcillas), por otro lado, requieren de la construcción de presas cerradas, abiertas con ventanas o de lagunas de sedimentación para almacenar los arrastres sólidos y reducir las concentraciones del flujo.

1.2.2.3 Características del área de estudio

En la Tabla 8 se resumen las características geométricas y fisiográficas más importantes de las cuencas principales del área del desastre. Los perfiles longitudinales de los cauces se muestran en la Figura 23. Las cuencas hidrográficas tienen áreas que varían entre 4,6 y 141 km². Las longitudes mayores de cauces corresponden a las cuencas de Mamo y Tacagua, al oeste del área afectada, con 38,5 y 22,4 km, respectivamente. Las pendientes medias oscilan entre 5,5% y 41,1%. La ubicación de las cuencas se muestra en la Figura 25.

El estudio hidrológico de las cuencas fue realizado por González y Córdova (2003). Los caudales máximos correspondientes a las condiciones posteriores a los deslaves de 1999 se

presentan en la Tabla 9 para diferentes períodos de retorno. Las obras de control de aludes torrenciales han sido diseñadas para protegerse contra un evento de 100 años de periodo de retorno.

Tabla 8. Características geométricas y fisiográficas de las cuencas principales de Vargas.
Fuente: López y Pérez (2010).

Cauce	Área (Km ²)	Elevación máx. en cuenca (m)	Longitud total (km)	Pendiente promedio (%)	Longitud del canal en abanico aluvial (m)	Pendiente del abanico aluvial (%)	Pendiente del cañón (%)
Piedra Azul	24.8	1950	9.0	17.3	1500.0	4.8	6.0
Osorio	4.6	1700	5.0	31.2	500.0	4.4	11.0
Guanape	5.7	1960	5.5	28.4	450.0	6.7	10.0
San José de G	14.0	2300	8.0	19.5	700.0	6.3	6.5
El cojo	6.8	1550	5.5	28.4	600.0	4.0	7.0
Camurí Chico	11.2	2350	7.5	20.8	600.0	5.7	8.5
San Julián	23.6	2490	9.8	15.9	2000.0	5.0	8.0
Seca	5.3	1240	3.8	41.9	800.0	6.2	10.0
Cerro Grande	26.6	2750	10.5	14.9	950.0	2.5	6.0
Uria	11.6	2150	7.5	20.8	750.0	6.3	7.0
Naiguatá	33.4	2000	12.0	13.0	1200.0	1.6	4.0
Camurí Grande	42.9	2190	10.2	15.3	1100.0	2.5	5.0
Mamo	141.0	2100	38.5	5.5	3.4	1.5	2.0
La Zorra	6.2	900	6.1	15.0	1.0	3.0	6.0
Tacagua	93.5	1900	22.4	7.6	3.1	1.3	2.0

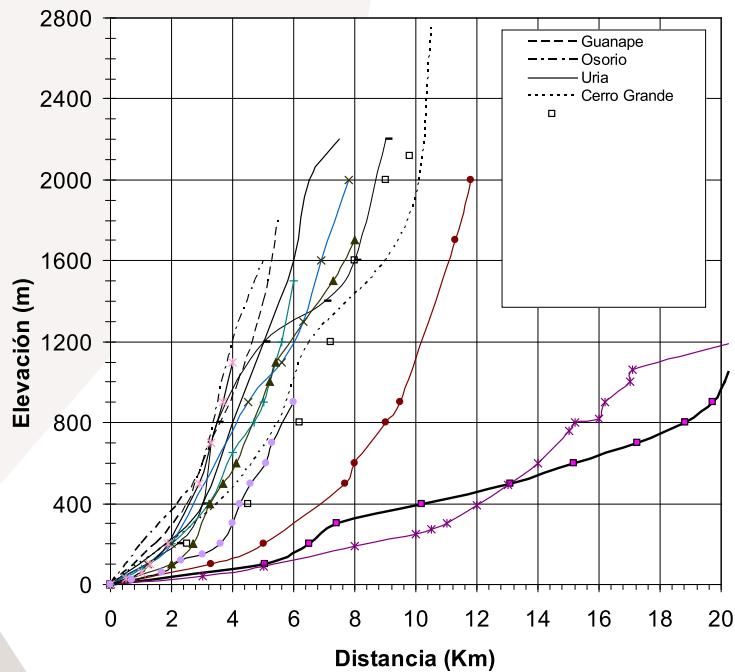


Figura 23. Perfiles longitudinales de las principales quebradas de la vertiente norte del macizo Ávila en el estado Vargas.
Fuente: López y Pérez (2010).

Tabla 9. Caudales máximos instantáneos en cuencas del estado Vargas en m³/s para condiciones en la cuenca posteriores a los deslaves de 1999. **Fuente:** González y Córdova (2003).

Cuencas	Área (km ²)	Período de retorno (años)					
		5	10	25	50	100	500
Mamo	141	69	128	240	348	479	857
La Zorra	6.2	26	34	59	94	120	164
Tacagua	93.3	174	295	474	650	827	1207
Pailas	4.2	24	37	58	74	91	123
Curucutí Presa	5.6	19	33	59	78	101	144
Curucutí	8.5	34	56	95	123	159	218
Piedra Azul	21	82	141	244	321	413	574
Osorio	4	15	25	47	62	80	111
Guanape	4.8	29	46	74	93	115	156
Galipán	15	76	121	199	254	320	441
El Cojo	6	21	36	67	88	114	161
Camurí Chico	9.6	45	74	125	162	204	282
San Julián	21.5	91	155	267	348	448	621
Qda. Seca	10	17	27	44	56	71	97
Cerro Grande	26.5	92	168	291	385	500	700
Uria	12.2	58	95	159	206	260	354
Naiguatá	31	106	184	320	421	544	753
Camurí	40	114	209	384	513	676	947
Miquelena	18	44	81	154	210	280	399
Camurí Grande	22.5	73	134	234	307	401	560
Care	9.5	28	54	97	128	170	238
Anare	22	53	101	196	264	353	508

1.1.2.4 Las obras de control de sedimentos en el estado Vargas

El estado Vargas ha sido un laboratorio de campo donde se han construido presas cerradas y abiertas, de variados tipos y materiales, lo cual ha permitido evaluar y comparar su comportamiento en el tiempo. Las fotografías de la Figura 25 ilustran algunos ejemplos de las presas construidas en el estado Vargas para retención de sedimentos y control de los aludes torrenciales.

Para el año 2008, se habían construido 62 presas distribuidas entre 25 cuencas y se habían canalizado la mayoría de las quebradas. Básicamente 36 de las presas son del tipo cerradas y 26 son presas abiertas. De acuerdo con el tipo de material, 14 de las presas son de concreto, tres son de elementos tubulares de acero, dos son barreras flexibles construidas con redes de anillos de acero, y el resto (43) han sido construidas en gaviones. La altura de las presas varía entre un mínimo de 2 m y un máximo de 11 m (López, 2011). La Figura 24 muestra la ubicación aproximada

de las presas en el estado Vargas y la Tabla 10 presenta sus principales características. Las Fotografías de los diferentes tipos de presas construidas en Vargas se muestran en la Figura 25.

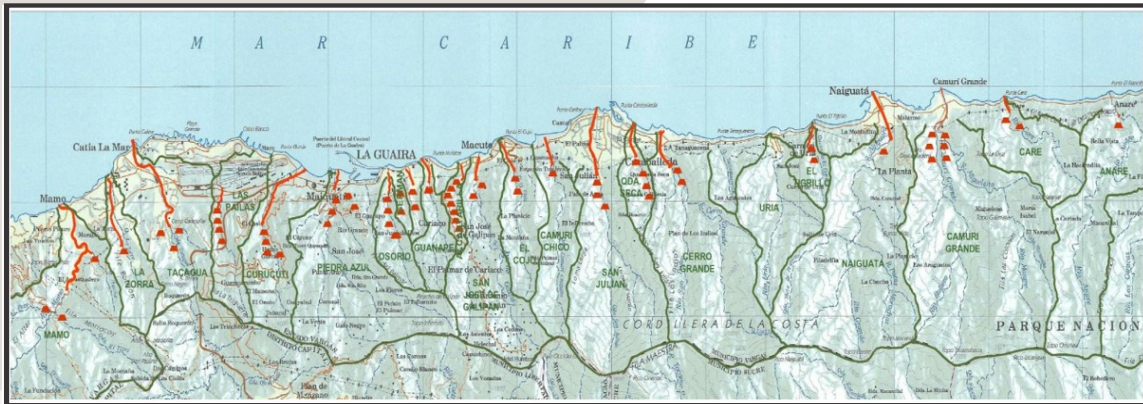


Figura 24. Mapa de ubicación de las presas construidas para el control de sedimentos en las cuencas del estado Vargas. **Fuente:** López (2011).

Tabla 10. Características principales de las presas construidas para control de aludes torrenciales en las quebradas del estado Vargas. **Fuente:** López et al. (2010).

Cauce	Número de Presas	Cerradas	Abiertas	Tipo de Material
Tacagua	3	1	2	Acero (2), Gavión (1)
El Piache	1	1	0	Gavión (1)
Mamo	2	2	0	Gavión (2)
La Zorra	1	1	0	Gavión (1)
Las Pailas	4	1	3	Gavión (1), concreto ciclópeo (2), tubular acero (1)
Curucuti	4	3	1	Gavión (3), concreto ciclópeo (1)
Piedra Azul	3	2	1	Gavión (3)
Dos Comadres	2	0	2	Gavión (2)
Osorio	4	2	2	Gavión (2), malla (2)
Cariaco	2	0	2	Concreto armado (2)
Germán	2	0	2	Concreto armado (2)
Guanape	1	0	1	Concreto armado (1)
Alcantarilla	7	7	0	Gavión (7)
San José de Galipán	2	1	1	Gavión (1), concreto armado (1)
El Cojo	2	1	1	Gavión (2)
Camurí Chico	1	0	1	Gavión (1)
San Julián	3	0	3	Concreto armado (3)
Quebrada Seca	4	4	0	Gavión (4)
Cerro Grande	2	2	0	Gavión (2)
El Tigrillo	2	2	0	Gavión (2)
Naiguatá	1	0	1	Concreto ciclópeo (1)
Camurí Grande	3	2	1	Gavión (3)
Migueleno	3	2	1	Gavión (3)
Anare	2	2	0	Gavión (2)
Care	1	0	1	Concreto ciclópeo (1)
TOTAL:	62	36	26	Gavión (43), concreto (14), acero (3), malla (2)



Figura 25. Fotografías de diferentes tipos de presas abiertas construidas en Vargas: a) presa ranurada, tipo rastrillo, de gaviones en quebrada Piedra Azul; b) presa de gaviones con ventanas en río Camurí Chico; c) presa tipo rastrillo de concreto armado en quebrada Guanape; d) presa tipo rastrillo de concreto armado en río San Julián; e) presa tipo enrejado de concreto armado en la quebrada San José de Galipán; y f) presa ranurada de concreto ciclópeo en la quebrada Curucutí.

Fuente: López y Courtel (2012).



Figura 25. (Continuación). Fotografías de diferentes tipos de presas abiertas y cerradas construidas en Vargas: g) presa cerrada de gaviones en la quebrada San José de Galipán; h) presa cerrada (dique y contradique) de gaviones en la quebrada Alcantarilla; i) presa cerrada de gaviones, provista de barbacanas, en quebrada Seca; j) presa cerrada de gaviones, provista de barbacanas, en quebrada Camurí Grande; k) presa abierta del tipo rastrillo, con elementos tubulares de acero en la quebrada Tacagua; y l) presa tipo barrera flexible (Geobrugg) en quebrada Osorio.
Fuente: López y Courtel (2012).

Como parte de las medidas estructurales de mitigación, se han construido también canalizaciones, en concreto y en gaviones, para conducir los flujos a través de los abanicos aluviales hasta su descarga en el Mar Caribe. La Figura 26 muestra el sistema combinado de presas y canalización que se construyó en el río San Julián, típico de los sistemas implementados en las cuencas de Vargas. Usualmente la canalización se inicia con una obra de transición desde la primera presa aguas arriba hasta empatar con el canal, el cual se continúa aguas abajo hasta finalizar en el sitio de descarga al mar (ver obra de transición en foto inferior de Figura 26).



Figura 26. Vista aérea de las obras de control en el río San Julián, mostrando: a) el canal de fondo móvil protegido con traviesas para control de erosión y recubrimiento de concreto en las márgenes; y b) tres presas abiertas para retención de sedimentos. Fotografías a la izquierda y en el fondo son tomadas mirando hacia aguas abajo. Fotografía superior derecha es mirando hacia aguas arriba. **Fuente:** López y Courtel (2012).

1.2.2.5 Desempeño de las presas

Las lluvias torrenciales extraordinarias que ocurrieron nuevamente en Vargas en febrero de 2005 acumularon un total de 431 mm en 4 días de precipitaciones (lluvia centenaria) y ofrecieron la oportunidad para someter a prueba a las 21 presas que habían sido construidas para ese momento en las quebradas de Vargas (López et al. 2010). Dos presas de gaviones construidas en la quebrada Anare fueron destruidas por las crecientes, debido a un mal empotramiento en su margen derecha. Otras presas sufrieron daños menores, por erosión o abrasión del flujo, que no pusieron en peligro la estabilidad de las obras. En general, el funcionamiento hidráulico de las presas abiertas ya sea de gaviones o concreto, fue satisfactorio, cumpliendo la función de dosificar el transporte de sedimentos y retener las fracciones más gruesas. En base a levantamientos topográficos y observaciones de campo se han podido estimar los volúmenes de sedimentos retenidos por algunas de las presas de Vargas a consecuencia de las crecientes de febrero 2005. Se pudo inferir que aproximadamente 100.000 m³ de sedimentos fueron retenidos en las siete (7) presas de las quebradas Curucutí (4) y Piedra Azul (3), los cuales fueron impedidos de alcanzar la zona urbana de Maiquetía, contribuyendo a proteger a los bienes y la población aledaña asentada en dicha población. La Figura 27 presenta una vista satelital del área de Maiquetía y de las quebradas donde se construyeron siete (7) presas de retención. Las fotografías de las Figuras 28 y 29 muestran la sedimentación casi total de algunas de estas presas.



Figura 27. Vista satelital (Google Earth) mostrando la población de Maiquetía y las quebradas Piedra Azul y Curucutí después de la tormenta de febrero de 2005. Las 7 presas construidas retuvieron la mayor parte de la carga sólida y ayudaron a proteger a la población aguas abajo. **Fuente:** Google Earth con anotaciones propias.



Figura 28. Vista de los vasos sedimentados de la Presa N° 1 (izquierda) y de la Presa N° 2 (derecha) por las crecientes torrenciales de febrero del 2005 en la quebrada Piedra Azul. **Fuente:** López et al (2010).



Figura 29. Vista frontal de la Presa N° 2 (izquierda) y de su vaso totalmente sedimentado (derecha) en la Quebrada Curucutí. **Fuente:** López et al (2010).

De las 63 presas construidas, se ha determinado que al presente, aproximadamente el 50% están totalmente sedimentadas. Todas las presas cerradas (14) construidas entre los años 2002 y 2004 se sedimentaron, la mayoría de ellas debido a la creciente extraordinaria de febrero del 2005. Pero otras se sedimentaron antes del 2005, sin que hubiesen ocurrido crecientes significativas, tal como es el caso de Guanape. La primera presa que se construyó en el Estado Vargas después de la tragedia de 1999 fue la presa de Guanape, una presa ranurada de concreto armado de 4,5 m de altura, la cual se terminó de construir en mayo del 2001 (Figura 30). A pesar de ser una presa abierta, una tormenta de menor cuantía ocurrida el 3 de diciembre del 2001 (47 mm de lluvia en 2 horas con un periodo de retorno estimado de 2.5 años) la llenó

completamente de sedimentos, debido a la obstrucción producida por los arrastres vegetales y troncos de árboles (Figura 30). Sin embargo, los flujos extraordinarios que ocurrieron del 7 al 10 de febrero del 2005, los cuales fueron generados por una lluvia acumulada de 432 mm en 4 días (medida en la estación cercana de Macuto), erosionaron y removieron una buena parte de los sedimentos y restos vegetales atrapados en la presa. Estos pasaron a través de las ranuras y se acumularon entre el dique y el contradique, elevando el lecho del cauce del tramo aguas abajo en unos 3 m aproximadamente (Figura 31). Este episodio mostró la capacidad de auto-limpieza de la presa, capaz de remover los sedimentos atrapados.

La retención total de los sedimentos en las presas cerradas ha originado, en algunos casos, procesos erosivos en los tramos aguas abajo debido al efecto de flujos de aguas claras, hambrientos de sedimentos, al ser retenida su carga sólida aguas arriba. Un ejemplo de estos procesos de degradación del lecho se presenta en la Figura 32 aguas abajo de la Presa # 2 construida el año 2004 en la quebrada Piedra Azul. Los levantamientos topográficos del lecho efectuados antes y después (año 2007) de la construcción de la presa muestran un descenso del lecho cercano a 3 m al pie de la estructura, lo cual se corrobora con las fotografías anexas.



Figura 30. Presa abierta ranurada en la Quebrada Guanape. Izquierda: vista frontal desde aguas abajo después de finalizada la construcción en mayo 2001; derecha: vista después de la crecida de diciembre 2001. **Fuente:** López et al (2010).



Figura 31. Vista desde aguas abajo de la presa de Guanape después de la crecida de febrero 2005, mostrando la capacidad de auto-limpieza de la presa, capaz de remover los sedimentos atrapados. **Fuente:** López et al (2010).

Otro ejemplo de descenso del lecho aguas abajo de una presa, causado por efectos de las aguas claras que escurren durante procesos de sedimentación, se muestra en la Figura 33, para el caso de la presa abierta del tipo de ventana, construida en la quebrada Camurí Chico. La degradación general del lecho fue medida al pie de la presa en 3m, poniendo en peligro la estabilidad de la estructura de retención.



Figura 32. Fotografía del vaso totalmente sedimentado de la Presa N° 2 (izquierda) y erosión general al pie de la presa aguas abajo (derecha), debido al flujo de aguas claras durante la crecien de febrero del 2005. **Fuente:** López et al (2010).

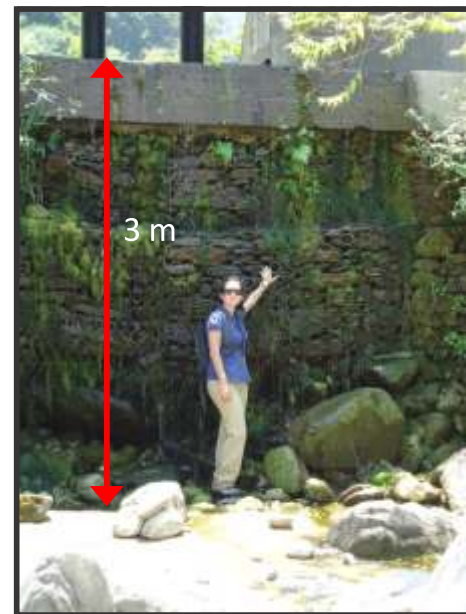


Figura 33. Vista frontal de la presa abierta, del tipo de ventanas, construida en gaviones sobre la quebrada Camurí Chico. La foto izquierda fue tomada después de su construcción. La foto derecha, tomada a principios de 2011, muestra el descenso del lecho en el orden de 3 m. por efectos de la degradación general del lecho causada por los flujos de aguas claras en la crecien de diciembre de 2010. **Fuente:** López et al (2010).

1.2.2.6 Las obras construidas en el río Naiguatá

La cuenca del río Naiguatá se ubica al este del área afectada (Figura 34) y tiene un área de 31 km². La cuenca está prácticamente despoblada, limitándose la zona poblada al área del abanico aluvial donde se asienta la población de Naiguatá. La cuenca posee una cobertura vegetal abundante. La pendiente media del cauce es de 20%, pero en el tramo final, en las cercanías del puente, la pendiente se reduce a 1,6%. El caudal líquido para la creciente de 100 años de período de retorno es de 489 m³/s.

La Figura 34 muestra los deslaves producidos en las laderas de la cuenca del río Naiguatá los días 14 y 15 de diciembre de 1999, los cuales se transformaron en aludes torrenciales que colmataron de sedimentos los tramos aguas abajo. Una comparación de fotografías aéreas antes y después del evento se presenta en la Figura 35. La mayoría de los daños ocurrieron aguas abajo del puente de la carretera costanera. El río se desbordó hacia su margen izquierda depositando grandes cantidades de sedimentos. Se puede observar las playas y la zona portuaria del Club Puerto Azul (ver tope de la foto) cubiertas por gruesas capas de sedimentos y el desplazamiento de la línea costera hacia el mar en la desembocadura del río. Los materiales transportados, que causaron daños, fueron principalmente sedimentos finos con arrastre de grandes árboles. Como consecuencia de ello, la dársena y las adyacencias del club Puerto Azul quedaron sumergidas en lodos y arenas, no observándose sin embargo la presencia de material grueso (cantos rodados, peñones) que causaron graves daños en otras cuencas.



Figura 34. Vista aérea de las cicatrices en la montaña que evidencian los deslizamientos y deslaves producidos en las laderas de la cuenca del río Naiguatá en diciembre de 1999. **Fuente:** Salcedo (2010).



Figura 35. Comparación de fotografías aéreas antes y después de los deslaves de 1999 en la población de Naiguatá y el río Naiguatá.

Fuente: López y Altez (2010).

En el año 2007 se construyeron las obras para proteger a la población de Naiguatá de los aludes torrenciales. Las obras consisten en una presa y una canalización. El caudal de diseño para ambas estructuras ha sido estimado en $544 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiendo a un flujo de 100 años de período de retorno. La presa se ubica a unos 1.000 m aguas arriba de la población de Naiguatá y a unos 2.000 m de la desembocadura al mar. La pendiente del cauce en el tramo donde se ubica la presa es de 4%, en donde se observa la presencia de material grueso (cantos y peñones) de hasta 1 m de diámetro. La Figura 36 muestra un plano de ubicación del sitio de presa sobre el río Naiguatá.

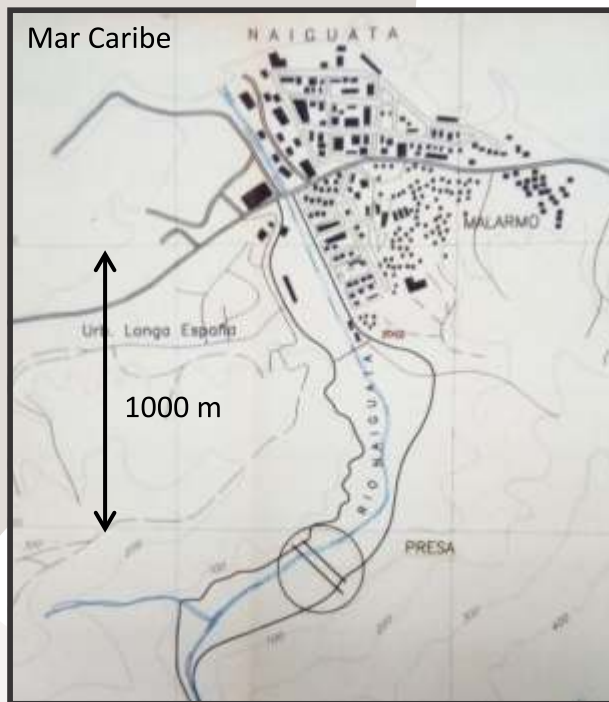


Figura 36. Mapa de ubicación del sitio de presa sobre el río Naiguatá.
Fuente: PROHIDRA (2001a).

● Presa de retención

La estructura de retención es una presa abierta de concreto ciclópeo, con una altura de 5 m sobre el nivel del lecho (8,5 m desde la fundación y 10,5 m de altura de las alas) provista de nueve aberturas o ranuras de 1,20 m de ancho. La longitud del vertedero es de 155 m. Aguas abajo, a 20 m de distancia, se ha previsto un contradique (presa cerrada) con una altura de 1,30 m sobre el cauce (4, 5 m desde la fundación y 6,5 m de altura total de las alas), con una longitud de vertedero de 142 m. El objetivo del contradique es proteger el dique principal mediante la generación de un colchón de agua que disminuye la socavación del material aluvional del lecho entre ambos diques, además de estabilizar el resalto hidráulico para evitar que se traslade aguas abajo. Las Figura 37 presenta los planos reducidos de la planta general de la presa, así como una sección transversal por el eje de la presa y un corte longitudinal. Una vista tridimensional (perspectiva) se muestra en el esquema de la Figura 38. Una fotografía aérea de la presa construida se muestra en la Figura 39 y una vista frontal en la Figura 40.

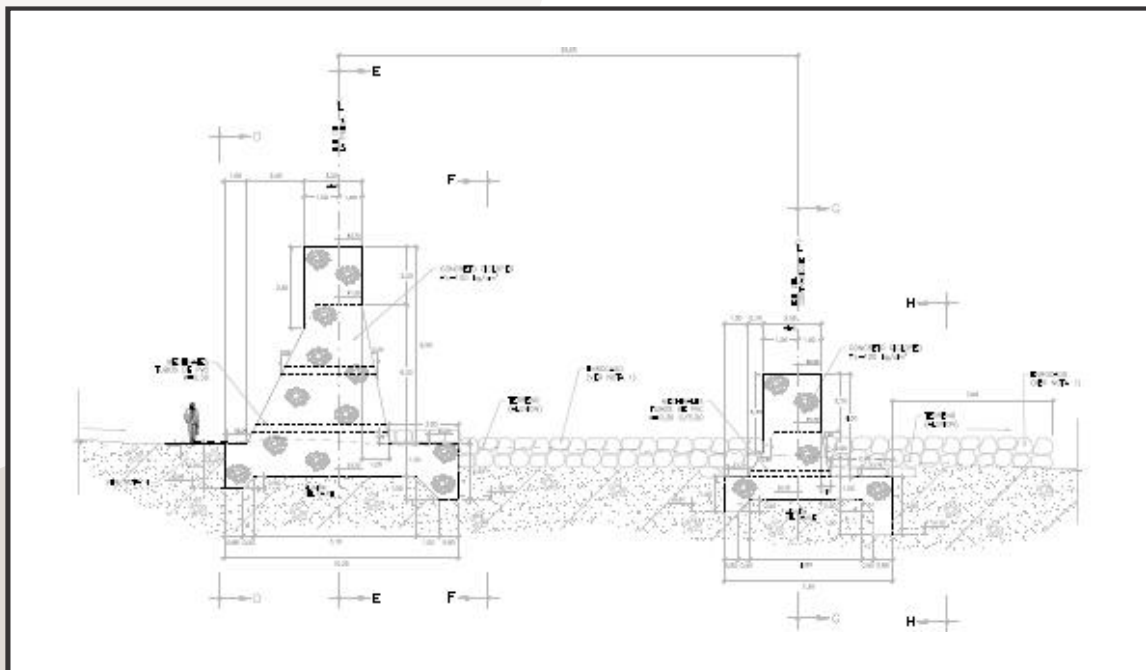
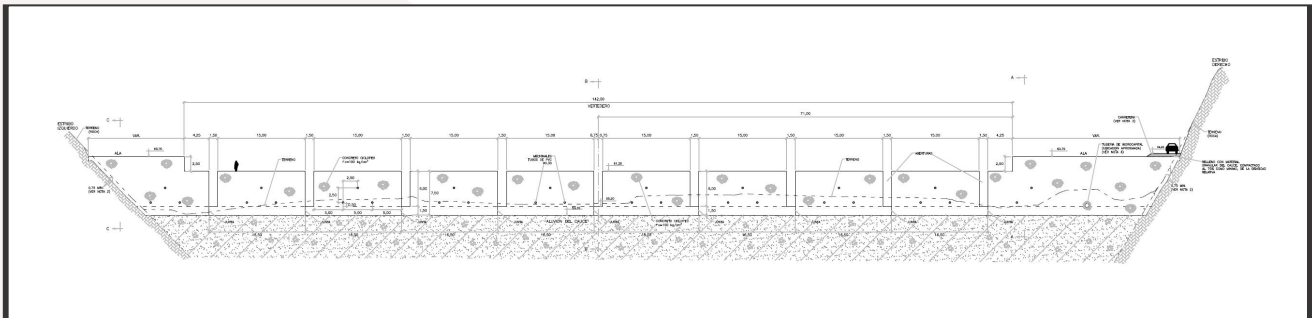
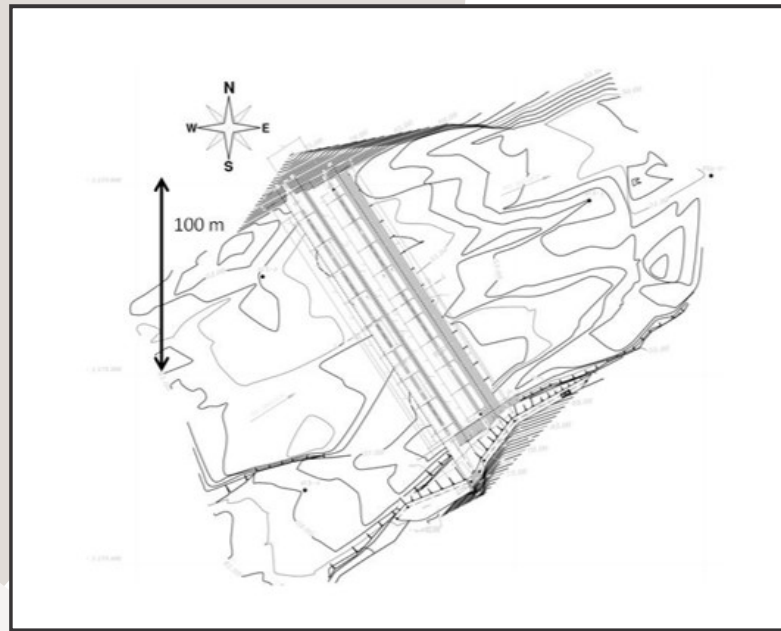


Figura 37. Planos de planta general (arriba), sección transversal (medio) y sección longitudinal (abajo) de la presa abierta de concreto ciclópeo sobre el río Naiguatá. **Fuente:** PROHIDRA (2001a).

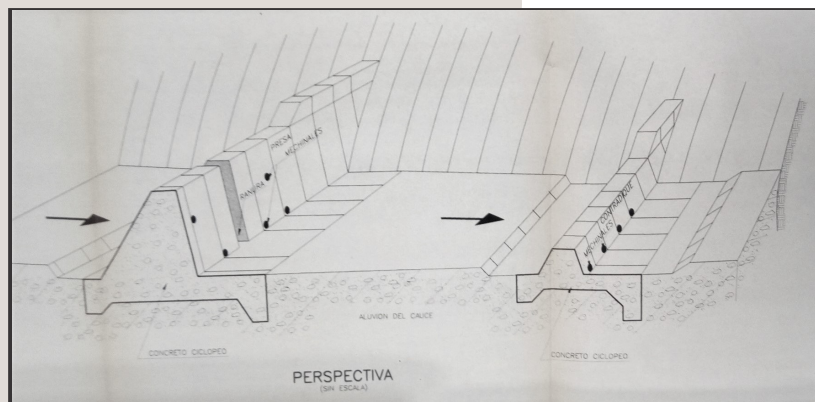


Figura 38. Perspectiva de la presa abierta de concreto ciclópeo sobre el río Naiguatá. **Fuente:** PROHIDRA (2001a).



Figura 39. Vista aérea de la presa abierta de concreto ciclópeo de 5 m de altura construida en el río Naiguatá. Obsérvese las ranuras en el cuerpo de la presa y el contradique a unos 20 m del dique principal. El ancho del cauce en el sitio de presa es de 155 m. **Fuente:** Morassutti, 2010.



Figura 40. Vista frontal de la presa abierta de concreto ciclópeo de 5 m de altura construida en el río Naiguatá. **Fuente:** PROHIDRA (2001a).

●Canalización

El canal es de sección trapezoidal provisto de una pequeña berma o dique lateral que permite minimizar las expropiaciones y tiene un tramo en fondo móvil y otro en concreto. La longitud total del tramo canalizado es de 1.570 m. La canalización comienza aguas abajo de la presa con una estructura de entrada hacia un canal en tierra con taludes revestidos de mampostería o concreto ciclópeo, el cual se extiende por 850 m aguas abajo hasta alcanzar una transición a corta distancia del sitio de puente donde comienza un canal de concreto. La canalización en concreto tiene 720 m de longitud y termina con un enrocado de protección a la salida y dos espigones. Esto es debido a la baja pendiente y lo poco profundo del mar, que hacen que se requieran espigones de encauzamiento para descargar por debajo de la línea de costa. El canal de concreto es requerido para minimizar la sección aguas abajo y permitir el paso por debajo del puente existente.

Una fotografía aérea de la canalización se muestra en la Figura 41, donde se observan los dos tramos de la canalización, el tramo en fondo móvil aguas arriba del puente y el tramo en concreto aguas abajo del puente. Una vista cercana del canal en el tramo superior se presenta en la Figura 42. Secciones típicas de la canalización se muestran en la Figura 43. En su primer tramo aguas arriba, el ancho base de la sección del canal de tierra es de 22 m con taludes recubiertos de mampostería o concreto ciclópeo de 4 m de altura y pendiente lateral 1 a 1. El ancho tope es de 30 m. La pendiente longitudinal del canal es de 1,5%. En el tramo aguas abajo en concreto la sección tiene un ancho base de 20 m, ancho tope de 26,3 m, taludes de pendiente 1 a 1 y altura de 3,15 m, con pendiente de fondo de 1%. Con el objeto de controlar la pendiente y las velocidades del flujo, y para adaptarse al terreno y minimizar la excavación, se han previsto caídas verticales tanto para la canalización en concreto como en fondo móvil, con una altura de 1 m. El canal cuenta con una rampa de acceso ubicada en la margen derecha para permitir el acceso de camiones y maquinaria liviana para realizar el mantenimiento preventivo del canal.



Figura 41. Vista aérea de la canalización del río Naiguatá. Obsérvese canalización en tierra con revestimiento de márgenes aguas arriba del puente y canalización en concreto aguas abajo del puente (dirección del flujo es de izquierda a derecha).

Fuente: Morassutti, 2010.



Figura 42. Vista hacia aguas abajo de la canalización construida sobre el río Naiguatá, en el tramo superior donde el canal es de fondo móvil con recubrimiento de taludes en concreto ciclópeo. (Foto: J. L. López).

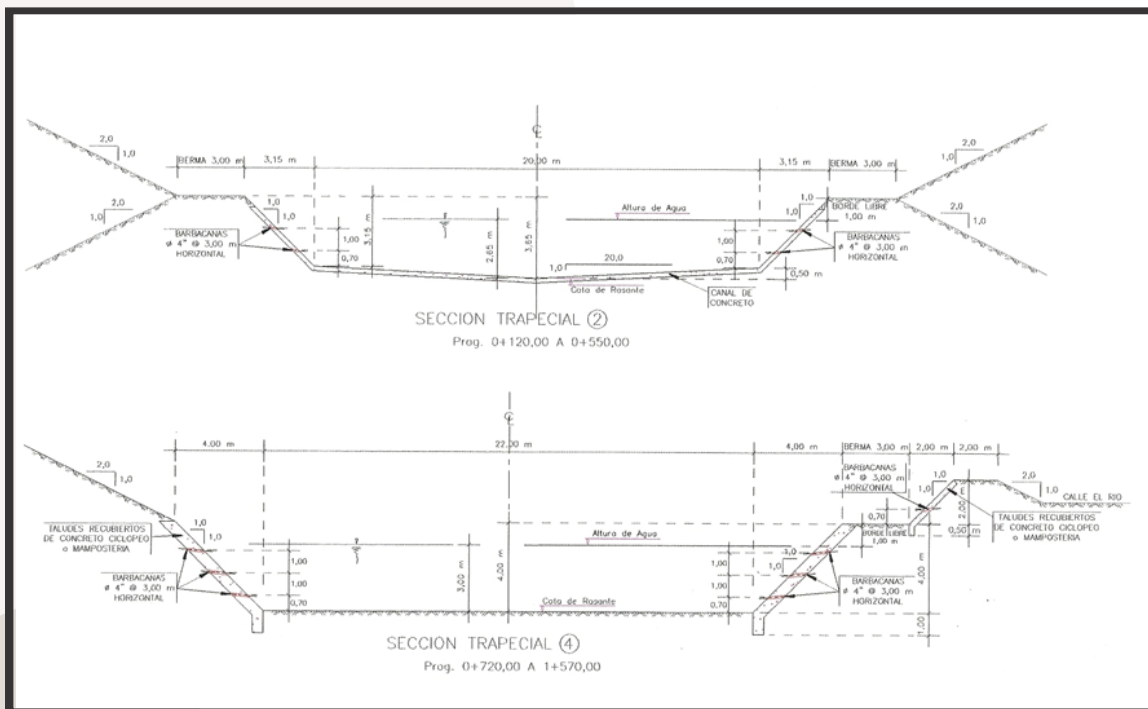


Figura 43. Secciones transversales de la canalización del río Naiguatá. Izquierda: Canalización en concreto. Derecha: Canalización en tierra (fondo móvil) con recubrimiento de márgenes en mampostería o concreto ciclópeo.

Fuente: PROHIDRA (2001b).

1.2.2.7 Costo de las obras de protección construidos en el río Naiguatá

La Tabla 11 presenta los costos estimados en dólares de las obras construidas para el control de aludes torrenciales en la cuenca del río Naiguatá. El costo de la presa es de 2,1 millones y el de la canalización es de 4,1 millones, para un costo total de 6,2 millones de dólares. Los costos se basan en las cantidades de obra y presupuesto elaborados el año 2001, cuando se hizo el diseño de las obras, y que se presentan en la Tabla 12. El costo total de la presa de concreto ciclópeo de 5 m de altura y 155 m de longitud, y su contradique de 1,30 m de altura y 142 m de longitud fue de 1.392,25 millones de Bolívares. Igualmente, el costo de la obra de canalización de 1.570 m fue 2.774,36 millones de Bolívares. Hay que hacer notar que este es el precio para el año 2001. A partir de una tasa de cambio de Bs. 680 por dólar, vigente para principios del año 2001, se obtuvo el costo aproximado en dólares.

Tabla 11. Costos estimados en dólares de las obras de control de aludes torrenciales en la cuenca del río Naiguatá.
Fuente: PROHIDRA (2001a y 2001b).

Obra	Descripción	Costo (millones de dólares)
Canalización	Canal trapecial de 1.570 m longitud	4,1
Presa	Presa abierta de concreto ciclópeo de altura 5 m y longitud 155 m	2,1

Tabla 12. Cantidades de obra y presupuesto en bolívares para el año 2001 de la canalización (cuadro superior) y de la presa (inferior) construidas en el río Naiguatá. **Fuente:** PROHIDRA (2001a y 2001b).

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Bs.	CANTIDAD TOTAL	TOTAL MILLONES DE Bs.
1	Replanteo	km	700,000	1.7	1.19
2	Remoción de capa vegetal y bote hasta 200 m.	m ³	1,775	60.0	0.11
3	Excavación para la construcción de canales	m ³	5,000	41,000	205.00
4	Excavación para la construcción de drenajes	m ³	3,200	270	0.86
5	Excavación en roca	m ³	19,300	100	1.93
6	Compactación de rellenos	m ³	3,000	18,000	54.00
7	Concreto ciclópeo Rcc 80 Kg/cm ² a los 28 días, para revestimiento de taludes de canales	m ³	120,000	6,251	750.12
8	Concreto de Rcc 250 kg/cm ² a los 28 días para la construcción de canales	m ³	192,000	4,200	806.40
9	Concreto de Rcc 250 kg/cm ² a los 28 días para la construcción de drenajes	m ³	192,000	90	17.28
10	Concreto de Rcc 250 kg/cm ² a los 28 días para la construcción de caídas	m ³	192,000	1,120	215.04
11	Suministro, transporte, preparación y colocación de acero de refuerzo de Rat. 2.100 kg/cm ²	Ton	1,000	649,200	649.20
12	Suministro, transporte y colocación de alcantarillas de $\phi=0,91$ m clase IV	ml	185,000	175	32.38
13	Suministro, transporte y colocación de reja y marco para sumidero	kg	2,500	1,440	3.60
14	Suministro, transporte y colocación de rocas para la protección de canal entre espigones $D_{50}=0,50$ m	m ³	20,000	1,000	20.00
15	Bote de material	m ³ /km	150	115,000	17.25
				SUB-TOTAL Bs.	2,774.36
15	Replanteo	SG	1	400,000	0.40
16	Relleno permeable sin compactar (a paso de equipo)	m ³	2,600	2,983	7.76
17	Relleno permeable compactado a una densidad relativa del 80%, con equipo adecuado	m ³	3,000	70	0.21
18	Construcción de mechinales en la presa y en el contradique según planos	m	15,000	265	3.98
19	Excavación a máquina en suelos transporte y bote hasta 200 m de distancia	m ³	3,000	20,461	61.38
20	Excavación a máquina en material conglomerítico, transporte y bote hasta 200 m de distancia	m ³	5,000	5,515	27.58
21	Excavación a máquina en roca, transporte y bote hasta 200 m de distancia	m ³	19,000	145	2.76
22	Concreto ciclópeo Rcc 100 Kg/cm ² a los 28 días, para revestimiento de canales y construcción de caídas	m ³	130,000	9,910	1,288.30
				SUB-TOTAL Bs.	1,392.35
				TOTAL Bs.	4,167

1.2.3 Caso de Estudio “Control de erosión en una Microcuenca Andina en Mérida, Venezuela”

1.2.3.1 Antecedentes

Entre 1968 y 1975 se ejecutó en la microcuenca de la quebrada La Virgen, en el Estado Mérida, Venezuela, uno de los primeros tratamientos de control de torrentes, basado en las experiencias austriacas, adaptado a las condiciones locales técnicas desarrolladas en los Alpes (Hernández, 2006). El proyecto consistió en 17 diques pequeños de consolidación, ubicados de acuerdo a consideraciones hidráulicas, topográficas y geotécnicas. Además, se construyó un canal de coronamiento y 100 m de muros laterales. Este proyecto fue concebido para el entrenamiento y demostración del sistema de control de torrentes, poco divulgado en Venezuela y en América Latina para esa época. Después de más de 30 años, las estructuras han demostrado ser efectivas para mantener fijo el lecho y márgenes del torrente y para estabilizar un gran deslizamiento que era la fuente principal productora de sedimentos; el nuevo nivel base detuvo la erosión al pie. El caudal total disminuyó debido a la reducción del caudal sólido. La recuperación vegetal en las laderas ha sido impresionante, ayudando a disminuir el escurrimiento directo. Además, se creó un almacenaje adicional de humedad detrás de los diques. No ha ocurrido desbordamiento por crecidas que dañen la infraestructura en el cono de deyección. La población se ha sentido más segura y destaca las bondades de este sistema de protección (Hernández, 2006).

1.2.3.2 Área de Estudio

La microcuenca La Virgen, tiene una superficie de 475 ha, ubicada a unos 18 km al noreste de la ciudad de Mérida, entre las poblaciones de Tabay y Cacute en la vía que conduce de Mérida a Barinas (Figura 44).

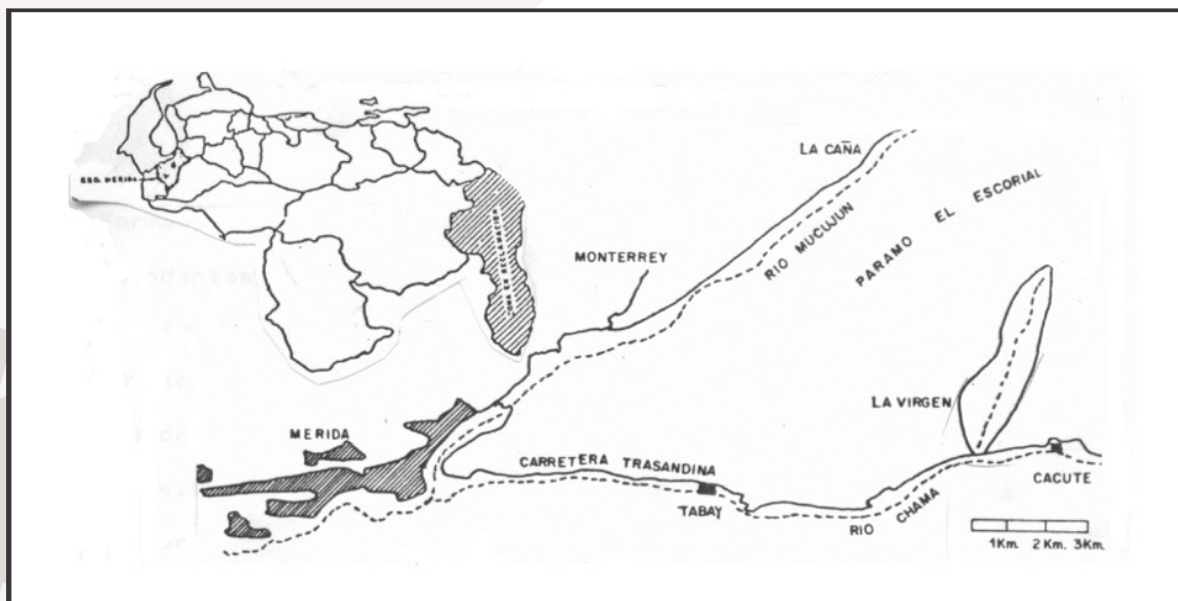


Figura 44. Ubicación relativa de la microcuenca La Virgen en el estado Mérida.

Fuente: Hernández (2006).

1.2.3.3 Características de la Microcuenca

La pendiente media del cauce es de 65%. Altitudinalmente varía entre 1.900 y 3.800 msnm. Las rocas dominantes son los gneis y esquistos de la Asociación Sierra Nevada, de edad Precámbrica con abundantes inyecciones migmatíticas, en el sector superior afloran granitos gnéisicos y alterados. Desde el punto de vista geomorfológico, se identifica que en la cuenca de recepción existen deslizamientos antiguos en la vertiente izquierda. En el curso medio existe un deslizamiento tipo concha con una superficie de 8 ha. Tiene poca estabilidad estructural, bajo contenido de materia orgánica, alta presencia de mica en las fracciones de limo y arena (Michelena, 1984). El socavamiento de la base de la vertiente por el torrente La Virgen actúa como un factor desencadenante de este movimiento en masa. En la parte inferior el torrente tiene un cono de deyección de poco desarrollo con depósitos no consolidados (Ramírez y Hernández, 1967).

Los suelos dominantes son *Typic Humitropets*, francos, finos, isotérmicos, poco profundos, de fertilidad baja, ligeramente ácidos y bien drenados. También existen Troporthent típico, esquelético, micáceos, isomésico. Desde el punto de vista del potencial de escurrimiento pertenecen a la clase hidrológica B y C, es decir de moderado a moderadamente alto potencial de escurrimiento (Michelena, 1984). Existen tres pisos altitudinales según la clasificación de Holdridge: bosque seco montano-bajo entre los 1.900 y 2.500 msnm; bosque húmedo montano comprendido entre las cotas 2.500 a 2.900 msnm y una franja de transición entre bosque húmedo montano y bosque muy húmedo montano que comprende los 2.900 a 3.800 msnm (Ramírez y Hernández, 1967). En la Tabla 13 se muestran los diferentes usos de la tierra en la microcuenca.

Tabla 13. Superficie correspondiente a diferentes usos de la tierra en la microcuenca La Virgen. **Fuente:** Hernández (2006).

Tipo de uso	Superficie (ha)	Superficie (%)
Pastizales naturales y páramos	346	72
Pastizales artificiales	53	11
Bosque	52	10
Cultivos sin prácticas de conservación	23	5
Áreas marginales	6	1

La precipitación media anual es de 1.000 mm con un régimen claramente bimodal. El caudal máximo estimado en la confluencia con el río Chama es de 22 m³/s para un periodo de retorno de 25 años (Hernández, 1979). En la microcuenca existían 14 familias con una población total de 144 habitantes ubicados en 5 sectores. 71% son propietarios, 21% medianeros y 8% ocupantes. Los productos agrícolas principales son maíz y papa. El 86% no utilizan prácticas de conservación de suelos. Las explotaciones son mixtas, la producción agrícola se utiliza para

autoconsumo y la pecuaria para la venta, el crecimiento de la población es acelerado y un 20% de la población emigra hacia otros lugares (Dávila, 1985).

1.2.3.4 El Problema

Antes de 1975 ocurrían con frecuencia crecidas torrenciales con alto arrastre de sedimentos gruesos (peñones y árboles) que creaban en el cono de deyección los daños siguientes:

- Interrupción del tránsito automotor desde el centro del país hacia Mérida y viceversa (Figura 45).
- Aumento en el costo del mantenimiento de la carretera para las labores de limpieza.
- Impedimento al desarrollo confiable de actividades económicas (productores agrícolas) en el cono de deyección.

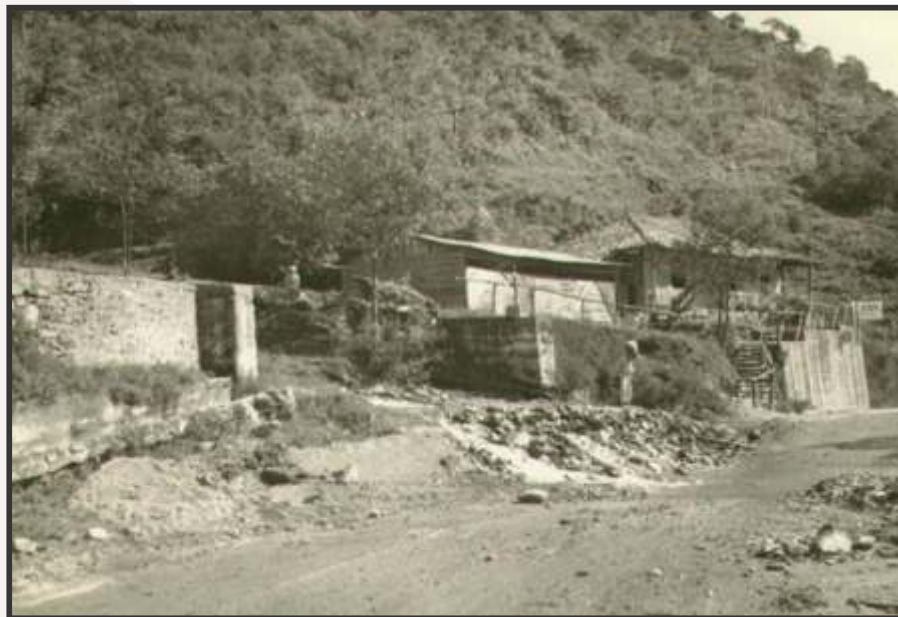


Figura 45. Daños en la vía transandina causados por aludes de la quebrada La Virgen en 1977. **Fuente:** Hernández (2006).

1.2.3.5 El proyecto de control de erosión

En 1965 el Ministerio de Agricultura y Cría solicitó a la Universidad de los Andes un proyecto para resolver los problemas mencionados. El proyecto se realizó planteando una propuesta de ordenación territorial, basada en la capacidad de uso de la tierra y en la susceptibilidad de las vertientes a la erosión y a los movimientos en masa. Los objetivos de este fueron, eliminar la interrupción del tránsito en la vía trasandina, estabilizar el cauce, evitar la socavación de fondo en tramos inestables, disminuir el caudal sólido en los aludes torrenciales, proteger la población y las viviendas ubicadas en el abanico aluvial, obtener experiencia en la construcción de este tipo de obras y proyectos con un enfoque novedosos en el país y crear un laboratorio para la extensión y demostración en control de aludes torrenciales.

Con el asesoramiento inicial del Ingeniero Claverie (ULA) y luego del ingeniero Hattinger del Servicio de Control de Torrentes de Austria, se elaboró el proyecto detallado (Hattinger, 1973). La ejecución de las obras se realizó entre 1972 y 1976 mediante un acuerdo entre la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (ULA) quien aportó el diseño y supervisión, el Ministerio de Agricultura y Cría, (luego Ministerio del Ambiente, nivel regional), quienes contribuyeron con sus obreros y peritos y la Corporación de Los Andes (CORPOANDES), quien financió los materiales. Fue un ejemplo interesante de concertación y unión de esfuerzos y recursos cuando estos son escasos. El proyecto fue de gran relevancia en el país, ya que constituyó el primero ejecutado en Venezuela con todas las normas y especificaciones técnicas desarrolladas basadas en más de 100 años de experiencia en Austria para el control de aludes torrenciales.

Se escogió un tramo crítico de 400 m, para el cual se diseñaron 17 diques bajos de consolidación en 3 escalonamientos; el primero de estos se localizó antes de entrar al cono de deyección, al pie del deslizamiento principal. La mayoría de los diques se construyeron en mampostería hidráulica, algunos de gaviones y otros en concreto. Se identificaron los sitios a controlar mediante 17 diques bajos (Figura 46) numerados como D1 a D17, en escalonamiento de consolidación ubicados estratégicamente en secuencia de acuerdo con la pendiente de compensación y la ubicación de las laderas inestables con fuertes procesos de socavación. Siete (7) contradiques y cinco (5) enrocados fueron ubicados entre los hectómetros 0+80 y 4+50 del cauce principal, con las características siguientes: ancho de corona de 1,20 m; altura libre de caída entre 1,0 m y 6,0 m; profundidad de fundación de 1,50 m a 2,50 m; ancho de fundación de 8,0 m. Nueve (9) diques fueron construidos de mampostería hidráulica, siete (7) de gaviones y 1 dique de hormigón. Las secciones de flujo fueron de forma trapezoidal. Los mechinales fueron de 20x40 cm, la pendiente de compensación varió ente 6 y 12% (Hernández, 1979).

En los tramos inestables se elevó el nivel base del torrente en relación con la rasante natural, teniendo un perfil longitudinal escalonado, para disipar energía en cada salto, disminuyendo la capacidad de arrastre de la crecida. El primer escalonamiento se localizó antes de entrar al cono de deyección, al pie del deslizamiento principal. El escalonamiento con diques bajos de consolidación perseguía el fin de estabilizar las vertientes inestables, susceptibles a movimientos en masa, fortalecer la resistencia del cauce a la erosión de fondo, controlar la dirección de la corriente para evitar la socavación lateral y el choque contra tramos inestables y crear una cuña de sustentación que permitiera una mayor base de soporte a la vertiente y un ángulo menor de reposo del talud.

La Figura 46 presenta la ubicación de los diques o presas de consolidación construidas para el control de erosión en la quebrada La Virgen. Las Figuras 47 y 48 muestran perfiles longitudinales, transversales y algunas características geométricas de los diques construidos en dicha quebrada.

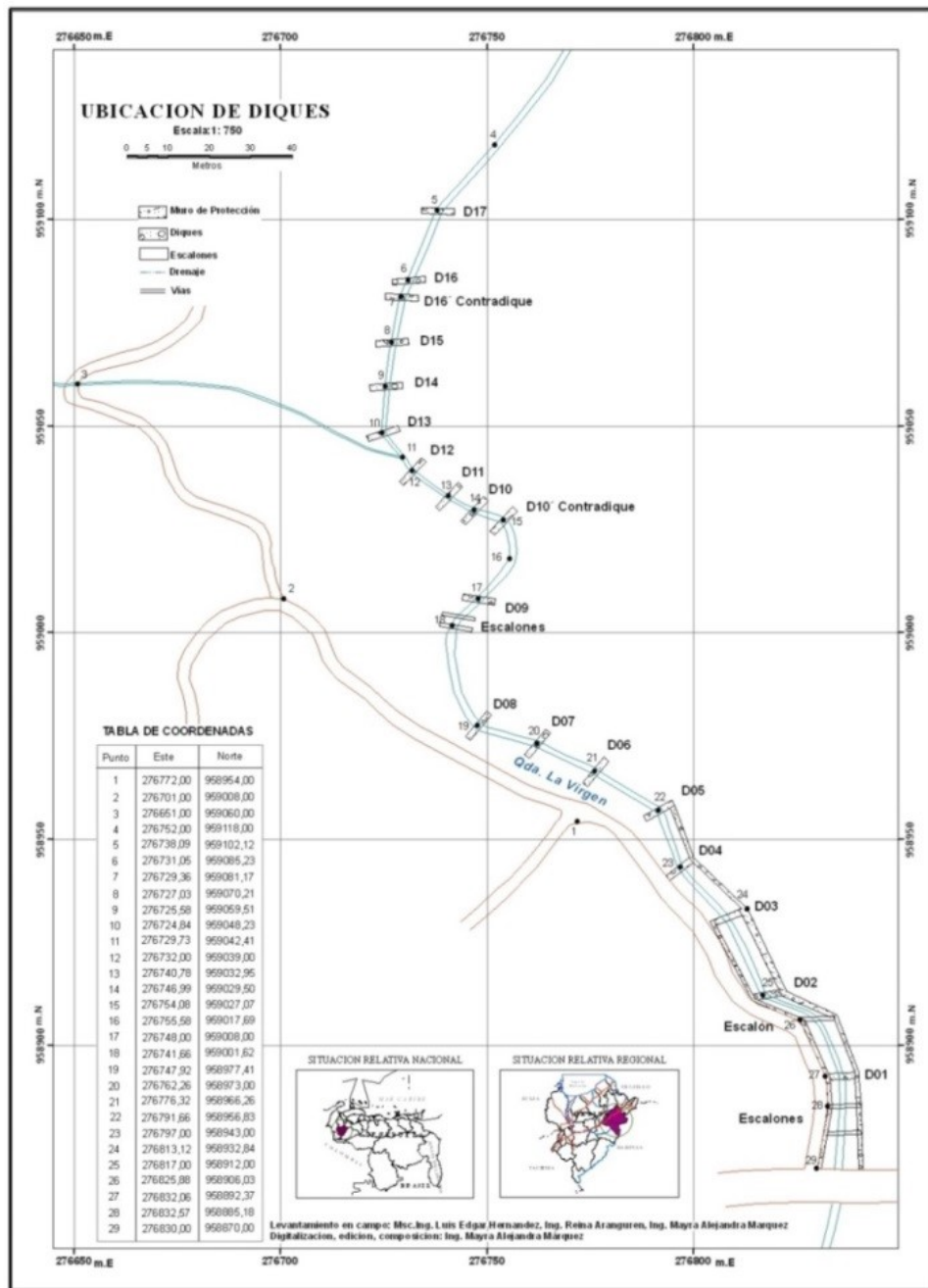
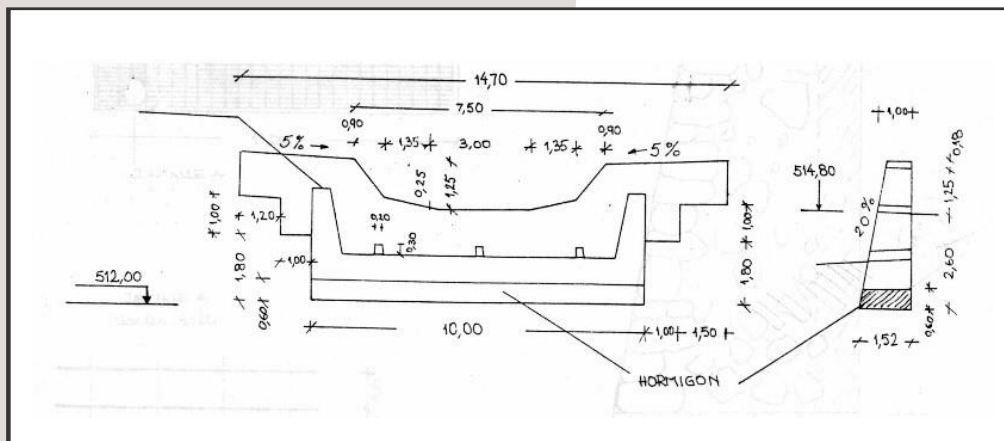
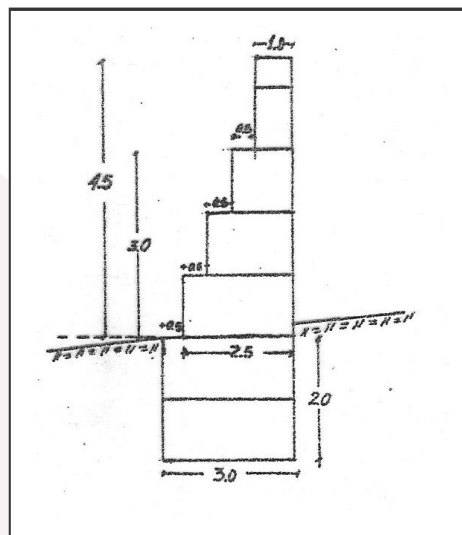


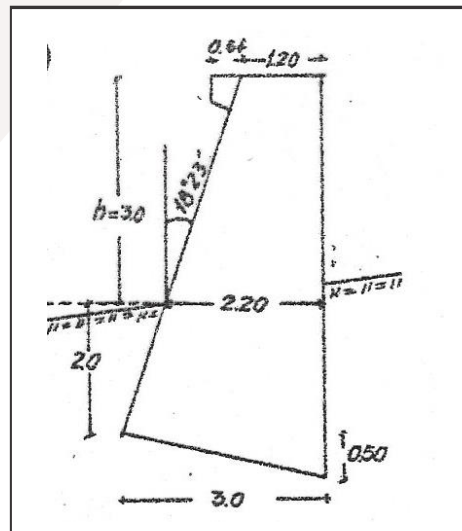
Figura 46. Planta de localización de los diques construidos en la quebrada La Virgen.
Fuente: Hernández (2006).



Corte transversal del dique No 6 ubicado en el hectómetro 1+59



Corte longitudinal del dique de mampostería engavonada de 4,5 m de altura



Corte longitudinal del dique de mampostería de 3 m de altura

Figura 47. Sección transversal típica y cortes longitudinales de los diques construidos en la quebrada La Virgen.

Fuente: Hernández (2006).

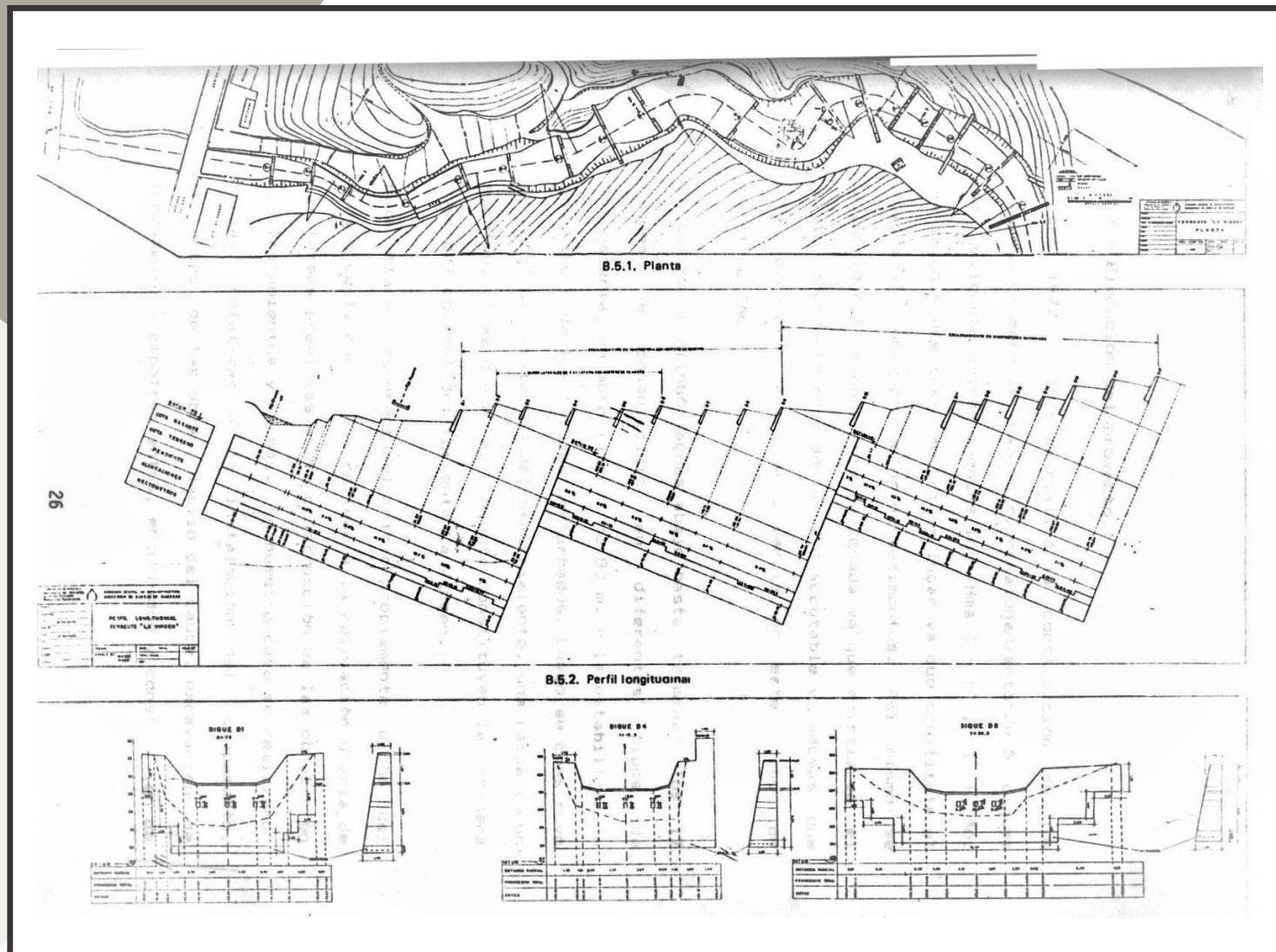


Figura 48. Planta, perfil longitudinal y perfiles transversales con ubicación de las obras en el tramo crítico del torrente La Virgen.
Fuente: Hernández (2006).

1.2.3.6 Resultados del Proyecto

Entre 1972 y 1976 se construyeron primeramente los diques de gaviones ubicados entre los hectómetros 3+10 y 3+50. Se escogió ese tramo, ya que constituía el principal foco de sedimentos. Se seleccionó como material de construcción la mampostería gavionada, ya que existía en el sitio roca abundante de calidad aceptable y los obreros tenían experiencia en este tipo de construcción. Luego se continuó la construcción aguas abajo de 12 diques de consolidación en mampostería hidráulica y de concreto hasta llegar al cruce con la carretera. Los taludes perturbados fueron estabilizados con una gramínea conocida como kikuyo (*Penisetum clandestinum*).

Además, se ejecutaron 100 m de muros longitudinal en la margen izquierda para proteger propiedades valiosas en el cono de deyección. El proyecto incluyó 100 m de zanja de coronamiento para desviar el escurrimiento superficial en la parte superior del deslizamiento mayor, una rampa y un espolón. Se construyó un canal escalonado donde se ubican diques entre los hectómetros 0+10 y 1+50 con un muro lateral de 2 m de alto en la margen derecha y doble muro con altura de 2 m y 1,5 m en la margen izquierda, especialmente en el borde exterior de la curva. Se reemplazó la batea por un pequeño puente. Se diseñaron otras obras menores y tratamientos adicionales complementarios de control y derivación del escurrimiento superficial (Figura 49).



Figura 49. Diques en escalonamiento para control de erosión del lecho en quebrada La Virgen.

Fuente: Hernández (2006).

1.2.3.7 Beneficios del Proyecto

● Estabilidad del lecho y de las márgenes

En las fotografías terrestres (Figura 50) tomada en el año 1967, del tramo más crítico del torrente, se aprecia la enorme inestabilidad existente en el cauce con rocas de diámetro mayor a un metro y la margen izquierda socavada. En la foto tomada casi 20 años después en 1986, se observa como el escalonamiento de diques de consolidación logró en forma total la estabilidad de las márgenes y el lecho del cauce. Los 17 diques construidos a lo largo del tramo más crítico han estabilizado las márgenes y el fondo del cauce, por lo que el proceso de socavación ha sido disminuido y por lo tanto el caudal sólido y el caudal total.

● Estabilización del deslizamiento principal

En 1967, año de la elaboración del proyecto original, la fuente productora de sedimentos

constituía un movimiento en masa que cubría una superficie de 6 ha. Treinta (30) años más tarde, el deslizamiento fue totalmente estabilizado, como resultado del escalonamiento producido por tres diques de gaviones construidos al pie y a un proceso muy agresivo de invasión de vegetación nativa, especialmente de arbustos.

●Disminución del escurrimiento directo

La recuperación natural en las vertientes empinadas adyacentes al río ha contribuido indudablemente a aumentar la infiltración potencial después de cada lluvia y a disminuir la cantidad de escurrimiento superficial que llega al cauce.



Figura 50. Comparación de fotografías antes (1967) y después (1986) del proyecto de control de erosión en el tramo Hm 2+50. Izquierda: Inestabilidad del lecho debido a erosión del cauce y márgenes. Derecha: Estabilidad del lecho producida por el escalonamiento del cauce con las obras de control. **Fuente:** Hernández (2006).

●Almacenaje de humedad detrás de los diques

Detrás de cada uno de los diques ha ocurrido un asolvamiento de aproximadamente 150 m^3 lo que en total significa unos 2.000 m^3 que funcionan como pequeños embalses de retención de humedad en los momentos de crecidas.

●Estabilidad del puente y de la carretera

Otro beneficio importante del proyecto es el relativo a la protección del puente construido en el cruce con la carretera trasandina, el cual en los últimos 25 años no ha recibido impactos fuertes

de crecidas, por el mismo hecho de que el caudal sólido fue disminuido. En términos económicos, este beneficio representó la eliminación de los costos de mantenimiento de la carretera en ese tramo.

● **Mejoramiento de la calidad del agua**

La reducción del caudal sólido por el efecto de los 17 diques y el control del deslizamiento disminuyó el transporte de sedimento en la escorrentía y ha permitido ahora la existencia de dos pequeños acueductos rurales.

● **Estabilización de torrentes tributarios**

El torrente del Tampacal, tributario principal, mostraba en 1967 una fuerte socavación. Este foco erosivo se estabilizó sin haberse construido en su cauce ninguna obra de control. Su control se relaciona con la influencia directa de un nivel base más alto en el torrente principal.

● **Mejoramiento paisajístico y recreacional**

Los efectos beneficiosos han contribuido para que el torrente presente ahora un paisaje más llamativo, cubierto de vegetación y de pequeñas cascadas que ha aumentado el potencial recreacional en el área.

● **Capacitación técnica**

El proyecto ha permitido adquirir experiencias y entrenamiento práctico por parte de ingenieros, peritos, constructores y estudiantes. Ha logrado demostrar a la comunidad, a los técnicos y a políticos la efectividad en zonas tropicales del control de torrentes.

En resumen, se puede afirmar que se ha estabilizado totalmente el tramo crítico en 400 m que era la fuente principal de producción del caudal sólido y como consecuencia positiva se han eliminado los aludes torrenciales en los últimos 40 años. Ha sido una buena experiencia desde el punto de vista docente, de extensión e investigación demostrando la utilidad práctica del control de aludes torrenciales. Los pobladores de las casas ubicadas en el cono de deyección se sienten más protegidos contra los aludes torrenciales y desbordamientos lo que les ha permitido expandir sus viviendas con un mayor sentido de seguridad.

1.2.3.8 Dificultades existentes

Es preocupante que se observa deterioro en algunas obras asociado a la acción del tiempo y a la falta de mantenimiento. Se sugiere aplicar un plan de mantenimiento que incluya la reparación urgente de los diques D15, D17, D12, D8 y D7, la limpieza de toda la vegetación en el cauce para asegurar el funcionamiento de las obras y acciones preventivas en la zona superior de la microcuenca. Solo así se podrá mantener el nivel mínimo de riesgo a los aludes torrenciales que se ha alcanzado en los últimos 40 años.

La Figura 51 muestra daños en uno de los diques o presas de control de mampostería engavionada, destruido parcialmente en abril de 1982, lo que llevó a la reconstrucción de algunos de ellos.

Es de destacar también que, a pesar de los beneficios obtenidos en términos de la población ubicada en el cono de deyección, estos pueden ser alterados ya que en los últimos años se ha intensificado el uso de las tierras y las aguas en la zona alta de la microcuenca. También en el cono de deyección aparecieron nuevos problemas de contaminación por descarga de aguas servidas.



Figura 51. Vista del tramo recuperado de la quebrada La Virgen en Hm 2+50. Los daños por erosión que se observan en la cresta de la presa de gaviones ponen en evidencia la necesidad de mantenimiento de la obra. **Fuente:** Hernández (2006).

1.2.3.9 Costos estimados del proyecto

Los costos de las obras para estabilización y consolidación de laderas y cauces inestables son de dos tipos: los relacionados con la ejecución de las obras y los de mantenimiento, los cuales se mantienen durante todos los años en la vida útil del proyecto o el tiempo de análisis de la evaluación.

Flores (2004) realizó una investigación (tesis de maestría) sobre el tema de bases metodológicas para la estimación de costos en obras de control de torrentes en la cuenca del río Chama, en Mérida, donde entre 1979 y 1999 hubo una actividad intensa en la ejecución de obras para control de crecidas torrenciales. El objetivo de la investigación fue establecer “funciones de costos” en relación con las características de las microcuencas tales como área, caudal de diseño, gradiente promedio del cauce y longitud del cauce tratado. Con los datos tomados de los archivos del Ministerio del Ambiente para la época, le permitió identificar “relaciones altamente significativas entre los costos de concreto ciclópeo y caudal de diseño, entre costos de las escolleras de protección y longitud del tramo de cauce tratado y entre reforestación y área de la cuenca”.

Se han analizado los datos de esa investigación en cuanto a los costos históricos de las obras ejecutadas en 7 torrentes de las 14 microcuencas consideradas en el estudio (La Virgen, La Romero, El Barro, Caparu, El Mamón, La Resbalosa y La Castro). En ellos se construyeron en el periodo de 1979 a 1999 un total de 97 diques bajos, junto con las obras adicionales de escolleras de protección en algunos casos, como muros laterales, para la estabilización y consolidación de laderas inestables y para control de la socavación del cauce.

Los costos totales históricos totales de esos proyectos fueron deflactados al año índice de 1999 para así permitir la comparación teniendo precios homogéneos. Los costos indexados a 1999 fueron convertidos a dólares utilizando la tasa de cambio de ese año que fue 573,88 Bs/\$. Con esos datos se obtuvo un costo en dólares americanos por dique entre \$ 10.471,00 y \$ 40.140,00, es decir un valor promedio de \$ 25.305,00 por dique con alturas de caída entre 1,5 y 6 m, 1,5 a 2 m de fundamento y 1,5 a 2 m de empotramiento en las márgenes. Y con elementos de protección como escolleras y barbacanas. Estos torrentes tenían entre 5 y 15 m de ancho y las obras fueron construidas con mampostería hidráulica y gaviones. Los valores anteriores permiten realizar una primera aproximación a la estimación de obras para control de aludes torrenciales en microcuencas andinas.

Por otra parte, información reciente de costos de proyectos de reforestación en montaña realizados en varios países de América Latina incluyendo el mantenimiento oscilan entre 1.161 US\$/ha a 1.400 US\$/ha de acuerdo con:

<http://www.fao.org/docrep/016/ap346s/ap346s00.pdf>

1.2.4 Caso de estudio “Control de Inundaciones Pluviales en la Isla de Margarita, Venezuela”

Se refiere al proyecto de control de Inundaciones pluviales realizado en el año 2002 para el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) y construido en el año 2005 mediante financiamiento del Fondo de Desarrollo Urbano (FONDUR), ambos entes del sector oficial de Venezuela. Corresponde a la “Canalización del río San Juan en el Tramo Avenida Juan Bautista Arismendi – Laguna Las Maritas, estado Nueva Esparta” en Venezuela.

1.2.4.1 Antecedentes

El río San Juan está ubicado en la zona central de la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, en el Mar Caribe al Noreste de Venezuela. El río drena una cuenca de 58,41 km² siguiendo un curso de dirección aproximada Norte Sur. El mismo descarga en una laguna costera, denominada Laguna de las Maritas, en la costa sur de la isla.

Margarita llamada la Perla del Caribe, está ubicada al sureste del mar Caribe, noreste venezolano, al norte de la península de Araya del estado Sucre. Junto a las islas de Coche y Cubagua, constituye el único estado insular de Venezuela, denominado Nueva Esparta. La población de Margarita es de 491.610 hab. (INE 2011) aunque esto tiende a fluctuar en los periodos vacacionales o de temporadas navideñas y festivas cuando, según datos de 2007 del Noticiero regional Telecaribe, llegaron unos 200.000 visitantes, en su mayoría de la zona central

y del occidente del país. La isla posee un área de 1.072 km. En ella predomina el comercio, debido a la condición de Puerto Libre (establecido en 1971 por decreto presidencial) y a su vinculación con el turismo local (a-venezuela.com 2016). La actividad turística ha estimulado la industria de la construcción, según lo demuestra la existencia de hoteles, restaurantes, viviendas vacacionales y centros de diversión, como parte de una infraestructura que revaloriza esta zona con grandes atractivos para los visitantes de origen tanto nacional como internacional.

Como parte del desarrollo urbanístico, al Este del Aeropuerto Internacional Santiago Mariño, se han establecido diversos desarrollos habitacionales. En el sector El Dátil Sur, también conocido como Los Bagres, existe un área de terrenos de fuerte desarrollo urbanístico la cual fue afectada durante varios años, por inundaciones causadas por las aguas del río San Juan. Estas ocasionaban cuantiosas pérdidas materiales a la población y a los entes y empresas que participan en el desarrollo de la zona. El sector, ubicado entre la Avenida Juan Bautista Arismendi (Autopista Punta de Piedra-Portlamar) y el extremo Noroeste de la Laguna de Las Maritas, es una zona relativamente plana, atravesada por el tramo terminal del río San Juan. Los terrenos del área presentan una pendiente suave, que drena de manera natural hacia el cauce del río San Juan o hacia cauces menores que descargan a la laguna. Las Figuras 54 y 55 muestran inundaciones ocurridas en las urbanizaciones, ubicadas en la margen derecha del río San Juan al sur de la Avenida Juan Bautista Arismendi, en ausencia de la canalización.

Además de las urbanizaciones construidas o en fase de construcción, se preveía, como en efecto ocurrió, que en la zona se desarrollarán nuevos conjuntos habitacionales a corto y mediano plazo.

En la Figura 52 se muestra la ubicación de la Isla de Margarita y en la Figura 53 se muestra el área del proyecto: el río San Juan, la laguna Las Maritas, y el área de las urbanizaciones, al Sur de la Avenida Juan Bautista Arismendi.



Figura 52. Ubicación de la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela.

Fuente: Google Earth.



Figura 53. Ubicación del área del proyecto. **Fuente:** Google Earth + Elaboración propia.

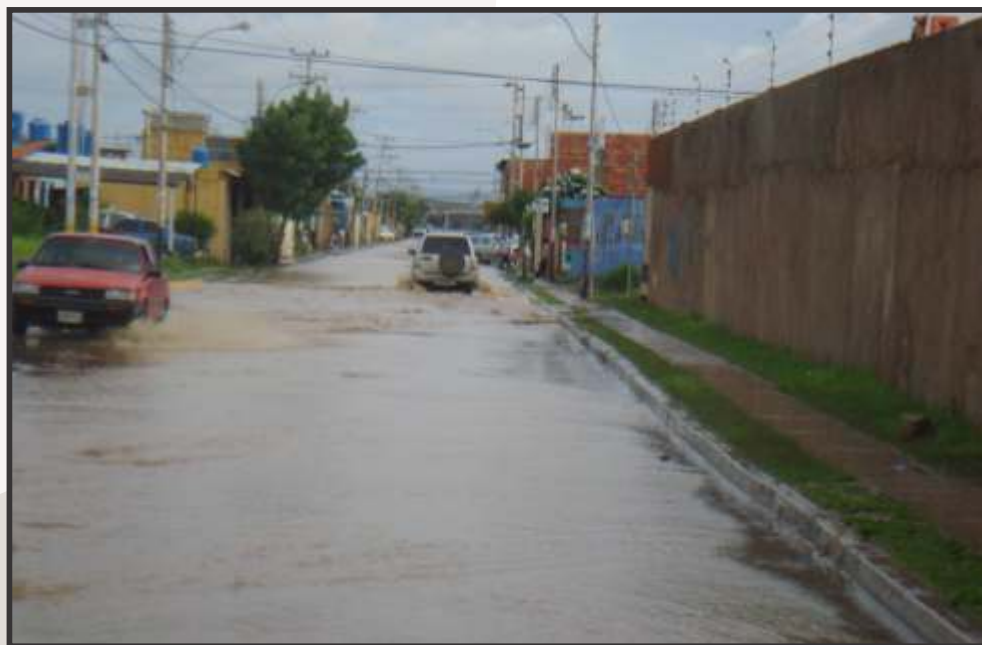


Figura 54. Inundación ocurrida en una urbanización ubicada en la margen del río San Juan, en un tramo sin canalizar. **Fuente:** MARNR-MGR Consultores (2002).

En atención a los problemas de inundaciones ocurridos para la fecha, inicio de los años 2000, las autoridades y empresas involucradas en el desarrollo del área, tomaron diversas iniciativas orientadas a reparar los daños causados por las aguas y a minimizar los riesgos de inundaciones futuras. Se realizaron estudios hidrológicos e hidráulicos preliminares (Martínez, 2000) con el objetivo de cuantificar las propiedades hidráulicas del cauce, con el fin de hacer recomendaciones en cuanto a obras de ingeniería hidráulica que pudieran mitigar los daños en las nuevas urbanizaciones que se construían en las adyacencias a este tramo del río. Se presentó un dimensionado, a nivel de Ingeniería Conceptual, de un canal de tierra para un mejor manejo de la situación e incrementar el grado de protección de la zona. Por otra parte ante el elevado riesgo de nuevas inundaciones, una empresa que ejecutaba trabajos de urbanismo en la zona, realizó trabajos preliminares de limpieza y regularización del cauce para así aumentar su capacidad hidráulica. Sin embargo, estos trabajos resultaron insuficientes a los fines de reducir o controlar las inundaciones.



Figura 55. Inundación ocurrida en una urbanización ubicada en el margen del río San Juan, en un tramo sin canalizar.

Fuente: MARNR-MGR Consultores (2002).

Ante esta situación, en el año 2001, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) decidió estudiar con una mayor profundidad, los problemas de inundaciones del área, definir y analizar soluciones tendientes a minimizar los riesgos de inundaciones en la zona y luego realizar el diseño detallado de las obras de canalización necesarias. Además se deberían establecer lineamientos y criterios generales para ordenamiento del área y resguardo contra crecientes.

Las obras de canalización propuestas como producto de los estudios y diseño contratadas por el MARN tuvieron como objetivos generales los siguientes:

- Reducción de riesgos de inundación tanto de la Comunidad como de las áreas anexas a la misma.
- Coordinación del sistema de drenaje superficial del área.

En la Figura 56 se muestra un plano de planta en el cual indican las planicies de inundación estimadas en el desarrollo del proyecto (MARN - MGR 2002). Las zonas rayadas corresponden a las áreas de inundación para la crecida de 25 años de período de retorno y el contorno mas externo corresponde a la crecida de 100 años de periodo de retorno.

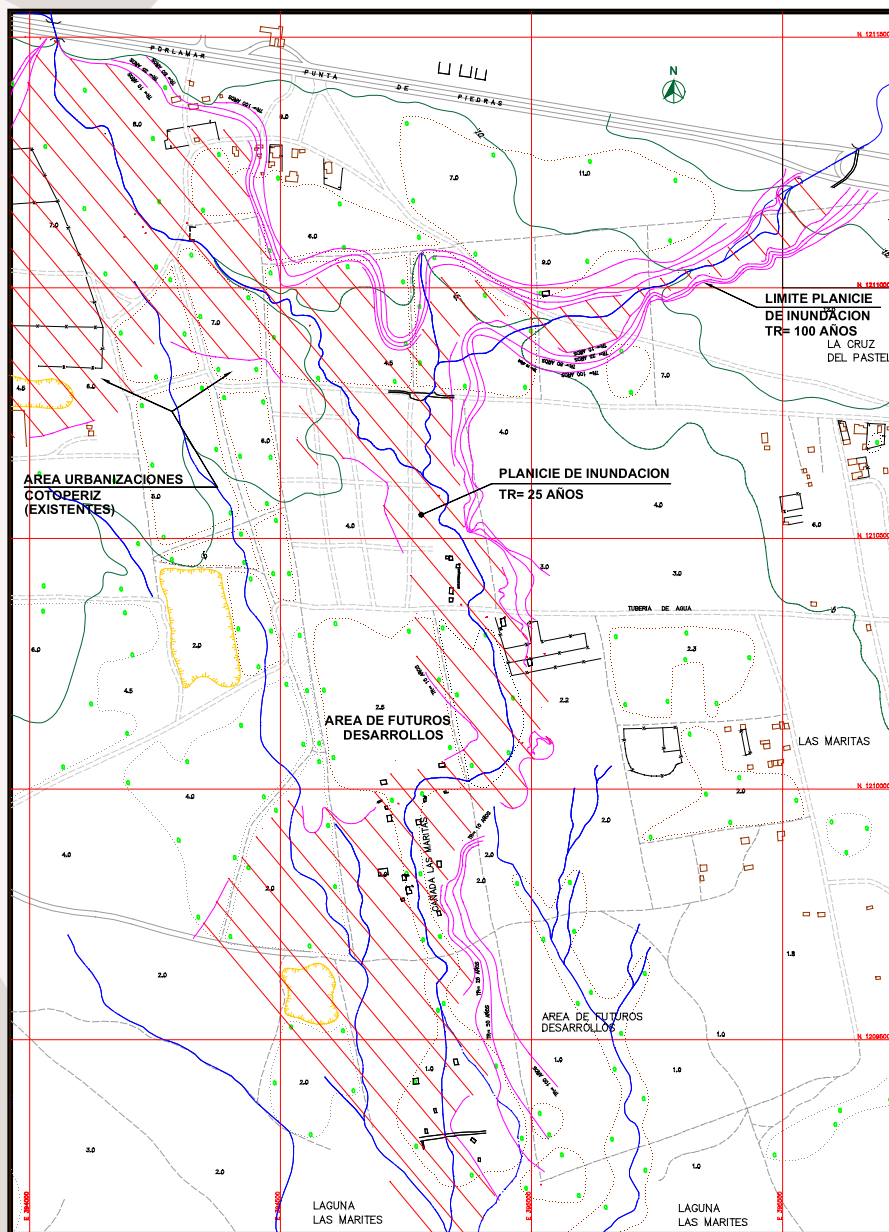


Figura 56. Planta General del área del proyecto y planicies de inundación. Fuente: MARN - MGR Consultores (2002).

1.2.4.2 Características de las Obras

● Características Generales

La canalización comprende dos cauces: el cauce del río San Juan, entre la Avenida Juan Bautista Arismendi y la descarga en la Laguna de las Maritas, más el cauce de una quebrada afluyente que descarga en el cauce principal a unos 1230 metros aguas abajo de la avenida. La canalización está constituida por canales de sección trapecial, de 12 metros de ancho de fondo en el tramo comprendido entre la Autopista y la confluencia y de 16 metros de ancho de fondo, en el tramo comprendido entre la confluencia y la descarga en la laguna. Los taludes de las márgenes son de inclinación 1,8 H: 1,0 V, de fondo móvil protegido parcialmente en la base de los taludes, con colchonetas de gaviones y traviesas de gaviones dispuestas a lo ancho del canal, cada 20 m. Los taludes o márgenes llevan protección contra la erosión mediante colchonetas de gaviones de espesor de 0,23 m, apoyadas en los taludes sobre manto geotextil, para prevenir el arrastre de finos. La canalización comprende un canal principal de 2.860 m de longitud y un canal secundario o tributario de 1.200 m de longitud. La profundidad de los canales está en los siguientes rangos: Canal Principal, comprendida entre 2,40 m y 3,50 m y Tributario, profundidad entre 1,20 m y 3,30 m. Estos valores fueron definidos en función de las profundidades derivadas del perfil de la superficie libre del flujo, para los caudales de diseño.

En la Figura 57 se muestra una planta del arreglo general de las obras. Tomando en cuenta la existencia de áreas de uso residencial, se adoptaron como caudales de diseño, los valores estimados para las crecientes de 100 años de periodo de retorno. En estas condiciones, con base en el Estudio Hidrológico se definieron los siguientes parámetros:

Periodo de Retorno de Crecientes de Diseño:	Tr = 100 años
Probabilidad de Excedencia durante la vida útil (25 años):	P = 22,21%
Cauce Principal:	Q ₁₀₀ = 157,35 m ³ /s
Tributario:	Q ₁₀₀ = 33,43 m ³ /s

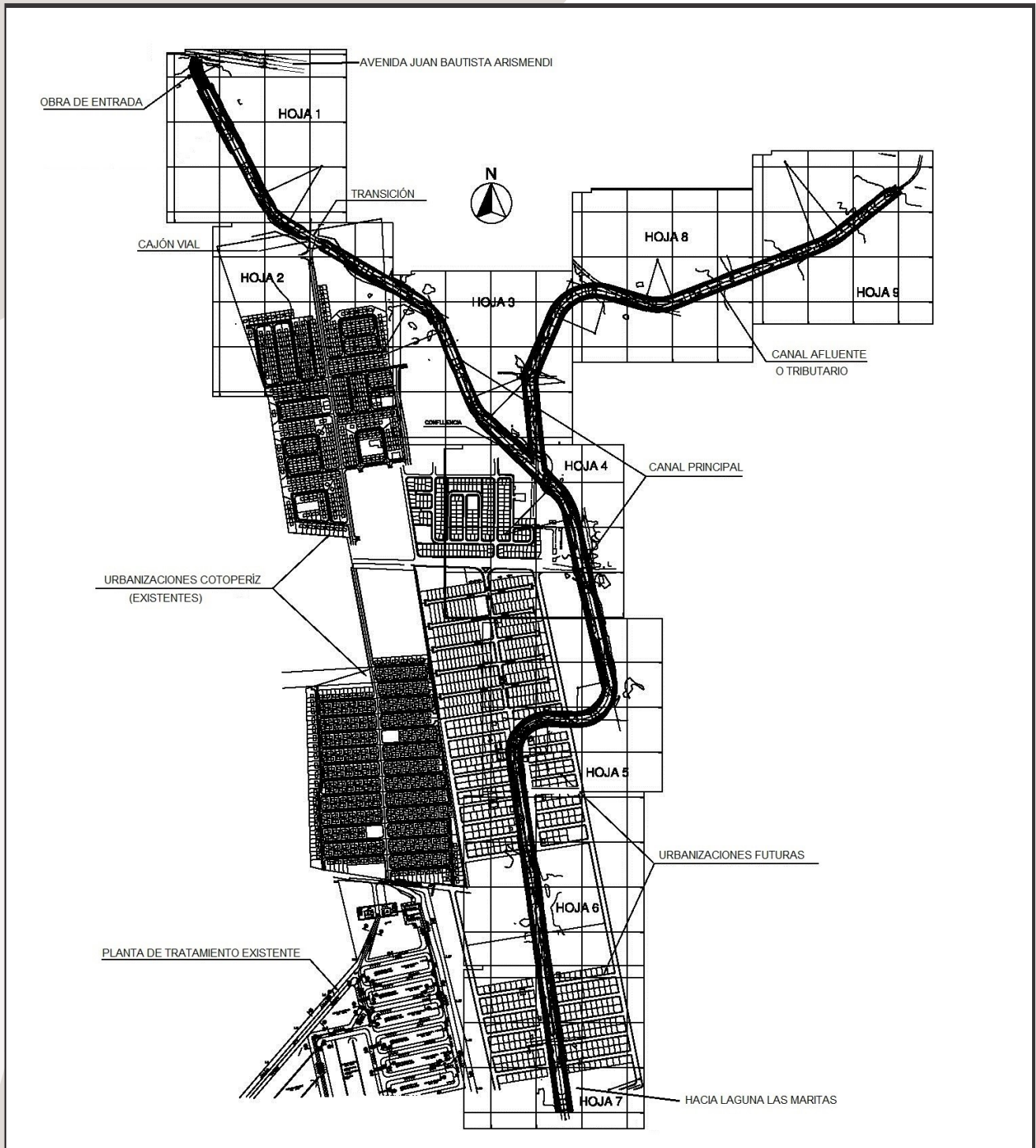


Figura 57. Canalización del río San Juan - Arreglo General – Planta.
Fuente: MARN – MGR Consultores (2002).

●Canal Principal

El trazado está definido por un alineamiento compuesto por tramos rectos y curvas circulares. El alineamiento prevé siete curvas circulares con radios comprendidos entre 50 y 150 m, en una longitud total de 2.430 metros.

El canal principal presenta dos tramos: el primero, aguas abajo, de 1.629,74 m, se desarrolla entre las progresivas 0+000 y 1+629,74 hasta en la confluencia con el tributario; el canal es de pendiente promedio $S_o = 0,001759$ (1,759 0/00). La sección hidráulica en este tramo es en general parcialmente excavada y protegida en las márgenes mediante diques marginales cuya altura es función de las condiciones topográficas y de la profundidad estimada del flujo. El segundo tramo, ubicado aguas arriba de la confluencia, de 1.230,26 m de longitud; se desarrolla entre las progresivas 1+ 629,74 y 2+860, tiene pendiente promedio $S_o = 0,003576$ (3,576 0/00). La sección es preponderantemente excavada y presenta diques marginales en tramos localizados, en función de las características topográficas asociadas al corte de meandros o la intersección con pequeños canales o quebradas. Entre las progresivas 2+338,45 y 2+410,15 se ha dispuesto una transición (Transición 2) en gaviones, de 50 m de longitud total, la cual permite el cambio de sección trapecial a una rectangular que se desarrolla en la zona central de la transición, de 19 m de longitud. La sección rectangular va ubicada en correspondencia un cajón de paso vial que se construyó frente a la Urbanización Cotoperiz I. El cajón va dispuesto en el tramo rectangular de 19 m de longitud, en el cual se previó una profundidad del flujo de 3,65 m, en el caso de la creciente de diseño. La estructura va centrada en el eje de la vía existente. En el desarrollo del tramo rectangular previó el esviaje de la vía correspondencia del cajón.

En el extremo agua arriba del canal se dispusieron un conjunto de obras que conforman las estructuras de disipación del flujo a presión en el cajón vial (condición de crecientes extremas). Se han designado estas estructuras como Obra de Entrada y Transición 1.

Obra de Entrada: tiene una longitud de 62,00 m, es de sección rectangular de 15 m de ancho, con paredes en muros de gaviones y fondo protegido con colchonetas de gaviones, de espesor $2 \times 0,23$ m., en una longitud de 24 m, y de $1 \times 0,23$ m en los restantes 38 m. Las colchonetas van revestidas con concreto. Presenta dos sectores de fondo horizontal: un tramo en curva, 33,85 m de longitud y otro recto de 28,15 m, de longitud que termina con un contradique o estructura de control de 0,80 m altura, que opera como solera de control, generando un tanque disipador. La profundidad de estas estructuras está comprendida entre 3,00 m y 3,89 m en función de las profundidades del flujo.

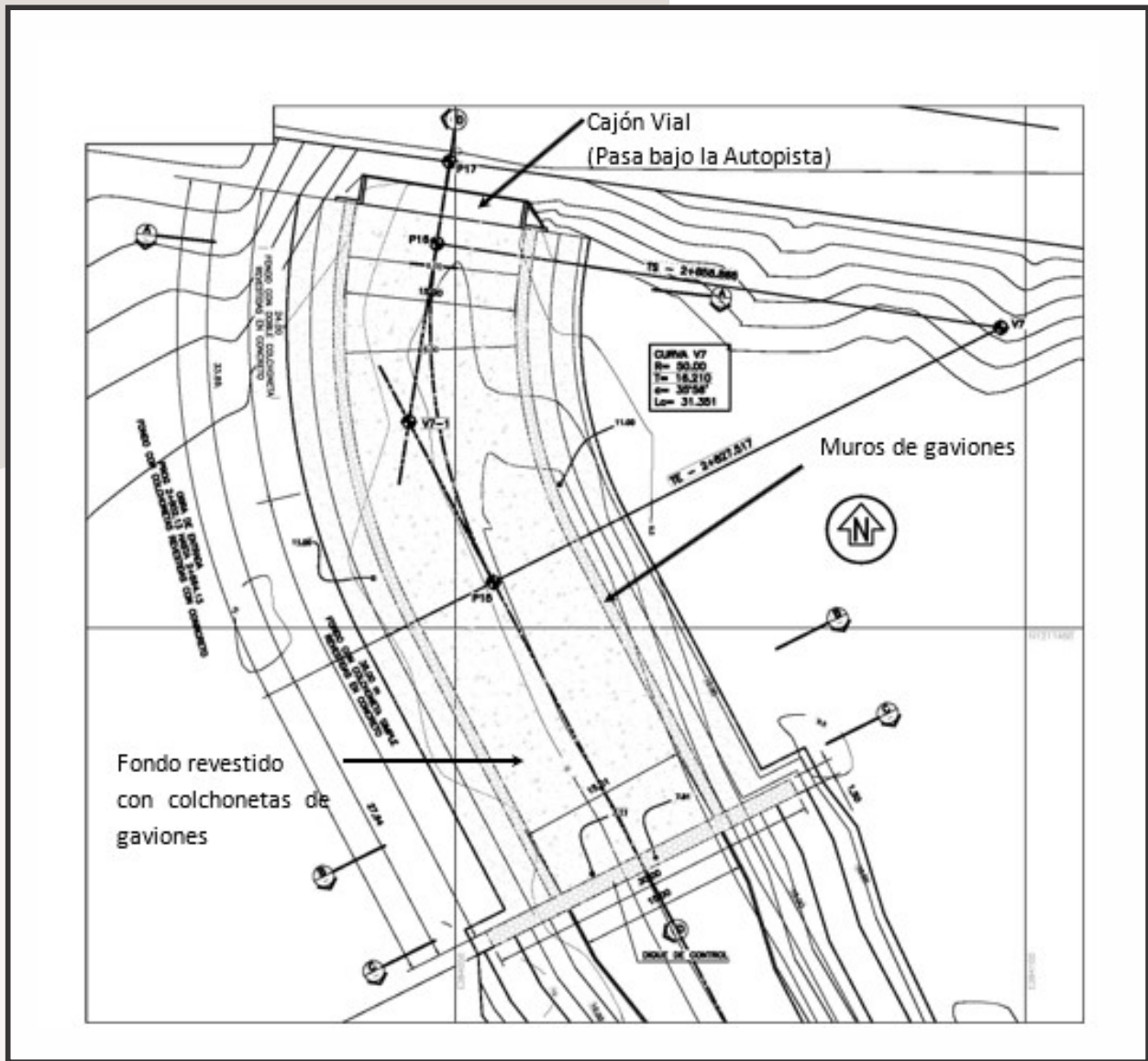


Figura 58. Canalización del río San Juan - Obra de Entrada – planta.
Fuente: MARN – MGR Consultores (2002).

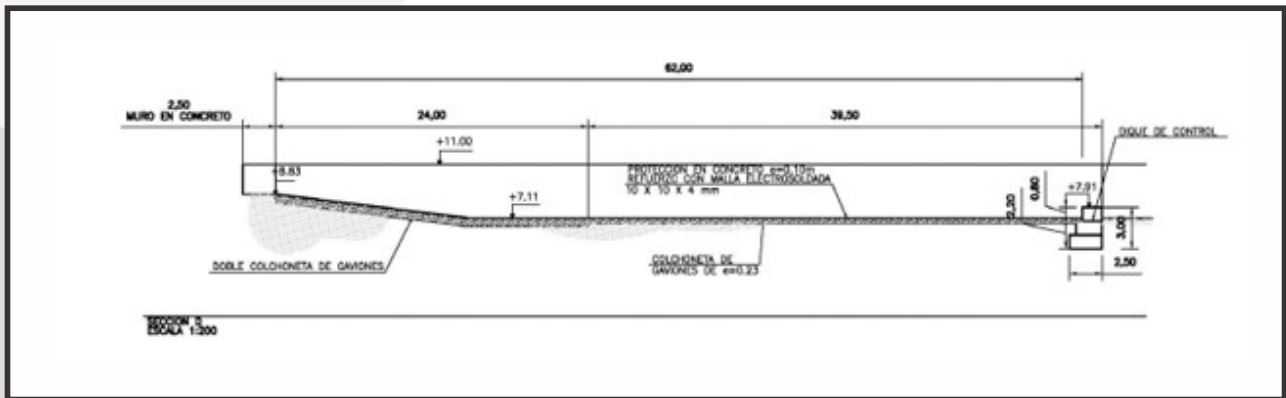


Figura 59. Canalización del río San Juan - obra de entrada – sección longitudinal
Fuente: MARN – MGR Consultores 2002.

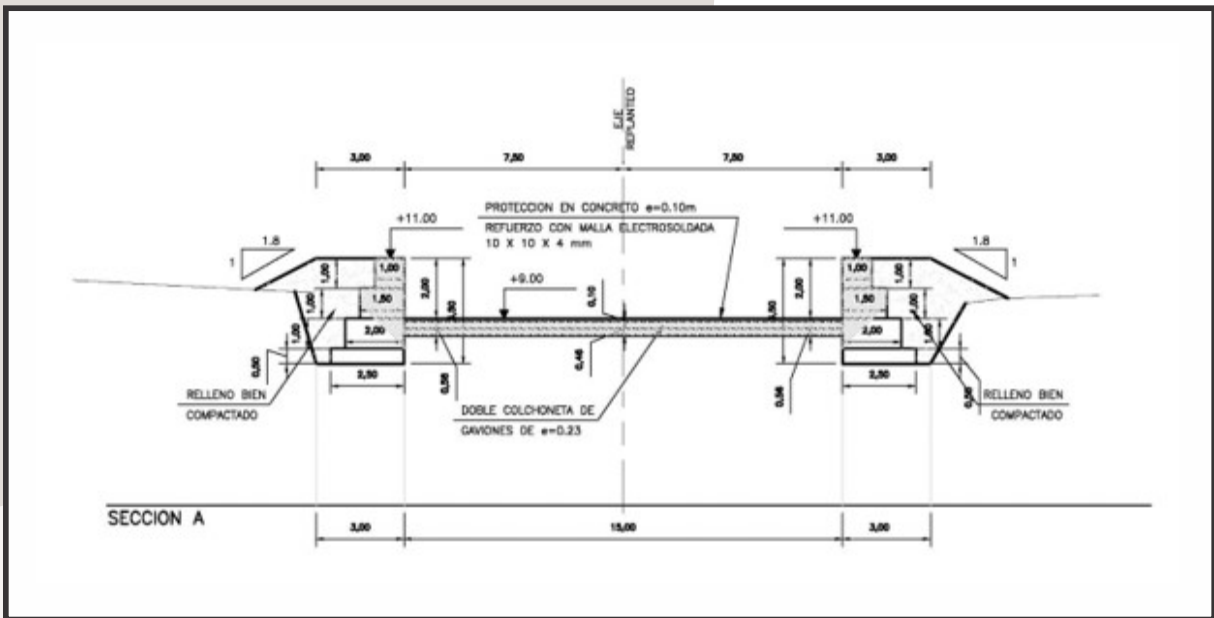


Figura 60. Canalización del río San Juan - obra de entrada – sección transversal
Fuente: MARN – MGR Consultores 2002.

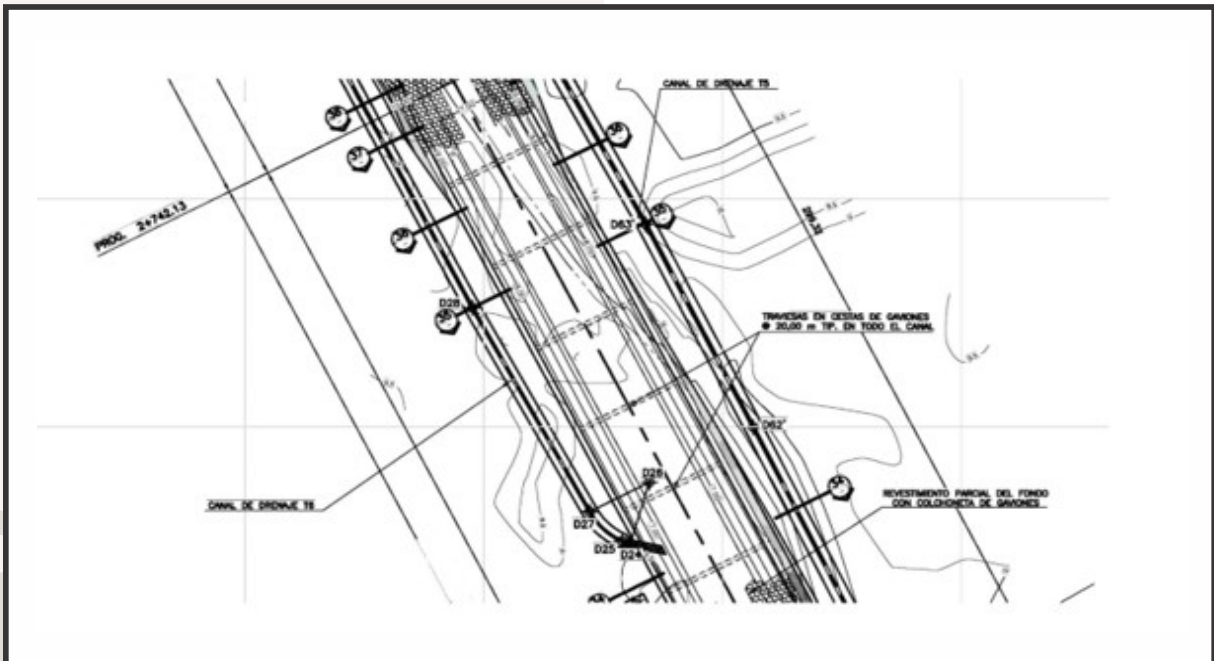


Figura 61. Canalización del río San Juan – canal principal - planta
Fuente: MARN – MGR Consultores 2002.

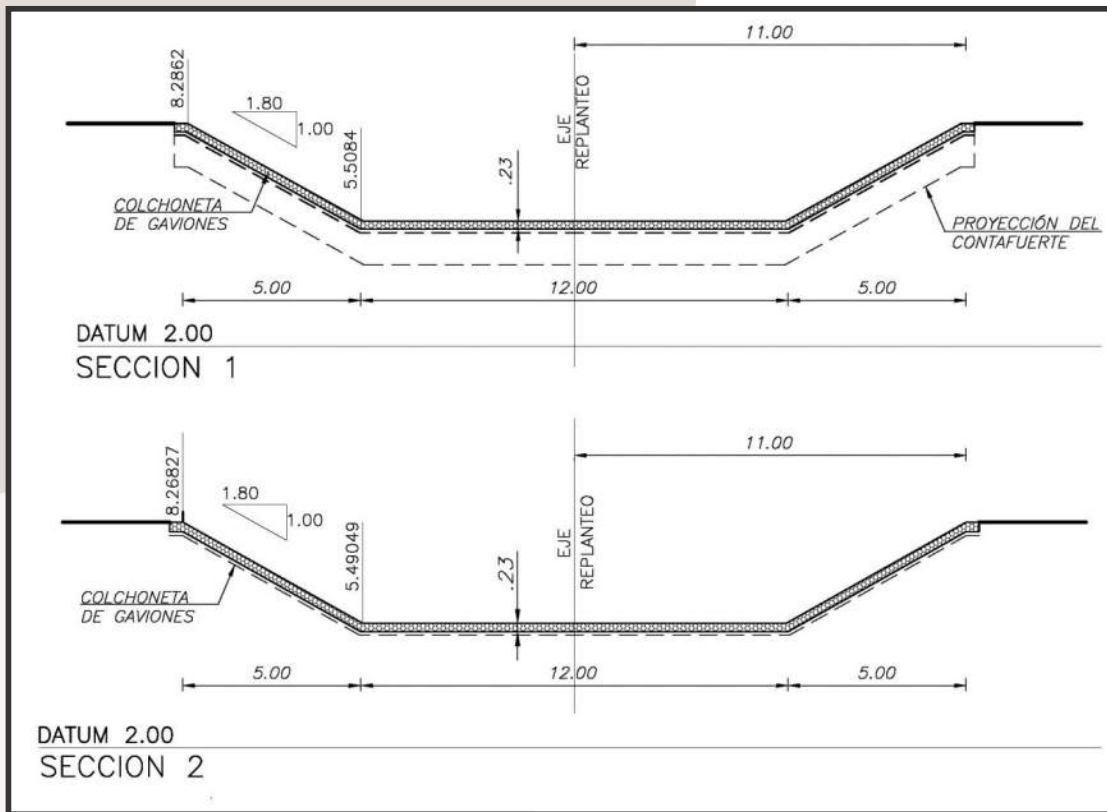


Figura 62. Canalización del río San Juan – canal principal – secciones típicas
Fuente: MARN – MGR Consultores 2002.

Transición 1: ubicada aguas abajo de la Obra de Entrada, tiene longitud de 60 m, es de sección trapecial, con ancho de fondo de 12 m y taludes inclinados 1,8H: 1,0V. En el tramo inicial aguas arriba se ha previsto una transición en el ancho de fondo, de 15 m aguas arriba a 12 m aguas abajo, la misma se desarrolla en una longitud de 8,00 m. La Transición 1 incluye dos caídas o escalones de aproximadamente 0,50 m de altura, separados 30 m entre sí. Las caídas o escalones descargan en fondo móvil, protegido lateralmente mediante estructuras de gaviones fundadas por debajo de la profundidad de socavación estimada. En las áreas de fondo móvil se propicia la formación de un pozo disipador. Al cesar el flujo de la creciente, con la reducción de la velocidad se producirá la acumulación de material y relleno del pozo de disipación.

●Tributario

Como se indicó en párrafos anteriores, esta canalización incluye un ramal afluente del canal principal. Ésta última tiene una longitud de 1.200 m; las profundidades de este están comprendidas entre 1,20 m y 3,30 m, en función de los niveles de agua estimadas en el perfil de la superficie libre del flujo, para el caudal de diseño.

El trazado del canal está definido por un alineamiento compuesto por tramos rectos y curvas circulares. El alineamiento prevé cuatro curvas circulares con radios comprendidos entre 75 y 200 m. Presenta dos tramos: el primero, aguas abajo, de una longitud de 700 m y pendiente

promedio $S_o = 0,009$ (9 0/00) y la segunda, aguas arriba, de una longitud de 500 m y pendiente promedio $S_o = 0,0165$ (1,165 0/0). La sección es preponderantemente excavada y presenta diques marginales en tramos localizados, en función de las características topográficas asociadas al corte de meandros o a la intersección con pequeños canales o quebradas.

● **Drenaje superficial**

Dado que las obras supusieron en algunos tramos, la construcción de terraplenes o diques marginales, paralelos a la canalización, fue necesario diseñar canales de drenaje paralelos al canal, los cuales conducen las aguas de escorrentía para descargarlas en puntos donde el relieve permite su desagüe sin comprometer la capacidad de la canalización principal.

1.2.4.3 Información básica empleada en el proyecto

● **Cartografía**

Se utilizaron los planos un Levantamiento Aerofotogramétrico, Escala 1: 5.000, “Proyecto Isla de Margarita, estado Nueva Esparta”, de fechas: vuelo: abril 1987, restitución: agosto 1988. Se emplearon nueve cartas. Las cartas, en formato impreso sobre papel, fueron digitalizadas por una empresa especializada en trabajos geodésicos.

● **Levantamiento topográfico**

Levantamiento topográfico a escala 1:500, fue ejecutado como parte del proyecto. El mismo cubrió el cauce del río y una franja de terreno extendida 70 metros en cada margen.

● **Información hidrológica / pluviometría**

Para el análisis de las láminas de lluvia del sector y cuenca en estudio se utilizaron las intensidades de lluvia que se obtuvieron de las curvas de Intensidad - Frecuencia - Duración propuestas por Franceschi (1984). Dada la ubicación del sector en estudio y las características altimétricas de la cuenca, se utilizaron dos (2) hietogramas de lluvia para cada período de retorno 10, 25 años, correspondientes a las curvas de la región hidrológica del proyecto, para elevaciones menores y mayores a 100 m.s.n.m., según las subáreas trabajadas y sus alturas correspondientes. Adicionalmente, los valores de hietogramas de lluvia para 50 y 100 años de período de retorno se obtuvieron de la construcción de las curvas de probabilidad de Gumbel a partir de los valores obtenidos de las curvas referidas.

● **Estudio hidrológico**

Se realizó un estudio hidrológico que formó parte de las actividades de análisis, estudio y proyecto. Este tuvo por objeto estimar los gastos que escurren por el cauce del río, con el fin de definir los gastos de diseño. Estos caudales constituyeron la base del análisis hidráulico.

Entre las características del estudio hidrológico y entre los datos de interés que aportó, vale destacar:

- El cálculo de los gastos máximos se realizó mediante el Método del Área Efectiva, expuesto en las publicaciones “Drenaje Urbano” Bolinaga 1979 y “Drenaje Vial” Franceschi

1984. Este método se basa en la simulación del comportamiento de la cuenca hidrográfica mediante un modelo lluvia - escorrentía, el cual considera la subdivisión del área contribuyente en subcuencas, a las cuales se les aplican lluvias de tormenta cuyo intervalo de duración (t_u) es mayor a todos los tiempos de concentración de las subcuencas (t_{ci}). La contribución de las subcuencas se realiza por orden cronológico y se modifica o se transitan los caudales de escorrentía por el método de Muskingum. Los gastos máximos a ser empleados en cada sub-área se generan a partir de los hidrogramas de las tormentas consideradas, generados por el Método Racional en cada una de estas subcuencas. Este último método es aplicable para cada subcuenca, dada el área relativamente pequeña de cada una de ellas.

-El Método del Área Efectiva considera las siguientes premisas:

- La lluvia es de intensidad constante, tanto sobre el área tributaria como en el tiempo.
- No se considera explícitamente el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos, cauces, etc., el cual es mayor mientras menos impermeable sea el área.
- Se considera el efecto del amortiguamiento o retardo mediante el tránsito según el método de Muskingum.
- El coeficiente de escurrimiento es constante en cada subcuenca, lo cual sólo es válido para áreas homogéneas, desde el punto de vista de permeabilidad. Esto se cuida al momento de definir la segmentación del área total en las subcuencas del modelo.

-El método permite obtener hidrogramas del escurrimiento superficial tanto en el cauce principal como en cada uno de los tramos o segmentos de las subcuencas definidos. Esto permite discriminar los aportes de los diversos tributarios, quebradas y demás elementos contribuyentes, es decir los caudales, en forma de hidrogramas, en cada punto aguas abajo de las subáreas definidas en el modelo.

● Estudios Geotécnicos

-Fase I - Proyecto Original (2001)

Las propiedades de los materiales del cauce del río San Juan fueron aportadas por el “Estudio Hidrológico e Hidráulico del Río San Juan, en su zona Litoral” Martínez, 2000, estos parámetros fueron obtenidos a partir de sondeos realizados por la firma CAVIPRECA, empresa constructora de varios desarrollos urbanísticos de la zona.

-Fase II - Optimización (2005)

Las propiedades de los materiales del cauce del río San Juan y las características de los materiales de fundación de las obras fueron aportados por el Estudio Geotécnico complementario realizado por Geomín, C.A. para inversiones FORMAR en el año 2005.

1.2.4.4 Alcance del proyecto

El proyecto incluyó:

- Recopilación y análisis de información básica
 - Recopilación de información cartográfica
 - Digitalización de información cartográfica
 - Recopilación de información hidrológica
- Estudio hidrológico
- Levantamiento topográfico
- Estudio geotécnico
- Análisis y diseño hidráulico
 - Canalización
 - Drenajes
- Diseño geotécnico
 - Muros de gaviones
 - Taludes
- Análisis y diseño estructural

1.2.4.5 Desarrollo del proyecto

El proyecto se realizó en dos etapas: la primera etapa se llevó a cabo en el año 2001, la cual fue contratada por el MARN. Esta comprendió el diseño de ingeniería de detalle, incluyendo los estudios básicos de levantamiento topográfico, estudio hidrológico, análisis de alternativas, optimización técnico-económica y el diseño de ingeniería de detalle en sí. La segunda etapa fue contratada por la empresa constructora Inversiones Formar, C.A., con el objeto de optimizar la solución original y de mejorar o aumentar la cobertura o alcance de un tramo de la canalización. En efecto, la empresa Inversiones Formar, C.A., que había obtenido la buena pro en una licitación pública para la construcción de una parte de la canalización, se dirigió a la empresa proyectista y solicitó que se estudiara la posibilidad de realizar una optimización del proyecto original, tomando en cuenta los siguientes argumentos: con los fondos asignados para el contrato, solo era posible canalizar un tramo de cauce, hasta aguas arriba de las primeras urbanizaciones ubicadas en la margen derecha del cauce, las más afectadas por los problemas de inundaciones. La empresa planteó la posibilidad de realizar alguna modificación/ optimización que permitiera lograr, con el mismo presupuesto, construir aproximadamente una longitud 15 a 20% mayor de canal, de modo de pasar o superar el área ocupada por las referidas Urbanizaciones (llamadas Cotoperíz I, II y III). Para esta segunda etapa se llevó a cabo un estudio geotécnico más detallado y se estudió la optimización de la solución en términos del diseño de los taludes de excavación y

el método de construcción del revestimiento de estos. Se adoptó la solución de colchonetas de gaviones que si bien comportaban un precio unitario mayor que la solución original con gaviones caja, permitió mejores rendimientos y facilidades de ejecución, lo cual se reflejaría, a la larga, en menores costos globales. Se logró una optimización que se tradujo en la construcción de una longitud 18% mayor que con la solución original, con lo cual se logró que la canalización a construir con los fondos disponibles superara o pasara hasta aguas abajo de la margen de las Urbanizaciones antes referidas.

A continuación, se describen los aspectos más relevantes considerados en cada una de las etapas en las cuales se desarrolló el proyecto y su optimización:

Primera Etapa. Proyecto Original (2001)

En el río San Juan descarga un tributario de su margen izquierda, cuya confluencia se ubica aproximadamente 1.630 metros aguas arriba de la descarga en la Laguna Las Maritas. Ambos cauces son de baja pendiente, de alineamiento sinuoso. Dadas las características morfológicas del área en la condición natural los cauces del río y su tributario presentan tendencia a la sedimentación. Sin embargo, dadas las características de los materiales de fondo, estos son susceptibles de sufrir de erosión durante la ocurrencia de los caudales pico de crecientes. Por otra parte, las obras de canalización modificarían en ciertas áreas el alineamiento y las condiciones originales de pendiente del cauce. En esta situación, fue necesario considerar en las condiciones del diseño, los efectos de la socavación potencial, en caso de crecientes, y la protección de las márgenes contra la erosión.

●Optimización de la solución

Se realizó la optimización de la solución en términos técnicos y económicos. Se prestó atención particular a la definición y optimización del trazado de la canalización, al análisis de sistemas alternativos de revestimiento y protección contra la erosión, y a la definición de las estructuras de disipación de la energía los cuales son requeridas en la zona de captación o entrada, aguas abajo del paso del río bajo la autopista. En esta última área, era necesario prever la disipación de la energía del flujo, aguas abajo del cajón de drenaje que pasa bajo la vía, el cual opera en caso de crecientes extremas ($T_r > 50$ años) como conducto a presión. Adicionalmente, como en esta área es necesario llevar el fondo del canal a niveles inferiores a los del área de la urbanización, luego de vencer la diferencia de cota se requiere disipar la energía correspondiente para limitar las velocidades del flujo.

Es de destacar, que en la definición del alineamiento se procuró respetar en la medida de lo posible el alineamiento natural de los cauces existentes.

●Alternativas Estudiadas

En la definición de la solución de proyecto se estudiaron diferentes alternativas, las cuales consideraron, entre otros, los siguientes aspectos:

- Optimización del Alineamiento

La definición del alineamiento de la canalización siguió en líneas generales los cauces del río San Juan y de su tributario. Se estudiaron trazados conformados por tramos rectilíneos y curvas circulares que se ajustan a los alineamientos de los cauces naturales. Se compararon cuatro trazados alternativos y se seleccionó aquel que presenta menor longitud y menores volúmenes de excavación.

-Sistema de protección contra la erosión y socavación

Las características hidráulicas de la canalización y las propiedades de los materiales del fondo y taludes implican que, para las condiciones de flujo durante crecientes, las velocidades del agua pueden producir socavación en el fondo del canal y erosión en las paredes. Para garantizar la estabilidad de la canalización era necesario proveer una protección de la superficie que evitara o estabilizara los procesos de erosión.

-Estructuras de Disipación de la Energía

Se estudiaron como alternativas de revestimiento o protección de la canalización las siguientes:

●Revestimiento de Concreto Armado

Revestimiento mediante losas de concreto armado, de espesor aproximado de 0,30 m, apoyadas en el fondo y taludes, dispuestas a todo lo largo de la canalización, con tubos de drenaje en los taludes para aliviar presión hidrostática, separados cada 2,50 m. Los taludes se inclinan 1,5 a 1,8 en 1 (H V).

●Protección mediante enrocado sellado con Mortero

Consiste en una protección con enrocado sellado con mortero de cemento. El revestimiento va colocado en los taludes con inclinación 1,5 a 1,8 en 1 (H V) y es llevado en el fondo hasta la profundidad estimada de socavación. Se consideró un espesor de 0,75 m y roca con 0,45 m de diámetro, el cual fue definido en función de la velocidad del flujo. El sellado con mortero se requiere para garantizar la estabilidad de la roca sobre el talud. Contempla la colocación de tubos de drenaje cada 4 m.

●Protección mediante Gaviones y Colchonetas de Gaviones

Protección de los taludes mediante colchonetas de gaviones, de espesor aproximado de 0,25 m apoyadas en los taludes de inclinación 1,5 a 1,8 en 1 (H V) y sobre material geotextil para prevenir el arrastre de finos. Van apoyadas en la base del talud sobre cestas de gaviones de 1,00 m de ancho por 1,5 m de profundidad. Para prevenir el efecto de la socavación en el fondo, a nivel del pie de los taludes, se prevé la disposición de espigones, dispuestos con su eje transversal al eje de la canalización y contiguos a los taludes; simétricos, de 3,5 m de longitud y separados cada 12 m en la dirección del eje del canal. Son elaborados con cestas de gaviones de profundidad igual a la profundidad estimada de socavación. Su función es la de propiciar la acumulación de material en las márgenes, al pie de los taludes, evitando la socavación. De este modo se produciría la socavación en el área central del canal, controlada y alejada de las márgenes.

Comparación de las alternativas

La alternativa mediante concreto armado se presentaba como la más estable, desde el punto de vista estructural, pero representaba la solución más costosa. En cuanto a la solución mediante enrocado: presentaba ventajas frente a la solución de concreto armado en términos de costos, se adaptaba de manera apropiada a las condiciones de revestimiento y protección requeridos. La solución mediante gaviones presentaba características técnicas apropiadas: como revestimiento, protege la superficie de excavación y permite el crecimiento de hierbas, lo cual representaba ventajas como protección y como solución ecológica. Las características de deformabilidad de estas estructuras permiten, que, en caso de asentamientos, su integridad se conserve hasta niveles de deformación elevados. Constituyó la solución más económica. Esta última se seleccionó como solución de proyecto.

Segunda Etapa. Optimización de la solución original con fines de aumentar la cobertura o extensión de la canalización (2005)

Como se describió en párrafos anteriores, esta etapa del proyecto tuvo por objeto el de optimizar la solución de proyecto original, con el fin de mejorar o aumentar la cobertura o alcance de la obra de canalización que se lograría con el monto disponible del proceso de licitación. Se logró una solución que permitió construir, con el monto asignado, disponible para la fecha, un tramo de canalización mayor en un 18% de longitud, con lo cual se lograba pasar o superar el área ocupada por urbanizaciones más aguas arriba (llamadas Cotoperíz I, II y III).

● **Optimización**

Generalidades

Se identificaron varios elementos que podrían redundar en un mayor rendimiento de los fondos. En primer lugar, se determinó la viabilidad de construir la transición prevista a la altura un cajón vial (cajón Cotoperíz), denominada Transición 2, mediante revestimiento de gaviones en lugar de ejecutarla en concreto armado, esto permitiría una economía, así mismo, la confluencia, prevista originalmente en concreto armado, se diseñó utilizando también revestimiento de gaviones.

Otro elemento de particular interés es el que correspondió al trazado altimétrico del canal principal: se estudiaron diferentes alternativas de trazado altimétrico, modificando la pendiente de fondo del canal, la disposición de las obras de entrada y las secciones hidráulicas de la canalización. Se obtuvo como resultado una solución que redujo las excavaciones en el tramo inicial (aguas arriba) del canal, permitió una pendiente de fondo mayor y en consecuencia una reducción del ancho de la sección. Esta solución permitió optimizar los valores de excavación y de rellenos.

Por otra parte, con base en los resultados del nuevo estudio geotécnico, más detallado, se evaluaron las condiciones de protección y revestimiento del canal y sus márgenes y sobre esta base se optimizaron las características de las obras de protección: colchonetas, gaviones y espigones. En efecto, con base en los parámetros aportados por el estudio geotécnico, se

obtuvieron valores más precisos de las profundidades estimadas de socavación y estos resultados permitieron adoptar una solución de protección de las márgenes, la cual elimina los gaviones caja originalmente previstos en la base de los taludes e incorpora una protección parcial del fondo mediante colchonetas de gaviones. Esta solución resultó ser de más fácil ejecución, más económica y a su vez perturbaba menos el fondo natural del cauce; a su vez es de condiciones de seguridad iguales o superiores a la solución original.

1.2.4.6 Criterios y consideraciones de diseño

●Crecientes de Diseño - Periodo de retorno y riesgo estimado

Como se indicó en párrafos anteriores, se tomó en cuenta la existencia de áreas de uso residencial, se adoptaron como caudales de diseño, los valores estimados para las crecientes de 100 años de periodo de retorno.

●Diseño Hidráulico

El estudio de las condiciones generales del flujo de las aguas a lo largo de la canalización del río y de su afluente, se realizó mediante el análisis hidráulico de los perfiles superficiales, para cada una de las condiciones de caudal consideradas. En el diseño de las diversas estructuras, se consideraron, en cada caso, las condiciones, modelos o criterios de diseño aplicables a cada uno de ellos, según se define en los apartes siguientes:

●Análisis de Perfiles Superficiales

Se tomaron en cuenta las características del cauce (características geométricas, topográficas y contorno). Los modelos empleados consideran las hipótesis y condiciones de régimen:

-Método unidimensional para el cálculo de perfiles superficiales en condiciones de régimen permanente, gradualmente variado. Permite analizar una red de canales, un sistema dendrítico o un solo Cauce. El procedimiento de cálculo se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía, la cual permite la determinación de la profundidad a lo largo de cada cauce o afluente que se considere. Las pérdidas de carga hidráulica consideradas son: pérdidas por fricción, calculadas mediante la fórmula de Manning, y pérdidas por Contracción/Expansión proporcionales a la variación de la carga de velocidad.

-Para condiciones de Flujo Rápidamente Variado: resaltos hidráulicos, puentes, contracciones y confluencias, la determinación de los perfiles se realiza a partir de las ecuaciones de momentum (conservación de la cantidad de movimiento).

●Saltos y Estructuras de Disipación

Determinación de perfiles superficiales, ubicación y dimensiones y propiedades de resaltos hidráulicos mediante:

-Principios Básicos

▶Energía Específica

- ▶ Fuerza Específica
- ▶ Profundidades de Socavación

-Socavación General

- ▶ Método de Lischtuan – Levediev (Suárez Díaz, 1992)

-Socavación en caídas, áreas de impacto

- ▶ Ecuaciones de Achinte (1979) (Suárez, 1993)

1.2.4.7 Resultados

Las obras fueron ejecutadas en una parte del cauce, se canalizaron los primeros 450 metros ubicados aguas abajo de la avenida. Desde la finalización de las obras, no se han vuelto a producir inundaciones de las urbanizaciones Cotoperíz I, II y III, en la cuales se presentaban originalmente inundaciones prácticamente cada año. En la Figura 63 muestra una vista de la canalización operando durante una creciente ocurrida el en diciembre del año 2008.



Figura 63. Vista de la canalización del río San Juan operando durante una creciente. Se observa desde aguas arriba el área de la obra de entrada, disipador y transición 1, al fondo el área urbanizada. **Fuente:** MARNR-MGR Consultores (2002).

1.2.4.8 Costos de Proyecto / Ingeniería

Tal como se indicó en párrafos anteriores, el proyecto de la obra se llevó a cabo en dos etapas: Primera Etapa - Proyecto Original (2001) y Segunda Etapa - Optimización (2005). La primera incluyó Investigaciones y Estudios Básicos (Cartografía, Topografía) e Ingeniería de Detalle (Estudio Hidrológico y Diseño de Ingeniería). La Segunda Etapa incluyó Estudio Geotécnico Complementario y Diseño de Ingeniería de detalle.

En la Tabla 14 se presentan los costos de cada una de las etapas discriminados por tipo de actividades.

Tabla 14. Canalización río San Juan, Margarita, Venezuela. Resumen de costos de proyecto / Ingeniería

Fuente: FORMAR - MGR Consultores 2005.

DESCRIPCIÓN / CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	FECHA
I ETAPA Proyecto Original (2001)			
Estudio Hidrológico y Diseño de Ingeniería de Detalle	Long Canal (m)	3,630.26	30-06-01
Conversión a digital de Planos de la cuenca hidrográfica	Ha	15,600	30-06-01
Escaneo de planos Esc. 1:5.000	Ha	15,600	=
Rectificación y Georeferencia	Ha	15,600	=
Vectorización de Información Hidrográfica	Ha	15,600	=
Vectorización de base topográfica de tramo de Estudio	Ha	1,400	=
Levantamiento Topográfico	Ha	34	=
II ETAPA - Optimización 2			
Diseño de Ingeniería de Detalle	Long Canal (m)	2,430.26	02-04-05
Estudio Geotecnico Complementario	Long Canal (m)	452.58	08-04-05

1.2.4.9 Costos de Construcción

En el año 2005 se construyó el tramo aguas arriba de la canalización, comprendido entre La Autopista Juan Bautista Arismendi y el acceso a las Urbanizaciones Cotoperíz I, II y III, tramo “Transición - Autopista Prog 2+406,29 a 2+840,13”. La misma comprendió: Canal Revestido en Gaviones (Prog 2+406,29 a 2+742,13), Obra de Disipación (Prog 2+742,13 a 2+802,13), Obra de Entrada Prog (2+840,13 a 2+802,13), Muros en Concreto Armado a la entrada del canal (Prog 2+840,13 a 2+858,87) y la construcción canales de drenaje de escurrimiento superficial: Canal de Drenaje Revestido en Concreto Prog (2+399,00 a 2+858,87). En resumen, los trabajos de construcción tuvieron el siguiente alcance y costos: Canalización 452,58 m más canales y cunetas de concreto armado para drenaje superficial 459,87 m de. El costo total de la obra fue de US \$ 1.891.235,20. En la Tabla 15 siguiente se presentan los costos de la obra, discriminados por tipos de obras y progresivas.

Tabla 15. Canalización río San Juan, Margarita, Venezuela. Canal aguas arriba de la transición - autopista (Prog 2+406.29 a 2+2+858.87). Resumen de costos de construcción. Fuente: FORMAR 2005 b.

CONCEPTO U OBRA	LONGITUD (m)	PRECIO (Bs)	COSTO (US\$)	Costo/Longitud (\$/m)
Instalaciones Provisionales y Replanteo	(1)	39,249,593.65	18,306.71	40.45
Obras Preliminares	(1)	1,358,466.85	633.61	1.40
Control de Agua	(1)	2,552,160.00	1,190.37	2.63
Muros en Concreto Armado a la entrada del canal Prog 2+840.13 a 2+858.87	18.74	27,608,844.09	12,877.26	687.15
Obra de Entrada Prog 2+840.13 a 2+802.13	38.00	627,074,087.45	292,478.59	7,696.80
Obra de Disipación Prog 2+742.13 a 2+802.13	60.00	1,637,918,764.35	763,954.65	12,732.58
Canal Revestido en Gaviones Prog 2+406.290 a 2+742.13	335.84	1,031,354,244.46	481,042.09	1,432.35
Canal de Drenaje Revestido en Concreto Prog 2+399.00 a 2+858.87 (Drenajes) (2)	459.87	687,692,113.57	320,751.92	697.48
Total Canalización Prog 2+406.29 a 2+858.87	452.58	4,054,808,274.42	1,891,235.20	4,178.79

(1) Se considera la longitud total de la canalización

(2) Su longitud no se incluye dentro de la canalización

(3) Cambio Oficial (Bs/\$) Oficial BCV (Venta) Junio 2005

2,144.00

1.3 GESTIÓN REACTIVA

En este informe se recopila información de distintas fuentes, y que permite estimar la naturaleza y el volumen de las inversiones que pudieran ser requeridas a la hora de promover la consolidación de sistemas de alerta temprana en los países de América Latina y El Caribe. En este sentido el fortalecimiento e incremento regional de sistemas de alerta temprana es presentada aquí como una de las distintas estrategias complementarias que debieran implementarse a la hora de reducir el impacto de este tipo de desastres entre los países de nuestra región.

Un aspecto muy importante que debe aclararse a la hora de pretender estudiar la rentabilidad de un sistema de alerta temprana es que, si bien es cierto que a la hora de hacer inversiones en proyectos empeñados en promover la gestión de riesgos socionaturales se sugiere siempre identificar parámetros financieros que brinden idea sobre la relación coste/beneficio¹ de dichas inversiones, por lo general, para el caso de los Sistemas de Alerta Temprana estos indicadores econométricos suelen ser muy poco atractivos, y ello se debe a que **los Sistemas de Alerta Temprana no impiden la destrucción de la infraestructura de desarrollo urbano/rural**, porque dicha infraestructura - salvo casos contadísimos - carece de la capacidad de “desalojar” las zonas de riesgo en que fue ubicada.

Donde los **Sistemas de Alerta Temprana si han demostrado sólidamente sus beneficios, es en su capacidad de reducir sustancialmente la morbi-mortalidad humana asociada a la ocurrencia de desastres hidroclimáticos, y dicha capacidad justifica plenamente las inversiones que los mismos ameritan**, independientemente de lo difícil que pudiera ser el ponderar sus relaciones coste/beneficio.

En uno de los primeros productos entregados en el marco de esta consultoría² se demostraba que el uso de Sistemas de Alerta Temprana en nuestra región es bien conocido. De hecho, en aquel informe éramos capaces de identificar un total de 87 experiencias SAT de distinta escala y características, operando actualmente y distribuidos en un setenta y seis por ciento de los países que integran América Latina y El Caribe (Figura 64). Entre las distintas manera como se pudiese interpretar este hecho, quisiéramos sugerir que los SATs en nuestra región pudieran representar de alguna manera, una forma de intervenir escenarios urbanos y/o rurales caracterizados por presentar inaceptables niveles de riesgo asociados a eventos hidroclimáticos, y que dichos escenarios en esencia no son más que el producto de procesos insostenibles de crecimiento anárquico y del irrespeto a criterios básicos de planificación territorial en zonas de reconocida recurrencia histórica de inundables y/o aludes torrenciales.

¹ Son frecuentes en este sentido el desarrollo de análisis financieros en los que se comparan los costos de las inversiones en prevención/mitigación de riesgos que se proponen, con los costos de reposición/rehabilitación de la infraestructura de desarrollo que pudiera verse destruida/afectada ante un desastre, de no hacerse ningún tipo de intervención (CEPAL 2014).

² El documento parte de este componente de inundaciones, llamado "Visión general de la gestión de riesgo de inundaciones antes el cambio climático".

Desde luego que ante estas condiciones, resulta extemporáneo promover el tratamiento prospectivo del riesgo -que es sin duda el más sensato y rentable para reducir este tipo de desastres -, y ante este hecho, la posibilidad de optar por el establecimiento de planes para la gestión correctiva - comúnmente basada en la ejecución de obras destinadas al control de torrentes, represas de control de inundaciones, canalizaciones, etc. -, se topa con la limitante de los altos costos los altos costos que este tipo de medidas suele representar para unos países unas erogaciones que no siempre pueden ser asumidas. Ambas realidades comunes a la mayoría de nuestros países probablemente promueven que se opte por la promoción de Sistemas de Alerta Temprana, que, sin dejar de ser estrategias que se limitan al abordaje sintomático del problema, representan sin duda formas relativamente económicas, de corto plazo y que han demostrado ser muy eficientes para reducir una de las aristas más sensibles del impacto de los desastres en nuestra región: el impacto en la morbilidad/mortalidad humana.³

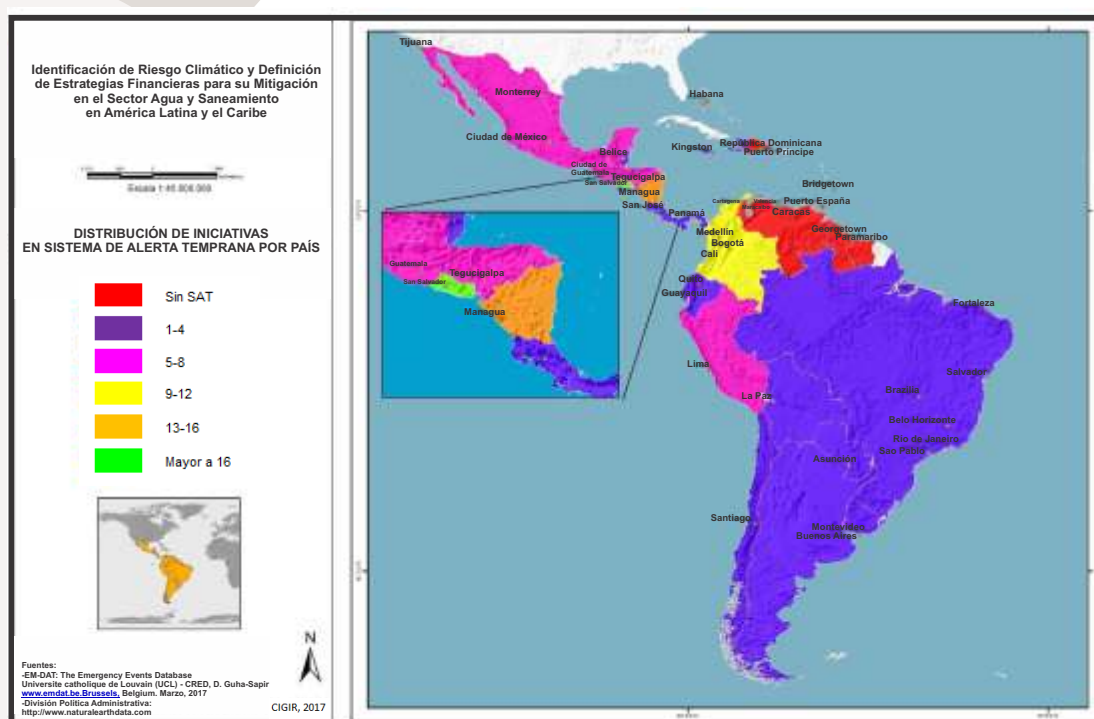


Figura 64. Mapa de distribución de iniciativas SAT en América Latina y El Caribe. Fuente: BID (2017).

1.3.1 Algunas experiencias con Sistemas de Alerta Temprana ante Inundaciones y Aludes Torrenciales

1.3.1.1 Estableciendo estándares para estimar los costos de un SAT ante inundaciones/ Aludes Torrenciales

Es un hecho cierto que detrás del propósito de “promover el diseño e implementación de un

³ Es forzosa la reflexión que en este sentido debe hacer un ente para el desarrollo regional como el Banco Interamericano de Desarrollo, y ejemplos como lo ocurrido tras los huracanes Irma y María - en donde eficientes y sofisticados SATs permitieron una muy baja mortalidad, pero donde muy poco se pudo hacer para evitar el devastador impacto que dichos fenómenos dejaron en el desarrollo de esos países - muestran con crudeza la naturaleza del dilema que los SATs representan.

sistema de alerta temprana” es posible encontrar iniciativas de muy diverso tipo, que son fomentadas por múltiples actores, que a su vez obra de muy diversas perspectivas. De hecho, en la revisión de experiencias desarrollada en el marco de este estudio⁴ se sugería que, en función del tipo órgano que lo promueve y lo instrumenta, en el contexto regional era posible encontrar iniciativas SATs de tres tipos:

● **Iniciativas de carácter institucional**

Constituyen los esfuerzos más difundidos en la región. Si bien su diseño e implementación suelen estar en manos de instancias adscritas a los niveles de gobierno estatal/departamental o locales, en su diseño e instrumentación se encuentra con frecuencia el acompañamiento de entes de cooperación regional e internacional que financian la adquisición de equipos de monitoreo, los trabajos de caracterización de áreas de riesgo e incluso los procesos de articulación/coordinación interinstitucional y de capacitación comunitaria que acompañan la implementación del SAT.

● **Iniciativas de carácter técnico-académicas**

Comúnmente implementadas por universidades, centros de investigación y otros actores regionales vinculados al sector conocimiento. Su diseño, operación y mantenimiento – en el caso universitario – suele justificarse como actividades de extensión académica y el sesgo que se les da a su funcionamiento comúnmente se centra en el monitoreo y la instrumentación de cuencas y microcuencas pilotos.

● **Iniciativas de tipo comunitarias**

Este tipo de iniciativas se centra exclusivamente en mecanismos locales de organización comunitaria para actuar ante eventuales inundaciones/aludes. Suelen ser sumamente económicos y su plataforma tecnológica y respaldo científico-técnico suelen ser nulos – dos razones por las cuales parecieran ser el preferido de muchos programas e iniciativas para la preparación para casos de desastres de poco presupuesto y poca rigurosidad técnica que con frecuencia auspician en nuestro país diversos organismos nacionales, regionales e incluso internacionales.

Sobre la base de esta primera caracterización, conviene mencionar que a la hora de seleccionar los estudios de casos que han sido incluidos en el presente informe a los efectos de servir de ejemplo del tipo de inversiones que pudieran desarrollarse para el fortalecimiento de Sistemas de Alerta Temprana en nuestra región, nos centraremos exclusivamente en el fortalecimiento de iniciativas de carácter institucional, por ser estas las que a nuestro juicio más se asemejan a los objetivos y formas de intervención que el Banco Interamericano de Desarrollo suele mantener con los países de América Latina y El Caribe.

⁴ Para mayor información consultar el documento de esta serie, llamado "Visión general de la gestión de riesgo de inundaciones ante el cambio climático".

Un segundo aspecto que hemos asumido a la hora de seleccionar los estudios de casos que se incluyen en este documento es el incorporar solo experiencias SATs que respetan los lineamientos generales que han sido definidos por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, y que se recogen en la Conferencia Mundial sobre Alerta Temprana (EWC 2005).

De estos documentos consideramos particularmente importante recordar que un Sistema de Alerta Temprana solo podía ser reconocido como tal si cuenta con cuatro subsistemas fundamentales, distintos y de similar complejidad e importancia. Estos subsistemas son:

a.- Subsistema de Instrumentación y Monitoreo: Vinculado al diseño, instalación, calibración y mantenimiento de dispositivos telemétricos que controlan de manera permanente los niveles de los parámetros que sugieren la potencial activación de los protocolos de respuesta y que, en el caso de inundaciones, están referidos al registro de los niveles y duración de las lluvias, la variación en las alturas de cauces, la composición del agua, etc.

b.- Subsistema de Caracterización de Riesgos: Encargado de identificar geoespacialmente los distintos niveles de exposición a la amenaza de inundación que se pudieran registrar en el espacio local urbano o rural en el que el SAT está instalando. Este subsistema debe estar integrado, para el caso de escenarios de inundaciones, por expertos en caracterización de amenazas hidrogeológicas (hidrología, geomorfología, etc.) y en el mismo conviene el aporte que pudieran dar expertos en temas de vulnerabilidad física de instalaciones expuestas (ingenieros, urbanistas, etc.) a fin de conocer cuáles son las zonas que deberían ser evacuadas, hacia cuales áreas seguras y por medio de cuales rutas⁵.

c.- Subsistema de Coordinación y Organización de Actores: Este tercer subsistema se centra en el diseño de los protocolos de coordinación interinstitucional que deben regir el funcionamiento del SAT. Su importancia es fundamental dado que en él se define a donde llegan los datos que genera el subsistema de monitoreo, quienes procesan esa data y toman que tipo de decisiones, como se articula la respuesta interinstitucional que debe darse ante una declaración de alerta o de desalojo, etc. Los esfuerzos de este subsistema deben además definir y mantener vigentes los protocolos, espacios y mecanismos de comunicación y coordinación entre los distintos actores institucionales y/o sociales que lo integran.

d.- Subsistema De Educación Comunitaria: Este último subsistema tiene como función central el garantizar que la población que habita en los espacios donde opera el SAT conozcan la existencia, el funcionamiento y la importancia que tiene el tipo de información que este sistema genera. Se ha demostrado (EWC, 2005) que uno de los eslabones más débiles y que más ha incidido en la falla de los sistemas de alerta temprana se encuentra en la poca importancia que se le suele dar a este subsistema y que ha propiciado que a la hora de emergencias, a pesar de activarse las alarmas y las estructuras institucionales a tiempo, la población expuesta no haya

⁵ Obsérvese que esta propuesta de la EWC-EIRD-ONU confronta la que hemos venido explorando para promover estrategias para la gestión integral del riesgo de aludes/inundaciones, y donde el diagnóstico y caracterización de riesgos fundamenta también esfuerzos/obras para la mitigación.

respondido adecuadamente, sencillamente porque desconocían como debían hacerlo.

Los estándares anteriores ya habían sido asumidos en las entregas previas de este estudio, tanto a la hora de identificar el estado del arte de los avances regionales en la consolidación de Sistemas de Alerta Temprana, como a la hora de identificar el nivel de compromiso que los países de América Latina y El Caribe demostraban tener con el fortalecimiento de la gestión reactiva del riesgo de desastres por aludes torrenciales e inundaciones, en sus respectivos Documentos Compromisos Nacional de adaptación/mitigación ante el cambio climático (NDCs).

1.3.1.2 Algunas consideraciones a la hora de estimar costos regionales de un SAT:

Previo a la presentación de los casos estudios que han sido incluidos en este informe como ejemplos de lo que podrían representar las inversiones que amerita el diseño y la consolidación de sistemas de alerta temprana, consideramos importante hacer algunas consideraciones que son de importancia a la hora de estimar los costos que pudieran estar asociados a las tareas que demandan cada uno de los cuatro subsistemas que deben componer toda iniciativa SAT.

● Consideraciones sobre los costos del Subsistema de Monitoreo

El subsistema de monitoreo es probablemente el de carácter más técnico de los cuatro subsistemas que integran una iniciativa SAT, dado que el mismo suele soportarse en la consolidación de redes telemétricas orientadas al monitoreo en tiempo real de variables meteorológicas e hídricas que demanda aportes importantes de disciplinas como la electrónica, la instrumentación, la informática, la meteorología, etc.

Una primera salvedad que conviene hacerse a la hora de financiar iniciativas de este tipo es el reiterar que las características del monitoreo que demanda la operación de un SAT no son las mismas que demandan las redes de monitoreo meteorológico sinóptico. Esto es importante reiterarlo debido a que con frecuencia se suele pensar que las capacidades de monitoreo de los SAT pueden sostenerse en las redes de monitoreo meteorológico sinóptico con las que comúnmente cuenta nuestros países, sin embargo ya hemos mencionado en entregas anteriores que si bien estas redes de monitoreo suelen ser muy importantes tanto para apoyar la aeronavegación, la agricultura, la producción hidroeléctrica, etc., como también a la hora de advertir la ocurrencia de alteraciones y/o eventos extremos de moderada/gran escala que pudieran detonar desastres hidroclicmáticos, la extensión y la escala en que opera el monitoreo de estas redes meteorológicas sinópticas difícilmente puede ser utilizada para generar señales específicas de alerta asociadas a la inminencia de la ocurrencia de aludes torrenciales /inundaciones en cuencas urbanas/rurales expuestas a riesgos.

A diferencia de las anteriores, las redes de monitoreo SAT para el caso de inundaciones y/o aludes torrenciales suelen tener coberturas ceñidas a cuencas locales, ameritan además velocidades de respuesta inmediata e intensidades de monitoreo de 24 horas al día y 365 días al año. Este hecho hace que su funcionamiento sea soportado preferentemente por instancias de carácter local o departamental antes que nacional, y que la mayor parte de sus costos de operación este asociado (Linayo, 2003) al pago de los equipos humanos que lo mantienen y lo

supervisan.

Un segundo aspecto que merece ser mencionado con relación al financiamiento de inversiones asociadas al subsistema de monitoreo es que con frecuencia en este tipo de proyectos se promueve la adquisición de equipos de tecnología de punta, usualmente importados de otros países, para efectos de soportar las redes telemétricas. Esta tendencia ha sido identificada como un error común (EWC, 2005), debido a que el uso de tecnologías descontextualizadas del entorno socio-institucional donde el mismo pretende ser instrumentado obliga a que el mantenimiento y operación a largo plazo del sistema genere dependencia de actores foráneos que no siempre estarán disponibles.

Sobre este particular se ha enfatizado (EWC 2005) que la mejor tecnología de monitoreo para la alerta temprana en una localidad es aquella que puede ser en mejor medida dominada por los actores que hacen vida en esa misma localidad. Este hecho sugiere el gran cuidado que se debe tener a la hora de promover propuestas centradas en el uso de sistemas basados en tecnologías de punta, cuyo funcionamiento puede ser muy impresionantes y genuinamente mucho más eficientes, pero que, en términos de sostenibilidad resulta ser muy cuestionable invertir.

A pesar de lo anterior, el auge de los Sistemas de Alerta Temprana viene promoviendo que se hallan consolidado diversas empresas destinadas a la producción y venta de estaciones de monitoreo de distinto tipo. Muchas de estas empresas ofrecen sus productos por vía internet, y como muestra de ello se presenta a continuación un listado de links a los productos para el monitoreo de sistemas de alerta temprana que son ofrecidos por estas firmas comerciales⁶:

<https://www.environmental-expert.com/products/keyword-flood-warning-system-32218>

<http://www.fondriest.com/environmental-measurements/environmental-monitoring-applications/flood-warning-systems/>

<http://www.valarm.net/blog/flood-warning-systems-remotely-monitoring-water-levels-flooding-emergency-management-public-safety-smart-cities-industrial-iot-sensors/>

<http://www.topoequipos.com/dem/general-acoustics/general-acoustics>

<http://www.tecmes.com/wp-content/uploads/2014/Catalogo/NuevoCatalogo.pdf>

⁶ Obsérvese que las dos últimas empresas de esta lista son latinoamericanas: GENERALACOUSTICS (Colombia) y TECMES (Argentina).

Un hecho con que nos topamos en el marco de nuestra indagación es que ninguna de estas empresas brinda información de los costos de sus servicios, pues las mismas demandan inicialmente conocer las características de la cuenca en que pretenden ser instalados, y solo en función de ellos preparan un presupuesto estimado. En cualquier caso, a manera de ejemplificar los costos que pudiera estar asociados a los subsistemas de monitoreo de un SAT, pudiéramos referir lo recogido en una nota de prensa publicada recientemente en el Diario argentino La Nación (LA NACIÓN, 06 de septiembre de 2017) y donde se informa que el gobierno de la provincia de Buenos Aires había instrumentó en cuatro localidades un plan piloto de sistema de alerta temprana ante inundaciones cuyo costo -solamente en equipos de monitoreo de cuencas- se estima en 200 millones de pesos (USD 11.427.265).

● Consideraciones sobre los costos del Mapeo de Riesgos

Con relación a las inversiones que demanda el SUBSISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE RIESGOS - que como dijéramos, se encarga de identificar geoespacialmente los distintos niveles vulnerabilidad y exposición a la amenaza de inundación/aludes que se pudieran registrar en el espacio local urbano o rural en el que el SAT está instalando-, conviene mencionar la importancia cada vez mayor que se le viene dando al incorporar en dichos diagnósticos elementos esfuerzos que permitan determinar espacialmente aspectos asociados a la vulnerabilidad social y la percepción social del riesgo.

Con frecuencia, las inversiones que se hacen en función de alcanzar los objetivos de este subsistema suelen orientarse al pago de consultorías desarrolladas por expertos en caracterización de amenazas hidrogeológicas (hidrología, geomorfología, etc.) y en el estudio de los niveles de vulnerabilidad física de instalaciones e infraestructura urbana/rural que pudieras estar expuestas (ingenieros, urbanistas, etc.). Sin embargo, son cada vez más comunes el financiamiento de estudios orientados a caracterizar la diversidad en la percepción y valoración del riesgo entre los habitantes de las comunidades que pretenden ser cubiertas por un Sistema de Alerta Temprana.

A manera de ejemplo procederemos a resumir un par de trabajos de esta naturaleza y en los que nuestros equipos técnicos han participado directamente a lo largo de los últimos años:

1.3.1.3 Caso de Estudio: Estudio de Percepción Social de Riesgos de Catia La Mar

Este esfuerzo de diagnóstico estuvo orientado específicamente a caracterizar elementos de vulnerabilidad sociocultural y valoración de los niveles de percepción social de riesgos de las comunidades del estado Vargas que han sido afectadas por situaciones de desastres, específicamente con el objeto de promover en las mismas el establecimiento de Sistemas de Alerta Temprana y Gestión Integral de Riesgos de Aludes Torrenciales.

El Estudios de Vulnerabilidad Social de la Parroquia Catia La Mar, fue elaborado en el año 2004 por la firma Servicio de Apoyo a la Organización Social SOCSAL y la Escuela de Ciencias Sociales de la Universidad Central de Venezuela a solicitud del Proyecto de Prevención de Desastres PREDERES de la Comunidad Económica Europea y CORPOVARGAS, y el mismo tuvo un costo de treinta y cinco mil dólares (USD 35.000).

Este estudio tuvo por objeto evaluar la percepción de riesgo de la población de tres cuencas colindantes de la parroquia de Catia La Mar y para su ejecución se subcontrataron también dos diagnósticos simultáneos y complementarios: Uno cuantitativo basado en la aplicación de encuestas cerradas que se aplicaron a muestras representativas de la población de cada una de las tres cuencas estudiadas, y un diagnóstico cualitativo basado en reuniones de grupos focales que fueron desarrollados entre líderes comunitarios y otros actores clave de la parroquia, a los fines de recoger de manera abierta y extensa sus vivencias, apreciaciones y percepciones sobre el tema.

Estudios como estos sugieren la manera como se ha venido incorporando como parte de los diagnósticos previos que demanda el diseño e implementación de sistemas de alerta temprana, aspectos que permitan conocer el contexto sociocultural en el que los mismos van a operar. Este tipo de esfuerzos no solo es importante a los fines de poder entender los tipos y las características de los niveles de percepción social del riesgo que en esa comunidad existen, o las estructuras de articulación y liderazgo que podrían facilitar o impedir los procesos de apropiación social que deben darse alrededor de dicho sistema, etc. Sino que el mismo promueve la incorporación de recomendaciones que se fundan en las opiniones, juicios y valoraciones que tienen los actores sociales a los cuales dicho sistema va a servir y de quienes a la larga dicho sistema va a depender.

1.3.1.4 Otros estudios de casos SAT y sus costos asociados

Una vez hechas las salvedades anteriores, podemos resumir algunas experiencias tipo asociadas al establecimiento de sistemas de alerta temprana que hemos logrado identificar en el marco de este estudio y que nos permiten brindar una idea de la naturaleza de las inversiones que suelen acompañar a este tipo de proyectos.

Inicialmente debemos mencionar que, al igual que ocurrió en los procesos de arqueo de experiencias y esfuerzos desarrollado para conocer los costos que pudieran asociarse al financiamiento de las actividades adicionales que requiere la gestión integral de riesgos hidroclimáticos, fue sumamente difícil encontrar iniciativas de alerta temprana en nuestra región que viniesen acompañadas de sus costos asociados, y de hecho, de las 87 experiencias SAT identificadas en nuestra región por nuestros equipos, solo 3 de ellas ofrecían datos de los volúmenes de inversión que fueron requeridos para su instalación. Estas iniciativas eran las siguientes:

●SAT del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz – Bolivia

Cuenta con tecnología de última generación. Inicialmente equipos de monitoreo, pluviómetros y sensores de radar alemanes. Actualmente los equipos son de diversa procedencia. La inversión inicial, en la que participaron la municipalidad y la cooperación junto al gobierno alemán, alcanzó US\$11,9 millones.

●SAT de Río de Janeiro - Brasil

Cuenta con el sistema de alarma Geo-Rio de sirenas en 103 comunidades en zonas de alto riesgo

que se pueden activar. Cuentan además con un radar, adquirido a través de Geo-Río Fundación y sistema de alerta comunitaria que alcanza un valor de US\$ 3,8 millones.

● **SAT de la cuenca del río Piura, cuenca alta del río Inambari y de la Microcuenca del río Quesermayo - Perú**

Estos se reseñan en el documento “Sistemas de alerta temprana en América Latina. (2016)”, destacándose que los mismos tuvieron un precio de instalación de US\$ 520.220, y un costo de mantenimiento anual de US\$ 110.000.

www.solucionespracticas.org.pe/Descargar/1371804/4117872

<http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-lambayeque-implementara-sistema-alerta-temprana-ante-posibles-inundaciones-221634.aspx>

● **Otros casos de SAT a nivel Mundial**

Ante la poca información disponible, logramos contactar a los equipos que organizaron las Conferencias Mundiales sobre Alerta Temprana, sin duda uno de los foros globales más importantes del planeta dedicado específicamente a discutir y delinear estrategias para el diseño y la instrumentación de Sistemas de Alerta Temprana, y que fueron desarrolladas en la ciudad de Bonn (Alemania), con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional Alemana GTZ y la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas EIRD, durante los años de 1998, 2003 y 2005.

Estos contactos nos permitieron acceder a datos importantes asociados al diseño de proyectos y/o la implementación de algunos de los Sistemas de Alerta Temprana que han sido proyectados e incluso instalados en distintas localidades del mundo, y de los cuales fue posible incluso obtener información sobre la naturaleza y volumen de inversiones asociadas a cada caso.

El total de proyectos que logramos consultar, fueron inventariados en el marco de la Conferencia de Sistemas de Alerta Temprana (EWC III) celebrada en el año 2006, y alcanzaba un total de 107 experiencias en el campo de Sistemas de Alerta Temprana, que sin embargo contemplaban el monitoreo de diferentes tipos de amenazas. De ese total seleccionamos un total de 32 proyectos específicamente vinculados al tratamiento de aludes torrenciales e inundaciones, y luego de estos solo se seleccionaron 23 experiencias que incluían el abordaje de esfuerzos integrados en los 4 subsistemas que deben integrar un Sistema de Alerta Temprana.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los 23 proyectos identificados, destacándose el costo previsto para cada uno, su duración, su área de influencia (local, regional, nacional o internacional) y una breve descripción de sus objetivos.

Tabla 16. Resumen de algunos proyectos SAT ante inundaciones y aludes torrenciales.

Fuente: Elaboración propia basada en arqueo de fuentes de internet

PROYECTO	PAÍS	DURACIÓN (meses)	COSTO TOTAL(USD)
1. Fortalecimiento del sistema de alerta temprana para inundaciones en Ulaanbaatar	Mongolia Local	30 meses	3.302.000 USD
El objetivo de este proyecto es reducir los riesgos de peligros naturales, en particular los daños causados por las inundaciones, en la ciudad de Ulaanbaatar. Esto se logrará mediante el desarrollo de un plan de adaptación al cambio climático y un plan maestro para el control de inundaciones, basado en las mejores prácticas internacionales. También se establecerá un sistema de alerta temprana de inundaciones.			
2. Monitoreo de alerta temprana y control de inundaciones en el Mediterráneo oriental	Líbano, Siria República Árabe y Jordania Internacional	24 meses	2.100.400 USD
Este proyecto tiene como objetivo establecer un sistema de mapeo de riesgo de inundación, proporcionando indicadores de magnitud de riesgo de acuerdo con las características del terreno y la densidad de asentamiento. Esto se lograría mediante un análisis de los registros de riesgos de inundaciones anteriores y el mapeo de áreas propensas a inundaciones mediante el uso de sensores remotos.			
3. Implementación de un sistema de alerta temprana sobre las inundaciones en la provincia de Ifrane	Marruecos Regional	10 meses	826.000 USD
El objetivo de este proyecto es permitir a los funcionarios locales sensibilizar y alertar a la población sobre los peligros y establecer equipos y servicios para un sistema de alerta temprana. Esto se logrará mediante el establecimiento de un sistema de monitoreo hidrometeorológico y un banco de datos climatológicos. Además, se establecerán sistemas de alerta de inundación, complementados con el desarrollo de capacidades de expertos y una cadena de difusión de información a través de la red provincial de telecomunicaciones.			
4. Mitigación sostenible de los desastres hidrometeorológicos en las ciudades de Afganistán	Afganistán Nacional	36 meses	2.900.000 USD
El proyecto propuesto se centra en la mitigación de desastres por inundaciones (ríos e inundaciones repentinas) que han afectado principalmente a las ciudades afganas. Su objetivo es abarcar el componente tecnológico de mitigación de desastres (recopilación de datos, modelado de fenómenos naturales, predicción de eventos hidrometeorológicos, apoyo tecnológico) y el componente de comportamiento humano (formulación de políticas, planificación, conciencia pública, educación, desarrollo de capacidades y respuesta) .			
5. De la Reconciliación al Conocimiento de las Acciones de Respuesta de Emergencia de las Comunidades de Riverside del Departamento de Gracias a Dios en Honduras	Honduras Regional	12 meses	795.660 USD
El objetivo principal es mejorar la capacidad de las instituciones para responder al impacto de los peligros naturales, particularmente las inundaciones, a través del establecimiento de un sistema eficiente de alerta temprana.			
6. Sistema de alerta temprana en caso de inundación para la ciudad de Coca-Orellana	Ecuador Regional	24 meses	1.550.000 USD

Tabla 16. Resumen de algunos proyectos SAT ante inundaciones y aludes torrenciales.

PROYECTO	PAÍS	DURACIÓN (meses)	COSTO TOTAL(USD)
Este proyecto está destinado a mejorar la preparación y prevención de inundaciones en la ciudad. Las actividades incluirán: desarrollar una red de monitoreo, un sistema de alerta temprana y un plan de preparación para emergencias para la ciudad; zonas de zonificación vulnerables a las inundaciones; y, el fortalecimiento de instituciones y estándares a nivel local y nacional para garantizar una respuesta coordinada y efectiva a las inundaciones.			
7. Alerta de inundación en Valles Pequeños de América Central	Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, y Panamá Internacional	12 meses	600.000 USD
Este proyecto difundirá información sobre el Programa de Reducción de la Vulnerabilidad (SVP) en la región y ampliará el número de personas de los sectores público y privado que pueden trabajar con los municipios y grupos de desarrollo para implementar el SVP.			
8. Sistema de alerta temprana por inundaciones y deslizamientos de tierra en la ciudad de La Paz, Bolivia	Bolivia Local	24 meses	1.134.500 USD
El objetivo principal de este proyecto es desarrollar e implementar un sistema automático de alerta temprana (EWS) para inundaciones y deslizamientos de tierra que permita a las personas recibir alertas oportunas de un peligro inminente y adoptar medidas apropiadas para reducir las pérdidas humanas y materiales. Esto se logrará mediante la instalación de equipos de monitoreo técnico para inundaciones y deslizamientos de tierra.			
9. Sistemas de alerta temprana para peligros naturales en la cuenca binacional del río Catamayo-Chira	Ecuador y Perú Regional	36 meses	1.620.000 USD
El objetivo de este proyecto es establecer una red hidrometeorológica en tiempo real y un sistema de alerta temprana para mejorar la preparación y respuesta a los peligros naturales. Las actividades del proyecto incluirán: zonificación de áreas vulnerables, actualización de bases de datos hidrometeorológicas, diseño e implementación de una red de monitoreo para la región y fortalecimiento de la capacidad institucional y comunitaria para comprender y prepararse para los peligros naturales.			
10. Aplicación de tecnología de comunicación de la información en la preparación para desastres basada en la comunidad en el estado de Andhra Pradesh, India	India Regional	12 meses	302.009 USD
El objetivo de este proyecto es mejorar la preparación para desastres en cinco distritos costeros de Andhra Pradesh. Esto se logrará mediante el fortalecimiento de la comunicación de alerta temprana de ciclones e inundaciones, sensibilizando a los residentes de la costa sobre la preparación para peligros naturales y desarrollando la capacidad de los jóvenes rurales para ayudar a mitigar los riesgos de inundación y ciclones.			
11. Proyecto de sistema de alerta temprana de inundaciones	Marruecos Nacional	48 meses	966.742 USD
El objetivo de este proyecto es establecer un sistema nacional de alerta temprana. El proyecto se basa en un modelo para pronosticar las precipitaciones y convertir datos reales recopilados de una red de estaciones de observación meteorológica en estimaciones de inundaciones, lo que permitirá la preparación de alertas comunitarias.			
12. Instalación de un sistema de alerta temprana de ascenso en el Centro Ouzoude	Marruecos Local	12 meses	188.888 USD
Este proyecto tiene como objetivo establecer un sistema de alerta temprana (EWS) que consistirá en un sistema de medición de la lluvia y medidores de agua a lo largo del Oued Ouzoud. La información recopilada se conectará a un centro de información regional y nacional donde será analizada y comunicada. El proyecto incluye la creación de una organización de evacuación con un tiempo de respuesta mínimo de una hora.			
13. Prevención de inundaciones por desastre para las comunidades vulnerables en la provincia de Kampong Cham	Camboya Regional	12 meses	180.500 USD

Tabla 16. Resumen de algunos proyectos SAT ante inundaciones y aludes torrenciales.

PROYECTO	PAÍS	DURACIÓN (meses)	COSTO TOTAL(USD)
El objetivo de este proyecto es mejorar la alerta temprana y la preparación ante inundaciones dentro de la provincia. Esto se logrará a través de una amplia gama de actividades, incluyendo difusión de niveles de agua y lluvia en la radio FM, difusión local de dramas de audio para concienciar sobre la preparación ante inundaciones, preparación para inundaciones y capacitación sobre alerta temprana en escuelas y talleres comunitarios.			
14. Sistema de alerta de inundaciones específico del área centrado en las personas: mejora de la comunicación y las respuestas de la comunidad a las advertencias de inundaciones en Bangladesh	Bangladesh Nacional	36 meses	500.000 USD
Este proyecto comenzará a abordar este problema mediante el fortalecimiento de la comunicación de alerta temprana y la preparación ante inundaciones en comunidades seleccionadas en el distrito de Sirajganj propenso a las inundaciones. Las instituciones locales recibirán capacitación para interpretar, traducir y comunicar pronósticos y advertencias a las comunidades en riesgo.			
15. Advertencia de inundación como parte de un sistema de advertencia de peligros múltiples para Fiji	Fiji Nacional	24 meses	296.000 USD
El objetivo de este proyecto es mejorar los servicios existentes de alerta temprana e instalar un sistema moderno de advertencia y previsión de inundaciones en dos cuencas hidrográficas principales. Tiene la intención de ser un proyecto piloto con miras a institucionalizar posteriormente la alerta contra inundaciones como parte integral de un sistema de alerta temprana multirriesgo enfocado en personas / comunidad.			
16. Mejorar la eficiencia de alerta temprana del Centro Regional de Mitigación y Manejo de Inundaciones (RFMMC) de la Comisión del Río Mekong en Phnom Penh	Camboya, Laos, Tailandia y Vietnam Internacional	24 meses	279.668 USD
El propósito de este proyecto es fortalecer la capacidad de la Comisión del Río Mekong para proporcionar información de alerta temprana a las comunidades en el bajo Mekong (Tailandia, Laos, Camboya y Vietnam) con una precisión mejorada. Este proyecto implicará: evaluar el sistema de pronóstico existente para determinar cualquier problema; y desarrollar un algoritmo para mejorar el rendimiento del sistema actual, sin cambiar su estructura básica.			
17. Sistema de alerta temprana de inundaciones para las ciudades de Artigas (Uruguay) y Quaraí (Brasil)	Brasil y Uruguay Regional	36 meses	400.000 USD
El objetivo de este proyecto es establecer un sistema integral de alerta temprana contra inundaciones para Artigas y Quaraí para ayudar a reducir las pérdidas por inundaciones en la región. El sistema incluirá: información sobre riesgos de inundación, servicios de monitoreo y advertencia, difusión de advertencias y capacidades de respuesta.			
18. Implementación de un sistema de pronóstico de crecidas en tiempo real para la región del Mar Negro oriental en Turquía	Turquía Regional	12 meses	129.800 USD
El objetivo de este proyecto es implementar un sistema de pronóstico en tiempo real en la región oriental del Mar Negro, en las áreas Trabzon y Rize. Esto permitirá la predicción de la frecuencia, magnitud y momento de las inundaciones, y proporcionará una alerta temprana a las autoridades y al público cuando se esperan inundaciones.			
19. Desarrollo de un sistema avanzado de alerta temprana de ciclones tropicales para Filipinas	Filipinas Nacional	18 meses	590.000 USD
El objetivo general del proyecto es reducir en un 20% el número de muertes asociadas con los aterrizajes de tifones en las Filipinas a través de la implementación de un sistema avanzado de advertencia de ciclones tropicales. Esto se logrará mediante la transferencia de tecnología para proporcionar predicciones numéricas de vanguardia sobre la llegada de ciclones tropicales y modelos hidrológicos para predecir las inundaciones; y capacitación de tomadores de decisiones, gerentes de emergencias, otros funcionarios; y la provisión de programas de educación para el público.			
20. Monitoreo de riesgo de inundación y mapeo de riesgo de inundación	Zimbabue Nacional	12 meses	105.000 USD

Tabla 16. Resumen de algunos proyectos SAT ante inundaciones y aludes torrenciales.

PROYECTO	PAÍS	DURACIÓN (meses)	COSTO TOTAL(USD)
Los objetivos de este proyecto son diseñar un modelo de elevación digital con pronóstico de inundación que identifique los peligros de inundación con la ayuda de nuevas estaciones de medición de precipitación; ayudar en la preparación de mapas de riesgo de inundación para el área de Guardar; y para mejorar la experiencia técnica. Los mapas de riesgo de inundación también se usarían para la planificación de asentamientos.			
21. Sistema de alerta de inundaciones como un sector de plan de acción integrado de inundación en ImamzadeDavood Basin, provincia de Teherán	Irán Regional	12-24 meses	100.000 USD
El objetivo de este proyecto es crear la base para un sistema nacional de alerta temprana contra inundaciones y un programa integrado de gestión de inundaciones para Irán. Esto se logrará a través del trabajo en profundidad en la cuenca ImamzadeDavood, que luego podría ser replicado en otras áreas del país. Las actividades del proyecto incluirán: una revisión de los sistemas de gestión de inundaciones existentes en Irán, la justificación de la selección del sitio y el desarrollo de requisitos para los programas integrados de gestión de inundaciones (por ejemplo, mapas de inundaciones, difusión de alertas tempranas y planes de acción de emergencia).			
22. Establecimiento de un sistema de alerta temprana para inundaciones en Toudgha para el sitio turístico de la comunidad rural: ToudghaEloulia- Ouarzazate	Marruecos Local	8 meses	59.000 USD
El proyecto consiste en establecer un sistema integrado de alerta temprana vinculado a un dispositivo de alerta en tiempo real ya operativo en una central hidroeléctrica ubicada a unos 40 kilómetros río arriba. La activación de ese sistema de alerta permitiría organizar evacuaciones oportunas de visitantes y habitantes en caso de inundaciones repentinas.			
23. Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones de Ecuador (EFIDOR)	Santa Rosa, Ecuador Local	12 meses	57.820 USD
El objetivo de este proyecto es implementar medidas de alerta temprana simples pero efectivas (como estaciones de medición aguas arriba) combinadas con actividades de sensibilización, para permitir que la población en riesgo reciba advertencias y responda de manera oportuna.			

De los resultados presentados destacan los siguientes aspectos:

- El tiempo promedio de los proyectos de instalación de sistemas de alerta temprana seleccionados es de 21,4 meses.
- El costo promedio de cada sistema de alerta temprana es de USD 794.000, sin embargo, si se eliminan de esta lista los 4 proyectos SATs más costosos (todos ellos de cobertura nacional e internacional), este promedio cae a USD 439.000, que es lo que se podría estimar para proyectos SATs de cobertura local y/o departamental.
- Siete de los proyectos identificados en esta base de datos internacional son latinoamericanos y un análisis de los costos y duraciones promedios restringido a las propuestas de nuestra región se puede apreciar en el siguiente cuadro.

Tabla 17. Costos/duraciones para iniciativas SAT (Latinoamérica).
Fuente: Elaboración propia basada en arqueo de fuentes de internet.

Ámbito	Duración promedio (meses)	Número de proyectos	Costo promedio (USD)
Local	16	2	284.484
Regional	20,8	5	811.324

De los resultados anteriores podríamos afirmar que:

En **promedio**, un SAT local tendría un costo de USD **284.464**, y es ejecutado en unos 16 meses.

En **promedio**, un SAT regional tendría un costo de USD **811.323**, y es ejecutado en unos 20 meses.

Adicionalmente a la información que se logró recabar de las bases de datos de proyectos mundiales de alerta temprana y que fueron recopilados en el marco de la 3ra conferencia mundial de alerta temprana (EWC, 2005), fue posible adicionalmente encontrar gracias al apoyo de algunos aliados que apoyaron esta investigación, datos sobre 4 proyectos SAT adicionales que se presentan en la siguiente tabla (Tabla 18):

Tabla 18. Algunos proyectos SAT a nivel mundial.

PROYECTO	PAÍS	DURACIÓN (meses)	COSTO TOTAL (USD)
1. Proyecto de Alerta Temprana y Prevención de Inundaciones del Nilo Oriental - Fase 1.	Etiopía, Egipto y Sudán Internacional	36	4.080.000
2. SAT de la Cuenca del río Coco.	Nicaragua Regional	12	450.000
3. Despliegue del sistema de alerta temprana para desastres por inundaciones en los PMA árabes (Países menos desarrollados).	Un país por seleccionar Nacional	12	400.000
4. Fortalecimiento del SAT de la cuenca del río Coyolate.	Guatemala Regional	5	47.695

Fuente: Elaboración propia basada en arqueo de fuentes de internet

No fue posible precisar claramente los presupuestos detallados para estos proyectos, no obstante, sí se pudo obtener información adicional sobre el financiamiento invertido en 2 de dichos proyectos: el SAT del Coyolate, y el macroproyecto SAT del Nilo Oriental. Se presentan a continuación datos detallados obtenidos con relación a ambas iniciativas:

● **Caso de Estudio “Fortalecimiento del Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Coyolate, Guatemala”**

Este proyecto constituye un buen ejemplo del financiamiento de un SAT local. En su descripción se establece que el SAT del Coyolate constituye una iniciativa que fue instalada en 1996, y que la misma ha operado de manera exitosa beneficiando a más de 100 mil personas de 18 comunidades guatemaltecas, y que había llegado la necesidad de su rediseño y reestructuración completa. El sistema original se basaba en el monitoreo (por parte de observadores voluntarios) de 6 pluviómetros y 5 sensores de medición de niveles del río y el proyecto que se proponía incluía la automatización del monitoreo y la transferencia de información en tiempo real mediante la instalación y modernización de ciertos equipos.

Del documento del proyecto se definía que el periodo de ejecución previsto para la instalación y puesta en marcha del nuevo Sistema de Alerta Temprana era de cinco meses, en los cuales se proponía el desarrollo de las siguientes inversiones (Tabla 19):

Tabla 19. Presupuesto para el fortalecimiento del SAT de la cuenca del río Coyolate.

Fuente: Organización de Estados Americanos (1996).

RUBRO	PRESUPUESTO (USD)	%
SERVICIOS PROFESIONALES	7.500	15,7
Salarios	5.500	
Viáticos	2.000	
MOVILIZACIÓN	2.934	6,2
Transporte	1.956	
Combustible	978	
EQUIPO DE OFICINA	3.400	7,1
Computadoras	3.000	
Impresoras	200	
Papelería y Otros	200	
COMUNICACIÓN	6.250	13,1
Teléfono	1.000	
Internet	250	
Radio	5.000	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	2.008,40	4,2
Varios	2.008,40	
EQUIPAMIENTO	25.602,60	53,7
3 Estaciones EMVI* (5,469.45 USD c/u)	16.408,35	
5 Estaciones EA* (1,416.45 USD c/u)	7.082,25	
Almacenamiento y transmisión de Información	1.080	
Instalación de los Equipos en Campo	1.032	
TOTAL PROYECTO	47.695	100

*EMVI: Estación de monitoreo de variables independientes.

*EA: Estación de alerta.

Cada **EMVI** se conforma de una estación meteorológica que registra la siguiente información: a. Temperatura, b. Inicio de Precipitación, c. Precipitación acumulada, d. Punto de rocío, e. Humedad relativa, f. Dirección del viento, y g. Velocidad del viento. Para ello se dispone del siguiente equipo:

a. Estación de monitoreo de clima; b. Kit de sensores; c. Data logger; d. Software para registro e integración de la información; e. Módem para comunicación GSM/GPRS con conector RS-232; f. Antena GSM; g. Módulo de alimentación solar; h. Acumulador de energía con salida a 12V; i. Encapsulado NEMA 4 para exteriores (para el módem y la estación meteorológica).

Las estaciones **EA** están integradas por: a. Alerta automatizada, audible y visible; b. Módem para comunicación GSM/GPRS con conector RS-232; c. Antena GSM; d. Módulo de alimentación solar; e. Acumulador de energía con salida a 12V; f. Encapsulado NEMA 4 para exteriores (para el módem y la estación meteorológica).

El análisis porcentual de los respectivos montos demuestra que el costo de las estaciones compromete más de la mitad del presupuesto total del proyecto, y que en el rubro Servicios Profesionales se incluye capacitación comunitaria a los encargados de las estaciones

(monitoreo y seguimiento)⁷.

● **Proyecto de Prevención de Inundaciones y Alerta Temprana del Nilo Oriental (Egipto, Sudán y Etiopía) - Fase 1.**

Este proyecto es probablemente una de las iniciativas más importantes desarrolladas en el mundo para el establecimiento de un sistema de alerta temprana en el caso de inundaciones. El mismo ha sido financiado por el Banco Mundial, y es de hecho gracias a sus informes de evaluación y seguimiento que hemos logrado conocer detalles de una inversión asociada que supera la cifra de los cuatro millones de dólares, solo en su primera fase.

De los informes del Banco Mundial revisados fue posible conocer que la inversión prevista para la primera fase – con una duración de 3 años - está dividida en tres componentes:

Coordinación Regional (1.69 millones de dólares): Con el objetivo es establecer un mecanismo institucional para mejorar la coordinación regional necesaria para el proyecto inundaciones.

1. Piloto de preparación/respuesta en case de inundaciones (1,26 millones de dólares)

Su objetivo es fortalecer los planes de preparación y mitigación ante inundaciones a nivel local y nacional mediante: Identificación y cartografía de los riesgos de inundación; evaluación de información necesaria para una efectiva respuesta de las comunidades; facilitación de mecanismos y planes de mitigación; desarrollo y evaluación de la efectividad de los planes de preparación y respuesta.

2. Sistemas de Alerta y Comunicación ante Inundaciones (1,02 millones de dólares).

Su objetivo es fortalecer las capacidades nacionales de preparación y mitigación ante inundaciones mediante: mejoramiento de las instituciones actuales de previsión de inundaciones y conformación de una nueva para Etiopía; mejoramiento del equipamiento para recopilación y transmisión de datos refinando los requerimientos de los sistemas de alerta y comunicación, identificando las tecnologías apropiadas y realizando pilotos en comunidades seleccionadas; diseño de un detallado Sistema Regional de Previsión, Alerta y Comunicación ante Inundaciones llevándolo a licitación; mejoramiento de la comunicación entre los residentes río arriba y río abajo; y realización de una rápida evaluación de los actuales canales de comunicación entre los niveles locales, regionales y nacionales con vistas a aumentar su efectividad.

Documentos adicionales del Banco Mundial (Banco Mundial, 2007) demuestran incluso tres listados de contratos específicos que han sido ejecutados en la primera fase de dicho proyecto.

El primero de estos listados vinculado a la adquisición de bienes y equipos, los otros dos referidos a la contratación internacional de servicios de consultoría.

Se presentan a continuación los principales aspectos financiados en este sentido y a manera de referencia de los que el financiamiento de un macroproyecto SAT pudiera implicar en nuestra región:

⁷ Para información detallada se sugiere ver: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4b58dbf739ee.pdf>

Tabla 20. Contratos para adquisición de bienes (tiempo de ejecución 9 meses). **Fuente:** Banco Mundial (2007).

CONTRATO	COSTO ESTIMADO (USD)
Adquisición de equipos, herramientas y materiales para la instalación de estaciones de River Gauge -Sudán	46.450
Adquisición de Impresora, Ploter y Escáner.	36.000
Adquisición de 3 unidades de estaciones de trabajo: 2 para Etiopía y 1 para Sudán	25.000
Adquisición de 8 unidades de paneles solares y accesorios - Etiopía.	25.000
Adquisición de equipos, herramientas y materiales para 12 unidades de estaciones Rain Gauge - Sudán	24.000.
Adquisición e instalación de equipos de 17 unidades de estaciones Rain Gauge -Etiopia	22.450
Adquisición de indicadores de nivel de agua (madera o Postes metálicos de colores) para EWS comunitarios - Etiopía	22.000.
Adquisición de indicadores del nivel del agua - Sudán	12.000
Actualización de la licencia de ArcEditor existente a ArcINFO y 3D Analyst	11.000
Adquisición de equipos de comunicación y accesorios - Teléfonos móviles para comunidades.- Sudán.	5.000
ERDAS Imagine License Maintenance	1.500
Adquisición de 8 unidades de tiendas de lona para EWS comunitaria -Etiopía	35.000
Adquisición de 4 unidades de botes de emergencia motorizados - Etiopía	30.000
Adquisición de 4 unidades de botes de emergencia motorizados - Sudán	38.000
Adquisición de refugios temporales y tiendas para comunidades - Sudán	32.000
Adquisición de equipos, herramientas y materiales para salas de reuniones comunitarias y centros de recreación -Sudán	20.000
TOTAL	385.400

Tabla 21. Contratos para servicios de consultoría a corto plazo (6 meses). **Fuente:** Banco Mundial (2007).

CONTRATO	COSTO ESTIMADO (USD)
Temporada alta de vigilancia comunitaria – Etiopía	50.000
Temporada alta de vigilancia comunitaria: Sudán	50.000
Entrenamiento numérico del modelo de predicción del tiempo (Eta / WRF)	40.000
Pruebas y verificación del modelo de previsión de inundaciones en Etiopía	70.000
Prueba y verificación del modelo de pronóstico de inundación de Sudán	65.000
Capacitación en el mapeo de Riesgos de inundación	49.000
Entrenamiento FEWS en Etiopía	30.000
TOTAL	354.000

Tabla 22. Contratos para servicios de consultoría (10 meses). **Fuente:** Banco Mundial (2007).

CONTRATO	COSTO ESTIMADO (USD)
Servicio de consultoría para llevar a cabo el diseño detallado del sistema regional de previsión, advertencia y comunicación de inundaciones	200.000
Servicio de consultoría para mejorar el sistema de alerta temprana de inundaciones en Sudán	100.000
TOTAL	300.000

Datos adicionales obtenidos sobre el proyecto de Prevención de Inundaciones en el Nilo Oriental ilustran la naturaleza de los equipos que fueron adquiridos y sus costos asociados (Tabla 23):

Tabla 23. Algunos costos de equipos adquiridos en el proyecto de Prevención de Inundaciones en el Nilo Oriental. **Fuente:** Banco Mundial (2007).

EQUIPO	COSTO (USD)
Equipos y materiales para la instalación de estaciones de monitoreo del río	46.450
Impresora, Plotter y Escáner:	36,000
3 unidades de Estaciones de trabajo:	25,000
8 unidades de paneles solares y accesorios:	25,000
12 unidades de estaciones Rain Gauge:	24,000
17 unidades de estaciones Rain Gauge:	22.450
Indicadores de nivel de agua (postes de madera o metálicos):	22,000
Indicadores de nivel de agua:	12,000
Teléfonos móviles para las comunidades:	5.000

1.4 ACCIONES TRANSVERSALES

1.4.1 Caso de estudio: “Desarrollando capacidades institucionales para la toma de decisiones y el diseño, evaluación y seguimiento de políticas públicas usando técnicas de analítica avanzada de datos masivos” - Chile

La concientización y la organización de las instituciones y su personal son vitales para su correcto funcionamiento y el aprovechamiento de las capacidades, y más si las mismas se dedican a estas áreas donde la sensibilización ante la temática y el conocimiento técnico de su personal, juegan un papel importante en los resultados e implementación de las políticas públicas.

Algunos organismos entienden la necesidad de dedicar esfuerzos en esta área, considerándola el último eslabón de la cadena de ejecución exitosa de los planes, programa y proyectos nacionales o regionales, ya que son ellas quienes mantendrían el contacto directo y darían seguimiento a lo establecido en la normativa y lo ejecutado por los ciudadanos, es por ello que

la correcta gestión del recurso humano que labora en estas instituciones es vital, por lo tanto, se deben efectuar acciones para mejorar su preparación técnica y establecer estrategias de incentivos.

A continuación, se presenta un caso de estudio en el tema, aunque no se desarrolla sobre instituciones directamente relacionados con la gestión de riesgos, vale la pena el enfoque metodológico.

1.4.1.1 Resumen del Proyecto

Con las tecnologías de información, los datos desde ser escasos han pasado a ser superabundantes. El uso de datos para tomar decisiones no es nuevo, las empresas usan cálculos complejos sobre los datos de sus clientes usando técnicas de Inteligencia de negocios. Estos 'grandes conjuntos de datos' escapan al tamaño típico que puede manejar el software disponible para capturar, almacenar y analizarlos, y por eso se les denomina 'Big Data'. El análisis de datos ('Data analytics') se refiere a un amplio conjunto de técnicas provenientes de múltiples disciplinas como Ciencias de la Computación, matemáticas y estadísticas para extraer información útil del 'Big Data' y apoyar la toma de decisiones. Existe fuerte evidencia de que las aplicaciones de 'Big Data' pueden desempeñar un rol importante para beneficiar no solo a las empresas privadas, sino a las economías de cada país y sus ciudadanos. Sin embargo, estas técnicas de análisis avanzado de datos, no se aprovechan para el diseño, seguimiento y evaluación de políticas públicas principalmente por limitaciones a nivel institucional en las siguientes dimensiones: i) Capital humano: falta de tiempo para estudiar y pensar respecto de la información disponible; falta de personal que limpie, prepare, formatee y se asegure de la confiabilidad de los datos; falta de capacitación específica en el análisis de datos y soluciones basadas en ellas; falta de "consumidores inteligentes" que analicen críticamente la información; falta de liderazgo para la mejora educativa y el uso de datos, falta de una cultura organizacional orientada al uso de datos. ii) Tecnología: falta de recursos tecnológicos para el uso de grandes conjuntos de datos y los servicios de software y almacenamiento asociados a ellos; a falta de interoperabilidad entre sistemas de distintas agencias y/o departamentos, falta de herramientas para generar acciones a partir de los datos. iii) Desarrollo de estrategias: la carencia de un plan que determine qué preguntas son urgente contestar, qué datos recopilar y con qué técnicas analizarlas; y falta de alianzas estratégicas con organizaciones cuya misión es apoyar el uso de datos, recursos calidad y confiabilidad de la información disponible. A esto podemos añadir además el problema de la Gobernanza digital de los datos dentro del mismo Estado, y al no haber responsabilidades claras o diluidas entre distintos actores se hace difícil consolidar e incluso encontrar alguna información relevante para los análisis.

Este proyecto se está realizando actualmente, la Institución Promotora Nacional es el Centro de Investigación Avanzada en Educación (CIAE) de la Universidad de Chile y los beneficiarios son los Ministerios de Educación, Hacienda y Desarrollo Social. Se estima un tiempo de ejecución de 24 meses.

1.4.1.2 Objetivo

Fortalecer las capacidades institucionales de las entidades públicas, específicamente el capital humano y la gestión estratégica de la información, en sectores estratégicos de desarrollo donde la toma de decisiones sobre la base de evidencia es crítica para la implementación de políticas públicas exitosas. Así, dichas entidades podrán implementar análisis avanzados con datos masivos que contribuyan a: (i) mejorar la toma de decisiones y elaboración de políticas públicas sectoriales en base a evidencia; (ii) desarrollar diagnósticos comunes a nivel país; y, (iii) fomentar la colaboración entre agencias de gobierno para desarrollar políticas multisectoriales de forma sustentable en el tiempo.

1.4.1.3 Áreas temáticas de estudio

Capacidad institucional y estado de derecho. Política de transparencia para una gestión más efectiva.

1.4.1.4 Metodología

El estudio se divide en 3 componentes: Componente I: Fortalecimiento de los recursos humanos. Este componente financiará el desarrollo de estrategias de capacitación para desarrollar las competencias analíticas necesarias en profesionales de los tres ministerios beneficiarios. Componente II: Desarrollo de casos prácticos de uso de datos para el diseño de políticas públicas. El componente financiará el apoyo a los equipos de cada ministerio en identificar preguntas y análisis que son urgentes de contestar dentro del plan institucional y los datos que es posible disponer para llevarlos a cabo. Componente III: Elaboración de metodología de réplica y acciones de conocimiento. Se sistematizará el plan de formación profesional y el de acompañamiento para hacerlo replicable y escalable a otros países de la región.

1.4.1.5 Costos

El proyecto tiene un costo total de USD\$ 250.000 y sería financiado por el BID. La Tabla 24 muestra un desglose de los costos del proyecto.

Tabla 24. Desglose de los costos del proyecto.

Actividad /Componente	IDB/ Fund Funding	Counterpart Funding	Total Funding
1. Fortalecimiento de los recursos humanos	\$ 52.000,00	0	\$ 52.000,00
2. Desarrollo de casos prácticos de uso de datos para el diseño de políticas públicas	\$ 148.000,00	0	\$ 148.000,00
3. Elaboración de metodología de réplica y acciones de conocimiento	\$ 50.000,00	0	\$ 50.000,00

1.4.2 Caso de Estudio: “Programa Nacional de Investigación Aplicada a la Reducción de Desastres” - Venezuela. Fuente: Liñayo (2016).

La investigación aplicada y el desarrollo de tecnología con enfoques de diagnósticos interdisciplinarios, multidisciplinarios y transdisciplinarios; su aplicabilidad y practicidad, deberían ser considerados premisas en todos los países que deseen tener un conocimiento adecuado de sus escenarios de riesgos y quieran implementar acciones para su disminución.

Estas áreas juegan un papel importante es la Gestión de Riesgos, ya que proporciona los datos necesarios y la línea base para el desarrollo y planificación de planes, programas y proyectos, adicionalmente, puede suministrar herramientas didácticas y prácticas para un manejo y gestión adecuado y rápido de la información a distintos niveles.

En América Latina y El Caribe se han dado varias iniciativas de este estilo, las cuales en algunos casos son proyectos de gran envergadura que se desarrollan con la participación de organismos de financiamiento bilaterales y los Ministerios de Ciencia y Tecnología de cada país. Dentro de ellos se puede citar: Base de Datos e inventarios como Desinventar, MAG-MIDEPLAN de Costa Rica, Estudios y Desastres de Venezuela; Atlas de Gestión de Riesgo de México; Redes científicas-tecnológicas de Información y Gestión de Riesgos como RELACIGER; Bibliotecas Temáticas Virtuales como BiVaPAD; Redes automatizadas de monitoreo de variables meteorológicas e hidrológicas; Convocatorias y financiamiento para el desarrollo de proyectos de investigación y becas en programas académicos de pregrado y postgrado; Modernización y automatización del monitoreo y gestión de cuencas hidrográficas como el caso de ANA (2009) en Perú, entre otros.

1.4.2.1 Resumen del Proyecto

La creación del MCT en el 1999 obedeció a la necesidad de que el sector científico/tecnológico analizara y diseñara soluciones a los problemas más importantes del país, ese mismo año ocurre uno de los peores desastres socio-naturales del último siglo. Ambas situaciones promovieron que la reducción de desastres se convirtiera en uno de los programas bandera del MCT. El proyecto se inició en el año 2000, con un diagnóstico completo de la situación y el diseño del plan de trabajo. En el 2001, se apertura el diseño/implementación de una agenda de proyectos prioritarios de investigación requeridos para mejorar las capacidades nacionales de gestionar el riesgo de desastres. El diseño de dicha agenda fue resultado de un extenso proceso de negociación entre múltiples actores institucionales y académicos. En total se desarrollaron total de 66 líneas de investigaciones englobadas en 12 ejes temáticos. Dicha iniciativa se constituyó en una experiencia pionera que demuestra la complejidad de los retos que deben ser enfrentados cuando se esfuerza en abordar integralmente la problemática de los desastres, particularmente a nivel latinoamericano.

Este proyecto fue desarrollado en Venezuela, inició en el año 2000 y culminó en el año 2007. La Institución Promotora Nacional fue el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT).

1.4.2.2 Objetivo

Desarrollar un conjunto coherente, factible y sostenible de propuestas, estrategias e instrumentos que, desde una plataforma científica, multidisciplinaria e integral, permitan asesorar al Estado, a las comunidades y a las instituciones nacionales a mejorar sus políticas y programas de gestión del riesgo y reducción de desastres.

1.4.2.3 Áreas temáticas de estudio

Se establecieron 12 ejes temáticos de trabajo: Educación y capacitación; Riesgo y gestión pública; Aspectos sociales y culturales; Tecnología informática aplicada, Inventario y caracterización de Amenazas, Diseño, diagnóstico y reforzamiento de edificaciones y urbanismo; Riesgos y líneas vitales; Fortalecimiento de instituciones de respuesta; Tecnología para la respuesta y rehabilitación; Aspectos legales y organizacionales; Atención médica y psicológica; Riesgos, economía y aparato productivo. Para cada uno de ellos se establecieron el área de acción y prioridades, así mismo se desarrollaron entre 4 a 8 líneas de investigación, para un total de 66 líneas de investigación sugeridas.

1.4.2.4 Metodología

El proyecto inició en el año 2000, con un diagnóstico muy completo del problema del riesgo de desastres en el país y el diseño del plan de trabajo, el cual contó con la participación de cientos de investigadores y expertos en el tema, asociados a 77 instituciones tanto nacionales como latinoamericanas; dando como resultados propuestas concretas para tres planos de actuación: El primero, orientado a la reorientación de la conceptualización y las políticas nacionales existentes ante el riesgo de desastres; el segundo, dirigido a la identificación de lineamientos para promover la investigación y el desarrollo tecnológico en el área; y el tercero orientado a identificar una agenda concreta de proyectos de investigación de carácter prioritario que fue abierta a la comunidad de científicos y tecnólogos del país a fin de generar productos concretos que se consideraron necesarios a fin de mejorar el nivel de desempeño de las instituciones públicas y privadas involucradas con la gestión de riesgos socionaturales y la actuación ante escenarios de desastres en sus distintas vertientes. Una vez establecidos los grupos de trabajo, se procedió a seleccionar los ejes temáticos principales para el desarrollo de investigación, los mismos fueron elegidos siguiendo lineamientos y recomendaciones propios del método Delphi, y posteriormente, a los fines de poder cuantificar las opiniones que sobre las prioridades que debían ser establecidas, se hizo un uso combinado de los principios que sugiere el método de la lógica difusa y en algunos casos, del análisis estadístico de opiniones que fueron recolectadas en las entrevistas y en instrumentos entregados a los expertos, cuyos datos finales fueron procesados mediante un sencillo análisis de covarianzas asociadas a las desviaciones en las opiniones establecidas por los grupos objeto con relación a las respectivas prioridades que pudieran darse tanto a las áreas de investigación, como a las distintas líneas de investigación definidas en cada área. Se hicieron dos convocatorias públicas a través de prensa nacional (2001 y 2003), lo que arrojó un total de 250 propuestas, de las cuales fueron seleccionados 37.

1.4.2.5 Resultados

Los primeros 3 años del programa se concentraron en el diseño de una agenda nacional y consensuada de proyectos de investigación considerados como prioritarios para aportar soluciones sectoriales a la reducción de los desastres en el país, a medida que el desastre de Vargas del 1999 se fue olvidando, este programa fue perdiendo espacio en la agenda de prioridades de la clase política nacional. El seguimiento técnico y administrativo de este proyecto fue cedido al Fondo Nacional para la Ciencia Tecnología e Innovación, el mismo se centró esencialmente, más en garantizar la calidad y rigurosidad académica de los esfuerzos desarrollados en cada caso, que en asegurar el vínculo permanente entre los grupos de investigadores y los usuarios finales de los productos asociados a cada proyecto, los cuales comúnmente estaban siempre vinculados al quehacer de distintas instituciones de desarrollo sectorial del país. No todos los proyectos obtuvieron los resultados esperados (35 a 40%), a juicio del autor, esto se debió tanto a debilidades y carencias entre algunos investigadores que no lograron entender que el esfuerzo que se esperaba de ellos trascendía la publicación de sus resultados en una revista científica indexada, como a las debilidades y carencias que a la larga caracterizaron a los mecanismos burocráticos del Ministerio y el Fondo; a pesar de ello algunas de estas iniciativas de investigación se mantienen hasta el día de hoy, gracias a fuentes adicionales de financiamiento. A pesar de todo ello, este programa constituyó un espacio de trabajo consensuado que permitió que a lo largo de estos años se gestaran e implementaran transformaciones muy importantes en el abordaje conceptual, normativo, metodológico e institucional de los escenarios de riesgo de desastres socio-naturales y tecnológicos de este país suramericano.

1.4.2.6 Costos

Se desarrollaron 37 proyectos de investigación, por un monto total de: 4.291 millones de Bolívares, equivalentes a unos **3.5 millones de dólares (USD)** al cambio para ese momento.



2. ÍNDICE DE COMPROMISO PAÍS (ICP_{GRIAT}) Y GAP DEL SECTOR



En la nota técnica llamada Implicaciones de los acuerdos de París (NDCs)⁸ (López et al, 2020) que es parte de este componente de Inundaciones del estudio, se presentaban los resultados de una valoración del compromiso expresado por los distintos países de nuestra región con la gestión integral del riesgo de inundaciones y aludes torrenciales. Dicho compromiso se presentaba mediante un índice (ICPGRIAT) que permitía cuantificar e incluso graficar, el compromiso con la gestión del riesgo de desastres expresados por los países de América Latina y El Caribe en sus respectivos NDCs (Figuras 65 y 66). Los valores presentados varían en una escala entre el 0 (que representa ninguna referencia en los NDCs del país a iniciativas para la Gestión de Riesgos de Inundaciones y Aludes Torrenciales) al 4 (que representa un sólido y explícito apoyo a la Gestión de Riesgos de Inundaciones y Aludes Torrenciales en los NDC del país). Este índice permite tener una mirada comparativa regional interesante del grado de evolución y compromiso existente para con este tipo de esfuerzos, y en el que pudiéramos incluso identificar cuales países demuestran mayores o menores avances y/o retrocesos ante las medias regionales en este aspecto específico.

El valor promedio regional (μ) que se encuentra para los países de América Latina y El Caribe incluidos en este proyecto es de 1,60, el puntaje máximo lo obtuvo Argentina con 2,62 y el mínimo fue para Surinam con 0,42. Dicha valoración demuestra en línea general, que la mayoría de estos países se encuentran por debajo de la línea base mínima necesaria que debería ser un $ICPGRIAT \geq 2$, a excepción de: Argentina, Uruguay, Brasil, Guyana, Perú, Chile y Colombia.

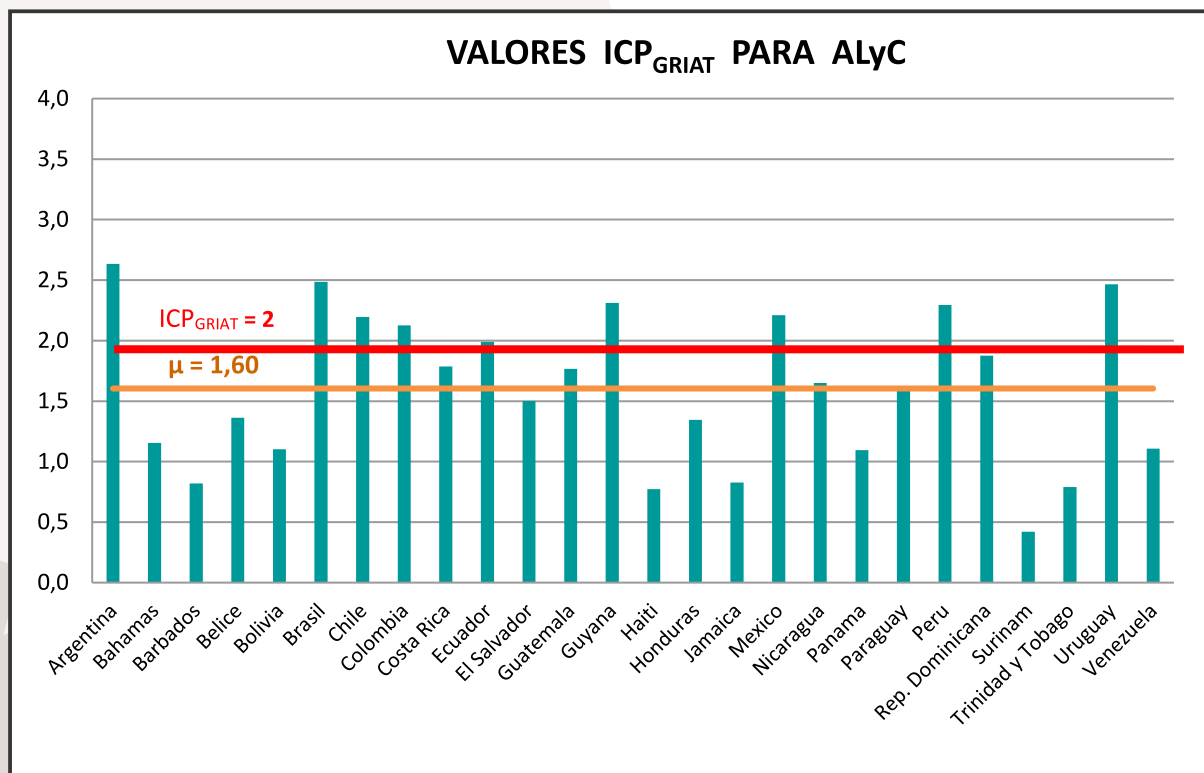


Figura 65. Valores del ICPGRIAT obtenidos para América Latina y El Caribe. Fuente: Elaboración propia.

⁸ Parte del estudio: Identificación de Riesgo Climático y Definición de Estrategias Financieras para su Mitigación en el Sector de Agua y Saneamiento en América Latina y el Caribe.

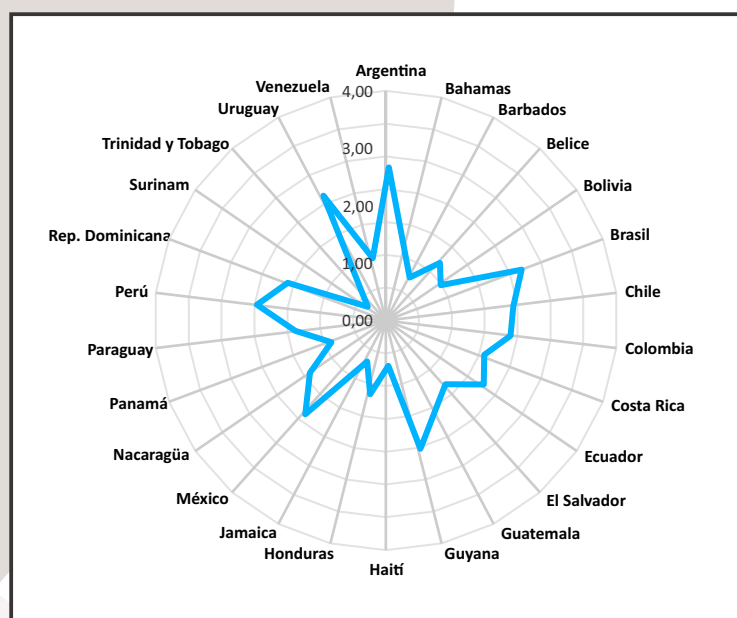


Figura 66. Resultado del índice sectorial de compromiso país para la gestión del riesgo de inundaciones y aludes torrenciales (ICPGRIAT) para América Latina y El Caribe. **Fuente:** Elaboración propia.

Vale la pena recordar que el Índice Sectorial de Compromiso País para la Gestión del Riesgo de Inundaciones y Aludes Torrenciales (ICPGRIAT) que allí presentamos estaba constituido por los resultados obtenidos de valorar 22 acciones concretas y distintas, que fueron identificadas como prioritarias a los efectos de fomentar la reducción integral del riesgo, y que a su vez fueron clasificadas en 5 grupos de acciones que debían ser promovidas a los efectos de fomentar un abordaje integral del riesgo de aludes torrenciales e inundaciones (Figura 67).

CRITERIO	ACCIONES DE DIAGNOSTICO (20%)											
INDICADORES	REDES HIDROMET	20%	ESTUDIOS HIDROLOG. DE CUENCAS	15%	DETERMINACION PRODUC. DE SEDIMENTOS	10%	CARACT. ESPACIAL DE AMENAZAS	20%	CARACT. ESPACIAL VULNERABILIDAD	15%	BASE DE DATOS HISTORICAS	20%
CRITERIO	GESTION PROSPECTIVA (20%)											
INDICADORES	PLAN GESTION CUENCAS H.	20%	ORDENACION TERRITORIAL	20%	ORDENACION URBANA	20%	REGULACIONES Y NORMATIVAS	20%	EDUCACION CONCIENTIZACION	20%		
CRITERIO	GESTION CORRECTIVA (25%)											
INDICADORES	OBRAS Y MEDIDAS CONTROL EROSION	25%	OBRAS Y MEDIDAS CONTROL INUNDAC.	25%	OBRAS Y MEDIDAS CONTROL SEDIMEN.	25%	OBRAS Y MEDIDAS REFORZAMIENTO	25%				
CRITERIO	GESTION REACTIVA (20%)											
INDICADORES	MONITOREO SAT LOCAL	20%	MAPEO LOCAL AMENAZAS	25%	FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL	25%	CAPACITACION COMUNITARIA	30%				
CRITERIO	ACCIONES TRANSVERSALES (10%)											
INDICADORES	CONCIENCIACION ORGANIZACIONAL	30%	INVESTIGACION APLICADA + DES. TECNOL.	35%	MECANISMO DE EVAL. CONTROL Y FISCALIZAC.	35%						

Figura 67. Parámetros de evaluación y ponderaciones de las acciones para estimar el ICPGRIAT. **Fuente:** Elaboración propia.

2.1 ACCIONES DE DIAGNÓSTICO

El primer grupo de acciones está referido a todas las actividades relacionadas con la determinación, diagnóstico y caracterización de los riesgos hidroclimáticos, éstas constituyen los implementos y herramientas básicas para los demás grupos de acciones definidas en el enfoque holístico de la gestión integral de riesgos a inundaciones y aludes torrenciales. Dentro de ellas se encuentran: Establecimiento y funcionamiento de redes hidrometeorológicas, Realización de Estudios hidrológicos de cuencas, Determinación de producción de sedimentos, Caracterización espacial de amenazas y vulnerabilidad, y Desarrollo de bases de datos de eventos históricos.

Estudiando los resultados arrojados en el Producto 1B de este proyecto, específicamente para la valoración del ICPGRIAT en función de las Acciones de Diagnóstico este arroja una media regional (μ) de 1,98. De los 26 países en estudio, la mitad de ellos mantienen la línea base mínima necesaria ($\geq 1,98$), resaltando: México, Argentina, Costa Rica, Chile, Colombia y Brasil. Por otro lado, países como: Surinam, Haití, Trinidad y Tobago, Barbados, Belice, Bahamas, entre otros; poseen un índice muy por debajo de la media obtenida, lo que representa, que en sus NDCs muestran poco compromiso en la realización de acciones que faciliten la caracterización y diagnóstico de sus amenazas y vulnerabilidades (Figura 68).

En general, los países que se encuentran por debajo de la media establecida requieren mayores esfuerzos de inversión para fortalecer esta área.

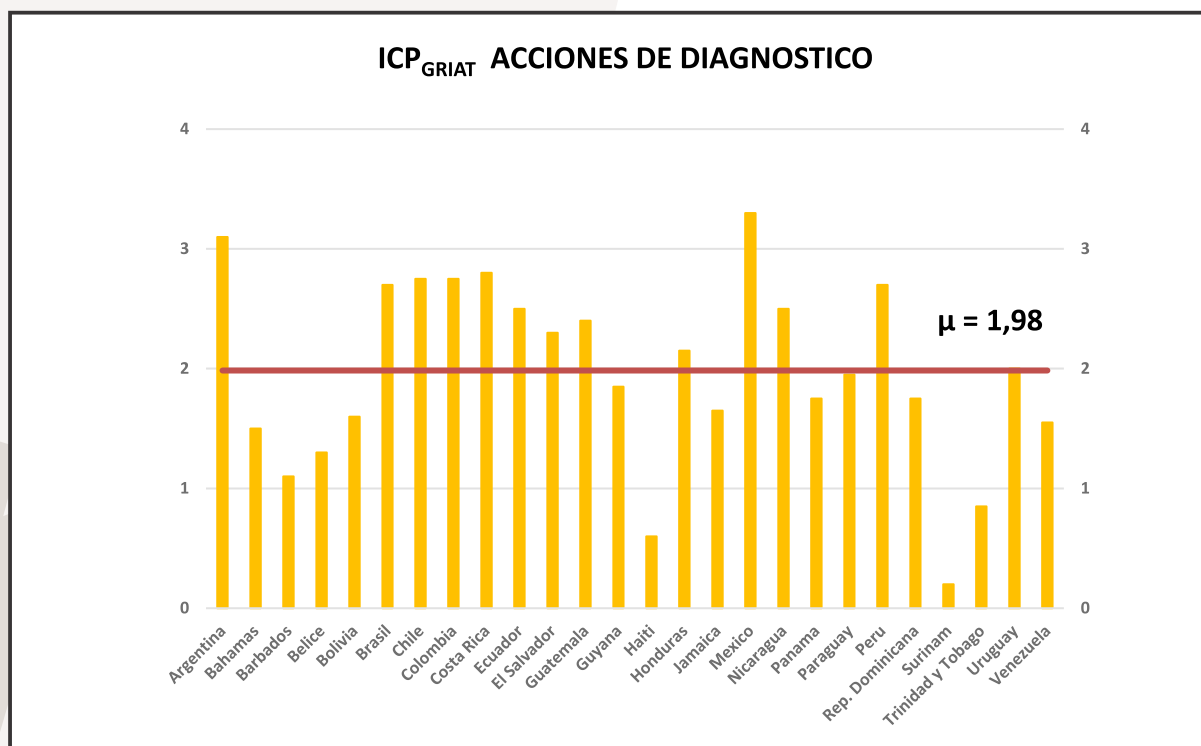


Figura 68. Resultados de la evaluación del ICPGRIAT para las acciones de diagnóstico. Fuente: Elaboración propia.

2.2 GESTIÓN CORRECTIVA

El segundo grupo de acciones está concentrado hacia las actividades relacionadas con la gestión correctiva, referidas básicamente a medidas estructurales para la mitigación del riesgo, dentro de las más importantes se encuentran: Obras y medidas para el control de erosión, inundaciones, sedimentos y reforzamientos.

Los resultados obtenidos en el Producto 1B para este grupo de acciones corresponde a una media regional (μ) de 1,24 (Figura 69). De los países en estudio, solo 10 de ellos se encuentran por encima de esta línea base establecida, entre ellos: Guyana, Argentina, Brasil, Colombia, México, Nicaragua y Perú. Por el contrario, el caso más extremo está representado por Surinam (0), seguido de Trinidad y Tobago, Bahamas, Barbados, Haití, Jamaica y Bolivia, entre otros; estos últimos poseen un índice muy por debajo de la media obtenida, lo que representa, que en sus NDCs muestran poco compromiso en la realización de acciones de este tipo, las cuales ayudarían a disminuir considerablemente su vulnerabilidad, lo que se traduciría en menores pérdidas ante la ocurrencia de eventos de esta naturaleza.

En general, los países que se encuentran por debajo de la media establecida requieren mayores esfuerzos de inversión para fortalecer esta área.

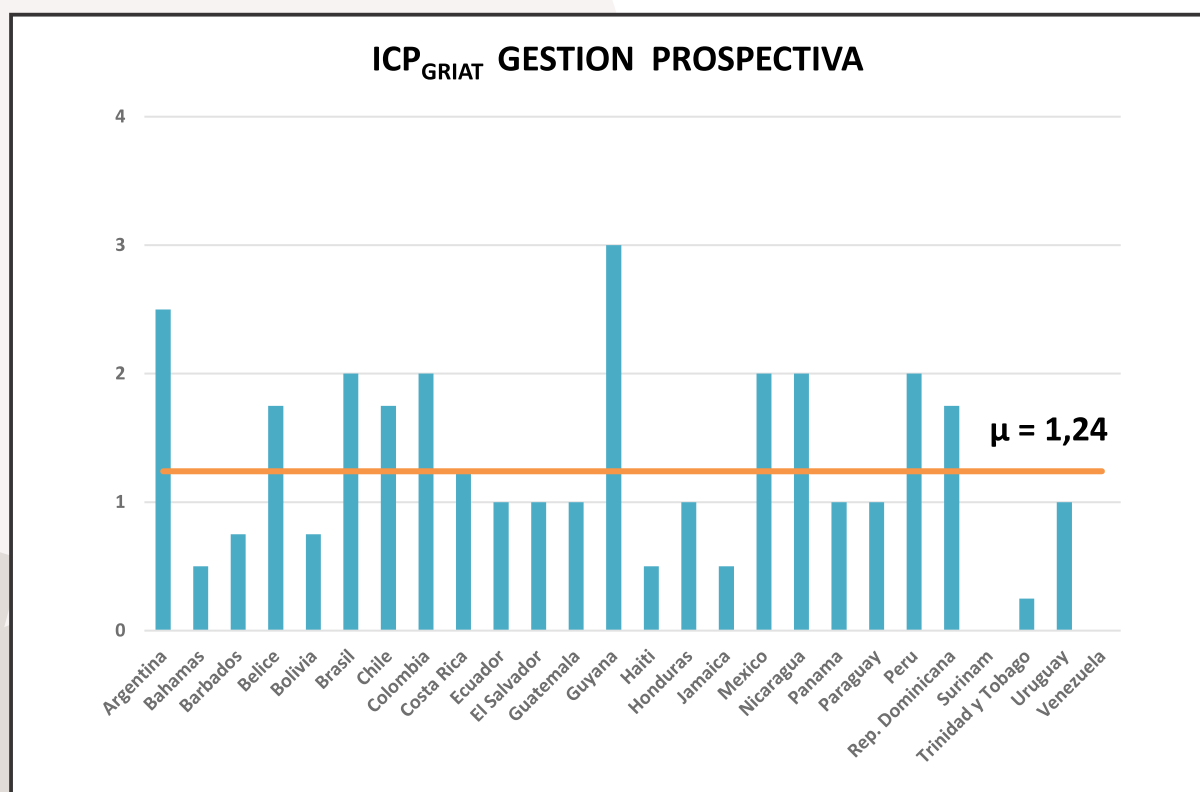


Figura 69. Resultados de la evaluación del ICP_{GRIAT} para la gestión correctiva. Fuente: Elaboración propia.

2.3 GESTIÓN PROSPECTIVA

El tercer grupo de acciones está concentrado hacia las actividades relacionadas con la gestión prospectiva, las cuales se centran en el diseño/implementación de medidas para evitar que los procesos de desarrollo y ocupación territorial que se planifican estén expuestos a futuro al riesgo de inundaciones/aludes torrenciales. Dentro de las más importantes se encuentran: Desarrollo e implementación de planes de: gestión de cuencas hidrográficas, ordenamiento territorial y urbano, normativas y regulaciones; y desarrollo y estimulación de la educación y concientización.

Los resultados obtenidos en el Producto 1B para este grupo de acciones corresponde a una media regional (μ) de 1,99 (Figura 70). De los países en estudio, solo 11 de ellos se encuentran por encima de esta línea base, resaltando: Uruguay, Perú, Argentina, Brasil y Paraguay. Por el contrario, los países con menor índice están representado por: Jamaica, Barbados, Surinam, Haití, Trinidad y Tobago, Honduras, entre otros; estos últimos poseen un índice muy por debajo de la media obtenida, lo que representa, que en sus NDCs muestran poco compromiso en la realización de acciones de este tipo.

En general, los países que se encuentran por debajo de la media establecida requieren mayores esfuerzos de inversión para fortalecer esta área.

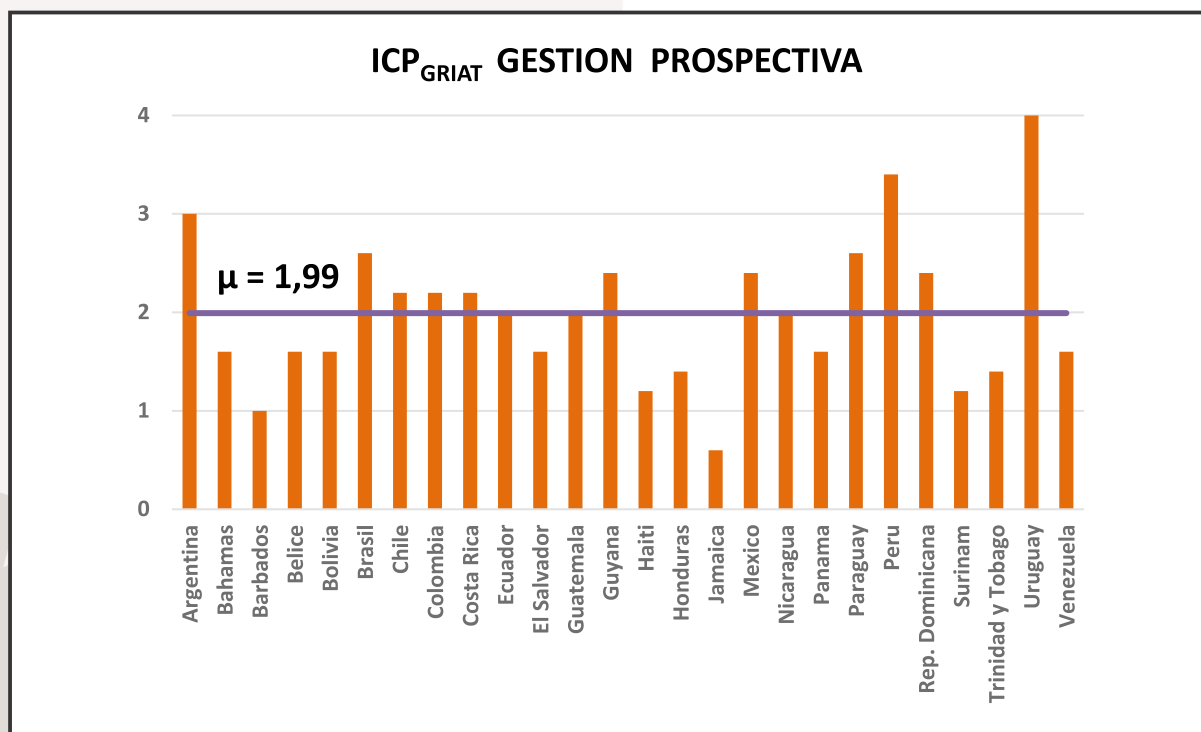


Figura 70. Resultados de la evaluación del ICPGRIAT para la gestión prospectiva. Fuente: Elaboración propia.

2.4 GESTIÓN REACTIVA

El cuarto de los grupos de acciones referido fue denominado Acciones para la Gestión Reactiva del Riesgo Hidroclimático, y a los fines de conformar las actividades concretas que este grupo acciones ameritaba, se valoraron cuatro actuaciones específicas, y que coinciden con los objetivos establecidos para cada uno de los cuatro subsistemas que deben integrar todo sistema de alerta temprana (EWC, 2005). Los resultados del referido análisis se presentan a continuación (Figura 71).

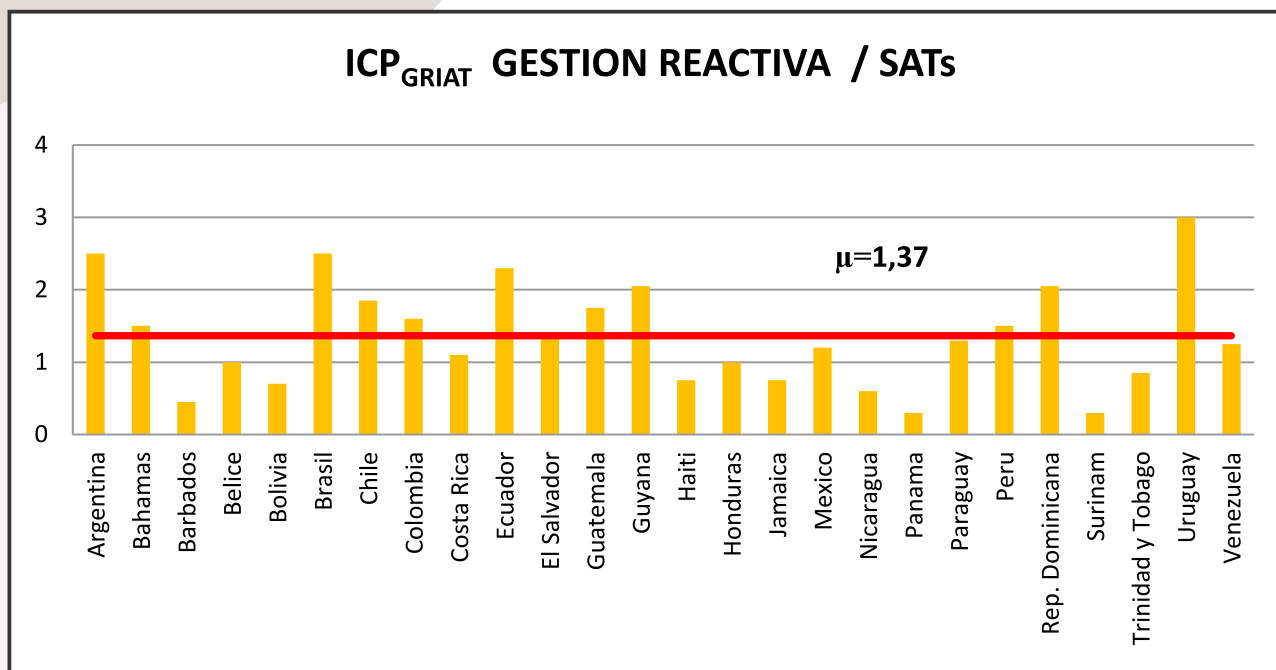


Figura 71. Valoración del compromiso de los países con la promoción de Sistemas de Alerta Temprana. **Fuente:** Elaboración propia.

El valor promedio que se encuentra para los países de América Latina y El Caribe es de 1,34. Dicha valoración demuestra además que 11 países logran colocarse por encima de este valor medio (destacándose entre los mismos: Uruguay, Brasil, Ecuador y Argentina), mientras que 15 países se mantienen por debajo de la media regional, resaltando: Surinam, Panamá, Barbados, y Bolivia.

2.5 ACCIONES TRANSVERSALES

El último grupo de acciones está centrado en trabajar un conjunto de actividades que facilitarían el correcto funcionamiento y desenvolvimiento de las demás acciones aquí tratadas referentes a la gestión integral de riesgo ante inundaciones y aludes torrenciales, dentro de ellas: Fortalecimiento/concientización Institucional - organizacional, Desarrollo de Agendas de Investigación Aplicada, Desarrollo y uso de tecnología e implementación de mecanismos de Medición, Reporte y Verificación.

Los resultados obtenidos en el Producto 1B para este grupo de acciones corresponde a una media regional (μ) de 1,58 (Figura 72). De los países en estudio, solo 12 de ellos se encuentran por encima de esta línea base, resaltando: Chile, Brasil, México, Uruguay, Ecuador y Colombia. Por el contrario, los países con menor índice están representado por: Bahamas, Surinam, Trinidad y Tobago, Jamaica, entre otros; estos últimos poseen un índice muy por debajo de la media obtenida, lo que representa, que en sus NDCs muestran poco compromiso en la realización de acciones de este tipo.

En general, los países que se encuentran por debajo de la media establecida requieren mayores esfuerzos de inversión para fortalecer esta área.

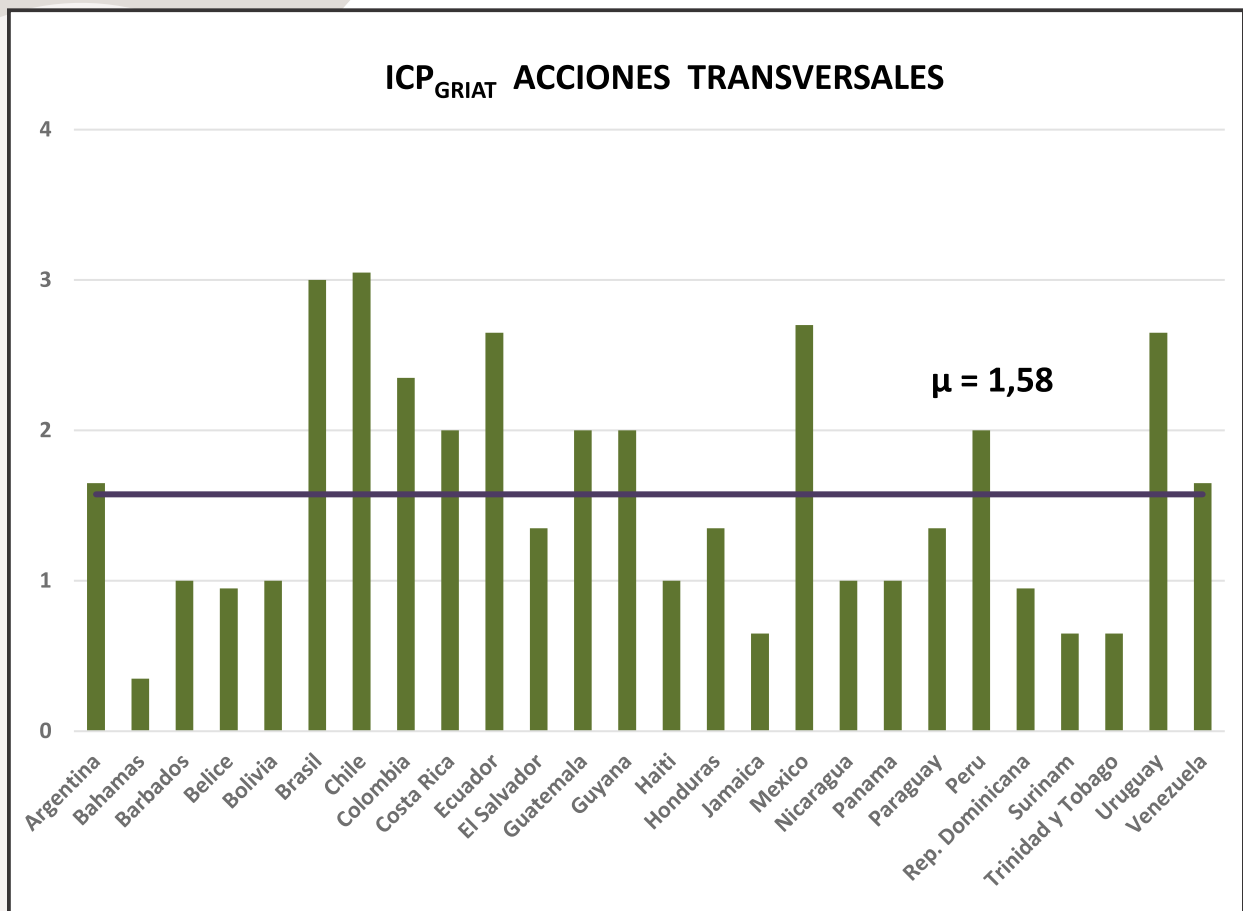


Figura 72. Resultados de la evaluación del ICPGRIAT para las acciones transversales. **Fuente:** Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En documentos entregados anteriormente al BID como parte de este estudio se mostraba la importancia que la gestión del riesgo de aludes torrenciales e inundaciones tenía para todos y cada uno de los países de la región, y se justificaba la necesidad de definir estrategias financieras para la reducción de riesgos hidrológicos que priorizaran tanto el desarrollo de medidas estructurales para el control de inundaciones y aludes (medidas de gestión correctiva o compensatoria), como el abordaje de medidas para preparación y respuesta comunitaria e institucional ante desastres (medidas de gestión reactiva).

El presente documento pretende hacer algunos aportes para la estimación de las inversiones requeridas en el campo de la mitigación del riesgo de desastres ante aludes torrenciales e inundaciones en América Latina y El Caribe. Para ello se presentan estudios de casos típicos que han sido exitosos en la gestión del riesgo de desastres por inundaciones y aludes torrenciales en algunos países de la región, y se discuten las bondades, beneficios, dificultades y costos involucrados.

El primer caso analizado es el control de deslizamientos en la localidad de Chosica, ubicada en la zona este a unos 30 km de Lima, Perú, donde se producen frecuentemente deslizamientos y deslizamientos de tierra, roca y lodo en las laderas de la montaña, tal como ocurrió con el fenómeno de El Niño de 1987, destruyendo viviendas y causando víctimas. Las medidas estructurales implementadas, consistentes en la construcción de 22 barreras dinámicas en 9 barrancos en las laderas de los cerros de Chosica, instaladas el año 2016, impidieron la ocurrencia de un desastre debido a las lluvias torrenciales de marzo del 2017 que nuevamente generaron deslizamientos en la montaña. Las barreras soportaron y retuvieron los aluviones de sedimentos, impidiendo que alcanzaran la zona urbana. El monto de la inversión requerida para las 22 barreras está en el orden de 3,5 millones de dólares.

El segundo caso se refiere a las medidas estructurales implementadas en el estado Vargas, Venezuela, para proteger a las poblaciones asentadas en los abanicos aluviales de las quebradas que descienden de la montaña El Ávila, que generaron en diciembre de 1999 unos catastróficos aludes torrenciales que causaron centenares de muertos y pérdidas en el orden de 4 mil millones de dólares. No se conoce en América Latina un esfuerzo de tanta envergadura como el acometido por las autoridades gubernamentales para proteger a la población de Vargas. Entre los años 2001 y 2008, se construyeron 63 presas de retención de sedimentos distribuidas entre 24 cuencas, se canalizaron 18 quebradas para conducir los flujos hacia el mar, y se construyeron o rehabilitaron 25 puentes.

Se hace una descripción detallada de las obras acometidas en la cuenca del río Naiguatá, una de las cuencas afectadas por los aludes de 1999 en el estado Vargas, Venezuela. El costo de una presa de concreto ciclópeo de 5 m de altura y 155 m de longitud, y su contradique de 1,30 m de altura y 142 m de longitud, es de 2,1 millones de dólares. El costo de la obra de canalización de sección trapecial de 22 m de ancho base y 4 m de altura, en una longitud de 1.570 m, construida

parte en concreto ciclópeo y parte en fondo móvil con recubrimiento de márgenes, es de 4,1 millones de dólares. El costo total del sistema presa-canalización construido para proteger a los habitantes de la población de Naguayatá de los aludes torrenciales se estima en el orden de 6,2 millones de dólares.

Un tercer caso trata el problema de las inundaciones pluviales en zonas muy planas, con poca capacidad de conducción, como es el caso de las medidas de canalización adoptadas en un sector urbano de la Isla de Margarita, en Venezuela, donde ocurrían inundaciones frecuentes por desbordes del río San Juan y por incapacidad del sistema de drenaje para evacuar las aguas de lluvia. La canalización efectuada incluye un tramo urbano del cauce del río San Juan, antes de su descarga en la Laguna de las Maritas, y un tramo de una quebrada afluyente que descarga en el cauce principal. Los trabajos realizados consisten en un canal revestido de gaviones, muro en concreto armado a la entrada del canal, obra de disipación de energía y canales de drenaje revestidos en concreto para escurrimiento superficial. La longitud total de la canalización es de 453 m y la de las cunetas de concreto armado para drenaje superficial es de 460 m. El costo total de las obras fue de 1,9 millones de dólares.

El cuarto caso se refiere a las medidas de control de erosión adoptadas en una microcuenca andina, la cuenca de la quebrada La Virgen, en Mérida, Venezuela, con el objeto de estabilizar torrentes de alta pendiente, el cual ilustra las prácticas que deben ser aplicadas para el manejo de cuencas torrenciales. Para el año 1976, la cuenca presentaba graves problemas de erosión en su tramo medio generando crecidas torrenciales con alto arrastre de sedimentos gruesos y vegetación, que ocasionaban interrupciones en la vía transandina e impedimento al desarrollo confiable de las actividades de los productores agrícolas.

Entre 1968 y 1975 se ejecutó en la microcuenca de la quebrada La Virgen uno de los primeros tratamientos de control de torrentes en este país, basado en las experiencias austriacas, el cual consistió en la construcción de 17 diques pequeños de consolidación, escalonados a lo largo de unos 400 m del curso de la quebrada. Después de más de 40 años de funcionamiento, las estructuras han demostrado ser efectivas para mantener fijo el lecho y márgenes del torrente y para estabilizar un gran deslizamiento que era la fuente principal productora de sedimentos. Entre los beneficios adicionales del proyecto se mencionan, la estabilización de torrentes tributarios, la reducción del caudal sólido lo cual ha mejorado la calidad del agua y ha permitido la existencia de dos pequeños acueductos rurales, y el mejoramiento paisajístico y recreacional. El proyecto ha permitido además adquirir experiencias y entrenamiento práctico por parte de ingenieros, peritos, constructores y estudiantes, y ha logrado demostrar a la comunidad, a los técnicos y a los políticos la efectividad del control de torrentes en zonas tropicales.

Los diques fueron construidos con mampostería hidráulica y gaviones, aprovechando la presencia de cantos rodados y peñones en el lecho de la quebrada. Las alturas de los diques variaron entre 1,5 y 6 m, con anchos del cauce entre 5 y 15 m. El costo de los diques se ha estimado entre US\$ 10.000 para los diques pequeños y US\$ 40.000 para los más grandes. Un estimado del costo total del proyecto de consolidación y control de erosión en la quebrada La Virgen está en el orden de US\$ 700.000. Por otra parte, información reciente de costos de

proyectos de reforestación en montaña realizados en varios países de América Latina incluyendo el mantenimiento oscilan entre 1.160 US\$/ha a 1.400 US\$/ha.

El último caso de estudio que se presenta se concentra en los esfuerzos que deben hacerse para fortalecer las capacidades de preparación y respuesta (Gestión Reactiva) ante este tipo de desastres, como parte del enfoque holístico planteado en este proyecto. La consolidación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) constituye uno de los cinco grupos de acciones consideradas como necesarias a la hora de garantizar la gestión integral del riesgo de aludes torrenciales e inundaciones. En este informe se ha recopilado información de distintas fuentes que permite estimar la naturaleza y el volumen de las inversiones que pudieran ser requeridas a la hora de promover la consolidación de los sistemas SAT en los países de América Latina y El Caribe.

Se han identificado tres (3) experiencias regionales, asociadas al establecimiento de sistemas de alerta temprana en los países de estudio, que brindan información sobre la naturaleza de las inversiones que acompañan a este tipo de proyectos. El SAT del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz - Bolivia, el cual cuenta con tecnología de última generación, consistente en equipos de monitoreo, pluviómetros y sensores de radar de origen alemán, y luego otros de diversa procedencia. La inversión inicial, en la que participaron la municipalidad y la cooperación, junto al gobierno alemán, alcanzó la cifra de US\$ 11,9 millones. El segundo caso es el SAT de Río de Janeiro, Brasil, el cual cuenta con el sistema de alarma Geo-Rio de sirenas en 103 comunidades en zonas de alto riesgo que se pueden activar. Disponen además de un radar, adquirido a través de Geo-Rio Fundación y sistema de alerta comunitaria que alcanza un valor de US\$3,8 millones. El tercer caso es el SAT instalado en la cuenca del río Piura, en la cuenca alta del río Inambari y en la Microcuenca del río Quesermayo en Perú, los cuales tuvieron un precio de instalación de US\$ 520.220, y un costo de mantenimiento anual de US\$ 110.000.

Otros casos de SAT a nivel mundial fueron analizados los cuales permiten tener un patrón de referencia más amplio, a partir de la descripción de sus objetivos, su área de influencia (local, regional, nacional o internacional), su duración y sus costos. De los 23 proyectos SAT identificados se concluye que en promedio, un SAT local tendría un costo de US\$ 284.464, y es ejecutado en unos 16 meses, y en promedio, un SAT regional tendría un costo de US\$ 811.323, y es ejecutado en unos 20 meses.

Entre las acciones de diagnóstico señaladas en el plan de gestión integral de riesgos, se encuentra la elaboración de mapas de amenaza, los cuales constituyen una herramienta fundamental para planificar el ordenamiento del territorio y para concientizar a la población sobre los peligros de ocupar zonas de riesgo. Adicionalmente sirven de ayuda y soporte a los sistemas de alerta temprana (SAT) y a los responsables de la protección civil para el diseño de planes de contingencia, ubicación de áreas de refugio y selección de vías de escape.

La elaboración de mapas de amenaza ante el peligro de inundaciones y aludes torrenciales requiere de la instrumentación de estudios hidrológicos, sedimentológicos e hidráulicos. En este documento se describe la metodología seguida por investigadores del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela para la elaboración de mapas de

amenaza en la ciudad de Caracas, para protegerse contra inundaciones y deslaves. El costo del estudio que abarcó 16 quebradas y el curso del río Guaire, el drenaje principal de la ciudad capital, estuvo en el orden de US\$ 151.231.

Otras acciones que entran dentro de las denominadas acciones transversales para la gestión integral del riesgo de desastres se refieren al desarrollo de capacidades institucionales para la toma de decisiones y el diseño, evaluación y seguimiento de políticas públicas. En este sentido se reportan las experiencias en Chile que contemplaron el fortalecimiento de los recursos humanos, el desarrollo de casos prácticos de uso de datos para el diseño de políticas públicas y la elaboración de metodología de réplica y acciones de conocimiento, en un proyecto financiado por el BID con un costo de US\$ 250.000. El proyecto se encuentra en ejecución actualmente y se estima un tiempo de duración de 24 meses, siendo los beneficiarios los Ministerios de Educación, Hacienda y Desarrollo Social.

Otro aspecto específico en el marco de las acciones transversales se refiere al fortalecimiento de las capacidades de los países de la región para mejorar el conocimiento y gestionar el riesgo de desastres. En este sentido se hace referencia a un programa nacional de investigación aplicada a la reducción de desastres, desarrollado e implementado en Venezuela entre los años 2001 y 2007, promovido y gestionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT). En el marco de esta iniciativa se desarrollaron 37 proyectos de investigación, por un monto total aproximado de 3.5 millones de dólares.

Con respecto al desarrollo del Índice de Compromiso País ante la Gestión del Riesgo de Inundaciones y Aludes Torrenciales (ICPGRIAT) realizado en uno de los documentos de este proyecto y su aplicabilidad para identificar los GAP a nivel regional y para cada país, resulta una metodología y herramienta bastante versátil para ser usada con este fin, ya que permite determinar el grado de evolución y compromiso existente mostrado en los NDCs para este tipo de esfuerzos. A través de él se pudo identificar cuales países demuestran mayores o menores avances y/o retrocesos ante las medias regionales en este aspecto específico.

Del análisis realizado con respecto a los resultados del ICPGRIAT y el cálculo de las medias regionales para cada grupo de acciones de dicho índice (Diagnóstico, Gestión Prospectiva, Gestión Reactiva, Gestión Correctiva y Acciones Transversales) países como: Argentina, Uruguay, Brasil, Guyana, Perú, Chile y Colombia, muestran mayores compromisos, sin embargo, estos esfuerzos se pudiesen incrementarse para obtener mejores resultados. Por el contrario, la mayoría de las Islas del Caribe casi siempre se encuentran por debajo de la media regional obtenida, lo que infiere que estos países requieren mayores esfuerzos de inversión para fortalecer esta área.

REFERENCIAS

Altez, R., 2010, "Lo que puede aprenderse de un desastre de muertes masivas: la experiencia de Vargas". En el libro: Lecciones aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.). Edición Fundación Empresas Polar - Universidad Central de Venezuela, pp. 127-144.

Autoridad Nacional del Agua (ANA)., 2009, "Estudio de factibilidad del proyecto modernización de la gestión de los recursos hídricos". Ministerio de Agricultura. Lima Perú. Acceso: 04.11.2017.

Banco Central de Venezuela (BCV)., 2005, "Tipos de Cambio de Referencia". Fecha Operación: 30/06/2005. Fecha Valor: 06/07/2005.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2017. "Desarrollando capacidades institucionales para la toma de decisiones y el diseño, evaluación y seguimiento de políticas públicas usando técnicas de analítica avanzada de datos masivos". CH-T1191. Acceso: 04.11.2017.

Banco Mundial, 2007, "Eastern Nile Flood Preparedness & Early Warning Project Phase I". Documentos del Banco Mundial. Disponible en:

http://documents1.worldbank.org/curated/en/616381468247854857/pdf/395680ScannedOIS_DS1FPEW01117-4.pdf

Bello, M.E.; López, J.L.; García, R.; y J.S. O'Brien., 2003, "Simulation of Debris Flows in Cerro Grande River Valley". Acta Científica Venezolana, Vol. 54, N°1.

BID-CIGIR, 2017. "Implicaciones de los Acuerdos de París (NDCs) en la Gestión de Riesgo de Inundaciones y Aludes Torrenciales de América Latina y El Caribe. Informe Producto 1B Ámbito 4 - Inundaciones y Aludes Torrenciales.

Bolinaga, J., 1979, "Drenaje Urbano". Instituto Nacional de Obras Sanitarias, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Caracas.

Corporación Andina de Fomento (CAF) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)., 2000, "Efecto de las lluvias caídas en Venezuela en Diciembre de 1999". José P. Grases (Coordinador). Caracas.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Organización de las Naciones Unidas (ONU)., 2014, "Manual para la Evaluación de Desastres". Oficina de las Naciones Unidas. Chile.

Chow, Ven Te., 1982, "Hidráulica de Canales Abiertos", Editorial Diana. México. Primera Edición.

Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT)., 1999 "Estructuras Flexibles Para Obras Fluviales" Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Dávila, C., 1985, "Diagnóstico socioeconómico de la microcuenca La Virgen", Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Flores, A., 2004, "Bases metodológicas para la estimación de costos en obras de control de torrentes en la cuenca del río Chama". Tesis Maestría en Manejo de Cuencas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.

Franceschi, L. E., 1984, "Drenaje Vial", Fundación Juan José Aguerrevere, Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS)., 2017, "Estudios y Desastres". Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias. Caracas. Acceso: 04.11.2017.

Garcia, R.; López, J.L.; Noya, M.E.; Bello, M.E.; Bello, M.T.; González, N.; Paredes, G.; Vivas, M.I.; and J.S. O'Brien., 2003, "Hazard Mapping for Debris Flow Events in the Alluvial Fans of the Northern Venezuela". Proceedings of the Third International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation. Davos, Switzerland. Sept. 10-12.

Gaviones Maccaferri., 1997, "Diques Flexibles para regulación de Ríos y Obras de Toma". Brasil .

Genatios, C., y M. La Fuente., 2006, "Prevención de desastres, prioridad para el desarrollo". En el libro: Aprendiendo en torno al Desarrollo Endógeno. Capítulo 10. SABER-ULA (Ed.). Fundacite-Mérida, pp.179-198.

Geobruigg, 2017a, <https://www.geobruigg.com/es/Detalles-de-noticias-117515,,41027,detail.html>

Geobruigg, 2017b, "Predimensionamiento Barreras Debris Flow- Quebrada Chacaito-Avila Sur, Caracas, Venezuela", Ing. Ricardo De Stefano, Gerente Regional Centro América y Caribe.

González, M., y Córdova, J.R., 2003, "Estimación de hidrogramas de crecidas en cuencas del Litoral Central luego de los aludes torrenciales de diciembre de 1999". Acta Científica Venezolana, Vol. 54, Suplemento N°1, 2003, pp. 63-87.

Hattinger, H., 1973, "Diseño de diques para el torrente La Virgen", Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Hernández R., 1979, "Proyecto de control del torrente La Virgen, estado Mérida", MARNR, Serie Proyectos/DGI/PR/12/Caracas, Venezuela.

Hernández, E, A., 2006, "Una experiencia exitosa en el control de erosión torrencial de una microcuenca andina", en el libro: Los aludes torrenciales de diciembre de 1999 en Venezuela", J.L. López y R. García (Ed.), Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Instituto Nacional de Estadística (INE), Venezuela, Censo 2011.

Inversiones FORMAR, C.A - MGR Consultores 2005. "Canalización del río San Juan, Tramo Avenida Juan Bautista Arismendi - Laguna Las Maritas. Isla De Margarita, Estado Nueva Esparta". Memoria Descriptiva J-030 / P-062 / 01 Rev. O. Caracas, Julio.

Inversiones FORMAR, C.A., 2005 b. "Canalización del río San Juan, Tramo Avenida Juan Bautista

Arismendi - Laguna Las Maritas. Isla De Margarita, estado Nueva Esparta”. Presupuesto de la obra.

IPCC. 2002. “International Panel for Climate Change, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation” SREX.

Japan International Cooperation Agency (JICA)., 2003, “Estudio de Vulnerabilidad Social de la Ciudad de Caracas”. Documento técnico que integral el Plan de Prevención de Desastres del Área Metropolitana de Caracas.

Kuroiwa, J., 2004, “Disaster Reduction: living in harmony with nature”, Editorial NSG S.A.C., Lima, Perú.

Liñayo A., 2003, “Aspectos Institucionales/Legales Asociados al Establecimiento de Sistemas de Alerta Temprana y Programas de Reforzamiento en Área de Caracas”. Agencia Cooperación Internacional Japón JICA.

Liñayo A., 2000, “Una mirada al sentido de la gestión de los desastres en el contexto latinoamericano”. ULA - Mérida.

Liñayo A., 2004, “Estudio de Percepción Social de Riesgos de la Comunidad de Catia La Mar - Estado Vargas”. SOCSAL, PREDERES. Caracas - Venezuela.

Liñayo, A, 2016, “Una experiencia en el diseño de una agenda nacional de investigación para la reducción del riesgo de desastres”. El Territorio y la Gestión del Riesgo: Enfoques y Dimensiones. Proyección Vol. X- Agosto. pp. 84 - 108.

López, J.L. y Altéz, R., 2010, “Una visión espacial de la tragedia de Vargas: Antes y después”, En el libro: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV.

López, J.L. y Courtel, F., 2012, “Structural Mitigation Measures against Debris Flows in the Mountain Region of Vargas, Venezuela”, Memorias del International Workshop on Extreme Rainfall Induced Landslides, Río de Janeiro, Brasil, del 11 al 15/02/2012.

López, J.L. y Pérez, H.D., 2010, “El extraordinario evento hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas”. En el libro: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV.

López, J.L. y R. García., 2006, “Los aludes torrenciales de diciembre de 1999 en Venezuela”. Libro editado por el Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

López, J.L. Pérez, D., García, R., 2003, “Hydrologic and geomorphologic evaluation of the 1999 debris flow event in Venezuela”, 3rd International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Davos, Switzerland, Sept. 13-15.

López, J.L., 2011, “Una Visión Crítica sobre el Desastre de Vargas: ¿Qué se ha hecho? ¿Qué falta por hacer?”, Revista de la Facultad de Ingeniería UCV., Vol. 26, N° 3, pp. 63-81.

López, J.L., Pérez, D.H. y Courtel, F., 2010, "Monitoreo y evaluación del comportamiento de las presas de control de sedimentos en el estado Vargas". En el libro: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV.

López, J.L., García, R., Bello, M.E., Paredes, G., González, N., Vivas, M.I., y Noya, M.E., 2002, "Análisis y Mapeo de Inundaciones y Aludes Torrenciales en Abanicos Aluviales (Parte I: Descripción Metodológica)", Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, La Habana, Cuba, 2 al 5 de Octubre, 2002.

López, J.L.; Courtel, F.; Bello, M.E.; y M.E. Noya. 2010. Proyecto Caracas: Mapas de amenaza por inundaciones y aludes torrenciales en el valle de Caracas. En el libro: Lecciones aprendidas del Desastre de Vargas. J L. López (Ed.)- Edición Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 709-720.

López J.L, Marín, S., Liñayo, A., Moreno, J, Quintero, Y. 2020. Identificación de riesgo climático y definición de estrategias para su mitigación en América Latina y el Caribe. Inundaciones: Implicaciones de los acuerdos de París (NDC´s). BID. Washington DC, USA.

Martínez, E. 2000. "Estudio Hidrológico e Hidráulico del río San Juan, en su zona Litoral" realizado para la empresa CAVIPRECA.

Memorias de la 2da Conferencia Mundial sobre Alerta Temprana EWC II. 2003. "La Alerta Temprana en Perspectiva. GTZ - EIRD-ONU". Bonn - Alemania.

Memorias de la 3ra Conferencia Mundial sobre Alerta Temprana EWC III. 2005. 2 La Alerta Temprana en Perspectiva. GTZ - EIRD-ONU". Bonn - Alemania.

Michelena R., 1984, "Caracterización físico-hidrológica de los suelos y su relación con los procesos erosivos en la microcuenca La Virgen". Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Ministerio del Ambiente y de Los Recursos Naturales (MARN) - MGR Consultores., 2002, "Canalización río San Juan Tramo Avenida Juan Bautista Arismendi - Laguna Las Maritas - Isla De Margarita, Estado Nueva Esparta". Memoria Descriptiva J-030/P-062/01 Rev. 0. Caracas, Diciembre 2001.

Mora, J.E., 2005, "Las crecidas de febrero del 2005 y sus consecuencias en la infraestructura ubicada en la planicie de inundación del Río Mocotíes en el Estado Mérida". Seminario Internacional Las Lluvias de Febrero de 2005: Experiencias y Soluciones, 01/06/05, Instituto de Mecánica de Fluidos, UCV, Caracas.

Morassutti, G.F., 2010, "Obras de control de torrentes en el estado Vargas. Segunda Parte: El Plan Vargas 2005". En el libro: Lecciones aprendidas del Desastre de Vargas. J L. López (Ed.)- Edición Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 195-228.

Organización de Estados Americanos, "Proyecto de Fortalecimiento del Sistema de Alerta Temprana de la cuenca del río Coyolate-Guatemala". Programa Centroamericano para la Alerta Temprana ante Inundaciones en Pequeñas Cuencas (SVP) y Reducción de la Vulnerabilidad, 1996. Disponible en <https://www.rimd.org/advf/documentos/4b58bdbf739ee.pdf>

PREVENE., 2001, "Proyecto Prevene: Aporte a la prevención de desastres naturales en Venezuela". Cooperación Venezuela-Suiza-PNUD. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Mayo. Caracas.

PROHIDRA., 2001a, "Anteproyecto de ingeniería de la Presa 1 sobre el río Naiguatá". Memoria Descriptiva.

PROHIDRA., 2001b, "Proyecto de ingeniería básica de la canalización del río Naiguatá". Memoria Descriptiva.

Ramírez, J. y E. Hernández, 1967, "Algunos aspectos de un plan de ordenación y manejo conservacionista para la subcuenca La Virgen", Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Rascón, L., 2010, "Sistemas de Monitoreo y Evaluación de Proyectos, Programas y Políticas Públicas". Presupuesto, Gasto y Contabilidad N° 5. Marzo. pp. 45-52.

Salcedo, D., 2010, "Evaluación de la amenaza de procesos geodinámicos inducidos por lluvia. Métodos de predicción y experiencias derivadas del evento de diciembre de 1999 en el estado Vargas". En el libro: Lecciones aprendidas del Desastre de Vargas. J L. López (Ed.)- Edición Fundación Empresas Polar-UCV, pp. 195-228.

Suárez Díaz, J., 1992, "Manual de Ingeniería para el Control de Erosión", Universidad Industrial de Santander - Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Colombia.

Suárez V, L.M., 1993, "Presas de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos". Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Venezuela.

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). 1982, "Diseño de Presas Pequeñas". Editorial Continental. México. Julio 1982.

