



MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
Programa Nacional de Cambio Climático
Guatemala, Centro América

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FUTURA DE LOS
RECURSOS HIDRICOS AL CAMBIO CLIMÁTICO**

Informe Final

PROYECTO REGIONAL
FOMENTO DE LAS CAPACIDADES PARA LA ETAPA II DE
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CENTROAMÉRICA, MÉXICO
Y CUBA (RLA/01/G31)

Guatemala, junio 2007

CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	1
2.	ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD FUTURA.....	2
2.1	<i>Escenarios Climáticos</i>	2
2.2	<i>Escenarios Socio-Económicos</i>	3
2.3	<i>Evaluación de la Adaptación Autóctona a la Variabilidad y al Cambio Climático</i>	4
2.4	<i>Identificación de Medidas y Estrategias de Adaptación al Cambio Climático</i>	4
3.	ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD FUTURA DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y AL CAMBIO CLIMATICO	6
3.1	<i>Circulación Global</i>	6
3.2	<i>El Clima de Guatemala</i>	7
3.3	<i>El Cambio Climático</i>	8
3.4	<i>Escenarios Futuros</i>	9
3.5	<i>Efecto de los Escenarios Sobre los Recursos Hídricos</i>	188
4.	IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE ADAPTACION FUTURA	244
4.1	<i>Uso para Agua Potable y Saneamiento</i>	244
4.2	<i>Uso Agropecuario</i>	255
4.3	<i>Uso Industrial</i>	266
4.4	<i>Uso para Generación Hidroeléctrica</i>	266
4.5	<i>Turismo y Comercio</i>	277
4.6	<i>Uso para Minería</i>	277
4.8	<i>Ambiente</i>	288
4.9	<i>Desastres</i>	288
5.	ABREVIATURAS.....	33
6.	REFERENCIAS	344

ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD FUTURA DE LOS RECURSOS HIDRICOS AL CAMBIO CLIMATICO

1. INTRODUCCION

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, a través del Programa Nacional de Cambio Climático y por medio del Proyecto “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba” ha venido desarrollando actividades relacionadas con la evaluación de la vulnerabilidad actual y caracterización del riesgo climático en diferentes sectores socioeconómicos en particular, en la producción de granos básicos y en los recursos hídricos

En el marco del proyecto “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba” los componentes de Vulnerabilidad y Adaptación tienen un abordaje metodológico basado en el Marco de Políticas de Adaptación (Adaptation Policy Framework) elaborado por el PNUD. Las evaluaciones de los impactos del cambio climático se desarrollaron tomando en cuenta las políticas nacionales de Protección Social y Manejo de la Vulnerabilidad Territorial Ambiental considerando la estrategia Guate Verde que es el programa de desarrollo ambiental del MARN.

Muchas regiones del país vienen afrontando una gran crisis en cuanto al manejo del recurso hídrico; por un lado se enfrentan sequías y por el otro, inundaciones. Las limitaciones de acceso a este valioso recurso, las preocupaciones en cuanto a la calidad de agua, la planificación bajo incertidumbre y variabilidad climática, y la necesidad de desarrollar e implementar estrategias de uso sustentable del agua son algunos de los aspectos preocupantes para los usuarios de los recursos hídricos. En la última década, para el manejo de estos recursos se ha recomendado un enfoque integrado considerando el manejo desde la demanda, la calidad de agua, la conservación y protección de ecosistemas.

Las actividades del Proyecto Regional “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba” se desarrollaron tanto para la región de inundaciones (occidente del país) como para la región seca. En particular, los estudios en la región de inundaciones se concentraron en la cuenca del Río El Naranjo, mientras que los estudios sobre los impactos del cambio climático en la región seca se enfocaron en la sub-cuenca del río San José.

Como parte de las actividades del Proyecto “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba” se han llevado a cabo evaluaciones de: a) Vulnerabilidad Actual a la Sequía; b) Elaboración de Escenarios Futuros de Variabilidad y Cambio Climático para caracterizar el riesgo climático y sus efectos en los recursos hídricos, el medio socioeconómico, el paisaje y biodiversidad así como en la producción de granos básicos; c) Estimaciones futuras de las Condiciones socioeconómicas. Estos estudios permitieron evaluar la vulnerabilidad

futura e identificar Propuestas de Lineamientos de Política de Adaptación al Cambio Climático.

Como herramienta de simulación se comenzó a utilizar el modelo WEAP (Water Evaluation And Planning System) que permite la evaluación y planificación de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Esta herramienta se utiliza para visualizar y evaluar futuras alternativas o medidas de adaptación local, departamental y regional a la variabilidad y al cambio climático. El modelo WEAP incorpora valores hidrológicos de las cuencas (caudales, evapotranspiración, escorrentías), y detalles de infraestructura (pozos, reservorios, etc.).

En este documento se presenta la evaluación de los efectos futuros sobre los recursos hídricos que tendrán las simulaciones sobre escenarios de cambio climático y escenarios socioeconómicos en las cuencas de los ríos San José y Naranjo.

2. ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD FUTURA

Los estudios de vulnerabilidad futura a la variabilidad y al cambio climático se iniciaron con la construcción de escenarios de cambio climático, de escenarios socioeconómicos y los estudios de adaptación autóctona para cada una de las dos regiones de estudio del proyecto (región seca y de inundaciones en la subcuenca del Río San José y cuenca del Río Naranjo, respectivamente).

También se tomaron en cuenta las evaluaciones de adaptación autóctona que se llevaron a cabo en estas dos regiones así como los estudios de vulnerabilidad actual realizados como parte de las actividades del proyecto Regional “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba”. Estos estudios de vulnerabilidad actual se utilizaron como línea base para los estudios de vulnerabilidad futura.

2.1 Escenarios Climáticos

Para desarrollar escenarios sobre la forma en que el aumento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera puede afectar el clima en Guatemala se utilizaron Modelos de Circulación General de la Atmósfera. Estos modelos están basados en el hecho que las concentraciones de GEI inciden en el balance energético de la superficie de la Tierra; entre mas concentración de GEI mayor calentamiento.

Debido a la escala en se han desarrollado estos modelos, las estimaciones que proporcionan en modelos se aplican a áreas muy extensas, donde las variaciones pueden ser significativas, y no permiten estimar el efecto sobre una zona en particular, por ejemplo la república de Guatemala. Por esta razón, es necesario aplicar técnicas de reducción de escala a los resultados de los modelos para estudiar con el detalle requerido el efecto de los probables escenarios que plantea el aumento el cambio climático.

Los escenarios de emisiones globales de GEI planteados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) utilizados para la elaboración de los simulaciones futuras del clima fueron:

- A1F1 Emisiones Altas
- A2 Emisiones Media-Alta
- B2 Emisiones Media-Baja
- B1 Emisiones Bajas

En el trabajo desarrollado por el proyecto sobre los escenarios de cambio climático, se elaboraron escenarios climáticos para las condiciones A2 y B2, de emisiones globales de gases de efecto invernadero. El horizonte de tiempo para el que se plantean los escenarios de cambio climático es el período entre los años 2036-2065. Para estos propósitos se utilizaron tres estaciones climáticas en cada una de las cuencas en estudio contando con datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para el período 1971-2000 tomados de la base de datos del INSIVUMEH.

Los resultados de estas simulaciones se utilizaron para evaluar los impactos futuros del cambio climático en los recursos hídricos en las dos zonas de estudio del proyecto Regional “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba”.

2.2 Escenarios Socio-Económicos

En el informe sobre los escenarios socio-económicos futuros de las dos cuencas en estudio presenta los resultados de las simulaciones socioeconómicas para los períodos 2006-2010 y 2006-2025.

En la evaluación de los escenarios socioeconómicos futuros se analizaron los aspectos sociales y macro-económicos del período 2000-2005. Posteriormente se realizó un análisis prospectivo de la economía nacional para período 2006-2010 considerando condiciones normales, optimistas y pesimistas. A partir de los análisis sociales y económicos se formularon escenarios a largo plazo para el período 2006-2025. En estas perspectivas socioeconómicas se incluyeron las expectativas que se dan en torno al Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica los Estados Unidos.

De esta forma se contó con escenarios de la situación económica global del país en el entorno internacional, incluyendo la globalización, centrada en las dos áreas de estudio del proyecto. En particular, se desarrollaron los escenarios socio-económicos para las cuencas de los ríos Naranjo y San José para los mismos períodos 2006-2010 y 2006-2025. De esta manera se establecieron las condiciones socio-económicas de la población asentada en las cuencas de los dos ríos y los impactos antrópicos sobre los recursos hídricos locales.

2.3 Evaluación de la Adaptación Autóctona a la Variabilidad y al Cambio Climático

Como se indicó anteriormente, también se evaluaron en el marco del proyecto Regional “Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba” las prácticas locales y regionales nacionales que han venido utilizando para disminuir los impactos de la sequía.

De esta forma, los estudios sobre la adaptación autóctona a efectos de la sequía en Guatemala se concentraron en proyectos y programas relacionados con el sector agrícola, la seguridad alimentaria e infraestructura productiva y vial. Estos proyectos y programas se han desarrollado en la zona semi árida el país y en consecuencia de alguna manera están relacionados con las sequías. En el informe presentado también se incluyen iniciativas sobre sistemas de alerta temprana contra sequías que se han desarrollado para prevenir los efectos de este fenómeno meteorológico.

La evaluación autóctona a efectos de las inundaciones tomó como ejes principales los sectores agricultura, infraestructura, salud humana y animal y sistemas de alerta temprana. Además se consideraron sectores adicionales clasificados como “Otros”.

2.4 Identificación de Medidas y Estrategias de Adaptación al Cambio Climático

Después de documentar las medidas de adaptación autóctona que se han desarrollado en el país y de analizarlas en forma crítica se identificaron propuestas de medidas de adaptación con indicadores de éxito que pueden ser incorporadas como parte de las medidas de prevención, atención a desastres y sistemas de alerta temprana. En el Cuadro No. 1 se resumen las medidas de prevención identificadas.

**Cuadro No. 1
Medidas de Prevención**

Planificación para el ordenamiento y regulación de asentamientos humanos y viviendas
Planificación para la prevención de desastres naturales que afecten los sistemas de agua y saneamiento
Dragado y limpieza de los cauces de los ríos en época seca
Implementación de medidas estructurales de infraestructura en general adecuadas para inundaciones incluyendo evaluaciones del riesgo en infraestructura y poblaciones
Estabilización de laderas y trabajos de desprendimiento controlado de laderas
Colocación de muros de contención y gaviones en puntos críticos de desborde en ríos
Reconstrucción y rehabilitación de infraestructura con un enfoque de gestión del riesgo
Identificación y deposición en un lugar adecuado en la parte baja de la cuenca del material que se haya desprendido de las laderas en la parte alta y media

Fuente: Elaboración Propia

También se identificaron acciones de adaptación para la salud basadas en la amplia variedad de información documentada sobre las medidas de adaptación que han sido implementadas sectorialmente. Con esta información es posible identificar medidas exitosas para cada una de las etapas prevención, en un evento de inundaciones (Cuadro No. 2).

Cuadro No. 2
Medidas de Adaptación en el Sector Salud

Fase de Prevención
Elaborar planes nacionales y locales de contingencias acontecidas durante la época de lluvia
Actualizar, divulgar e implementar la guía de nutrición y alimentación para situaciones de emergencia
Divulgar información y capacitar sobre ¿qué hacer? en situaciones de emergencia
Realizar evaluaciones sobre la vulnerabilidad de los servicios de salud en función de la gestión del riesgo
Fase de Emergencia
Mejorar los instrumentos elaborados para evaluar los daños, dimensionar los efectos y reportar las necesidades existentes causadas por las inundaciones
Desarrollar estrategias para asegurar la ayuda humanitaria y de primeros auxilios para los damnificados por las inundaciones
Fase de Rehabilitación
Desarrollar campañas de saneamiento ambiental
Divulgación de métodos caseros para el aseguramiento de agua limpia para consumo humano
Atención de las demandas de servicios médicos, medicamentos e infraestructura hospitalaria
Fase de Alerta Temprana
Divulgar masivamente información publicada sobre consideraciones para estar preparado ante una inundación o deslave
Fortalecer las diferentes capacidades de los sistemas de monitoreo de eventos extremos
Realimentar las estadísticas, bases de datos y al personal técnico con el conocimiento adquirido por experiencias anteriores en la operación de otros sistemas de alerta temprana existentes
Fortalecer las capacidades en estructuras locales responsables de la prevención de desastres naturales
Sistematizar la experiencia adquirida en los diferentes SAT en operación para su replicación en otras localidades

Fuente: Elaboración Propia

Para los diferentes temas que se agrupan en el sector “Otros” las propuestas de medidas de adaptación se presentan en el Cuadro No. 3 a continuación.

Cuadro No. 3
Medidas de Adaptación Sector “Otros”

Fase de Prevención
Implementación de la política para la preparación de desastres adoptada por la Cruz Roja y Media Luna Roja
Desarrollar el Marco Estratégico para la Reducción de la Vulnerabilidad y Desastres en Centroamérica
Adoptar la “Propuesta para un concepto de trabajo sobre gestión local de riesgo en Centroamérica” de GTZ/FEMID
Actualizar y desarrollar nuevos trabajos de estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos
Fortalecer el cumplimiento de la normativa de incluir la gestión de riesgo en el desarrollo de inversión pública y estandarizar la regulación hacia la inversión privada

Promover los esquemas de apoyo para la conservación de bosques preferiblemente vía el desarrollo del mercado de servicios ambientales
Fase de Emergencia
Contar con cuerpos de socorro y respuesta inmediata equipados y capacitados
Actualizar los instrumentos de evaluación rápida de la situación de emergencia y las necesidades provocadas
Fase de Rehabilitación
Estandarizar los procesos de cuantificación de daños e información de los impactos asociados a las inundaciones
Promover la consideración de la gestión del riesgo, el ordenamiento territorial y las condiciones del entorno natural así como social en los procesos de reconstrucción
Promover la participación ciudadana en procesos de evaluación de las causas y toma de decisiones para la prevención de los efectos asociados a las inundaciones

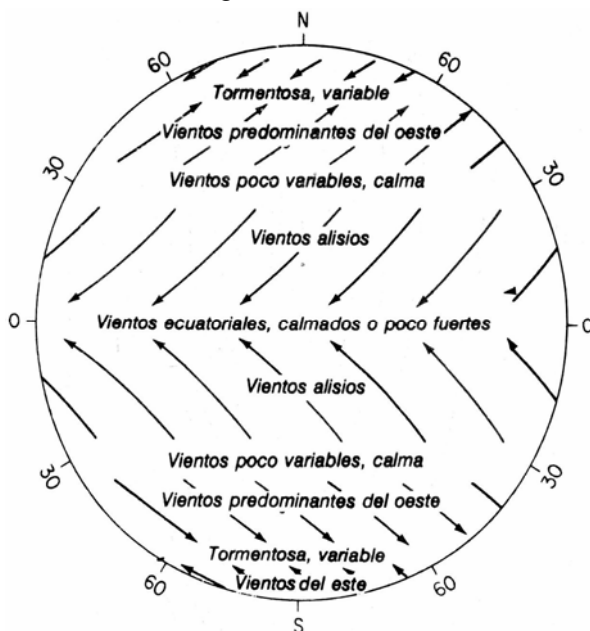
Fuente: Elaboración Propia

3. ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD FUTURA DE LOS RECURSOS HIDRICOS A LA VARIABILIDAD Y AL CAMBIO CLIMÁTICO

Para desarrollar el análisis de la vulnerabilidad futura de los recursos hídricos en las áreas de estudio se requiere tomar en consideración las características de la circulación global de la atmósfera del planeta, para comprender mejor el clima del país.

3.1 Circulación Global

La circulación global de los vientos en el planeta es el producto de la interacción de elementos como la posición del planeta con respecto al Sol, la energía que el planeta recibe del Sol que es la fuerza motriz, la distribución de continentes y océanos, el movimiento de rotación de la tierra entre los principales.



Gráfica No. 1
Circulación General de los Vientos

Fuente: Linskey, Kohler y Paulus, Mayo 1980.

En la Gráfica 1 se presenta una simplificación del movimiento de las masas de aire en el planeta.

A partir de esta información se puede explicar, entre otras, la existencia de las zonas desérticas, en las áreas donde los vientos son divergentes esto ocurre alrededor de los 30 grados de latitud norte.

También explica la ocurrencia de zonas húmedas en las áreas donde los vientos convergen.

Esta situación es especialmente importante para Guatemala y ocurre cerca del Ecuador.

El sistema simplificado de la circulación de los vientos, es modificado por las variaciones de los eventos que lo generan. En especial, es modificado por el intercambio de energía que se verifica entre la atmósfera y los océanos.

La fuerza motriz que genera el movimiento de los vientos es la energía solar y en términos generales determina el clima del planeta al provocar el movimiento de las fuerzas que lo determinan.

3.2 El Clima de Guatemala

Para la región donde se encuentra Centroamérica y en particular Guatemala, es de especial importancia la ocurrencia de la zona donde convergen los vientos alisios, que se conoce como Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ por sus siglas en inglés). Esta zona se desplaza hacia el sur durante el invierno del hemisferio norte, cuando se establece la época seca en el país. En el verano del hemisferio norte, el ITCZ se desplaza hacia el norte provocando la mayor parte del desplazamiento de vientos húmedos hacia el país por lo que ocurre el período de lluvias. Debido a la exposición a los vientos provenientes del mar Caribe la época de lluvia en esa vertiente es algo más extensa que en el resto del país.

Por otra parte, la temperatura en el país disminuye durante el invierno del hemisferio norte, cuando la exposición a la energía del solar es menor. La temperatura se incrementa durante el verano del hemisferio norte, cuando la exposición del hemisferio es mayor a la energía del Sol aunque la ocurrencia de la lluvia tiene un efecto regulador y cuando llueve la temperatura disminuye.

La geografía del país tiene un efecto determinante sobre el clima de las regiones del país. La distancia al océano y las barreras montañosas determinan la existencia de zonas de intensa precipitación en las laderas de las montañas donde la temperatura es generalmente templada; y, de zonas de menor precipitación en las áreas que se encuentran protegidas por importantes barreras montañosas donde el clima es caliente.

Sobre este sistema general de temperatura se sobrepone la variabilidad climática del país que determina las variaciones en el clima de un año a otro. Debe mencionarse que la variabilidad climática normal hasta el momento es mayor que las variaciones inducidas por el cambio climático. Esta es una razón importante por la cual es muy difícil evaluar el efecto del cambio climático sobre el clima nivel local. La variabilidad climática induce variaciones en el clima que hacen que las condiciones promedio del clima sean condiciones que no se observan normalmente. Las razones por las cuales el clima varía año con año no se han determinado, aunque existen una serie de hipótesis que no explican el fenómeno en forma completa.

En términos generales se tiende a confundir el cambio climático con la variabilidad climática y en consecuencia las medidas para enfrentar la variabilidad climática con las

medidas que pueden ser efectivas para enfrentar el cambio climático. Como ambos eventos tienen características y efectos muy diferentes, este error lleva a confusiones.

3.3 El Cambio Climático

El cambio climático del planeta se ha identificado sobre todo por la tendencia de la temperatura del planeta hacia el incremento desde inicios del siglo pasado y que se ha hecho más evidente después del final de la segunda guerra mundial. A este incremento de la temperatura del planeta se le ha llamado “calentamiento global” que se viene produciendo por el aumento de los gases de efecto invernadero. Aunque estos gases existen en forma natural en la atmósfera, las actividades del hombre han aumentado su presencia, en especial debido a la quema de combustibles fósiles, deforestación y actividades agropecuarias.

Como consecuencia del calentamiento global se han observado cambios en el planeta que son producto del aumento de la temperatura. Estos cambios que se han demostrado científicamente incluyen la disminución de la extensión de los cascos polares, disminución de las áreas de los glaciares y zonas nevadas; así mismo se presentan mayores frecuencias en los eventos extremos asociados a sequías y a inundaciones. Aunque las consecuencias de los casquetes polares parecen no ser muy importantes en el trópico, donde se encuentra Guatemala, el derretimiento de las capas de hielo tiene como consecuencia el aumento del nivel de los océanos que en los últimos 100 años ha sido entre 10 y 20 centímetros. En Guatemala se reportan con alguna frecuencia la pérdida de infraestructura de asentamientos localizados a las orilla del mar. Aunque el origen de este fenómeno no ha sido estudiado puede ser atribuido al incremento del nivel del mar.

La consecuencia del aumento de nivel de los océanos es la pérdida de tierra costera, pero también el aumento de la frecuencia de inundaciones en área tierra adentro que no presentaban este fenómeno en el pasado.

Menos evidente pero tangible y discutido, son las mayores frecuencias e intensidad de las tormentas como huracanes y tornados. El calentamiento implica una mayor presencia de energía en la atmósfera que debe ser liberada mediante una aceleración del ciclo de la atmósfera dentro de lo cual debe estar incluida la intensidad y frecuencia de tormentas, así como el ciclo de la atmósfera.

Es un hecho que en la actualidad se ha incrementado la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales y que estos ocurren en períodos y lugares en que no se había registrado en el pasado. En la Florida (EUA) en la última década ha experimentado un incremento en el paso de ciclones tropicales de gran magnitud e intensidad. El huracán Katrina que afectó el estado de Luisiana, especialmente la ciudad de New Orleans, cambió la percepción que el gobierno de los EUA tenía de la relación entre el calentamiento global y la ocurrencia de tormentas de gran magnitud. En Centroamérica, incluyendo a Guatemala, se registraron los efectos de dos ciclones tropicales de gran intensidad en un plazo de 7 años, en 1998 (Mitch) y 2005 (Stan), lo

cual presenta una mayor recurrencia de eventos extremos que los reportados en el pasado.

Más discutido y menos evidente es la intensificación de la frecuencia del fenómeno ENOS (“El Niño” Oscilación Sur). “El Niño” ha afectado al país en el pasado y fue especialmente sensible cuando ocurrió el período seco de 1972. En 1992, después de “El Niño” de 1991, se produjo en Guatemala la peor crisis de energía del país debido a la baja generación eléctrica que entonces dependía en gran medida de la generación hidroeléctrica.

3.4 Escenarios Futuros

En esta sección se presenta un resumen de los principales resultados de los escenarios de cambio climático y escenarios socioeconómicos que afectan a los recursos hídricos de las dos zonas de estudio, en forma de sequía o inundación.

3.4.1 Escenarios de Cambio Climático

De acuerdo a los resultados del análisis de los escenarios climáticos, se elaboró una tabla con los efectos más notables sobre los regimenes de precipitación y temperatura. Los efectos sobre la lluvia se muestran en el Cuadro No. 4 mientras que los efectos se presentan en el Cuadro No. 5.

Cuadro No. 4
Efectos de los Escenarios Climáticos sobre la Lluvia

Estación	Período 1972-2000 Real	Período 2036-2065 Simulación
Cuenca Río Naranjo		
San Marcos	Incremento lluvia Octubre	Incremento lluvia Octubre
Catarina	Incremento lluvia Junio	Incremento lluvia Octubre
		Disminuye lluvia Junio
Retalhuleu	No hay cambio	
Cuenca Río San José		
Ipala	Disminuye lluvia Julio-Septiembre	Disminuye lluvia Julio-Septiembre
	Incremento lluvia Octubre	Incremento lluvia Octubre
La Ceibita	Disminuye lluvia Junio-Septiembre	Aumenta lluvia Junio-Julio
	Incremento lluvia Octubre	Disminuye lluvia Agosto-Septiembre
		Incremento lluvia Octubre
Asunción Mita	Disminuye lluvia Julio-Septiembre	Disminuye lluvia Julio-Septiembre
	Incremento lluvia Octubre	Incremento lluvia Octubre

Fuente: Elaboración propia

Una de las primeras conclusiones que se obtuvieron del análisis de los escenarios climáticos es que la variación que muestra la lluvia de acuerdo a los modelos aplicados, está dentro del rango actual de la variabilidad climática. Esto podría indicar que se investigue más a fondo para establecer un patrón de variación de este parámetro en zonas de estudio reducidas.

Por otra parte, el efecto que se mostró como más frecuente es el incremento de la lluvia durante el mes de octubre. Este efecto también se presenta durante el período 1972-2000, lo cual puede indicar que el modelo de alguna manera interpreta correctamente la estacionalidad de la tendencia de la serie histórica de la lluvia. También es razonable pensar que si el cambio climático está induciendo a un mayor número de ciclones tropicales es probable que la lluvia se incremente durante el período cuando estos fenómenos son mas frecuentes.

El otro efecto que se muestra con mayor frecuencia en la cuenca del río San José es la disminución de la lluvia entre Julio y Septiembre. Sin embargo, debido a que la variación de la precipitación es muy pequeña y que algunos de los efectos pueden ser producidos por imperfecciones de los modelos se considera más conveniente utilizar el promedio de la serie observada como escenario para el período 2036-2065.

Cuadro No. 5
Efectos de los Escenarios Climáticos sobre la Temperatura

Estación	Período 1972-2000 Real	Período 2036-2065 Simulado
Cuenca Río Naranjo		
San Marcos	Poco cambio	Aumento mayor Mayo-Septiembre
Catarina	Aumento mayor Junio-Septiembre	Aumento mayor Junio-Septiembre
Retalhuleu	No hay cambio	No hay cambio
Cuenca Río San José		
Ipala	Poco cambio	Aumento en Septiembre
La Ceibita	Aumento mayor Junio-Octubre	Aumento mayor Junio-Octubre
Asunción Mita	Aumento mayor Junio-Octubre	Aumento mayor Junio-Octubre

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los efectos de los escenarios climáticos sobre la temperatura, los resultados de los modelos indican, como era de esperarse, que la temperatura se incrementan aunque los resultados varían para cada estación.

Cuadro No. 6
Cuenca del río Naranjo. Incremento de Temperatura

Estación	Temperatura	Incremento de la Temperatura por Escenario (°C)	
		A2	B2
San Marcos	Media	0.4	0.5
	Max	0.5	0.5
Catarina	Min	0.9	0.9
	Max	0.1	0.1
Retalhuleu	Min	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

El efecto más notable de los escenarios es un mayor aumento de la temperatura durante el período entre junio y octubre. Para establecer el probable incremento de la temperatura para el período 2036-2065 se elaboraron los Cuadros No. 6 y No. 7 donde

se muestra el incremento de la temperatura con respecto a los valores observados durante el período 1972-2000 para las cuencas de los ríos Naranjo y San José respectivamente.

Como puede observarse en el Cuadro No. 6 el incremento de la temperatura es muy similar para los dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Por esta razón se considera conveniente la utilización de un solo escenario climático de cambio de temperatura.

Para cada cuenca el cambio de temperatura parece ser diferente, siendo mayor en el caso de la cuenca del río Naranjo que para la cuenca del río San José.

Cuadro No. 7
Cuenca del Río San José. Incremento de Temperatura

Estación	Temperatura	Incremento de Temperatura por Escenario (°C)	
		A2	B2
Ipala	Max	0.1	0.1
	Min	0.0	0.0
La Ceibita	Max	0.6	0.5
	Min	0.0	0.0
Asunción Mita	Max	0.5	0.4
	Min	-0.1	0

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los resultados de los modelos se obtiene en promedio un incremento de la temperatura de cerca de 0.4°C para la cuenca del río Naranjo, mientras que el incremento en la cuenca del río San José es de alrededor de 0.2°C. El hecho que el incremento de la temperatura en la cuenca del río Naranjo sea mayor que el incremento de la temperatura en la cuenca del río San José parece contradecir el hecho que las áreas más húmedas tienen una estabilidad térmica mayor que las áreas que tienen menor contenido de humedad. Por tanto, en un medio más cálido la temperatura de la cuenca del Naranjo debería variar menos.

Además, debido a que el número de estaciones analizadas es muy pequeño, no es posible de los resultados de los escenarios climáticos deducir un patrón de cambios por regiones o bien por algún parámetro como la elevación, por lo que se ha asumido que el cambio de temperatura indicado por los escenarios es global por cuenca.

3.4.2 Escenarios Socio-económicos

Los escenarios sobre los aspectos sociales y económicos se plantearon a nivel nacional y a nivel local de cada una de las dos cuencas en estudio. Las principales variables analizadas fueron población, vivienda, educación, salud, acceso a electricidad, existente de agua potable y sistemas de aguas residuales, tenencia de la tierra, producción, asistencia técnica y crediticia y manejo del recurso bosque.

Para establecer la forma en que las variables que representan los escenarios socio-económicos afectan a los recursos hídricos se analizaron los efectos que cada una de las variables tiene sobre cuatro características de los recursos hídricos. Estas características son:

- La cantidad de agua
- La calidad del agua
- La distribución del agua
- Aumento de los desastres

Para hacer exponer la forma en que el comportamiento de las variables afecta los recursos hídricos se consideró que la cantidad de agua disponible es afectada por la cantidad de agua que se utiliza. Se utiliza un signo negativo si se utiliza mas agua como producto del comportamiento de la variable y un signo positivo si se utiliza una menor cantidad de agua. Se considera que la calidad del agua es afectada si se reduce su calidad. Entonces se utiliza un signo positivo si la calidad del agua se mejora y un signo negativo si la calidad del agua disminuye.

En el caso de la distribución del agua, se considera que el cambio del ciclo natural del agua es negativo mientras que se utiliza un signo positivo si la distribución natural del agua no es alterada. Por último, se considera el efecto sobre los desastres de tal manera que si el efecto del comportamiento de la variable aumenta la vulnerabilidad a los desastres es negativo; y positivo si el efecto es disminuir la vulnerabilidad a los desastres.

En los Cuadros No. 8, No. 9, No. 10 No. 11 se muestran los resultados del análisis para los escenarios optimista y pesimista para la cuenca del río Naranjo y optimista y pesimista para la cuenca del río San José. En la elaboración de estos se consideró que el incremento de la población induce al uso de una cantidad mayor de agua; que un deterioro de la calidad del recurso provoca un cambio en la distribución natural del ciclo del agua y existe una mayor vulnerabilidad a los desastres naturales.

Sin embargo, la construcción de vivienda formal, aunque tiene el mismo efecto sobre los recursos hídricos, reduce la vulnerabilidad a los desastres. Además, se considera que la educación mejora la conciencia y las prácticas ambientales y por lo tanto mejora la calidad del agua y reduce la vulnerabilidad a los desastres naturales.

La introducción de agua potable y saneamiento aumenta la cantidad de agua que se utiliza para consumo doméstico pero el saneamiento tiene un efecto beneficioso sobre la calidad del agua. Al utilizarse más agua, se modifica el ciclo del agua, lo cual es un efecto negativo. La existencia de adecuados sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento mejora la situación de vulnerabilidad a los desastres.

Se considera que mejorar los sistemas productivos mediante el acceso al crédito y la tecnificación de las prácticas reduce el volumen de agua que se utiliza y mejora la

calidad de las aguas. En el caso de los desarrollos agrícolas se considera que no se amplía la frontera agrícola.

El uso adecuado del bosque tiene un efecto beneficioso sobre la calidad del agua, sobre la distribución del ciclo del agua y que disminuye la vulnerabilidad a la ocurrencia de desastres.

En los cuadros que se presentan a continuación (8, 9, 10, 11) se interpretan los efectos de los escenarios socioeconómicos, tanto optimista como pesimista, sobre los recursos hídricos para cada una de las cuencas de estudio. Los signos “+” o “-” no significan impactos positivos o negativos; deben interpretarse como mayor o menor utilización o presión sobre el recurso.

Por ejemplo para el Escenario Optimista en la Cuenca del Río Naranjo, al crecer la población habrá una **mayor** cantidad utilizada de los Recursos hídricos y por consiguiente una **menor** calidad y una **menor** distribución de los mismos.

Si el crecimiento de la población ocurre en asentamientos urbanos habrá un **mayor** número de desastres, pero si hay un crecimiento urbano por medio de vivienda formal, habrá entonces un **menor** número de desastres.

Cuadro No. 8
Cuenca del Río Naranjo
Efecto del Escenario Socio-Económico Optimista sobre los Recursos Hídricos

Variable	Comportamiento	Principal Efecto	Cantidad Utilizada	Calidad	Distribución	Numero Desastres
Población	Crecimiento de Asentamientos Urbanos	Crece Urbanismo	+	-	-	+
Vivienda	Vivienda de tipo Formal	Crece Urbanismo	+	-	-	-
Educación	100% Alfabetización	Reduce Contaminación	-	+		-
Salud	Se erradican Enf. Gastroint. y Resp.	Reduce Contaminación		+		-
Electricidad	100% Electrificación					
Agua Potable y Saneamiento	100% Agua Potable y S	Reduce Contaminación	+	+	-	-
Tenencia de la Tierra	Concentración Apropiaada de la Tierra	Reduce Utilización de Agua &Cont	-	+	+	-
Producción	Diversificación	Reduce Utilización de Agua &Cont	-	+	+	-
Mercado	Desarrollo de Industria, Agroindustria y Servicios	Reduce Utilización de Agua &Cont	-	+	+	-
Sistema Productivo	Desarrollo de Agroindustria, Forestal y Turístico	Reduce Utilización de Agua &Cont	-	+	+	-
Sistema Forestal	Uso Sostenible del Bosque	Mejora Ciclo del Agua		+	+	-
Recurso Hídrico	Conservación del Recurso sin Contaminación	Mejora Calidad y Cantidad del Agua		+	+	-
Asistencia Técnica y Crediticia	Mayor Apoyo Técnico y Crediticio	Reduce Utilización de Agua & Cont	-	+	+	-
Ordenamiento Territorial	Enfoque de Cuenca Sustentable	Mejora Ciclo del Agua				-
Amenazas (Efectos CC)	Uso Sostenible del Bosque	Mejora Ciclo del Agua			+	-
Tratado de Libre Comercio	Aumenta Producción de Bienes	Aumenta Uso del Agua	-	+		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 9
Cuenca del Río Naranjo
Efecto del Escenario Socio-Económico Pesimista sobre los Recursos Hídricos

Variable	Comportamiento	Principal Efecto	Cantidad Utilizada	Calidad	Distribución	Numero Desastres
Población	Asentamiento en Pequeñas Poblaciones	Contaminación	+	-	-	+
Vivienda	Vivienda de Tipo Informal	Contaminación	-	-	-	+
Educación	30% de Población Analfabeta	Contaminación	+	-		+
Salud	Se agravan enf Gastrint. y Resp	Contaminación		-		+
Electricidad	Baja Cobertura de Servicio					
Agua Potable y Saneamiento	Baja Cobertura de Servicio	Contaminación	-	-	-	+
Tenencia de la Tierra	Coexistencia Latifundio-Minifundio	Uso no Racional	-	-	-	+
Producción	Agricultura de Subsistencia y Tradicional	Uso no Racional	-	-	-	+
Mercado	Economía de Mercado y Subsistencia	Uso no Racional	-	-	-	+
Sistema Productivo	Proliferan Actividades de Subsistencia	Uso no Racional	-	-	-	+
Sistema Forestal	Amplia la Frontera Agrícola	Afecta Ciclo del Agua		-	-	+
Recurso Hídrico	Degradación de la Cuenca	Afecta Ciclo del Agua		-	-	+
Asistencia Técnica y Crediticia	Apoyo Técnico y Crediticio Reducido	Uso no Racional	+	-	-	+
Ordenamiento Territorial	Sin Ordenamiento Territorial	Afecta Ciclo del Agua				+
Amenazas (Efectos CC)	Efecto de Sequías e Inundaciones	Afecta Ciclo del Agua			-	+
Tratado de Libre Comercio	Resentimientos contra CAFTA	Uso no Racional	+	-		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 10
Cuenca del Río San José
Efecto del Escenario Socio-Económico Optimista sobre los Recursos Hídricos

Variable	Comportamiento	Principal Efecto	Cantidad Utilizada	Calidad	Distribución	Numero Desastres
Población	Crecimiento Moderado	Moderada Presión	+	-	-	+
Vivienda	Mejora de Viviendas	Crece Urbanismo	+	-	-	-
Educación	100% Escolaridad	Reduce Contaminación	-	+		-
Salud	Mejora Índices de Salud	Reduce Contaminación		+		-
Electricidad	Mejora Electrificación Rural					
Agua Potable y Saneamiento	100% Agua Potable y S	Reduce Contaminación	+	+	-	-
Tenencia de la Tierra	Acceso a Crédito y Diversificación	Reduce Utilización de Agua &Cont.	-	+	+	-
Producción	Diversificación	Reduce Utilización de Agua &Cont.	-	+	+	-
Mercado	Mejores Precios	Reduce Utilización de Agua &Cont.	-	+	+	-
Sistema Productivo	Practicas Agropecuarias Sostenibles	Reduce Utilización de Agua &Cont.	-	+	+	-
Sistema Forestal	Programas de Reforestación Adecuados	Mejora Ciclo del Agua		+	+	-
Recurso Hídrico	Reforestación y Medidas	Mejora Calidad y Cantidad del Agua		+	+	-
Asistencia Técnica y Crediticia	Mayor Apoyo Técnico y Crediticio	Reduce Utilización de Agua & Cont.	-	+	+	-
Ordenamiento Territorial	Catastro y Ordenamiento Territorial					-
Amenazas (Efectos CC)	Enfoque de Cuenca Sostenible	Mejora Ciclo del Agua			+	-
Tratado de Libre Comercio	Aumenta Producción Agrícola y Pecuaria	Aumenta Uso del Agua	-	+		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 11
Cuenca del Río San José
Efecto del Escenario Socio-Económico Pesimista sobre los Recursos Hídricos

Variable	Comportamiento	Principal Efecto	Cantidad Utilizada	Calidad	Distribución	Numero Desastres
Población	Crecimiento del 10%	Fuerte Presión	+	-	-	+
Vivienda	Vivienda Informal	Contaminación	-	-	-	+
Educación	40% Analfabetismo	Contaminación	+	-		+
Salud	Bajos Índices de Salud	Contaminación		-		+
Electricidad	Electricidad de Combustibles Fósiles					
Agua Potable y Saneamiento	Acceso a Agua Potable Nulo	Contaminación	-	-	-	+
Tenencia de la Tierra	Baja Producción	Uso no Racional	-	-	-	+
Producción	Producción de Granos Básicos	Uso no Racional	-	-	-	+
Mercado	Baja Producción	Uso no Racional	-	-	-	+
Sistema Productivo	Perdida de Productividad y Competitividad	Uso no Racional	-	-	-	+
Sistema Forestal	Deforestación	Afecta Ciclo del Agua		-	-	+
Recurso Hídrico	Mal Manejo de Bosque	Deterioro de Calidad y Cantidad		-	-	+
Asistencia Técnica y Crediticia	Apoyo Técnico y Crediticio Reducido	Uso no Racional	+	-	-	+
Ordenamiento Territorial	Sin Catastro y Ordenamiento Territorial					+
Amenazas (Efectos CC)	Mal Manejo del Suelo, Agua y Bosque	Afecta Ciclo del Agua			-	+
Tratado de Libre Comercio	Baja Producción	Uso no Racional	+	-		

Fuente: Elaboración Propia

Además, se considera que la correcta implementación del Tratado de Libre Comercio y el aprovechamiento de las oportunidades que ofrece tienen un efecto positivo sobre la tecnificación de la producción y sobre la implementación de normas ambientales sobre la calidad del agua. Por lo tanto se tiene un efecto positivo al disminuir la cantidad de agua que se utiliza y cuando se mejora la calidad del agua.

3.5 Efecto de los Escenarios Sobre los Recursos Hídricos

Como ya se discutió anteriormente, el efecto más evidente de los escenarios climáticos sobre los recursos hídricos es el incremento de la temperatura media anual en 0.4°C y en 0.2° C en la cuenca del río Naranjo y subcuenca del río San José, respectivamente. La precipitación permanece con poca variación.

3.5.1 Efecto de los Escenarios Climáticos

Para establecer en forma cuantitativa la forma en que tal cambio de temperatura afectaría a los recursos hídricos se desarrolló un balance anual para la cuenca del río Naranjo. Este balance hidrológico se calculó únicamente para la cuenca del Río Naranjo. El balance consiste en establecer el volumen de lluvia por elevación de subcuencas y el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de acuerdo a la fórmula de Turc, también de acuerdo a la elevación de subcuencas. La fórmula de Turc estima la evapotranspiración real en función de la precipitación media anual y la temperatura media anual.

La evapotranspiración se calcula por medio de la fórmula de Turc, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$fl = 300 + 25 * t + 0.05 * t^3$$
$$EVT = P / (0.9 + (P/fl)^{0.5})$$

En donde:

fl = Parámetro heliotérmico
t = Temperatura media anual en °C
EVT = Evapotranspiración anual real en mm
P = Precipitación media anual.

La precipitación se adoptó como una función de la elevación, como se muestra en la Gráfica No. 2, siguiendo el patrón de la precipitación de las estaciones meteorológicas localizadas en la región de la cuenca. Mientras la temperatura media anual se estima de acuerdo a la función que se muestra en la Gráfica No. 3 donde también se presenta la temperatura registrada en las estaciones meteorológicas de la región.

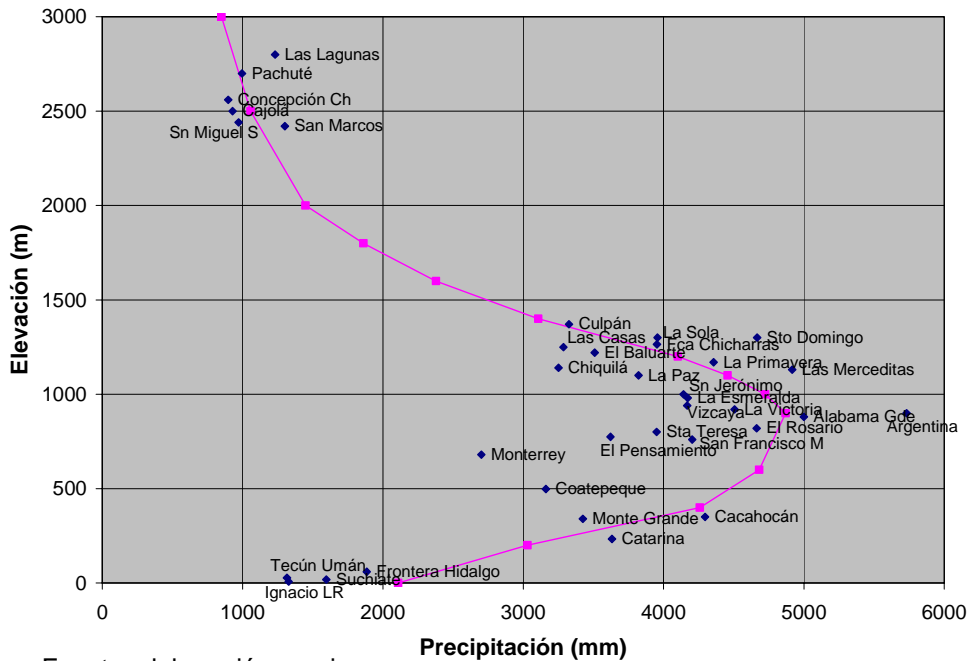
De acuerdo al criterio descrito anteriormente, las estimaciones de la precipitación media anual y la temperatura media anual en la cuenca del río Naranjo en las condiciones actuales es:

$$P = 2,905.7 \text{ mm}$$

EVT = 1,280 mm

Gráfica No. 2

Precipitación Media Anual Cuenca Río Naranjo

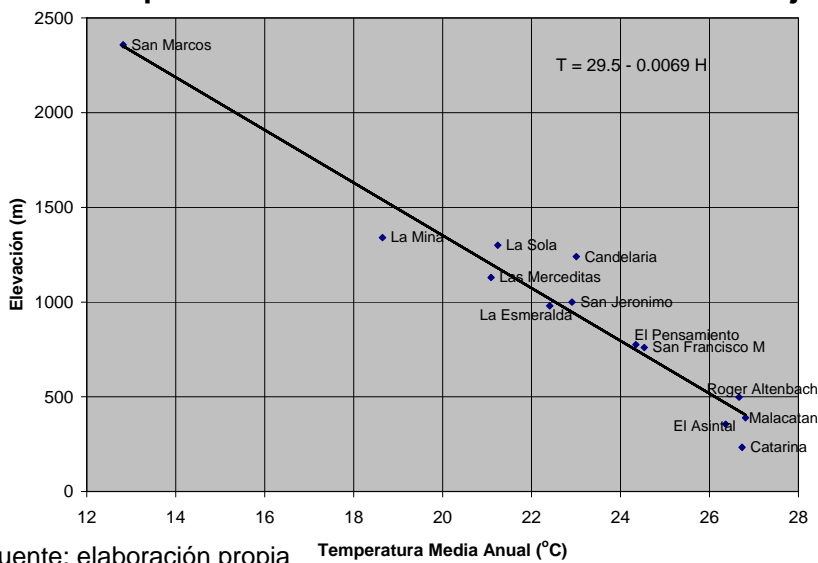


Fuente: elaboración propia

Para establecer el balance anual de la cuenca, se adopta el criterio que no existe variación del almacenamiento subterráneo en la cuenca, lo cual es correcto en el largo plazo, y por lo tanto, la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real representa el escurrimiento en la cuenca.

Gráfica No. 3

Temperatura Media Anual Cuenca del Río Naranjo



Fuente: elaboración propia

Por lo tanto el escurrimiento medio anual de la cuenca es la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real:

$$Q = P - EVT$$

$$Q = 2,905.7 - 1,280.0$$

$$Q = 1,625.7 \text{ mm}$$

Si se considera que el área de la cuenca tiene 1207 km^2 , entonces $Q = 62.24 \text{ m}^3/\text{s}$

Por otra parte, al considerar una elevación de la temperatura de 0.4°C en toda la cuenca. Como se ha adoptado que la precipitación permanece sin modificaciones, el cálculo de las variables del balance se muestra a continuación:

$$P = 2,905.7 \text{ mm}$$

$$EVT = 1,307.4 \text{ mm}$$

El escurrimiento con las nuevas condiciones sería:

$$Q = P - EVT$$

$$Q = 2,905.7 - 1,307.4$$

$$Q = 1,598.3 \text{ mm}$$

$$Q = 61.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

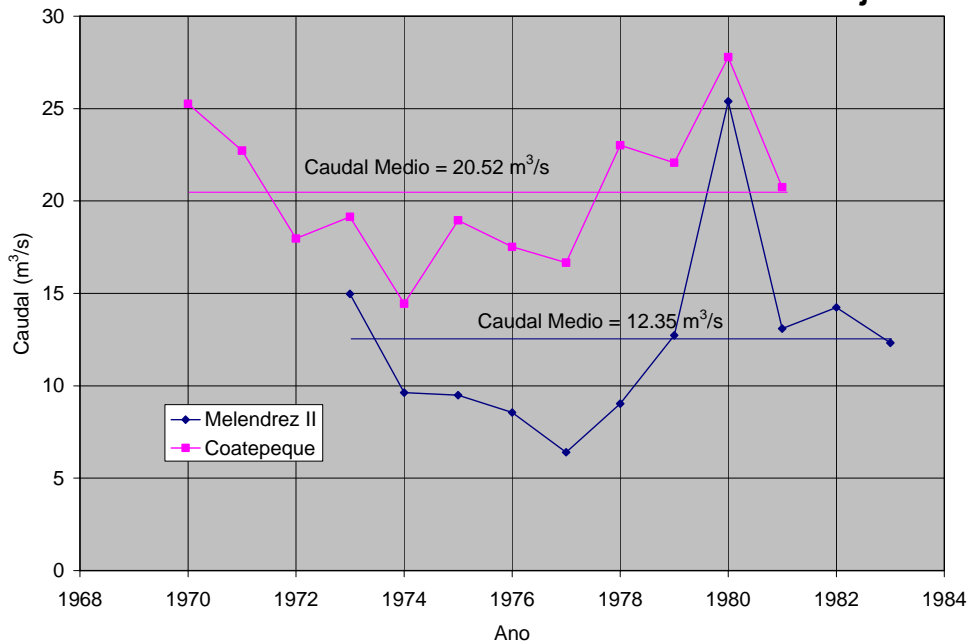
Como puede deducirse de los valores obtenidos, la diferencia de disponibilidad que se estima debido a la diferencia entre el escenario climático actual y el futuro es de $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual equivale a menos del 2 % del caudal disponible en la actualidad. Esta es una variación menor que la que el río varía normalmente, por lo que se concluye que el impacto de los escenarios climáticos como se han planteado, sobre la disponibilidad de los recursos es mínimo.

A manera de ejemplo de lo anterior, se incluye en la Gráfica No. 4 la serie de caudales medios anuales de las estaciones Meléndrez II y Coatepeque, localizadas en la cuenca del río Naranjo. Como puede apreciarse las variaciones de los caudales medios anuales son bastante mayores que la estimada como producto de los escenarios climáticos.

Sin embargo, debe considerarse que el efecto del incremento de las pérdidas por evapotranspiración será más sensible si se considera la variabilidad climática del país. Si como se ha planteado, la temperatura se incrementa y las pérdidas aumentan, esto

tendrá un efecto negativo sobre el almacenamiento subterráneo. Esta disminución del almacenamiento subterráneo disminuirá los caudales de estiaje en un porcentaje probablemente mayor que el incremento de las pérdidas, debido a un incremento en el almacenamiento superficial en la cuenca.

Gráfica No. 4
Caudales Medios Anuales Cuenca Río Naranjo



Fuente: elaboración propia

El efecto de la variabilidad climática sobre los recursos hídricos se verá especialmente acentuado durante los años secos cuando las pérdidas pueden ser mucho mas elevadas. El efecto de estos factores solo puede ser estudiado en detalle desarrollando y calibrando modelos hidrológicos basados en el ciclo hidrológico completo.

3.5.2 Efecto de los Escenarios Socio-Económicos

En una primera aproximación, el efecto de los escenarios socio-económicos sobre los recursos hídricos es analizado en forma cualitativa sin que esto no signifique que el impacto de estos escenarios sobre los recursos hídricos sea importante.

De acuerdo con los resultados presentados en los cuadros No. 8, No. 9, No. 10 y No. 11 el efecto de los escenarios socio-económicos sobre los recursos hídricos, evaluados de acuerdo a las cuatro variables indicadas en el capítulo anterior son muy similares para ambas cuencas. Estos efectos pueden resumirse así:

Calidad de Agua Utilizada (Optimista)

Debido al crecimiento de la población y a la construcción de vivienda el uso del agua se incrementa; sin embargo, el incremento del nivel educativo mejora las prácticas de uso

del agua. La introducción de agua y saneamiento tiene el efecto de un mayor uso del agua.

Por otra parte, debido a la mejora de las técnicas de producción la utilización del agua en las labores de producción en general disminuye.

La implementación adecuada del TLC se considera que mejorará las técnicas de producción, por lo que se concluye que este factor disminuirá el consumo de agua.

Cantidad de Agua Utilizada (Pesimista)

Debido al crecimiento de la población y a la construcción de vivienda, el uso del agua se incrementa; además, el bajo nivel de escolaridad incrementa el mal uso del agua.

En virtud que las técnicas de producción permanecen sin cambio la utilización del agua en las labores de producción aumenta debido a que se expande la frontera agrícola.

La implementación inadecuada del TLC no conduce a una mejora de los ingresos y al nivel de vida de la población y las técnicas de producción que son contaminantes no se modifican. Por lo que se considera que la calidad del agua se deteriora.

Calidad del Agua (Optimista)

Debido al crecimiento de la población y a la construcción de vivienda, la disposición de drenajes en los cursos de agua se incrementa y la calidad del agua se deteriora. Sin embargo, el incremento del nivel educativo mejora las prácticas de uso del agua y puede experimentar una mejora de la calidad por esta razón.

La introducción de agua tendría un efecto negativo sobre la calidad del agua; sin embargo si va acompañada por el saneamiento, el efecto combinado tendría un efecto positivo sobre la calidad del agua.

La mejora de las técnicas de producción deberá mejorar las prácticas que conducen a la contaminación del agua, por lo que tendrá un efecto positivo sobre la calidad del agua.

Se considera que la implementación adecuada del TLC mejorará las técnicas de producción, por lo que se concluye que este factor contribuirá a mejorar las prácticas de producción que producen contaminación. Por consiguiente se mejorará la calidad del agua.

Cantidad de Agua Utilizada (Pesimista)

En atención al crecimiento de la población y a la construcción de vivienda, la disposición de drenajes en los ríos continúa sin tratamiento. Además, el bajo nivel de escolaridad incrementa las malas prácticas y la calidad del agua se deteriora.

Por otra parte, debido que las técnicas de producción permanecen sin cambio, la utilización del agua en las labores de producción aumenta, debido a que se expande la frontera agrícola.

La implementación inadecuada del TLC no conduce a una mejora de las técnicas de producción que son contaminantes por lo que se considera que la calidad del agua se deteriora.

Distribución del Agua (Optimista)

Las variables crecimiento de la población, la construcción de vivienda, la introducción de agua potable y la disposición de drenajes, tienen un efecto negativo sobre la distribución del agua. Como en otros casos, el incremento del nivel educativo mejora las prácticas de uso del agua y se puede experimentar una mejora de la distribución del agua.

La mejora de las técnicas de producción tendrá un efecto positivo sobre la distribución del agua. El manejo adecuado del bosque y la reforestación significan un efecto positivo sobre el ciclo hidrológico y se mejorará la distribución del agua.

La implementación adecuada del TLC mejorará las prácticas de producción que consumen agua, por lo que se concluye que este factor contribuirá a mejorar la distribución del recurso hídrico.

Distribución del Agua (Pesimista)

El crecimiento de la población, la vivienda informal, el uso del agua para consumo y la disposición inadecuada de drenajes tienen un efecto negativo sobre la distribución del agua. El bajo nivel educativo refuerza las malas prácticas de uso del agua y se puede experimentar un empeoramiento de la distribución del agua.

La permanencia de las técnicas de producción inadecuadas tendrá un efecto negativo sobre la distribución del agua. El manejo inadecuado del bosque y la deforestación continuarán siendo un efecto negativo sobre el ciclo hidrológico y sobre la distribución del agua.

La implementación inadecuada del TLC tendrá un impacto negativo sobre las técnicas de producción que consumen agua, por lo que se concluye que este factor tendrá el efecto de empeorar la distribución del recurso hídrico.

Número de Desastres (Optimista)

Debido al crecimiento de la población se considera que el número de desastres aumenta, sin embargo la mejora de la vivienda, la introducción de agua potable y el saneamiento, el mejoramiento del nivel de la educación y de los índices de salud producirían una reducción del número e impactos de desastres.

Por otra parte, debido a la mejora de las técnicas de producción se reduce el número de desastres.

La implementación adecuada del TLC mejorará las técnicas de producción, por lo que se concluye que este factor disminuirá el número de desastres.

Número de Desastres (Pesimista)

En este escenario, debido al crecimiento de la población, al incremento de la vivienda informal, la falta de acceso al agua potable y al saneamiento, el bajo nivel educativo y de índices de salud, ocasionan un incremento en el número de desastres.

Por otra parte, debido que las técnicas de producción permanecen sin cambio las malas prácticas de uso del agua producen un incremento en el número de desastres. Además, la deforestación aumenta los procesos de deterioro ambiental que generan desastres por lo que su número e impactos aumentan.

La implementación inadecuada del TLC no conduce a una mejora de los ingresos y el nivel de vida de la población y las técnicas de producción inadecuadas no se modifican. Entonces, se considera que se producirá un incremento en el número de desastres.

4. IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE ADAPTACION FUTURA

Las medidas de adaptación, que pueden adoptar para el sector recursos hídricos, para prevenir el impacto de los efectos de los escenarios futuros, se han categorizado de acuerdo a los sectores que demandan las mayores cantidades de agua.

Para este análisis se han utilizado los valores identificados en la Estrategia para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos de Guatemala (SEGEPLAN-BID, 2006). Se tomaron en cuenta los efectos que las medidas tienen sobre la cantidad de agua; la calidad del agua; la distribución del agua y los desastres.

De acuerdo a los escenarios climáticos que se han planteado, la disponibilidad promedio anual de agua disminuirá en un porcentaje reducido. Sin embargo, este porcentaje resulta ser más importante si considera la variabilidad climática del país. De tal forma, es necesario partir de la premisa de que en el futuro se contará con menos agua que la actual, especialmente durante los períodos de estiaje y durante los años secos.

4.1 Uso para Agua Potable y Saneamiento

La demanda de agua anual del país para consumo humano se estima en $835 * 10^6 \text{ m}^3$, que debido al bajo nivel de saneamiento en el país genera un volumen anual de agua contaminada de $668 * 10^6 \text{ m}^3$ ¹.

El crecimiento de la población durante el período demandará una mayor cantidad de agua para abastecimiento de agua potable que generará un mayor volumen de contaminación. Un menor crecimiento de la población tendrá como resultado un menor

¹ SEGEPLAN-BID. **Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico.** Guatemala, Noviembre 2006.

crecimiento de la demanda de agua y una menor disposición de aguas contaminadas en los ríos. El saneamiento de las aguas, que debe incluir el tratamiento de las aguas servidas, tiene como resultado una mayor disponibilidad de agua de buena calidad, por lo que ambos componentes agua potable y saneamiento deben ser considerados en conjunto.

En consecuencia, para tener resultados positivos en este sector, se requiere un crecimiento razonable de la población. De esta forma, se tendrá un crecimiento bajo de la demanda y una urbanización reducida; ambos aspectos tienen un efecto positivo sobre la cantidad, calidad y distribución del agua, así como una menor vulnerabilidad a la ocurrencia de desastres.

También deben considerarse otras acciones para la reducción de la demanda de agua para consumo humano tales como el manejo de la demanda por medio de herramientas y el cobro de una tarifa adecuada por el servicio que además cubra el costo del saneamiento. En la actualidad, las tarifas de agua escasamente cubren el valor del servicio, lo cual incentiva el desperdicio y además dificulta mantener la calidad del servicio, su mantenimiento, su seguridad y la eventual ampliación del servicio.

La construcción adecuada de acueductos y sistemas de drenaje, podría mejorar la disponibilidad de agua para las poblaciones, al disminuir su vulnerabilidad a los fenómenos meteorológicos que periódicamente afectan al país y que frecuentemente causan su destrucción, o bien la contaminación de las fuentes de agua.

4.2 Uso Agropecuario

El sector agropecuario tiene la mayor demanda de uso consuntivo del agua. Se estima que la demanda anual del sector agropecuario es de $3,957 * 10^6 \text{ m}^3$, de los cuales $3,668 * 10^6 \text{ m}^3$, es demanda para riego. El uso agropecuario, se estima que genera un volumen de agua contaminada de $660 * 10^6 \text{ m}^3$ (SEGEPLAN-BID, 2006).

De acuerdo a los escenarios, el crecimiento del sector agropecuario demandará más agua en el futuro. Para reducir el impacto que esta demanda adicional tendrá sobre los recursos hídricos se deberán implementar medidas que limiten los efectos negativos que se generan. Estas medidas incluyen mejorar las técnicas para la aplicación del riego y de aplicación de herbicidas y fertilizantes. Además, la utilización de especies que sean resistentes a la sequía también es una medida adecuada para disminuir el efecto de la demanda creciente sobre los recursos hídricos.

En atención a que la eficiencia de riego depende de la técnica utilizada, se deben favorecer las técnicas que utilizan el agua con mayor eficiencia. En este sentido, se debe impulsar la utilización de las diferentes técnicas tomado en cuenta su eficiencia:

- 1) Goteo
- 2) Aspersión
- 3) Inundación

Mejorar las técnicas de aplicación de riego y la utilización de especies resistentes a la sequía, también tienen un efecto positivo sobre la disponibilidad del agua y sobre su distribución, mientras no afectan la productividad.

Mejorar las técnicas de aplicación de herbicidas y fertilizantes produce una reducción en el volumen de contaminación de las aguas y por lo tanto tiene un efecto en mejorar la calidad de las aguas.

4.3 Uso Industrial

No existen informaciones detalladas que permitan calcular la cantidad de agua destinada al uso industrial del agua, por lo que esta debe ser estimada indirectamente. Por otra parte, la industria se encuentra concentrada en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala, por lo que en alguna medida el agua que utiliza viene a incrementar la demanda de agua de la ciudad. Sin embargo, los grandes consumidores industriales de agua cuentan con fuentes alternativas principalmente de fuentes subterráneas.

Se ha estimado el consumo de agua para actividades industriales en $343 * 10^6 \text{ m}^3$ y que la generación de aguas contaminadas ascienden a de $206 * 10^6 \text{ m}^3$ por año (SEGEPLAN-BID, 2006). Sin embargo, debido a las características diferentes de las cargas contaminantes de estas aguas, su efecto contaminante es mayor que el de las aguas de origen doméstico.

En las condiciones en las que se desarrolla la industria, es deseable la aplicación de técnicas que ahorren agua para evitar el incremento de la demanda de agua y para evitar el abatimiento del nivel del agua subterránea. La reducción de la demanda industrial tiene un efecto positivo sobre la cantidad de agua disponible y sobre la distribución del recurso.

Además, la implementación de los reglamentos sobre descarga de desechos líquidos mejorará la calidad del agua al reducirse gradualmente las descargas contaminantes provenientes de la industria. Es recomendable el seguimiento del cumplimiento de este reglamento.

4.4 Uso para Generación Hidroeléctrica

La generación hidroeléctrica es la actividad que utiliza la mayor cantidad de agua aunque esta actividad tiene la característica de hacer un uso no consuntivo (no consume agua), además que no la contamina. Se estima que el volumen utilizado para la generación hidroeléctrica del país es de $4,454 * 10^6 \text{ m}^3$ por año (SEGEPLAN-BID, 2006).

Por otra parte, debe considerarse que la energía hidráulica es la única fuente renovable de energía confiable alternativa a la generación térmica para la producción de la energía que demanda el país. Las otras fuentes renovables, la energía geotérmica, la eólica y la solar tienen pocos estudios sobre su aprovechamiento además que su

potencial es muy inferior al de la energía hidráulica. El costo de instalación de estas tecnologías es mayor que el de la energía hidráulica.

A partir de 1991, la generación de energía hidráulica ha pasado de ser del 74% de la potencia instalada a menos del 35% en la actualidad. Esto se debió en parte a los cortes de energía que se ocasionaron en 1991 y que fueron debidos a la sequía que en ese año provocó la ocurrencia del fenómeno de “El Niño”. Estas condiciones pueden repetirse de nuevo, aunque con la nueva proporción de la generación su efecto sería menos sensible.

La generación de energía por medio de plantas hidroeléctricas elimina la utilización de plantas térmicas que producen diferentes tipos de contaminación. En este sentido, las hidráulicas ofrecen una alternativa no contaminante para la generación de energía. Sin embargo, las plantas hidroeléctricas pueden limitar el uso del agua, río abajo de la hidroeléctrica, dependiendo de la forma como se opere. En algunos casos esto ha generado insatisfacción de las comunidades que se ven afectadas por la falta de agua para sus diferentes labores agrícolas y domésticas.

Por lo tanto, debe promoverse el uso de agua para generación hidroeléctrica para satisfacer la demanda pero asegurando el respeto de los derechos de uso del agua que se han adquirido con anterioridad. Además, debe mantenerse una adecuada proporción de generación entre térmica e hidráulica para evitar los efectos nocivos al país, tanto de las sequías como del alto costo de los combustibles fósiles.

4.5 Turismo y Comercio

El turismo está íntimamente asociado al agua en el sentido de que buena parte de los destinos turísticos del país se han desarrollado alrededor de cuerpos de agua. En este sentido, dos de los destinos turísticos más importantes del país como son Atitlán y Río Dulce están relacionados con estos recursos de agua. El comercio también es un usuario de agua que tiene alguna importancia.

Por otra parte, la capacidad instalada para la atención de los turistas se basa en una fuente confiable y de buena calidad de agua. También el comercio requiere de agua de calidad. Se estima el consumo de agua por estos sectores es de $7.4 * 10^6 \text{ m}^3$ por año (SEGEPLAN-BID, 2006).

Como ambos sectores están en crecimiento es muy importante promover prácticas de ahorro de agua en ambas actividades.

4.6 Uso para Minería

Aunque en la actualidad la minería no es un gran usuario de agua, el auge actual de esta actividad, hace que se considere como un usuario potencial de agua. El efecto de la minería sobre el agua debe considerarse desde varios puntos de vista; en primer lugar al extraerse el mineral, la parte de la cuenca donde es extraído se modifica, de tal manera que debe evaluarse la forma como se extrae el mineral para establecer el efecto sobre el agua.

Por otro lado, para el procesamiento del mineral se utilizan volúmenes importantes de agua que deben ser considerado dentro de los usos del recurso minero. Por último la minería produce aguas residuales que deben ser tratadas antes de disponerse en los cursos de agua para evitar contaminaciones de los cuerpos de agua.

Se estima que el volumen de agua utilizado para la minería es de $0.8 * 10^6 \text{ m}^3$ (SEGEPLAN-BID, 2006); aunque el volumen es pequeño con relación a los otros usos anotados anteriormente, este puede ser más importante en el futuro, por lo que debe monitorearse esta actividad.

4.8 Ambiente

A pesar de que en la actualidad no se aplica la preservación del caudal ecológico en los ríos si se solicita su consideración en los estudios de impacto ambiente por tratarse de un elemento importante para la protección de la biodiversidad del país.

Los caudales ecológicos pueden ser un volumen importante que además de prevenir la extinción de las especies pueden ayudar a prevenir sequías extremas.

En términos generales el bosque consume agua aunque tiene un efecto regulador en el ciclo hidrológico. El bosque consume agua a través de las raíces, y retorna humedad por medio de la evapotranspiración lo cual favorece la permanencia de humedad en la cuenca. Además tiene un efecto regulador del ciclo hidrológico al facilitar la infiltración y la alimentación del flujo sub superficial y subterráneo.

Por otro lado, el bosque ofrece una serie de beneficios ambientales que pueden estar o no relacionados con los recursos hídricos. Por ejemplo, los bosques previenen la erosión del suelo, lo que es un beneficio ambiental que también tiene el efecto de mejorar la calidad del agua. Por estas razones, es recomendable la implementación de la legislación con respecto al caudal ecológico y promover la protección de los bosques y la reforestación.

4.9 Desastres

Los desastres de origen hidrometeorológico que afectan al país están caracterizados por los extremos de escasez y exceso de agua. Ambos fenómenos, la sequía y las inundaciones, se caracterizan por la falta o el exceso de lluvia durante un período prologado lo cual provoca cuando se trata de falta de lluvia, déficit en la producción de los bienes que dependen del agua.

El exceso de lluvia provoca la ocurrencia de crecidas extremas que provocan destrucción de infraestructura, pérdida de bienes y pérdida de vidas.

De acuerdo a las tendencias del clima, el calentamiento global parece favorecer la formación de los eventos que provocan estas situaciones extremas. Por una parte, la mayor temperatura del planeta facilita la formación de las condiciones térmicas en los océanos que facilitan la formación del fenómeno de “El Niño” y de los ciclones

tropicales, responsables de la ocurrencia de los eventos que provocan las mayores sequías e inundaciones.

Aunque esto no es un hecho científico probado y aún hay discusión al respecto, las evidencias de los últimos años, muestran que en el futuro en la posición geográfica de Guatemala, estos eventos se repetirán con mayor frecuencia e intensidad, por lo que resulta de mucha importancia evaluar las medidas para la prevención de sus efectos negativos.

4.9.1 Sequías

Las medidas para la adaptación a la sequía son básicamente las mismas que se identificaron para la preservación de la cantidad y distribución del agua. Las principales se describen a continuación:

- Reducir la demanda de agua potable mediante el control del crecimiento de la población y el manejo de la demanda por medio de las herramientas tales como el cobro de una tarifa que cubra los costos del abastecimiento, tratamiento, purificación de agua potable y el tratamiento y disposición adecuada de los drenajes.
- Beneficiar las técnicas de aplicación de riego que utilizan menos agua, así como la utilización de semillas y especies resistentes a la sequía. Estas dos acciones tienen un efecto positivo sobre la disponibilidad del agua y sobre su distribución, mientras no afectan la productividad.
- Beneficiar las técnicas industriales que utilizan poco agua y promover el tratamiento de aguas de origen industrial, mediante la aplicación del reglamento de desechos líquidos.
- Promover el uso de energías renovables, a la vez que una adecuado balance en las fuentes de generación de energía, para prevenir los efectos negativos que tiene la sequía sobre la generación de fuentes hidráulicas, así como el alto costo de los combustibles fósiles.
- Promover las prácticas de ahorro del agua en sectores que son grandes consumidores lo pueden ser importantes consumidores de agua como el turismo, el comercio y la minería. De la misma manera promover el tratamiento de las aguas servidas.
- Introducir la implementación del concepto de caudal ecológico como una práctica que beneficia en general las condiciones de la cuenca, en especial en época de estiaje y sequía.
- Promover la protección de los bosques y la reforestación como un medio de regular el ciclo hidrológico y preservación de la humedad en las cuencas, en especial cuando se presentan períodos secos y sequías.

4.9.2 Inundaciones

Las acciones identificadas para prevenir el efecto de las crecidas y las inundaciones se han tomado del informe sobre Evaluación de la Adaptación Autóctona a Efecto de las Inundaciones en Guatemala (MARN, 2006).

Como este es un tema muy importante debido al efecto que tiene sobre la economía y la vida nacional, las medidas se agrupan de acuerdo al momento en el que estas se aplican, es decir prevención, alerta y alivio.

Medidas de Prevención

La planificación para el ordenamiento y regulación de asentamientos humanos y en general el ordenamiento territorial es un tema muy importante para la seguridad de la vida y los bienes de la población. Su implementación debe ser acompañada por una serie de estudios técnicos sobre los eventos que provocan las crecidas e inundaciones, que incluyen estudios meteorológicos, hidrológicos, topográficos, hidráulicos, así como el estudio sobre el uso del suelo, que permita la planificación adecuada de la localización de los asentamientos humanos.

Dentro de esta actividad debe identificarse el tipo de uso que puede dársele a las diferentes regiones en especial considerando el riesgo a la ocurrencia de desastres. En especial debe identificarse las áreas que por sus características y en especial por su relación con los desastres deben ser consideradas como reservas forestales.

En términos generales se requiere la planificación para la prevención de desastres naturales en la infraestructura hídrica, que incluye los sistemas de agua y saneamiento, carreteras, puentes, etc. Para su implementación, básicamente se requiere de un adecuado diseño de las obras para lo cual se necesitan estudios técnicos sobre el conocimiento de los eventos que provocan crecidas e inundaciones que se mencionan en el párrafo anterior.

El dragado de ríos es una medida que puede dar resultados positivos para la prevención de daños por inundaciones. Sin embargo, debe considerarse que el efecto de esta medida es limitado debido a su costo y el alto contenido de sedimentos de los ríos que normalmente superan la capacidad de remoción de la maquinaria. La aplicación de esta medida debe ser analizada en cada caso detenidamente para evitar el desperdicio de recursos.

La implementación de medidas estructurales para la prevención de inundaciones no se ha aplicado prácticamente en el país. En este tema se ha emprendido la construcción de bordas en las orillas de los ríos para prevenir las inundaciones; sin embargo, estas obras carecen de los estudios técnicos que las sustenten, por lo que en algunos casos agudizan los problemas aguas abajo del sitio en el que se encuentran las bordas, al incrementar los caudales de crecida.

En otros casos obras de infraestructura como puentes, con un pobre diseño, representan peligro para las poblaciones donde se encuentran, por lo que se recomienda estudiar la remoción de este tipo de estructuras localizadas en algunas poblaciones; estudios especializados deberían orientar esta toma de decisiones.

La estabilización de laderas y trabajos de desprendimiento controlado de laderas es una actividad que tendrá un beneficio para la prevención de daños en casos de lluvias extraordinarias. Sin embargo, requiere de estudios detallados sobre la geomorfología de las cuencas que no están disponibles. En este sentido, se debe hacer énfasis en la estabilización de taludes en las carreteras en las áreas donde los derrumbes son mas frecuentes cuando se presentan lluvias copiosas.

La preparación de cuerpos eficientes de socorro, instrumentos de evaluación rápida, estandarización de instrumentos de cuantificación de daños, desarrollo de guías de nutrición y alimentación para situaciones de emergencia son acciones que deben emprenderse en la etapa de planificación y que deben estar preparadas para cuando sucedan los eventos que provocan desastres.

Medidas de Alerta Temprana

El desarrollo de sistemas de alerta temprana (SAT) es una medida que se aplica cuando ocurre evento, pero cuyos elementos deben ser desarrollados con anticipación a su ocurrencia y deben estar basados en un sólido conocimiento de la dinámica de los eventos. Una eficiente transmisión de la información y una organización comunitaria que reaccione en forma adecuada a los efectos del evento también debe estar cuidadosamente planificada.

En la actualidad se han implementado sistemas de alerta temprana en el país, que evidentemente no han funcionado por muchas razones, por lo que estos sistemas deben ser evaluados en forma crítica para hacerlos operativos y llenen su función.

Las medidas de alerta mas adecuadas para prevenir la pérdida de vidas y bienes se concretan en el desarrollo de sistemas eficientes y confiables de alerta temprana. Estas alertas (Lopez, F; Anleu, R, 2004) pueden ser utilizadas para una serie de medidas que pueden minimizar los daños y acelerar la recuperación después de la ocurrencia de un desastre y comprenden:

- Identificación de Eventos. Esta es una etapa en la cual se identifican los eventos que pueden causar crecidas e inundaciones en el país. Debe hacerse la diferenciación sobre los eventos que pueden ocasionar daños en zonas localizadas y los que pueden ocasionar daños en la mayor parte o todo el país.

Los eventos que pueden ocasionar daños en sitios localizados son mas difíciles de identificar por tratarse de eventos de relativa poca magnitud. Los eventos que pueden causar daños en una parte significativa del país pueden ser identificados con mayor facilidad por tratarse de eventos de gran magnitud.

En esta etapa el nivel de la alerta es bajo. Los elementos que son importantes de establecer son la posición del evento, su magnitud y su posible trayectoria.

- Monitoreo de Eventos. Una vez identificado un evento que puede tener efecto en el país, se debe monitorear la posición, magnitud y trayectoria del evento durante el período que se requiera.

Es importante prestar atención a las condiciones de la atmósfera en las áreas cercanas al país, incluyendo la posición de la Zona de Convergencia Intertropical. Si se establece que el evento no va a afectar el país, la alerta se elimina o permanece bajo. Si se establece que el evento afectará al país, se debe elevar el nivel de la alerta. Con la información sobre posición, trayectoria y magnitud, se puede establecer las zonas que pueden ser afectadas.

En este período se puede proceder a realizar algunas acciones propuestas en el informe sobre adaptación autóctona, como la ubicación estratégica de convoyes de maquinaria para la oportuna reparación/rehabilitación de la infraestructura vial. Además se inicia la ejecución de las actividades planificadas como medidas de alivio.

Medidas de Alivio o de Respuesta

La mayor parte de las medidas de alivio después de la ocurrencia de un desastre deben estar planificadas antes de la ocurrencia del mismo, por lo que deben estar incluidas en las actividades de planificación. Por lo que para la etapa posterior a la ocurrencia de un desastre, las medidas planificadas deben ser puestas en ejecución. Además de poner en ejecución las medidas planificadas, se recomiendan algunas medidas adicionales a continuación.

Promover la consideración de la gestión de riesgo, el ordenamiento territorial y las condiciones del entorno natural así como social en los procesos de reconstrucción.

Deposición en un lugar adecuado, del material que se haya desprendido de los taludes y laderas en partes de la cuenca sujetas a derrumbes. Esto es especialmente importante en el caso de derrumbes en las carreteras, cuyo material es depositado normalmente al lado de las carreteras provocando el taponamiento de los drenajes de la misma.

Divulgar e implementar la guía de nutrición y alimentación para situaciones de emergencia.

5. ABREVIATURAS

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
ENOS	El Niño Oscilación Sur
EUA	Estados Unidos de América
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GTZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ITCZ	Zona de Convergencia Intertropical
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de Naciones Unidas Para el Desarrollo
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación y Planificación Económica
TLC	Tratado de Libre Comercio
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo
WEAP	Sistema de Evaluación y Planificación del Agua

6. REFERENCIAS

1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Creación de los Escenarios Climáticos para la Cuenca del Río Naranjo y para la Sub Cuenca del Río San José. Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Guatemala, 87 pags.
2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Evaluación de las Políticas y Escenarios Socioeconómicos de Primera Comunicación Sobre Cambio Climático. Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Guatemala, 109 Pags.
3. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2007. Evaluación de la Adaptación Autóctona a Efectos de la Sequía en Guatemala. Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Guatemala 121 pags.
4. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. Evaluación de la Adaptación Autóctona a Efecto de las Inundaciones en Guatemala. Fomento de Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Guatemala, 75 pags.
5. Linsley, Kohler y Paulus. 1980. Hidrología para Ingenieros. McGraw-Hill. México.
6. SEGEPLAN-BID. 2006. Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico. Guatemala
7. López, F., Anleu, R. 2004. Sistema de Alerta para Ciclones Tropicales. CONRED. Guatemala. Guatemala.