



HAL
open science

Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático: El caso del abastecimiento de agua potable en Tegucigalpa, Honduras

Raffaele Vignola, Amanda Procter, Angela Díaz, Tim Mcdaniels, Bruno Locatelli, Serge Rafanoharana, Diji Chandrasekharan

► To cite this version:

Raffaele Vignola, Amanda Procter, Angela Díaz, Tim Mcdaniels, Bruno Locatelli, et al.. Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático: El caso del abastecimiento de agua potable en Tegucigalpa, Honduras. 2015. cirad-01533982

HAL Id: cirad-01533982








<https://hal.science/cirad-01533982>

Preprint submitted on 13 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático: El caso del abastecimiento de agua potable en Tegucigalpa, Honduras

 <p>1st Raffaele Vignola il 22.87 · Tropical Agricultural Research a...</p>	 <p>2nd Amanda Procter</p>
 <p>3rd Angela Diaz Briones Tropical Agricultural Research and Higher...</p>	 <p>4th Tim Mcdaniels il 34.24 · University of British Columbia - V..</p>
 <p>5th Bruno Locatelli il 31.47 · Cirad - La recherche agronomiqu...</p>	 <p>6th Serge Rafanoharana il 5.33 · Unknown</p>
 <p>7th Diji Chandrasekharan Behr World Bank</p>	

Suggested Citation: Raffaele Vignola, Amanda Procter, Angela Díaz Briones, Tim McDaniels, Bruno Locatelli, Serge Rafanoharana and Diji Chandrasekharan Behr. 2015. *Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático: El caso del abastecimiento de agua potable en Tegucigalpa, Honduras*. Working Paper. Washington DC: Program on Forests (PROFOR).

PROFOR

DOCUMENTO DE TRABAJO

Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático

EL CASO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN TEGUCIGALPA, HONDURAS

Agradecimientos

Este estudio sobre el papel que juegan los bosques en el aumento de la capacidad de adaptación del paisaje al cambio climático forma parte de un proyecto multinacional más amplio diseñado y dirigido por Diji Chandrasekharan Behr (especialista principal en Gestión de Recursos Naturales, Banco Mundial) acerca de la contribución de los bosques al incremento de la capacidad de adaptación al cambio climático (www.profor.info/node/2032). El proyecto más amplio tiene como objetivo captar la contribución de los bosques al aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático de otros sectores. En dicho proyecto, se examina la forma en que la gestión sostenible de los bosques puede contribuir a fortalecer la capacidad de adaptación social y física de los sistemas de otros sectores. El uso de la gestión de los bosques y los árboles como parte de una estrategia más amplia para aumentar la capacidad de resistencia frente al cambio climático puede brindar una opción de bajo costo para los paisajes locales y, al mismo tiempo, contribuir a armonizar los objetivos relativos a la producción, los medios de subsistencia, la adaptación y la mitigación.

La recopilación de datos y preparación del caso estudio ha sido liderado por Raffaele Vignola, Director de la Catedra Latino Americana en Decisiones Ambientales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Otros científicos que han participado son Amanda Procter y Angela Diaz del CATIE, Tim Mc Daniels de la Universidad de British Columbia en Vancouver, Canadá, y colegas de CIFOR, específicamente Serge Rafanoharana, Bruno Locatelli, and Aaron J. M. Russell. La Unidad de Gestión de Honduras examinó formalmente el informe presentado por el equipo sobre el terreno, y Christian Peter (especialista principal en Medio Ambiente) formuló observaciones. El informe fue finalizado por Diji Chandrasekharan Behr, con aportes de María Ana de Rijk (Banco Mundial).

El equipo agradece el apoyo financiero proporcionado para este trabajo por el Programa sobre los Bosques (PROFOR) y el Fondo Fiduciario para el Desarrollo Ambiental y Socialmente Sostenible (TFESSD). El PROFOR, alianza de múltiples donantes con sede en el Banco Mundial, financia análisis y procesos relacionados con los bosques que respaldan los siguientes objetivos: optimizar los medios de subsistencia de las personas a través de una mejor gestión de los bosques y los árboles; fortalecer la aplicación de la legislación forestal y la gestión de gobierno; financiar la gestión sostenible de los bosques, y coordinar la política forestal entre distintos sectores. En 2012, entre los donantes del PROFOR se incluían Alemania, el Banco Mundial, Finlandia, Italia, Japón, los Países Bajos, el Reino Unido, Suiza y la Unión Europea. Para obtener más información, visite www.profor.info.

Exención de responsabilidad: Las opiniones, las interpretaciones y las conclusiones aquí expresadas no necesariamente reflejan la opinión del Directorio Ejecutivo del Banco Mundial, de los Gobiernos que representa ni de los donantes del PROFOR y ni del TFESSD. El Banco Mundial no garantiza la exactitud de los datos que figuran en esta publicación. Las fronteras, los colores, las denominaciones y demás datos que aparecen en los mapas de este documento no implican juicio alguno, por parte del Banco Mundial, sobre la condición jurídica de ninguno de los territorios, ni la aprobación o aceptación de tales fronteras.



Resumen

El cambio climático tiene efectos potencialmente nefastos para los medios de subsistencia y el bienestar humano a causa de las alteraciones en la agricultura, los alimentos, el agua y los sistemas de suministro de energía basados en la biomasa, así como también debido a las variaciones en la dinámica de los vectores de enfermedades y los consiguientes impactos en la salud y los medios de subsistencia humanos. Esto causa especial preocupación en los países en desarrollo, dado que en estos contextos existen escasos recursos para adoptar medidas de adaptación a gran escala tendientes a proteger a la población de tales impactos.

Honduras está considerado uno de los países de América Latina más vulnerables al cambio climático. Ocupa el tercer lugar en un índice mundial de riesgo climático, en el que se utilizan como variables sustitutivas la exposición y la vulnerabilidad a los fenómenos climáticos extremos¹ durante el período comprendido entre 1991 y 2010. Además de los fenómenos extremos, los escenarios climáticos futuros pronostican un aumento de los niveles de escasez de agua en Honduras debido al cambio climático y a la mayor variabilidad en los regímenes de las precipitaciones pluviales. Un estudio nacional sobre los escenarios futuros de cambio climático (Argeñal, 2010, citado en el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2011) indica una disminución del 5 % de las precipitaciones anuales para 2020, en especial, a lo largo del corredor noroeste-sudeste. Para 2050, se prevé una disminución del 20 % al 25 % de las precipitaciones en casi todo el país entre los meses de junio y agosto, con déficits superiores al 30 % en la mayoría de las zonas durante los meses de julio y agosto, especialmente en los departamentos de la región occidental de Honduras. Al mismo tiempo, se anticipa un aumento de las temperaturas medias en las regiones del oeste y el sur del país, lo que agravará la situación, ya que el período de precipitaciones escasas que normalmente ocurre durante la estación de lluvias será más largo, más caluroso y más seco.

El acceso al agua ya es limitado en muchas partes de Honduras. Los cambios climáticos previstos aumentarán aún más los riesgos para los cultivos y el acceso al agua para el consumo humano. La adaptación basada en los ecosistemas (AbE) es un enfoque de adaptación que intenta reducir los impactos del cambio climático en los sistemas humanos mediante el fortalecimiento de los sistemas ecológicos (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica [CBD], s. f.). Mediante este tipo de enfoque de adaptación, se procura abordar tanto la degradación ambiental anterior como los cambios ambientales inducidos por el cambio climático, a fin de mejorar los resultados para los sistemas humanos (Vignola *et al.*, 2009).

En el presente estudio, se examinan los posibles beneficios del uso de una estrategia de AbE (relacionada con los bosques) como parte de una estrategia más amplia para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático de los sistemas de embalses que abastecen de agua potable a Tegucigalpa, Honduras. En este estudio, que forma parte de una serie de estudios, se analiza la forma en que los bosques, a través de la provisión de servicios ecosistémicos, contribuyen a la adaptación de otros sectores al cambio climático². En el estudio de caso de Honduras, se procura integrar los modelos del cambio climático y los servicios ecosistémicos a nivel de las cuencas hidrográficas con un análisis económico de los impactos de las políticas de ordenación de las cuencas en la calidad y la cantidad de agua en escenarios de cambio climático alto y bajo. El primer objetivo es brindar información a los encargados de tomar decisiones del Gobierno y de las organizaciones de asociados en la tarea del desarrollo acerca de los posibles beneficios económicos de incluir medidas de AbE junto con las inversiones en infraestructura para aumentar la capacidad de adaptación del sistema de almacenamiento de agua de la cuenca, habida cuenta de los impactos previstos del cambio climático.

El segundo objetivo, que está vinculado con el conjunto más amplio de estudios, es estudiar un enfoque tendiente a generar los datos empíricos necesarios en vista de las dificultades para acceder a la información que facilitaría un proceso decisorio óptimo. Dado el alcance de este proyecto de investigación, se emplearon varios métodos de investigación para generar datos sobre el clima en el futuro, el régimen de gestión, el impacto económico de las opciones de gestión, y la vulnerabilidad actual y futura del sistema.

1 No existe una definición única de los fenómenos climáticos extremos (Beniston y Stephenson, 2004). En este caso, en el estudio de Harmeling y sus colegas (2012), se utilizó la definición de Munich Re GeoRisk, que está más relacionada con los daños registrados en las bases de datos de desastres que con una definición basada en el clima.

2 Para obtener más información sobre el conjunto de estudios de casos, visite www.profor.info/node/2032.

El área del estudio es la cuenca hidrográfica Guacerique. La cuenca hidrográfica es una región montañosa con una altura media de 1450 metros, y más del 56 % de la superficie terrestre está formada por pendientes superiores al 15 % (Hernández, 2003; Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados [SANAA] e Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF], 2011). Debido a las pendientes pronunciadas, combinadas con la capa de suelo poco profunda y la estructura del suelo, el drenaje, los niveles de humedad y la pedregosidad, la cuenca hidrográfica es ideal para la explotación forestal (Komives *et al.*, 1986, citados en Maldonado y Pérez, 1986). La cuenca hidrográfica Guacerique tiene una población actual de 8853 habitantes, y se estima que la tasa de crecimiento anual es del 2,4 % (SANAA e ICF, 2011)³. En esta cuenca, los principales medios de subsistencia incluyen la agricultura de subsistencia y la agricultura comercial de pequeña escala (principalmente, hortalizas), la ganadería de subsistencia y la silvicultura (proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático [TroFCCA], 2009). Esto pone de relieve la estrecha relación entre los medios de subsistencia locales, los bosques y los servicios ecosistémicos.

La cuenca hidrográfica Guacerique está dividida entre dos municipios. La mayor parte de la cuenca (166,82 kilómetros cuadrados) se encuentra dentro de los límites de Tegucigalpa, y los 25 kilómetros cuadrados restantes están dentro de la jurisdicción del municipio de Lepaterique. Dos de los cuatro cursos de agua que se unen para formar el río Guacerique (Guajire-Mateo y Quiscamote) tienen sus cabeceras en el municipio de Lepaterique, por lo que dicho municipio cumple una función esencial en la gestión de las tierras y los recursos de la cuenca.

En 1973, el Gobierno de Honduras declaró a la cuenca hidrográfica Guacerique como bosque público protegido. A pesar de ello, dicha cuenca ha sufrido importantes cambios en el uso de la tierra, por ejemplo, deforestación y conversión para uso agrícola y asentamientos humanos (Shlomo *et al.*, 2004). Dos de los principales motores del cambio en el uso de la tierra son la agricultura de pequeña escala y los asentamientos humanos (TroFCCA, 2008). En toda la cuenca residen pequeños agricultores, incluso dentro de los límites de la Reserva Biológica Yerba Buena.

El agua potable para Tegucigalpa proviene principalmente de aguas superficiales, y las fuentes más importantes son los ríos Guacerique, Grande, Sabacuante y Tatumbula, que forman parte de la cuenca superior del río Choluteca (Reyes, 2006). El sistema también recibe agua de los manantiales de la reserva natural La Tigra (Reyes, 2006). Se utilizan embalses debido a que los volúmenes de los ríos fluctúan mucho durante el año, entre la estación húmeda y la estación seca. La escasez de agua se debe principalmente a que los embalses no tienen suficiente agua. El problema se agrava durante la estación seca.

Actualmente, solo dos embalses abastecen de agua potable a Tegucigalpa: el embalse Los Laureles, en el río Guacerique, y el embalse Concepción, en el río Grande, los cuales proporcionan un volumen total de cuenca construida de alrededor de 48 millones de metros cúbicos (Reyes, 2006). Sin embargo, un volumen considerable de los embalses se ha perdido a causa de la sedimentación. Se estima que la acumulación de sedimentos en el embalse Los Laureles ha reducido su capacidad en un 15 %. Asimismo, los costos del tratamiento del agua en la planta Los Laureles aumentaron considerablemente después del huracán Mitch, debido a que los problemas consiguientes de calidad del agua demandaron sucesivas inversiones en infraestructura, incluida la incorporación de procesos adicionales de tratamiento del agua, con un costo total de varios millones de dólares (Andrade, R., comunicación personal, 22 de julio de 2012). No obstante, en la actualidad, este embalse y la planta de tratamiento asociada abastecen de agua potable a aproximadamente el 25 % de las conexiones de Tegucigalpa, motivo por el cual la cuenca hidrográfica Guacerique es particularmente importante para las autoridades nacionales.

A lo largo de los años, se han preparado muchos proyectos de infraestructura para abordar la escasez de agua, entre los que se incluye la construcción de nuevos embalses. De cara al futuro, se prevé que la población de Tegucigalpa alcance los 1,36 millones de habitantes en 2015, y que se duplique respecto de las cifras actuales y llegue a 2,13 millones de habitantes en 2030 (SOGREAH Consultants, 2004a). Según las proyecciones, el consumo de agua futuro en la zona urbana será de 214 500 metros cúbicos por día en 2015 y de 336 700 metros cúbicos por día en 2030, valores que son equivalentes a tasas de producción de 3,06 metros cúbicos por segundo y 4,52 metros cúbicos por segundo, respectivamente (SOGREAH Consultants, 2004a). Las tasas actuales de producción de agua son de 1,99 metros cúbicos por segundo, en promedio, y pueden llegar a ser de apenas 1,76 metros cúbicos por segundo (SOGREAH Consultants, 2004a). Se requiere una inversión considerable en la capacidad de captación, almacenamiento y tratamiento de agua potable para cumplir con la demanda actual y futura. También es necesario reducir la pérdida y la filtración en el sistema de abastecimiento de agua. Los planes de infraestructura que se describen en este informe tienen como objetivo generar el agua que Tegucigalpa necesita con urgencia.

3 La población actual no incluye las 2245 personas que, según estimaciones de SANAA e ICF (2011), viven en las instalaciones policiales o militares ubicadas en la cuenca (en la zona baja).

Se prevé que el cambio climático y el cambio en el uso de la tierra afecten el abastecimiento de agua para Tegucigalpa de diversas maneras. La deforestación disminuye la infiltración del agua, lo que reduce el flujo base, y aumenta las escorrentías y, por ende, la erosión del suelo. Todas las cuencas hidrográficas que abastecen a Tegucigalpa están sometidas a procesos similares de transformación del suelo y pérdidas forestales. Por lo tanto, la ordenación de las cuencas ha sido identificada como necesaria para garantizar el funcionamiento óptimo de la infraestructura actual y futura de abastecimiento de agua potable (SOGREAH Consultants, 2004a). Los modelos del cambio climático elaborados muestran un aumento de las temperaturas hasta 2030 y 2080, con un incremento de la tasa de cambio durante el período comprendido entre dichos años. La mayoría de los modelos predicen una reducción de las precipitaciones, con posibilidades de que se acorte la temporada de lluvias. Los modelos relacionados sugieren una disminución de las escorrentías a causa de la reducción de las precipitaciones y una transición del paisaje hacia un tipo de ecosistema más seco.

La estrategia de adaptación al cambio climático que se examina en este estudio de caso consiste en el uso de la cubierta forestal para mejorar los servicios de rendimiento del agua y retención del suelo. Esto ayudará a mitigar los impactos de los cambios previstos de las precipitaciones (la irregularidad creciente de la distribución de las precipitaciones y el impacto de las lluvias más intensas en la producción de sedimentos) en el abastecimiento de agua potable.

La elaboración de modelos de los efectos combinados del cambio climático y el cambio del uso de la tierra en la erosión del suelo demuestran que esta puede controlarse, en gran medida, mediante prácticas de uso de la tierra. Tanto la reforestación como otros métodos de control de la erosión del suelo en tierras no forestales generarán importantes beneficios y protegerán a los sistemas de los impactos del cambio climático. Si bien las prácticas de uso de la tierra son importantes para mantener los servicios de retención del suelo, el cambio climático afectará profundamente los medios de subsistencia agrícola en la cuenca. Los agricultores deberán adaptarse a condiciones de cultivo más secas y a la irregularidad creciente del régimen de precipitaciones. Los bosques pueden ayudar a los agricultores a mitigar estos impactos. Sin embargo, para que los agricultores de subsistencia participen en las actividades de conservación de bosques y reforestación, deben ver beneficios directos en sus medios de subsistencia.

En el análisis de vulnerabilidad se muestra cómo la intervención humana y el cambio climático ponen en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos y hacen que la cuenca hidrográfica, la infraestructura de abastecimiento de agua potable y las comunidades sean más vulnerables al cambio climático. **En el análisis de la gestión** se determina que el marco jurídico tiene numerosos elementos que promueven los enfoques de AbE basados en los bosques y que se aplican los aspectos clave de la legislación vigente; sin embargo, debido a la falta de recursos financieros, voluntad política y mandatos claros, así como también a los obstáculos que impiden la participación comunitaria de base amplia, entre otras cosas, la aplicación de las normas sigue siendo un desafío. Una AbE eficaz puede lograrse generando voluntad política, mejorando las dotaciones de recursos financieros para las iniciativas de gestión de los recursos, aclarando las funciones y las responsabilidades de las partes interesadas, mejorando la coordinación interinstitucional, y trabajando directamente con las comunidades.

En el análisis económico se estima que, en el futuro, se obtendrán beneficios mediante la combinación del plan de ordenación de las cuencas y el cambio climático sobre la base de la opinión de expertos. En el análisis, se determinó que el plan de ordenación de las cuencas, en un escenario de cambio climático con un aumento de la temperatura de 0,5 °C y una disminución de hasta un 20 % de las precipitaciones, generará beneficios para los servicios de abastecimiento de agua en un plazo de 20 años. Suponiendo una tasa social de descuento del 3,3 %, el beneficio económico neto del plan de ordenación de la cuenca en 2012 para el servicio de abastecimiento de agua es de aproximadamente US\$28,6 millones en el escenario de cambio climático bajo, y de US\$76,1 millones en el escenario de cambio climático alto. El análisis también parece indicar que el plan de ordenación de las cuencas podría ser insuficiente para proteger la infraestructura de abastecimiento de agua potable de los cambios climáticos más extremos (por ejemplo, los aumentos de las precipitaciones) si el impacto de la reforestación en las estimaciones de rendimiento del agua no se hace realidad. Además, en el análisis económico, también se determinó que una serie de servicios ecosistémicos provistos por los bosques y los ecosistemas relacionados de la cuenca hidrográfica Guacerique, como fibras, formación del suelo, polinización y circulación de nutrientes, contribuye a los medios de subsistencia agrícola de la población local.

En vista de los beneficios potenciales de incluir la AbE en la estrategia de adaptación, en este informe se hacen las siguientes recomendaciones:

- 1) Apoyar la adopción de prácticas de conservación del suelo y los bosques por parte de los agricultores haciendo que los beneficios económicos resulten evidentes y proporcionando los incentivos necesarios para promover la adopción de prácticas de conservación del suelo.
- 2) Obtener financiamiento para la ejecución de los planes de ordenación de las cuencas en esta y otras cuencas hidrográficas a partir de pruebas claras del compromiso del Gobierno de implementar una AbE. Se recomienda que se asignen fondos especiales para la ordenación de las cuencas y la unidad correspondiente a dicha actividad del SANAA, a fin de garantizar que la legislación relacionada con los planes de ordenación se aplique plenamente.
- 3) Establecer un sistema de seguimiento para ajustar de forma adecuada las respuestas a la AbE. La planificación y la implementación de medidas de AbE se caracterizan por los altos niveles de incertidumbre con respecto a los impactos del cambio climático en los ecosistemas y la eficacia de ciertas prácticas para reducir la sedimentación y los contaminantes. La información actualizada podría facilitar la optimización de los recursos escasos y la gestión adaptable, y permitir que los administradores ajusten las medidas a lo largo del tiempo.
- 4) Lograr la aplicación eficaz de la legislación ambiental relativa a los bosques y los recursos hídricos, y comprometerse con procesos participativos de base que fomenten el diálogo entre las comunidades y el Estado para generar el apoyo general de la comunidad.
- 5) Ampliar la perspectiva sobre los beneficios potenciales de la AbE a una gama más amplia de servicios ecosistémicos. La información disponible muestra que los bosques prestan una serie de servicios ecosistémicos que benefician tanto a las comunidades locales como a las distantes. Para incrementar la cantidad de partes interesadas involucradas en la ejecución satisfactoria del plan de ordenación de cuencas, es importante que se tenga en cuenta la gama completa de servicios ecosistémicos (por ejemplo, fibras, alimentos, polinización y circulación de nutrientes), y que los beneficios se comuniquen de forma adecuada a las partes interesadas pertinentes.

Índice

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Índice	ix
Lista de cuadros	xi
Lista de gráficos	xii
Siglas	xiv
1. Introducción	1
1.1 Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático de la disponibilidad de agua susceptible de potabilización	3
1.2 Alcance del estudio de caso	4
2. Contexto	5
2.1. Ubicación y geografía	5
2.2. Desarrollo demográfico, económico y social	7
2.3. Designaciones de uso de la tierra y cambio del uso de la tierra	8
2.4. Abastecimiento de agua potable para Tegucigalpa	11
2.5. Plan de gestión en estudio para la cuenca Guacerique	14
2.6. Marco actual de políticas sobre cambio climático	16
3. Marco y enfoque metodológico	17
3.1. Marco analítico	18
3.2. Evaluación de la vulnerabilidad	20
3.3. Evaluación del impacto del cambio climático	21
3.4. Cambio histórico de la cubierta terrestre	22
3.5. Análisis de la gestión de gobierno	23
3.6. Análisis económico	23
3.7. Interacción entre la investigación y las políticas	25
4. Impactos del cambio climático y del cambio del uso de la tierra en los servicios ecosistémicos y de abastecimiento de agua	25
4.1. Escenarios climáticos	25
4.2. Modelos de ecosistemas	26
4.3. El caso de la erosión del suelo	27
4.4. Análisis general	28
5. Evaluación de la vulnerabilidad de la cuenca Guacerique	29
5.1. Exposición	29
5.2. Sensibilidad ecológica	30
5.3. Vulnerabilidad social	32
5.4. Gestión de la adaptación	35
6. Análisis de la gestión de gobierno	38
6.1. Reseña de la legislación pertinente para la AbE	38
6.2. Alternativa de gestión para lograr una AbE satisfactoria en la cuenca Guacerique	46

7. Análisis económico	48
7.1. Desempeño futuro de la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la gestión de la cuenca	49
7.2. Beneficio económico	49
7.3. Desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca	51
7.4. Análisis	54
8. Recomendaciones sobre la contribución de los sistemas forestales a la AbE	58
9. Conclusión	61
10. Bibliografía	64
Anexo 1: Detalles del análisis económico	73
A1.1. Métodos utilizados para el análisis económico	73
A1.2. Descripción detallada de los resultados de la obtención de las opiniones de los expertos	80
A1.2.1. Opinión de los expertos sobre el desempeño futuro de cuatro variables relativas a la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca	80
A1.2.2. Opiniones de los expertos sobre el desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca	87
A1.3. Cálculo del valor neto actualizado	96
A1.3.1. Cálculo del valor del proyecto del embalse Guacerique II expresado en dólares de 2012 y valor subsiguiente por metro cúbico del volumen del embalse	96
A1.3.2. Identificación de una medida adecuada de la predisposición de los consumidores a pagar por el agua potable en Tegucigalpa, Honduras	98
A1.3.3. Cálculo del costo de la ejecución del plan de gestión de la cuenca, expresado en dólares de 2012	99
A1.3.4. Cálculo de las tasas actuales de sedimentación del embalse Los Laureles (análisis económico)	101
A1.3.5. Cálculo del ingreso actual de agua al embalse Los Laureles	102
A1.3.6. Cálculo del valor anual de los beneficios para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar	102
A1.3.7. Cálculo del VNA en 2012 de los beneficios netos de la ejecución del plan de gestión de la cuenca para el período 2013-35, expresado en dólares de 2012	106
A1.4. Resultados de las pruebas de sensibilidad	107
Anexo 2: Reseña de la legislación actual relacionada con la gestión de los recursos hídricos y forestales en Honduras	110

Lista de cuadros

Cuadro 1. Distribución actual de uso de la tierra en la cuenca Guacerique	9
Cuadro 2. Oportunidades y obstáculos para la AbE centrada en los bosques en la legislación de Honduras	45
Cuadro 3. Beneficios anuales generados por el plan de gestión de la cuenca para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar	50
Cuadro 4. VNA del beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca para la empresa nacional de abastecimiento de agua en 2012, expresado en dólares de 2012, por tasa social de descuento y escenario de cambio climático	51
Cuadro 5. Escenario de <u>bajo</u> nivel de cambio climático de la cuenca Guacerique (hasta 2030)	74
Cuadro 6. Escenario de <u>alto</u> nivel de cambio climático de la cuenca Guacerique (hasta 2030)	74
Cuadro 7. Preguntas sobre el desempeño de las variables específicas relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable	76
Cuadro 8. Preguntas formuladas en relación con la provisión de servicios ecosistémicos generales	76
Cuadro 9. Escenarios utilizados para la emisión de opiniones sobre la provisión de servicios ecosistémicos generales	77
Cuadro 10. Cantidad de encuestados para cada una de las preguntas del conjunto completo de datos	78
Cuadro 11. Respuestas a la pregunta H5.1, promediadas entre los cuatro encuestados	88
Cuadro 12. Respuestas a la pregunta H5.2, promediadas entre los cuatro encuestados	90
Cuadro 13. Evaluación del alcance de la provisión de servicios ecosistémicos en los cuatro escenarios	93
Cuadro 14. Evaluación de la importancia de la provisión de servicios ecosistémicos en los cuatro escenarios	94

Cuadro 15. Costo estimado del proyecto del embalse Guacerique II con la estimación de 2004 de la compensación para los propietarios de las tierras y sin ella	96
Cuadro 16. Detalles del índice de precios de la construcción utilizado para el cálculo del VNA del proyecto del embalse Guacerique II	97
Cuadro 17. Precio declarado del agua proveniente de camiones cisterna privados en la ciudad de Tegucigalpa, extraído de los medios de comunicación, expresado en lempiras de 2012 y dólares de 2012	99
Cuadro 18. Información clave sobre los patrones de sedimentación del embalse Los Laureles	101
Cuadro 19. Beneficios anuales generados por el plan de gestión de la cuenca para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar	105
Cuadro 20. Tasas sociales de descuento de Honduras por escenario de crecimiento económico, calculadas por López (2008)	106
Cuadro 21. Impacto de las estimaciones máxima y mínima de la futura disponibilidad de agua en el escenario de bajo nivel de cambio climático en los beneficios anuales totales y VNA de los beneficios netos, expresados en dólares de 2012	107
Cuadro 23. Resultados de las pruebas de sensibilidad del impacto de la proporción de beneficios que se supone se concretarán en 2019 en el VNA de los beneficios netos en 2012, expresados en dólares de 2012	108
Cuadro 24. Estimaciones de las tasas anuales de sedimentación posteriores al huracán Mitch resultantes al cambiar el supuesto de que los sedimentos existentes son atribuibles a dicho huracán	109

Lista de gráficos

Gráfico 1. Ubicación de la cuenca Guacerique	6
Gráfico 2. Zonas de vida de Holdridge actuales en el departamento de Francisco Morazán, Honduras	6
Gráfico 3. Cambio del uso de la tierra en las cuencas Guacerique y Grande, 1993-2008	11
Gráfico 4. Diagrama de influencia con una descripción de los factores que afectan la calidad y la cantidad del agua potable producida por la cuenca Guacerique	14
Gráfico 5. Marco analítico	20
Gráfico 6. Marco de la evaluación de la vulnerabilidad.	21
Gráfico 7. Cambio en la erosión del suelo en comparación con la referencia (B) en dos escenarios climáticos contrapuestos (CC1: PCM.B2A y CC2: HAD3.A1FI) y dos escenarios de cambio del uso de la tierra contrapuestos (LUC1: escenario A y LUC2: escenario D) en 2030 (izquierda) y 2080 (derecha)	28
Gráfico 8. Análisis de la vulnerabilidad de la cuenca Guacerique	30
Gráfico 9. Resultados de la elaboración de modelos de cambios de las zonas de vida en el departamento de Francisco Morazán en el contexto del cambio climático	32
Gráfico 10. Diagrama de objetivos de medios y fines con un resumen de las preferencias de las partes interesadas para lograr una AbE satisfactoria en la cuenca Guacerique	47
Gráfico 11. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.1	83
Gráfico 12. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.3	83
Gráfico 13. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.6	83
Gráfico 14. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.9	83

Siglas

AbE	Adaptación basada en los ecosistemas
BCH	Banco Central de Honduras
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica)
CIFOR	Centro para la Investigación Forestal Internacional
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ICF	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Honduras)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROFOR	Programa sobre los Bosques (Banco Mundial)
PRONADERS	Programa Nacional de Desarrollo Rural y Urbano Sostenible
PSE	Pagos por servicios de ecosistemas
SANAA	Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (Honduras)
SERNA	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente
SRES AR4	Informe especial sobre hipótesis de emisiones, Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
TroFCCA	Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático
VNA	Valor neto actualizado

1. Introducción

Los sistemas humanos de todo el mundo enfrentan el desafío crucial de aprender a adaptarse a las presiones combinadas y relacionadas del cambio climático y ambiental. Durante los últimos siglos, las actividades humanas han degradado el ambiente natural a escala mundial y han modificado la forma y la función de los sistemas naturales en todas partes del mundo. El cambio climático ejerce más presión tanto sobre los sistemas humanos como sobre los sistemas naturales que garantizan el bienestar humano en el planeta. El cambio climático tiene efectos potencialmente nefastos para los medios de subsistencia y el bienestar humano debido a las alteraciones en la agricultura, los alimentos, el agua y los sistemas de suministro de energía basados en la biomasa, así como también debido a las variaciones en la dinámica de los vectores de enfermedades y los consiguientes impactos en la salud y los medios de subsistencia humanos. Esto causa especial preocupación en los países en desarrollo, dado que en estos contextos existen escasos recursos para adoptar medidas de adaptación a gran escala tendientes a proteger a la población de tales impactos.

La adaptación basada en los ecosistemas (AbE) es un enfoque de adaptación que intenta reducir los impactos del cambio climático en los sistemas humanos mediante el fortalecimiento de los sistemas ecológicos (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica [CBD], s. f.). Mediante este tipo de enfoque de adaptación, se procura abordar tanto la degradación ambiental anterior como los cambios ambientales inducidos por el cambio climático, a fin de mejorar los resultados para los sistemas humanos (Vignola *et al.*, 2009). En el presente estudio, se examinan los posibles beneficios del uso de una estrategia de adaptación basada en los ecosistemas (relacionada con los bosques) como parte de la estrategia para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático de las fuentes de agua que abastecen a Tegucigalpa, Honduras.

Honduras está considerado uno de los países de América Latina más vulnerables al cambio climático, y ocupa el tercer lugar en un índice mundial de riesgo climático, en el que se utilizan como variables sustitutivas la exposición y la vulnerabilidad a los fenómenos climáticos extremos⁴ durante el período comprendido entre 1991 y 2010 (Harmeling *et al.*, 2012). El país experimentó un promedio de 56 fenómenos climáticos extremos durante el mencionado período, un promedio anual de 327 muertes (aproximadamente 5 por cada 100 000 habitantes) y pérdidas medias anuales de casi US\$662 millones (dólares de los Estados Unidos según la paridad de poder adquisitivo), o del 2,93 % del producto interno bruto (Harmeling *et al.*, 2012, pág. 6). Honduras ocupa uno de los primeros puestos del índice debido al huracán Mitch, que causó el 80 % de todas las pérdidas y víctimas fatales registradas durante el período de 20 años (Harmeling *et al.*, 2012, pág. 8).

Según otra estimación, en los últimos 30 años (1981-2010), los desastres naturales han provocado pérdidas por US\$4700 millones en Honduras, o el 50 % de todas las pérdidas en América Central (PNUD, 2010). Honduras se vio afectada por 6 de los 12 huracanes más fuertes del siglo *xx*⁵, incluido el huracán Mitch, de 1998, que causó la muerte de 10 000 personas y la destrucción del 70 % de la infraestructura vial del país, además de los graves daños ocasionados a las tuberías de distribución de agua potable y los cultivos agrícolas. El huracán Mitch dañó la cubierta forestal, y muchas cuencas hidrográficas se tornaron sumamente vulnerables a fenómenos climáticos de similar o menor magnitud (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente [SERNA], 2000). De manera semejante, las tormentas tropicales Wilma, Beta y Gamma, de 2005, provocaron considerables daños a las viviendas, la infraestructura y la agricultura. En 2010, el huracán Agatha causó un total de 18 muertes y la evacuación de emergencia de 16 000 personas.

En la cuenca del río Choluteca, situada en la cálida y seca costa del Pacífico de Honduras, el 31 % de los hogares informaron daños, y el 30 % de los cultivos se vieron afectados a causa del huracán Agatha (PNUD, 2010). Estos tipos de impactos llevaron al Gobierno de Honduras a identificar a la cuenca del río Choluteca y a las cuencas que abastecen de agua potable a Tegucigalpa, incluida la cuenca Guacerique, como una de las áreas del país más vulnerables al cambio climático (SERNA, 2000).

4 No existe una definición única de los fenómenos climáticos extremos (Beniston y Stephenson, 2004). En este caso, en el estudio de Harmeling *et al.* (2012), se utilizó la definición de Munich Re GeoRisk, que está más relacionada con los daños registrados en las bases de datos de desastres que con una definición basada en el clima.

5 Los daños informados se han relacionado principalmente con los desprendimientos de tierra y las inundaciones.

En 2005, en un estudio del Banco Mundial sobre los sitios más expuestos a desastres naturales, se determinó que Honduras era uno de los 20 países principales que estaban en riesgo de sufrir cuantiosas pérdidas económicas a causa de todos los peligros (los seis peligros mayores que se consideraron fueron las sequías, los terremotos, las inundaciones, los desprendimientos de tierra, las tormentas y las erupciones volcánicas). Muchos de los fenómenos climáticos extremos que han afectado a Honduras han producido una importante pérdida de la cubierta forestal en muchas de las cuencas hidrográficas, lo que ha aumentado la vulnerabilidad de estas cuencas a la erosión del suelo.

Los escenarios climáticos futuros pronostican que los niveles actuales de escasez de agua en Honduras se verán agravados por el cambio climático y la mayor variabilidad en los regímenes de las precipitaciones pluviales. Un estudio nacional reciente sobre los futuros escenarios de cambio climático (Argeñal, 2010, citado en PNUD, 2011) indica una disminución del 5 % de las precipitaciones anuales para 2020, en especial, a lo largo del corredor noroeste-sudeste. Para 2050, se prevé una disminución del 20 % al 25 % de las precipitaciones en casi todo el país entre los meses de junio y agosto, con déficits superiores al 30 % en la mayoría de las áreas durante los meses de julio y agosto, especialmente en los departamentos de la región occidental de Honduras. En ese período, se anticipa un aumento de las temperaturas medias en las regiones del oeste y del sur del país, lo que agravará la situación en estas áreas, ya que el período de precipitaciones escasas que normalmente ocurre durante la estación de lluvias será más largo, más caluroso y más seco.

El acceso al agua es limitado en muchas partes de Honduras. En las zonas rurales, solo el 77,1 % de la población tiene acceso al agua, y apenas el 15 % tiene acceso a agua potable (Instituto Nacional de Estadísticas, 2006, citado en PNUD, 2011). Los cambios climáticos previstos aumentarán aún más los riesgos para los cultivos y el acceso al agua para consumo humano.

Este estudio de caso se centra en la cuenca hidrográfica Guacerique, de Honduras. Esta cuenca suministra agua al 25 % de las conexiones de abastecimiento de dicho recurso de Tegucigalpa, ciudad que alberga aproximadamente al 13 % de la población total del país (es decir, la población de la capital es de 1,05 millones de personas) (Reyes, 2006)⁶. El agua del río Guacerique se almacena en el embalse Los Laureles (el volumen de la cuenca es de 12 millones de metros cúbicos) y posteriormente se la trata, antes de enviarla al sistema de distribución de agua de la capital.

1.1 Uso de los bosques para aumentar la capacidad de adaptación al cambio climático de la disponibilidad de agua susceptible de potabilización

En una evaluación de la vulnerabilidad ambiental de las principales cuencas hidrográficas de Honduras, se llegó a la conclusión de que la cuenca hidrográfica en la que se encuentra la cuenca Guacerique (cuenca del río Choluteca) es una de las más deforestadas del país. Durante los últimos 20 años, el cambio en el uso de la tierra en la cuenca Guacerique se ha producido de forma no regulada (a pesar del marco jurídico vigente), impulsado sobre todo por factores económicos (principalmente, la agricultura de subsistencia y el desarrollo industrial y residencial), con consecuencias negativas para el abastecimiento de agua potable de la ciudad (Lee, 2000)⁷. La expansión urbana ya ha comenzado a penetrar la cuenca Guacerique (PNUD, 2010). En la actualidad, los administradores de los recursos hídricos intentan combinar soluciones basadas en los ecosistemas y en la infraestructura para abordar los desafíos que enfrentan con relación con el abastecimiento de agua.

Los bosques ofrecen una amplia variedad de servicios ecosistémicos (es decir, almacenamiento de carbono, provisión de combustible y fibra, regulación del agua y del suelo, y hábitat para agentes polinizadores) que respaldan el bienestar humano en zonas urbanas y rurales. Además, los bosques forman parte del paisaje, y tener en cuenta los diversos elementos de un paisaje es fundamental para lograr una adaptación satisfactoria al cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2010a). Por lo tanto, en el contexto de la AbE, se asigna gran importancia a los bosques con respecto a la toma de decisiones relacionadas con el cambio climático y el uso de la tierra.

6 Por Tegucigalpa, los autores se refieren a las ciudades gemelas de Tegucigalpa y Comayagüela, que son gobernadas por un solo Gobierno municipal, el del Municipio del Distrito Central.

7 El nivel de desarrollo industrial en la cuenca baja no es significativo a nivel nacional. Sin embargo, la actividad agrícola que se lleva a cabo en la cuenca es mucho más importante: los administradores de los recursos hídricos informan que el 60 % de las verduras que se venden en Tegucigalpa se producen en esta cuenca.

Los bosques son importantes no solo por la función que cumplen los árboles en el ciclo del agua, sino también porque ofrecen a la sociedad una amplia variedad de servicios ecosistémicos y beneficios económicos. Los vínculos entre los bosques y el agua a nivel de paisaje indican que el uso de la tierra en el paisaje influye en el abastecimiento sostenible de agua. En reconocimiento de ello, y mediante la gestión del paisaje orientada a los recursos hídricos, no solo se generan beneficios procedentes del abastecimiento de agua, sino que también se crea una amplia variedad de beneficios adicionales que los seres humanos pueden obtener de los bosques. Las soluciones de abastecimiento de agua basadas en los bosques ofrecen la oportunidad de resolver también otros problemas que enfrenta la sociedad en los niveles local, regional y nacional. En este estudio de caso, las observaciones revelan que los bosques contribuyen a la provisión de agua potable (y, por ende, al bienestar urbano), y que también pueden respaldar los medios de subsistencia y el bienestar a nivel local. De modo similar, a escala mundial, los bosques contribuyen a la mitigación del cambio climático y, por lo tanto, mediante la conservación y la ampliación de la cubierta forestal, la sociedad puede lograr los objetivos compatibles de mitigación de dicho fenómeno y adaptación a él.

1.2 Alcance del estudio de caso

En este estudio, que forma parte de una serie de estudios, se analiza la forma en que los bosques, a través de la provisión de servicios ecosistémicos, contribuyen a la adaptación de otros sectores al cambio climático⁸. El estudio de caso en Honduras tiene como objetivo examinar la forma en que la gestión de los bosques puede contribuir a la adaptación del sistema de agua potable de Tegucigalpa al impacto del cambio climático en un plazo de 20 a 50 años. Específicamente, mediante este proyecto de investigación, se procura lo siguiente:

- comprender el impacto del cambio climático en los ecosistemas actuales de Honduras, con especial énfasis en la cuenca hidrográfica Guacerique, y evaluar esto en relación con otros factores, como el crecimiento demográfico, los cambios en el uso de la tierra y los indicadores de pobreza previstos;
- evaluar la vulnerabilidad del sistema humano-ambiental combinado en la cuenca Guacerique;
- examinar los regímenes actuales de gestión de los recursos hídricos y forestales, y su relación con los servicios ecosistémicos vinculados con el agua;
- analizar la forma en que los bosques y los sistemas de agrosilvicultura pueden contribuir a las medidas actuales de conservación del agua y de los bosques en el contexto del cambio climático, incluida la justificación económica para mejorar estas alternativas;
- estudiar una serie de alternativas de adaptación, comparar diferentes escenarios y describir la gestión de gobierno necesaria para promover la AbE.

Por varios motivos, la cuenca Guacerique ofrece un estudio de caso ideal para analizar la contribución de los bosques al aumento de la capacidad de adaptación de otros sectores al cambio climático. En primer lugar, la relación entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano es simple y directa: la provisión de servicios de disponibilidad de agua y control de la erosión se traduce en la producción de agua con ciertas características de calidad que se convierte en agua potable para una parte considerable de la ciudad más grande de Honduras. En segundo lugar, el cambio en el uso de la tierra y la deforestación de los últimos 20 años están bien documentados. En tercer lugar, los fenómenos climáticos extremos registrados en el pasado reciente (fundamentalmente, el huracán Mitch) sirven de base para comprender la vulnerabilidad de diferentes partes del sistema. En cuarto lugar, existen claros problemas de gestión de gobierno, entre los que se incluyen el tratamiento de diversas necesidades a diferentes escalas, los recursos limitados para los programas de conservación, la escasa planificación eficaz del uso de la tierra y la aplicación limitada de las leyes ambientales (Lee, 2000).

En este estudio, que forma parte de una serie de estudios, se analiza la forma en que los bosques, a través de la provisión de servicios ecosistémicos, contribuyen a la adaptación de otros sectores al cambio climático⁹. El objetivo del proyecto más amplio es captar la contribución de los bosques al aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático de otros sectores. En dicho proyecto, se examina la forma en que la gestión sostenible de los bosques puede contribuir a fortalecer la capacidad de adaptación social y física de los sistemas de otros sectores. Entre los interlocutores del proyecto general se incluyen los encargados de tomar decisiones del Gobierno y las organizaciones asociadas en la tarea del desarrollo. El objetivo es ayudar a promover el uso de los bosques para la adaptación y brindar información para las asignaciones del financiamiento de actividades de adaptación y mitigación del cambio climático.

8 Para obtener más información sobre el conjunto de estudios de casos, visite <www.profor.info/node/2032>.

9 Para obtener más información sobre el conjunto de estudios de casos, visite www.profor.info/node/2032.

2. Contexto

2.1 Ubicación y geografía

La cuenca hidrográfica Guacerique está ubicada en el departamento de Francisco Morazán en Honduras (longitud: $-87,21^\circ$, latitud: $14,10^\circ$), al noroeste de Tegucigalpa. La cuenca tiene una superficie de 191,75 kilómetros cuadrados (19 175 hectáreas) y está delimitada por las siguientes coordenadas: $-87,21^\circ$ y $-87,44^\circ$ de longitud, y $14,02^\circ$ y $14,16^\circ$ de latitud (SANAA e ICF, 2011). Es una pequeña parte del país, que tiene una superficie total de 112 492 kilómetros cuadrados (Banco Central de Honduras [BCH], 2012). En el gráfico 1, se muestra la ubicación de la cuenca en relación con los límites municipales, departamentales y nacionales.

La cuenca Guacerique es una región montañosa con una altura media de 1450 metros, y más del 56 % de la superficie terrestre está formada por pendientes superiores al 15 % (Hernández, 2003; SANAA e ICF, 2011). Debido a las pendientes pronunciadas, combinadas con la capa de suelo poco profunda y la estructura del suelo, el drenaje, los niveles de humedad y la pedregosidad, la cuenca hidrográfica es ideal para la explotación forestal (Komives *et al.*, 1986, citado en Maldonado y Pérez, 1986).

La cuenca está compuesta por cinco áreas de drenaje (Guaralalao, Quiscamote, Quiebramontes, Guajire-Mateo y el bajo Guacerique). En el río Guacerique, se ha construido una represa para formar el embalse Los Laureles, que abastece de agua potable a Tegucigalpa. Esta cuenca forma parte de la cuenca del río Choluteca. Aguas abajo de la represa, el río Guacerique se une con el río Grande para formar el río Choluteca (que generalmente se encuentra casi seco), que desemboca en el golfo de Fonseca, en el océano Pacífico.

Gráfico 1. Ubicación de la cuenca Guacerique



Fuente: SANAA e ICF (2011). Referencias:

Verde lima: Departamento de Francisco Morazán.

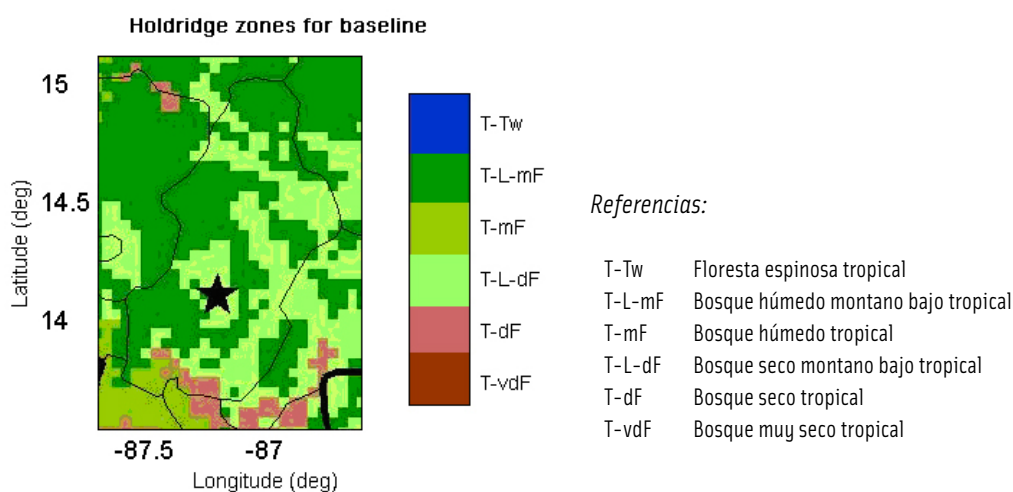
Verde mar: Límites municipales de Lepaterique.

Coral: Límites municipales del Distrito Central.

Línea negra: Límites de la cuenca Guacerique.

En la cuenca Guacerique, existen dos tipos principales de bosques: 1) el bosque montano bajo estacional de hojas aciculares perennes, ubicado en la cuenca media y alta, compuesto principalmente por las especies *Pinus oocarpa* y *Pinus pseudostrobus*, y 2) el bosque montano alto estacional de hojas anchas perennes, compuesto por las especies *Quercus spp.* y *Quercus oleoides* y también ubicado mayormente en las regiones altas de la cuenca. Los tipos de vegetación de la región se describen en el gráfico 2. En este gráfico, se muestra la distribución actual, basada en las "zonas de vida de Holdridge" (Holdridge, 1947), de bosques húmedos montanos bajos tropicales (57,14 %), bosques secos montanos bajos tropicales (38,50 %), y porcentajes pequeños de bosques secos tropicales (2,18 %) y bosques húmedos tropicales (2,18 %) en la parte meridional del departamento. Cabe señalar que la estrella está ubicada sobre el centro de la cuenca Guacerique, lo que indica que la vegetación de la cuenca se clasifica, en general, como bosque seco montano bajo tropical.

Gráfico 2. Zonas de vida de Holdridge actuales en el departamento de Francisco Morazán, Honduras



2.2 Desarrollo demográfico, económico y social

La cuenca hidrográfica Guacerique tiene una población actual de 8853 habitantes, y se estima que la tasa de crecimiento anual es del 2,4 % (SANAA e ICF, 2011)¹⁰. En cuanto a la distribución por género, la población está formada por un 51,3 % de hombres y un 48,7 % de mujeres (TroFCCA, 2009). En comparación, se estima que la población actual del Distrito Capital es de 1,05 millones (solo la población urbana), y la población total de Honduras es de aproximadamente 8,22 millones (BCH, 2012). La tasa de crecimiento demográfico anual nacional es de alrededor del 2,1 % (BCH, 2012).

En esta cuenca, los principales medios de subsistencia incluyen la agricultura de subsistencia y la agricultura comercial de pequeña escala (principalmente, hortalizas), la ganadería de subsistencia y la silvicultura (TroFCCA, 2009). Esto pone de relieve la estrecha relación entre los medios de subsistencia locales, los bosques y los servicios ecosistémicos.

Los conocimientos sobre agricultura se transmiten de una generación a la otra (TroFCCA, 2009). Solo el 43 % de los agricultores utiliza medidas de conservación del suelo y el agua, y alrededor del 51 % tiene un sistema de riego para sus campos (TroFCCA, 2009). Las actividades agrícolas generalmente se financian a través de ahorros personales, remesas y aparcería (TroFCCA, 2009)¹¹. Para complementar los ingresos, se recurre al trabajo temporal en el sector de los servicios, por ejemplo, vigilancia, lavandería y cuidado de niños (TroFCCA, 2009). En la cuenca, el ingreso mensual medio es de aproximadamente US\$136 (TroFCCA, 2009). Alrededor del

¹⁰ La población actual no incluye las 2245 personas que, según estimaciones del SANAA y el ICF (2011), viven en las instalaciones policiales o militares ubicadas en la cuenca (en la zona baja).

¹¹ El término que se usa a nivel local es *medianía* y, en virtud de este acuerdo, una persona proporciona la tierra y el trabajo, y otra persona aporta las semillas y otros insumos agrícolas.

25 % de las mujeres son económicamente activas, ya sea en la agricultura o el comercio, y los adultos generalmente han completado la educación primaria (TroFCCA, 2009).

Todavía a mediados de la década de 1980, la infraestructura de abastecimiento de agua o saneamiento de las comunidades rurales de la cuenca era prácticamente inexistente, y el agua se obtenía de grifos comunitarios, pozos, manantiales e incluso directamente del río y sus afluentes. En ese entonces, el 96 % de los hogares no tenía letrinas, y la recolección pública de residuos tampoco casi existía. Además, las comunidades rurales de la cuenca no tenían electricidad (Maldonado y Pérez, 1986). En la actualidad, el 76 % de los hogares está conectado con una red de distribución de agua; sin embargo, solo el 17 % de los hogares tiene electricidad y el 18 % no tiene letrinas (TroFCCA, 2009). La leña sigue siendo la fuente principal de energía, y el 96 % de los hogares utiliza aproximadamente 10 trozos de leña por día (TroFCCA, 2009). Apenas el 37 % de los hogares utiliza cocinas a leña de alta eficiencia (TroFCCA, 2009). De hecho, las estimaciones de 12 años atrás sobre el consumo nacional de leña indican que la leña proporciona aproximadamente el 70 % de la energía utilizada para cocinar y que el 90 % de la madera se corta con este fin (FAO, 2001).

Las tasas de pobreza y pobreza extrema del país en su conjunto han disminuido en los últimos 20 años, de más del 80 % en 1990 al 66,2 % en 2010, en el caso de los niveles de pobreza, y de más del 60 % en 1990 a poco más del 45 % en 2010, en el caso de la pobreza extrema (Cecchini y Uthoff, 2007). Tegucigalpa tiene el índice de desarrollo humano más alto del país, de 0,759, en comparación con el promedio nacional de 0,664 (PNUD, 2006). Lepaterique, el otro municipio que tiene jurisdicción sobre parte de la cuenca Guacerique, tiene un índice de desarrollo humano de 0,577 (PNUD, 2006). De modo similar, el índice de pobreza humana de Tegucigalpa es de 19,4, en comparación con el 42,5 de Lepaterique (PNUD, 2006). Estos indicadores hacen alusión a la diferencia en el desarrollo socioeconómico y humano entre los habitantes de las secciones media y alta de la cuenca Guacerique y los habitantes de la cuenca baja y otros usuarios que se encuentran aguas abajo.

2. 3 Designaciones de uso de la tierra y cambio del uso de la tierra

Como se expone en el gráfico 1, la cuenca Guacerique se divide entre dos municipios. La mayor parte de la cuenca (166,82 kilómetros cuadrados) se encuentra dentro de los límites de Tegucigalpa, y los 25 kilómetros cuadrados restantes están dentro de la jurisdicción del municipio de Lepaterique. Dos de los cuatro cursos de agua que se unen para formar el río Guacerique (Guajire-Mateo y Quiscamote) tienen sus cabeceras en el municipio de Lepaterique, por lo que dicho municipio es un actor importante en la gestión de la tierra y los recursos de la cuenca.

En 1973, en virtud del Acuerdo n.º 3-1973, el Gobierno de Honduras declaró la cuenca hidrográfica Guacerique bosque público protegido, según lo autorizado por la legislación pertinente sancionada en 1971. El texto del acuerdo sugiere que el estatus de protección tenía como objetivo controlar la tala, que, según se percibía, reducía el abastecimiento de agua. Posteriormente, la sección alta de la cuenca se designó como Reserva Biológica Yerba Buena, conforme al Decreto n.º 87-1987, que prohibió toda la actividad humana en la reserva a perpetuidad (artículo 5). En virtud del decreto, la responsabilidad de la gestión se delega a la SERNA y a los municipios respectivos (artículo 4). Los límites exactos de la reserva habían de designarse en una reglamentación separada (artículo 11), pero la superficie de la reserva abarca aproximadamente desde el pico más alto hasta una altitud de entre 1800 y 2100 metros (artículo 5).

La cuenca Guacerique ha experimentado importantes cambios en el uso de la tierra en las últimas décadas, entre los que se incluyen la deforestación y la conversión para usos agrícolas y asentamientos humanos (Shlomo *et al.*, 2004). En el cuadro 1, se muestran dos estimaciones diferentes de la distribución actual de uso de la tierra en la cuenca Guacerique. Cabe destacar que, según estas estimaciones, entre el 60 % y el 64 % de la cuenca sigue estando forestada.

Cuadro 1. Distribución actual de uso de la tierra en la cuenca Guacerique

Uso de la tierra	Porcentaje (TroFCCA, 2008)	Porcentaje (SANAA e ICF, 2011)	Diferencia en la estimación
Bosque de coníferas	25,3	22,6	2,7
Bosque de plantas de hojas anchas	18,3	23,4	-5,1
Bosque mixto	17,4	17,7	-0,3
Agricultura	20,1	15,0	5,1
Pastizales	12,3	10,0	2,3
Tierras en barbecho	No disponible	1,0	1
Matorrales	2,6	5,0	-2,4
Asentamientos humanos	3,9	4,8	-0,9
Masas de agua	0,3	0,5	-0,2
Total	100,2*	100	

Fuente: TroFCCA (2008) y SANAA e ICF (2011).

Nota: La suma de las cifras de la distribución del uso de la tierra de TroFCCA (2008) es superior a 100 debido al redondeo.

Dos de las principales causas del cambio del uso de la tierra son la agricultura de pequeña escala y los asentamientos humanos (TroFCCA, 2008). La cuenca alberga a pequeños agricultores que practican la agricultura de subsistencia y, más recientemente, cultivan verduras para los mercados nacionales e internacionales. Estos agricultores residen en toda la cuenca, incluso en zonas que se encuentran dentro de los límites de la Reserva Biológica Yerba Buena.

La expansión de los confines de las zonas dedicadas a la producción agrícola ha dado lugar a altas tasas de deforestación en la cuenca. La tasa agregada anual de deforestación del período 1993-2008 es del 1,36 % (TroFCCA, 2008)¹². Al mismo tiempo, los agricultores han abandonado algunas parcelas, lo que ha permitido la regeneración de los bosques secundarios en las zonas bajas de la cuenca (TroFCCA, 2008)¹³. Los incendios forestales también contribuyen a la deforestación, y frecuentemente se establecen prácticas agrícolas en las zonas afectadas por incendios forestales. De hecho, los administradores de la cuenca informan que los habitantes a menudo provocan incendios forestales con el objetivo de abrir nuevas áreas para la agricultura.

Asimismo, la proximidad a Tegucigalpa ha dado lugar a la incursión de asentamientos residenciales, comerciales e industriales en la cuenca baja (Shlomo *et al.*, 2004). Existen numerosos asentamientos a lo largo del río Guacerique y en las márgenes del embalse Los Laureles. En muchos casos, estos asentamientos carecen de instalaciones adecuadas para el tratamiento del agua y, en algunos casos, los efluentes se descargan directamente en el río y el embalse. Además, muchos hogares de la cuenca media y alta carecen de una infraestructura sanitaria adecuada. Durante el período comprendido entre 1993 y 2008, estos factores ocasionaron la conversión del 15 % de una zona anteriormente forestada para usos agrícolas y asentamientos humanos, y la pérdida de un 7 % de bosques, que se transformaron en tierras en barbecho o matorrales (TroFCCA, 2008). En el gráfico 3, se muestra la escala del cambio del uso de la tierra en la cuenca durante este período.

En la cuenca se encuentran representados diversos sectores socioeconómicos, que incluyen desde pequeños agricultores que dependen de la tierra y los recursos naturales como medios de subsistencia (principalmente aquellos que viven en las secciones media y alta de la cuenca) hasta la clase alta urbana de los desarrollos residenciales que han surgido en las secciones bajas.

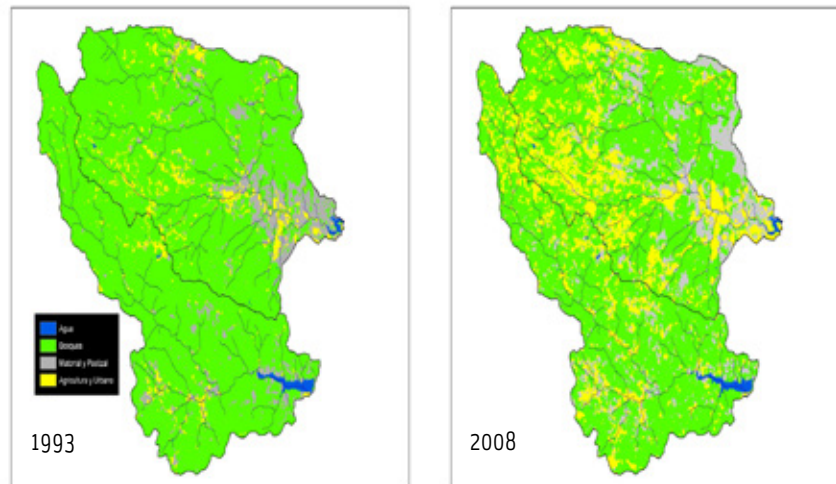
El impacto de los cambios del uso de la tierra en el abastecimiento de agua derivan del aumento de los niveles de erosión del suelo y sedimentación en los cursos de agua, y de los niveles cada vez mayores de contaminación del agua. Se estima que el embalse ha perdido

12 Sin embargo, TroFCCA (2008) informa tasas desglosadas de bosques mixtos y de coníferas de hasta un 2,8 % para el mismo período, las cuales son mucho más altas que el promedio nacional registrado en otros estudios, como el de Rivera (1998).

13 En general, en el estudio se observó que la regeneración se producía en los bosques de plantas de hojas anchas de las regiones bajas de la cuenca con suelos pobres, con predominio de la especie *Quercus spp.* adaptada a las condiciones secas.

alrededor del 15 % de su capacidad total de almacenamiento debido, en parte, al considerable impacto del huracán Mitch, de 1998, que provocó una importante acumulación de sedimentos en el embalse Los Laureles (Reyes, 2006). Además, los niveles de coliformes están en aumento y la eutrofización constituye un problema durante la estación seca (Reyes, 2006). Además, si bien Hernández (2003) no encontró una tendencia estadísticamente significativa de las precipitaciones en la cuenca Guacerique entre 1980, 1991 y 2003, pudo demostrar un aumento del caudal medio durante la estación de lluvias y una reducción durante la estación seca estadísticamente significativos (de 0,16 metros cúbicos por segundo en 1980 a 0,06 metros cúbicos por segundo en 2003). Este fenómeno se atribuyó al aumento de la escorrentía como consecuencia de la deforestación¹⁴.

Gráfico 3. Cambio del uso de la tierra en las cuencas Guacerique y Grande, 1993-2008



Fuente: TroFCCA (2008).

Nota 1: El color amarillo indica actividades agrícolas o asentamientos humanos, y el color gris, matorrales o pastizales.

Nota 2: La cuenca Guacerique es la sección superior de cada imagen. La sección inferior es la cuenca vecina Grande, que también cuenta con una importante infraestructura de abastecimiento de agua potable.

Si se consideran las pérdidas forestales y la conversión de la tierra en la cuenca Guacerique con relación al resto del país, el 53,2 % del territorio nacional se forestó en 2004 (FAO, 2004), y se estima que las tasas de deforestación en la década 1990-2000 fueron del 1,1 % por año (FAO, 2001). Por lo tanto, si bien la proporción de la cuenca que sigue estando forestada es superior al promedio nacional, las tasas de deforestación en la cuenca Guacerique también son mucho más altas que el promedio nacional.

2.4 Abastecimiento de agua potable para Tegucigalpa

El abastecimiento de agua potable es un desafío constante para las autoridades y los habitantes de Tegucigalpa. Actualmente, el sistema de agua potable de Tegucigalpa funciona con un déficit del 55 %. Los administradores de los recursos hídricos estiman que la demanda actual de agua de toda la ciudad es de 4 metros cúbicos por segundo, mientras que el sistema solo provee alrededor de 1,8 metros cúbicos por segundo. Por este motivo, el racionamiento de agua se lleva a cabo durante todo el año. En algunos vecindarios, el racionamiento es tan riguroso que reciben agua solo una vez por semana (SOGREAH Consultants, 2004a). El servicio intermitente es habitual en todo el país, tanto en zonas rurales como urbanas, y el racionamiento del agua se introdujo por primera vez en Tegucigalpa en la década de 1980 (Organización Panamericana de la Salud [OPS]/Organización Mundial de la Salud [OMS], 2003, y Caballero, 1992, en Coello Balthasar, 2011). El rápido crecimiento urbano de las últimas décadas ha superado las adiciones a la infraestructura de suministro de agua, y algunos vecindarios no están conectados al sistema de distribución de agua potable de la ciudad. En respuesta a esta situación, el SANAA ha organizado un programa de camiones cisterna que abastecen de agua a los vecindarios periféricos pobres que carecen de la infraestructura pública de distribución de agua potable. Las fugas de los sistemas de distribución de agua antiguos y degradados, junto con la falta de una infraestructura de gestión de aguas pluviales, empeoran aún más el sistema.

¹⁴ Según los resultados del metanálisis de Locatelli y Vignola (2009), las reducciones de la cubierta forestal pueden aumentar los caudales de los ríos tanto en la estación seca como en la temporada de lluvias.

El déficit de agua existente tiene varias consecuencias, entre las que se incluyen repercusiones en materia de salud, higiene e igualdad. La salud y la higiene de los hogares se ve comprometida cuando el agua es escasa, y el almacenamiento inadecuado del agua puede provocar afecciones diarreicas y otros problemas de salud, con consecuencias especialmente negativas para la salud de lactantes y niños. Han surgido diversas estrategias privadas para satisfacer las necesidades de agua de la población, las cuales tienen importantes repercusiones en términos de igualdad. Por ejemplo, los hogares instalan tanques de almacenamiento de agua, y las empresas privadas venden agua que distribuyen con camiones cisterna. Sin embargo, son fundamentalmente los hogares de mayores recursos los que pueden invertir en tanques de almacenamiento de agua, pese a que el abastecimiento de agua es más frecuente en los vecindarios ricos. La venta de agua a través de camiones cisterna privados también implica que algunos consumidores, principalmente los hogares más pobres, gastan una mayor parte de sus ingresos para satisfacer esta necesidad básica.

El agua potable para Tegucigalpa se obtiene principalmente de aguas superficiales, y las fuentes más importantes son los ríos Guacerique, Grande, Sabacuante y Tatumbula, que forman parte de la cuenca alta del río Choluteca (Reyes, 2006). El sistema también recibe agua adicional de los manantiales de la reserva natural La Tigra (Reyes, 2006). Los embalses son necesarios debido a que el sistema depende de aguas superficiales y los volúmenes de los ríos varían mucho durante el año entre la estación húmeda y la estación seca. La escasez de agua se debe fundamentalmente a que los embalses no tienen suficiente agua y, como es de esperar, la situación se agrava en gran medida durante la estación seca.

Actualmente, solo dos embalses abastecen de agua potable a Tegucigalpa: el embalse Los Laureles en el río Guacerique y el embalse Concepción en el río Grande, los cuales proporcionan un volumen total de cuenca construida de alrededor de 48 millones de metros cúbicos (Reyes, 2006). Sin embargo, un volumen considerable de los embalses se ha perdido a causa de la sedimentación. Se estima que la acumulación de sedimentos en el embalse Los Laureles ha reducido su capacidad en un 15 %. Asimismo, los costos del tratamiento del agua en la planta de tratamiento Los Laureles aumentaron considerablemente después del huracán Mitch, debido a que los problemas consiguientes de calidad del agua demandaron sucesivas inversiones en infraestructura, incluida la incorporación de procesos adicionales de tratamiento del agua, con un costo total de varios millones de dólares (R. Andrade, comunicación personal, 22 de julio de 2012). No obstante, en la actualidad, este embalse y la planta de tratamiento asociada abastecen de agua potable a alrededor del 25 % de las conexiones de Tegucigalpa, motivo por el cual la cuenca hidrográfica Guacerique es particularmente importante para las autoridades nacionales.

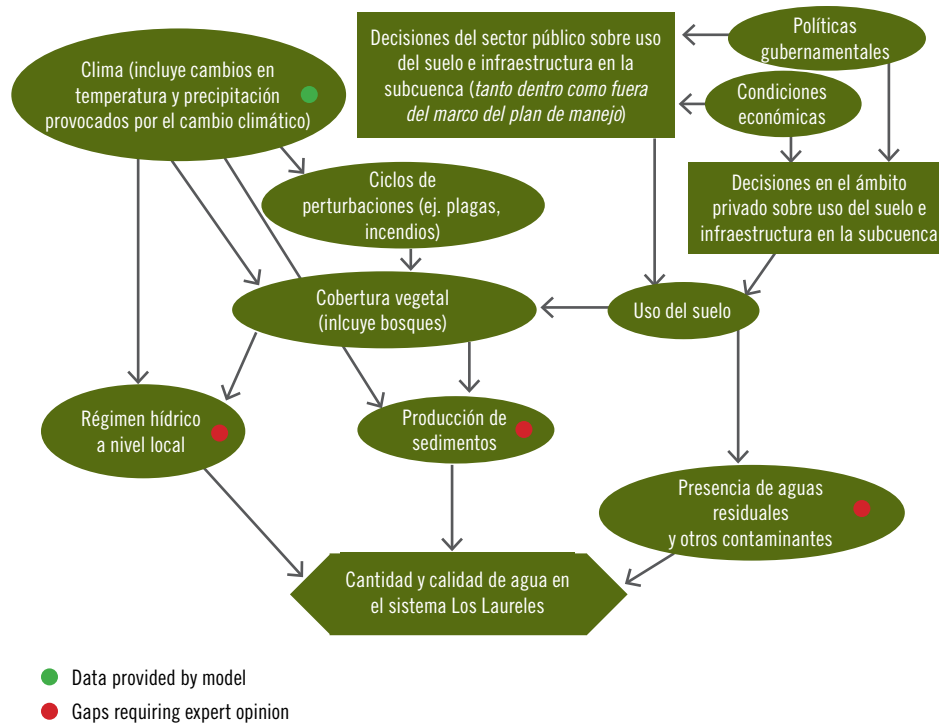
A lo largo de los años, se han elaborado muchos proyectos de infraestructura para abordar la escasez de agua, entre los que se incluyen la construcción de nuevos embalses (Guacerique II, Río del Hombre 6 y 7, y Ojojona), o las mejoras o conexiones con los embalses existentes (Tatumbula, Sabacuante, Nacaome y Jinguare) (CETI S.A., 2011). En varios estudios se ha identificado el embalse Guacerique II, situado aguas arriba del embalse Los Laureles en la cuenca Guacerique, como el proyecto más viable, por dos razones: el abastecimiento de agua y la ubicación geográfica (no se necesitan estaciones de bombeo desde la planta de tratamiento hasta la red de distribución) (CETI S.A., 2011; SOGREAH Consultants, 2004a)¹⁵. Aún no se ha obtenido financiamiento para ninguno de los proyectos mencionados anteriormente. Sin embargo, el SANAA está buscando activamente socios para sus dos proyectos prioritarios: los embalses Guacerique II y Río del Hombre 7. Se informó a los investigadores que el proyecto Guacerique II reducirá el déficit del sistema a corto plazo a alrededor del 35 % y que el proyecto del embalse subsiguiente (Río del Hombre 7) será necesario para reducir el déficit de agua a mediano y largo plazo, por lo que ambos proyectos son prioritarios para las instituciones. Además, la empresa de abastecimiento de agua tiene previsto realizar proyectos de infraestructura de menor envergadura también destinados a aumentar la capacidad de captación y distribución de agua. Entre estos proyectos, se incluye el reemplazo de una barrera inflable, que actualmente no funciona, en el embalse Los Laureles, que sumará 3 millones de metros cúbicos al volumen total del embalse (lo que equivale a un suministro de agua para aproximadamente un mes, según los regímenes de racionamiento de la estación seca), y una tubería de transferencia entre el embalse Los Laureles y la planta de tratamiento Concepción (ubicada en la cuenca vecina del río Grande), que sumará alrededor de otros 4 millones de metros cúbicos al sistema por año (ya que la operación se limitará a la estación de lluvias). En orden de prioridad, la barrera inflable se encontraba en primer lugar y, luego, la tubería de transferencia; ambas estarán en pleno funcionamiento en 2015.

15 Los estudios sobre la construcción de un embalse grande en el río Guacerique se llevaron a cabo por primera vez a fines de la década de 1960. Sin embargo, el costo general del proyecto y, especialmente, los altos costos de las indemnizaciones para los propietarios cuyas tierras se inundarían, han impedido que la empresa pública de abastecimiento de agua pueda ejecutar este proyecto de infraestructura desde que se lo propuso por primera vez. El embalse Los Laureles, construido entre 1974 y 1976, se implementó como una medida provisional, habida cuenta de la incapacidad del Estado de construir un embalse más grande.

De cara al futuro, se prevé que la población de Tegucigalpa alcance los 1,36 millones de habitantes en 2015, y que se duplique respecto de las cifras actuales y llegue a 2,13 millones de habitantes en 2030 (SOGREAH Consultants, 2004a). Según las proyecciones, el futuro consumo de agua en la ciudad será de 214 500 metros cúbicos por día en 2015 y llegará a 336 700 metros cúbicos por día en 2030, valores que son equivalentes a tasas de producción de 3,06 metros cúbicos por segundo y 4,52 metros cúbicos por segundo, respectivamente (SOGREAH Consultants, 2004a). Estas tasas son muy superiores a las tasas actuales de producción de agua, que son de 1,99 metros cúbicos por segundo en promedio, pero pueden llegar a ser de apenas 1,76 metros cúbicos por segundo (SOGREAH Consultants, 2004a). Por lo tanto, se requiere una inversión considerable en la capacidad de captación, almacenamiento y tratamiento de agua potable para cumplir con la demanda actual y futura, y los planes de infraestructura descritos anteriormente tienen como objetivo generar el agua que Tegucigalpa necesita con urgencia. Se prevé que el cambio climático también afecte de diversas maneras el abastecimiento de agua para Tegucigalpa.

El cambio del uso de la tierra también influye en el abastecimiento de agua y en la calidad de esta última. La deforestación disminuye la infiltración del agua, lo que reduce el caudal base y aumenta la escorrentía y, por ende, la erosión del suelo. Todas las cuencas hidrográficas que abastecen a Tegucigalpa están sometidas a procesos similares de transformación del suelo y pérdidas forestales. Por lo tanto, se ha determinado que la gestión de las cuencas es necesaria para garantizar el funcionamiento óptimo de la infraestructura actual y futura de abastecimiento de agua potable (SOGREAH Consultants, 2004a). En el gráfico 4, se representa el efecto combinado del cambio climático y las decisiones relativas a la gestión de la tierra en el abastecimiento de agua en la cuenca Guacerique.

Gráfico 4. Diagrama de influencia con una descripción de los factores que afectan la calidad y la cantidad del agua potable producida por la cuenca Guacerique



2.6 Plan de gestión en estudio para la cuenca Guacerique

La empresa nacional de abastecimiento de agua, el SANAA, y el ICF han elaborado un plan de gestión de la cuenca Guacerique con el objetivo general de garantizar la disponibilidad de agua a largo plazo y reducir las cargas de sedimentos en el río Guacerique, a fin de maximizar la utilidad de la cuenca como fuente de agua potable para Tegucigalpa¹⁶, ¹⁷.

El plan de gestión de la cuenca incluye objetivos ambientales y de reducción de la pobreza. Mediante dicho plan, se procura trazar un mapa claro de la propiedad de la tierra, elaborar un programa integrado de gestión de los recursos naturales centrado en los recursos hídricos y forestales, fortalecer la capacidad económica y de gestión dentro de las comunidades locales, realizar un seguimiento de los indicadores ambientales, e implementar la gestión del riesgo de desastre (SANAA e ICF, 2011). El amplio enfoque del plan responde a las realidades contextuales del estudio de caso. Los administradores de los recursos hídricos comprenden que los objetivos ambientales más generales solo se lograrán mediante la colaboración con los habitantes de la cuenca, especialmente los que se encuentran aguas arriba, cuyas necesidades y aspiraciones deben satisfacerse.

El plan de gestión de la cuenca contiene las siguientes actividades específicas relacionadas con los bosques y el suelo, que revisten especial interés para este estudio:

- reforestación de 1236 hectáreas en torno a manantiales y arroyos;
- creación de 100 hectáreas de plantaciones de árboles para leña;
- transición a la agrosilvicultura en 161 hectáreas de tierras agrícolas muy empinadas (en pendientes del 30 % o más);
- concentración del control de los incendios forestales en las zonas reforestadas;
- reducción de la explotación maderera ilegal en las 6063 hectáreas clasificadas como reserva forestal;
- concentración del control de plagas en las 4338 hectáreas de bosques de pinos;
- implementación de medidas de conservación del suelo en 2000 hectáreas de campos agrícolas.

Se trata un plan de seis años que recibió aprobación ministerial en el último trimestre de 2012. El SANAA estará a cargo de la ejecución del plan. De conformidad con la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, los miembros de la comunidad participarán en la ejecución a través de un consejo de cuenca, y los habitantes de la cuenca Guacerique eligieron recientemente a los miembros de su consejo como parte de la preparación para la ejecución. La participación comunitaria constituye el principal planteamiento de ejecución del SANAA, ya que dicha entidad reconoce que el éxito depende de la aceptación y el respaldo de las comunidades con respecto al plan y a sus actividades. El SANAA ya está ejecutando un plan de extensión agrícola en la cuenca para promover la adopción de medidas de retención del suelo por parte de los productores locales. Como se analizará en la sección sobre la gestión de gobierno, los administradores de los recursos hídricos también esperan lograr la participación de las comunidades a través de los mecanismos de pagos por servicios de ecosistemas (PSE), que brindan a las comunidades los recursos necesarios para las iniciativas populares de conservación.

El costo total aproximado del plan expresado en dólares de 2012 es de US\$4 216 000 (véase la sección 7). Sin embargo, en la actualidad, el financiamiento es un problema no resuelto, ya que ninguna institución ha identificado o asignado fondos para garantizar la ejecución, y es muy probable que el SANAA recurra a fuentes de financiamiento alternativas, principalmente, ayuda para el desarrollo, para financiar la ejecución¹⁸.

16 Véanse SANAA e ICF (2011).

17 De conformidad con la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre, el ICF es oficialmente responsable de los planes de gestión relacionados con los bosques, incluidos los planes de gestión de las cuencas. No obstante, el plan de gestión de la cuenca Guacerique es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre el SANAA y el ICF, y la responsabilidad de la ejecución se ha delegado principalmente en el SANAA.

18 Actualmente, el proyecto del Fondo de Adaptación tiene algunos fondos reservados para las actividades de reforestación, la capacitación sobre protección ambiental y el fortalecimiento de la capacidad de gestión en la cuenca Guacerique. Ahora que el plan se ha convertido en ley, se procurará obtener fondos adicionales.

2.6 Marco actual de políticas sobre cambio climático

El documento **Visión de País (2010-38) y Plan de Nación (2010-22/2022-34)** de Honduras (República de Honduras, 2010) se redactó a principios de 2009. Contiene una visión a largo plazo para el país (hasta el año 2038) y un mapa de ruta (el plan de desarrollo) para lograr estos objetivos.

En este documento, se sitúa al desarrollo sostenible en el primer plano de los programas de desarrollo de Honduras y se promueve el empleo de la gestión integrada de recursos naturales para garantizar el uso sostenible de los recursos y reducir la vulnerabilidad ambiental. Se incluyen los objetivos específicos de obtención de créditos del carbono a través de la restauración de 1 millón de hectáreas de terrenos forestales degradados y de la ubicación de Honduras en una posición superior a la número 50 en una clasificación de países vulnerables. El cambio climático y los recursos naturales son dos consideraciones centrales del plan de desarrollo, que incluye un capítulo dedicado a cada una de estas cuestiones.

En la **Estrategia Nacional de Cambio Climático** de Honduras (SERNA, 2010), se establecen objetivos, orientaciones estratégicas y medidas de adaptación para numerosos sectores, incluidos los recursos hídricos y los bosques. La estrategia fue elaborada por un comité multisectorial que incluyó la representación amplia de numerosos sectores, incluidos los de la salud y la educación, universidades, el sector privado, colegios de profesionales, la sociedad civil y los grupos indígenas, entre otros. La estrategia se formuló sobre la base de opiniones especializadas acerca de los posibles impactos del cambio climático en varios sistemas prioritarios, incluidos los bosques y la biodiversidad. Incluye objetivos y directrices para preservar la función, la estructura y la composición de los bosques, prevenir las pérdidas forestales causadas por incendios y plagas, e implementar una gestión forestal adecuada en el contexto de los escenarios de cambio de los ecosistemas forestales (SERNA, 2010).

Si bien la estrategia de cambio climático es un requisito en virtud de las obligaciones de Honduras al amparo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la estrategia está plenamente integrada en su Visión de País y Plan de Nación (el plan nacional de desarrollo), lo que demuestra la conciencia y el compromiso político para abordar el problema del cambio climático. En las secciones 7, 11 y 23, se incluyen vínculos directos con el plan nacional de desarrollo en sus respectivas referencias al desarrollo regional, la mitigación y la adaptación al cambio climático, y la gestión del riesgo de desastre.

En relación con los bosques y la biodiversidad, mediante la estrategia se procura conservar la composición, la estructura y la función de los ecosistemas a largo plazo estableciendo marcos de acción para garantizar la protección y la restauración de las zonas degradadas. Entre las principales medidas de adaptación, se incluyen el fortalecimiento del Programa Nacional de Reforestación –dirigido por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF)–, incentivos para fomentar el desarrollo de plantaciones forestales de uso múltiple, el establecimiento de corredores biológicos y bancos de semillas, y el mayor uso de planes de gestión y la planificación territorial del uso de la tierra.

Además de la estrategia propiamente dicha, actualmente se está considerando una legislación específica sobre el cambio climático que establecerá formalmente un enfoque multisectorial para la planificación relativa al cambio climático y garantizará que este sea un tema intersectorial en todos los ministerios del Gobierno.

Honduras presentó su primera comunicación nacional a la CMNUCC en el año 2000, con el respaldo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial. En este informe, se destaca la importancia para el desarrollo de sus bosques nublados, bosques tropicales secos y bosques subtropicales (SERNA, 2000). La primera comunicación nacional se complementó con un estudio de caso sobre la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático realizado por el PNUD en la cuenca de Aguán, en el que las soluciones de agrosilvicultura ocuparon un lugar prominente (SERNA, 2004).

En 2011, Honduras fue uno de los primeros países en recibir financiamiento del Fondo de Adaptación con un proyecto centrado en el riesgo climático para los recursos hídricos. El proyecto, denominado *Enfrentando Riesgos Climáticos en Recursos Hídricos en Honduras: Incrementando Resiliencia y Disminuyendo Vulnerabilidades en Áreas Urbanas Pobres* (2011-15), tiene como objetivo promover la incorporación de las cuestiones relativas al cambio climático en la legislación nacional y los planes regionales para crear sistemas de aviso anticipado y fortalecer la capacidad a nivel de la comunidad y entre las instituciones específicas del Estado. El proyecto se centra en los vecindarios marginales de la capital del país, y la cuenca Guacerique se encuentra dentro de su alcance geográfico. Este proyecto también tiene por objeto crear 60 000 hectáreas de corredores forestales protegidos en la cuenca alta del río Choluteca y, por ende, es una parte interesada en la mejora de los bosques de la cuenca Guacerique. Los estudios realizados en el marco del proyecto TroFCCA (CATIE-CIFOR) contribuyeron a la formulación de este proyecto.

3. Marco y enfoque metodológico

El agua para las ciudades generalmente proviene de sitios en los que residen poblaciones locales, lo que significa que varios usuarios de distintos lugares utilizan las mismas fuentes de agua y los mismos recursos naturales, como los bosques, que garantizan la cantidad y la calidad del agua. Cuando la infraestructura de agua potable es alimentada por fuentes de aguas superficiales, como en el caso de Tegucigalpa, la deforestación, el cambio del uso de la tierra y el cambio climático provocan fenómenos extremos e irregularidades en la disponibilidad del agua, variaciones en la disponibilidad general de este recurso y la reducción de la calidad del agua, lo que genera más presión sobre los sistemas urbanos de agua potable y afecta el bienestar de los habitantes rurales y urbanos. En muchos casos, el problema de la provisión de agua potable vincula a los habitantes urbanos y rurales y sus diversos medios de subsistencia en distintas escalas espaciales. Los administradores de los recursos enfrentan el desafío de identificar e implementar mecanismos y fomentar prácticas que produzcan los mejores resultados para una amplia variedad de necesidades y objetivos en las distintas escalas espaciales y, como parte de ese proceso, facilitar el reconocimiento mutuo de necesidades, objetivos y beneficios en múltiples niveles.

En este estudio de caso, se procura integrar los modelos del cambio climático y los servicios ecosistémicos a nivel de las cuencas hidrográficas con un análisis económico de los impactos de las políticas de gestión de las cuencas en la calidad y la cantidad de agua en el contexto de escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático. Se intenta brindar información a los responsables de políticas sobre las contribuciones económicas de los servicios de los ecosistemas forestales de la cuenca que pueden complementar el desarrollo de la infraestructura que se está ejecutando o considerarse para futuras inversiones en actividades de adaptación al cambio climático. Dado el alcance de este proyecto de investigación, se emplearon varios métodos de investigación para generar datos sobre las proyecciones climáticas, la gestión de gobierno, el impacto económico de las opciones de gestión y la vulnerabilidad actual y futura del sistema, como se describe en las secciones siguientes.

3.1 Marco analítico

A través del marco analítico de este estudio, se procura comprender la vulnerabilidad social y ambiental, tanto actual como futura, y establecer conexiones directas con la adaptación planificada al cambio climático. Estas son algunas de las principales ideas que sustentan el marco del estudio de caso:

- La doble interacción entre las medidas de adaptación que respaldan los ecosistemas forestales (la adaptación para los bosques) y las medidas de adaptación que permiten que los ecosistemas forestales apoyen la adaptación humana (los bosques para la adaptación).
- La adaptación al cambio climático se refiere a los cambios en los sistemas sociales, políticos y económicos que permiten que las sociedades se adapten al cambio climático (Smit et al., 2000; Smit y Wandel, 2006). Estos cambios pueden ser anticipados o reactivos y autónomos o planificados (Smit et al., 2000). Se prevé lograr resultados óptimos mediante la adaptación planificada y anticipada, en la que las medidas de adaptación se diseñan y se implementan con antelación luego de considerar los posibles efectos de los futuros escenarios de cambio climático y una evaluación integral de las alternativas de respuesta disponibles.
- La AbE se refiere a estrategias de adaptación que se centran en la conservación y la gestión de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para atenuar los efectos negativos del cambio climático en el bienestar humano (Secretaría del CBD, s. f.). Este enfoque se basa en el conocimiento de que el bienestar humano disminuye con la pérdida de los servicios ecosistémicos y de que la vulnerabilidad de los sistemas sociales y ecológicos puede aumentar en el futuro (Vignola et al., 2009). La AbE presenta un desafío especial, ya que requiere soluciones en distintas escalas espaciales y temporales; además, los costos y los beneficios se distribuyen de manera desigual entre los diferentes grupos de partes interesadas. Asimismo, la AbE requiere mecanismos de diálogo eficaces entre la ciencia y la política (de modo que la ciencia pueda aportar información para los procesos de toma de decisiones).

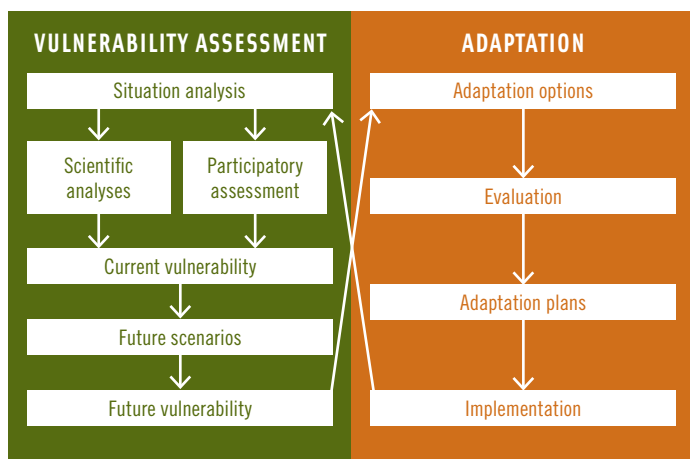
La definición de vulnerabilidad que se utiliza en este estudio es la siguiente (Metzger y Schröter, 2006): *La vulnerabilidad es el grado en que un servicio ecosistémico es sensible al cambio climático mundial, más el grado en que el sector que depende de este servicio es incapaz de adaptarse a los cambios.*

Esta definición se prefirió a otras—como la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)¹⁹—, porque, como lo sugieren Metzger y Schröter (2006), resulta más fácil aplicarla a un caso de estudio analítico específico. Esta definición permitió hacer hincapié en la sensibilidad en relación con el sistema ambiental y en la capacidad de adaptación en relación con el sistema humano. *Sensibilidad* se refiere a cuán sensible es un sistema específico al cambio climático. La habilidad del sistema para adaptarse se equipara con la *capacidad de adaptación* o la capacidad de un sistema de adaptarse al cambio climático (lo que incluye la variabilidad y los fenómenos climáticos extremos) para moderar los posibles daños, aprovechar las oportunidades o lidiar con las consecuencias (McCarthy *et al.*, 2001, pág. 982). Se entiende que la capacidad de adaptación es una función de los recursos económicos, la tecnología, la información y las aptitudes, la infraestructura, las instituciones y la igualdad (Smit *et al.*, 2001). Es importante destacar que las aptitudes también incluyen la capacidad de emplear recursos y lograr el cambio deseado con anterioridad a los impactos negativos.

La capacidad de adaptación se define como el nivel de cambio que un sistema puede soportar sin que se modifique su estado (McCarthy *et al.*, 2001, pág. 993). En otras palabras, es la capacidad del sistema para “reponerse”. La capacidad de adaptación ecológica se concibe en relación con los cambios o las alteraciones en el contexto de la variabilidad climática y el cambio climático. La capacidad de adaptación social abarca los cambios culturales, tecnológicos, económicos y políticos, que también tienen consecuencias directas e indirectas en los sistemas ecológicos (Pachauri y Reisinger, 2007; Resilience Alliance, 2010). Se prevé que el impacto del cambio climático será abrupto y que, en muchos casos, superará la capacidad de adaptación del sistema, motivo por el cual se necesita la adaptación planificada. Como mencionan Adejuwon *et al.* (2001), la capacidad de adaptación es lo opuesto a la vulnerabilidad.

En el marco analítico que se utiliza en este estudio de caso, se vincula la vulnerabilidad con la adaptación (véase el gráfico 5). Como se menciona al comienzo de la sección, mediante el marco analítico se procura comprender la vulnerabilidad social y ambiental, tanto actual como futura, y establecer conexiones directas con la adaptación planificada al cambio climático. Este proceso de dos pasos permitió, en primer lugar, la identificación de las principales vulnerabilidades existentes y el estudio de las posibles tendencias en el contexto del cambio climático. Estos escenarios futuros sientan las bases para el análisis y la evaluación de las opciones de adaptación para responder a las vulnerabilidades y necesidades futuras. Por lo tanto, el marco cumple con el objetivo general de las evaluaciones de vulnerabilidad, que consiste en informar a las partes interesadas acerca de las opciones de adaptación (Metzger y Schröter, 2006).

Gráfico 5. Marco analítico



Fuente: CIFOR (2010).

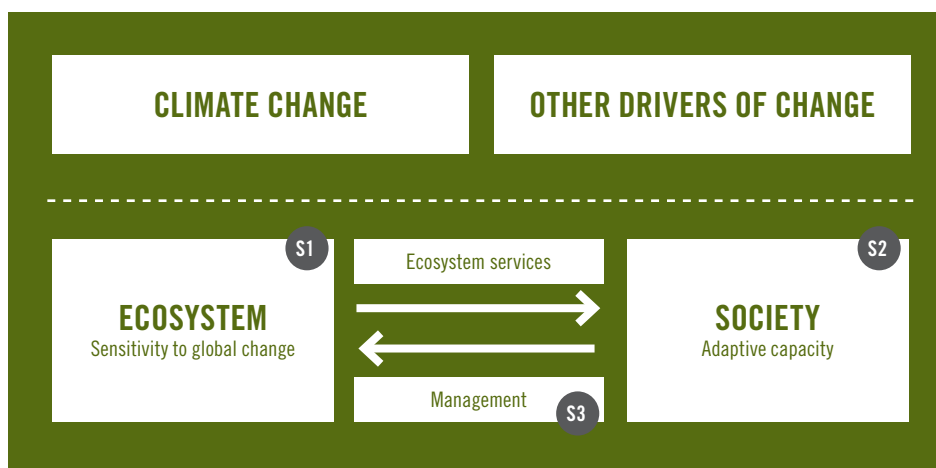
19 El grado en el que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad y los fenómenos climáticos extremos, o su incapacidad para hacer frente a tales efectos. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y el ritmo del cambio climático al que un sistema está expuesto, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (McCarthy *et al.*, 2001, pág. 995).

3.2 Evaluación de la vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad se realizó utilizando una versión modificada del marco elaborado por los investigadores del CATIE como parte del proyecto TroFCCA, en el que se llevaron a cabo investigaciones aplicadas entre 2005 y 2009. El marco adaptado, que se muestra en el gráfico 5, está diseñado para analizar la vulnerabilidad en los paisajes con componentes sociales y ecológicos, e integra la variabilidad climática, el cambio climático y otras amenazas (TroFCCA, 2012). Además, permite la conceptualización de los vínculos entre las fuerzas climáticas y los sistemas ecológicos y sociales, y los posibles efectos de la vulnerabilidad de un aspecto del sistema en otros aspectos del sistema. También establece con firmeza opciones de gestión como instrumentos de mediación entre los sistemas sociales y ecológicos, lo que resulta especialmente útil para este estudio.

La evaluación de vulnerabilidad comprendió varios pasos, como se indica en el gráfico 6. Incluyó la recopilación de datos sobre los cambios climáticos y de uso de la tierra previstos, y sobre la sensibilidad o la capacidad de adaptación del ecosistema forestal (S1) y del sistema social (S2). Se recopiló información sobre la gestión de gobierno y las instituciones para evaluar la gestión (S3). Todos los pasos previos descritos en esta sección generaron datos importantes para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad, información que se complementó con fuentes secundarias.

Gráfico 6. Marco de la evaluación de la vulnerabilidad



Fuente: Adaptado de TroFCCA (2012).

3.3 Evaluación del impacto del cambio climático

Se utilizaron proyecciones sobre el cambio climático para 2030 y 2080 basadas en el conjunto de datos TYN SC 2.03 (versión actualizada en febrero de 2004), creado por la Unidad de Investigación del Clima de East Anglia University (Mitchell *et al.*, 2003)²⁰. Si bien actualmente la temperatura media mundial es de 0,8 °C por encima de los niveles de la era preindustrial (Banco Mundial, 2012; Jones *et al.*, 2012), al momento de realizar el análisis para este estudio solo se encontraban disponibles escenarios con modelos de 0,5 °C²¹. La temperatura de 0,8 °C se basa en el modelo HadCRUT3v²². En el *Informe especial sobre hipótesis de emisiones del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad) (SRES AR4)*, se realizaron proyecciones de los cambios de temperatura en América Central en 2020, 2050 y 2080. En la estación seca, los cambios previstos de la temperatura para 2020 son de 0,4 °C a 1,1 °C; para 2050, de 1,0 °C a 3,0 °C, y para 2080, de 1,0 °C a 5,0 °C. En la estación húmeda, las proyecciones correspondientes para 2020 son de 0,5 °C a 1,7 °C; para 2050, de 1,0 °C a 3,0 °C y, por último, para 2080, un aumento de 1,3 °C a 6,6 °C.

20 Estos datos están disponibles para el público en http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/TYN_SC_2_0.html.

21 Como se puede ver en la siguiente dirección: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>.

22 Estos datos pueden consultarse en la siguiente dirección: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.

Para este estudio, el conjunto de datos utilizado estableció una referencia histórica mundial de variables climáticas del período 1951-2000 y de 16 posibles proyecciones sobre el cambio climático derivadas de 4 modelos climáticos mundiales²³: CGCM2, CSIRO2, HadCM3, PCM, en el contexto de 4 escenarios diferentes de emisiones de gases de efecto invernadero: A1FI, A2, B1 y B2. Este conjunto de datos mundial tiene una resolución de 0,5 grados de arco (30 minutos de arco). Los cuatro escenarios de emisiones reflejan diferentes trayectorias de desarrollo mundiales, o "tramas", con combinaciones únicas de crecimiento económico, innovación tecnológica, igualdad económica y calidad ambiental previstos.

Se utilizó el modelo de vegetación mundial dinámico de Lund-Potsdam-Jena (Smith *et al.*, 2001; Sitch *et al.*, 2003) para identificar los posibles impactos del cambio climático en la producción primaria neta de los ecosistemas naturales, la escorrentía y los incendios. En este modelo, se consideran explícitamente los principales procesos de los ecosistemas, como el crecimiento de la vegetación, la mortalidad, la asignación de carbono y la competencia por los recursos. Se aplicó este modelo a los 16 escenarios climáticos, además de los datos sobre los suelos y los niveles de dióxido de carbono.

En el estudio, también se utilizó un modelo bioclimático simple para analizar la forma en que los tipos de vegetación (Holdridge, 1947) pueden modificarse en el futuro en el contexto de diferentes escenarios de cambio climático. Para contemplar el cambio de temperatura de 0,8 °C, de acuerdo con la primera comunicación nacional del país, los futuros impactos del cambio climático son aumentos en la temperatura general: se estima que la temperatura se incrementará aún más, entre 0,8 °C y 3,3 °C en el norte y noroeste; entre 0,9 °C y 3,7 °C en el sur y sudoeste; entre 0,8 °C y 3,3 °C en el este, y entre 0,6 °C y 2,7 °C en el noreste del país. Los mayores aumentos de la temperatura se producirán durante los meses de mayo y junio. También se producirá una reducción de las precipitaciones: con toda probabilidad, las precipitaciones se reducirán de un 7 % a un 30 % en el norte y noroeste; de un 8 % a un 37 % en el sur y sudoeste; de un 8 % a un 36 % en el este, y de un 7 % a un 28 % en el noreste. Se prevé que la mayor reducción se producirá entre los meses de noviembre y abril²⁴.

3.4 Cambio histórico de la cubierta terrestre

Se utilizaron mapas de la cubierta terrestre de GlobCover²⁵ de los años 2005 y 2009 para obtener el cambio histórico de la cubierta terrestre en Honduras. Se emplearon escenarios a largo plazo de la región de América Central procedentes del modelo integrado de evaluación dinámica IMAGE 2.2, y escenarios contrapuestos de uso de la tierra generados por el modelo IMAGE 2.2. El conjunto de datos IMAGE 2.2 incluye varios escenarios socioeconómicos y ambientales mundiales (que representan las posibles evoluciones de, por ejemplo, la población, las actividades económicas, las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de la tierra o el clima). Utilizamos cuatro escenarios (A1F, A2, B1 y B2), similares a los escenarios de cambio climático empleados en esta publicación. Se crearon diferentes escenarios para evaluar el impacto del cambio climático y del cambio del uso de la tierra en la erosión del suelo en la cuenca Guacerique. En el análisis se examinó si el uso de la tierra y la gestión de la tierra pueden contrarrestar los impactos negativos del cambio climático en la erosión del suelo. Esto se llevó a cabo aplicando el modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada para estimar la erosión del suelo como una función de la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la topografía, la cubierta terrestre y la gestión de la tierra. El análisis incluyó la combinación de los 16 escenarios de cambio climático con 5 escenarios de uso de la tierra de la cuenca Guacerique. Estos escenarios de uso de la tierra incluyen la referencia (sin cambios) y cuatro posibles evoluciones distintas del uso de la tierra, empleando los escenarios más contrapuestos del conjunto de datos IMAGE 2.2 (tasa de deforestación más baja o más alta) y ubicando los cambios del uso de la tierra cerca de la agricultura (en su mayor parte, tierras altas) o los pastizales (en su mayor parte, tierras bajas).

23 Cabe mencionar que existen otros modelos climáticos mundiales; sin embargo, estos cuatro fueron identificados como modelos de vanguardia por el IPCC (2001) en la *Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Tercer Informe de Evaluación* (McCarthy *et al.*, 2001).

24 Todo ello de acuerdo con la *Climate Change Aspects in Agriculture Honduras Country Note* (Nota sobre aspectos del cambio climático en la agricultura de Honduras) del Banco Mundial (diciembre de 2009), disponible en http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/Climate_HondurasWeb.pdf.

25 Fuente de datos: Agencia Espacial Europea/Proyecto GlobCover de la Agencia Espacial Europea, dirigido por Médias-France/Postel (<http://postel.mediasfrance.org/en/PROJECTS/Preoperational-GMES/GLOBCOVER/>).

3.5 Análisis de la gestión de gobierno

Los datos para el análisis de la gestión de gobierno se recopilaban a través de fuentes primarias y secundarias. En el primer conjunto de talleres destinados a las partes interesadas, realizados en febrero de 2012, se recopilaron datos primarios sobre las percepciones locales acerca de la gestión de gobierno, opiniones de las partes interesadas sobre las deficiencias de la gestión de gobierno, y otros datos relacionados con el contexto actual de gestión de gobierno para promover las opciones de AbE. Esta información se complementó con fuentes secundarias sobre leyes específicas, mandatos institucionales para las partes interesadas clave y la zona del estudio de caso. El marco de evaluación de la gestión forestal creado por la FAO (FAO, 2011) se utilizó como orientación para la elaboración del análisis.

3.6 Análisis económico

El análisis económico consiste en estimar el impacto del plan de gestión propuesto para la cuenca Guacerique en los principales servicios ecosistémicos, y el ahorro de costos resultante para la empresa nacional de abastecimiento de agua en el contexto de dos escenarios de cambio climático. Se recurrió a la opinión de expertos para estimar el impacto de las opciones específicas de gestión en los resultados relativos al abastecimiento de agua en el contexto del cambio climático. Se solicitó la opinión de expertos debido a las dificultades inherentes a la estimación de los futuros impactos (económicos o de otra clase) del cambio climático y las iniciativas de adaptación o gestión, que surgen de las grandes incertidumbres (tanto de los principales impactos como de los procesos de costos) que implican estas predicciones. Anteriormente se ha utilizado con éxito la opinión de expertos para abordar las cuestiones de gestión de los recursos, habida cuenta de la incertidumbre relacionada con el cambio climático (Hagerman *et al.*, 2010; McDaniel, 1995; McDaniel *et al.*, 2012; Morgan *et al.*, 2001).

Las respuestas de los expertos se recopilaron en un taller²⁶. En este taller, se solicitó a los expertos que respondieran preguntas relacionadas con una de dos esferas de interés: 1) el desempeño futuro de un conjunto de variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable, o 2) la futura provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca en el contexto de un escenario específico de gestión. Se solicitó que estimaran el desempeño de estas variables en el año 2030 en el contexto de una ejecución exitosa del escenario de gestión, en un escenario de bajo nivel de cambio climático y en un escenario de alto nivel de cambio climático. Los escenarios de cambio climático se elaboraron utilizando un rango de datos de productos de modelos extraídos de la herramienta de análisis regional (versión beta) creada por Pacific Climate Impacts Consortium, a la que se ordenó proporcionar los percentiles 10 y 90 como representación de los rangos de valores extremos^{27, 28}.

A un grupo de expertos en gestión del embalse Los Laureles (sedimentos, control del nivel, etc.) se les solicitó que evaluaran el impacto del plan de gestión de la cuenca en cuatro variables: 1) las tasas de sedimentación del embalse, 2) los niveles de turbiedad del embalse, 3) los niveles de oxígeno disuelto del embalse durante la estación seca anual (de diciembre a mayo), y 4) la cantidad de agua que ingresa en el embalse durante la estación seca anual. Estas variables se formularon en respuesta a la investigación inicial, que señaló que las principales inquietudes de los administradores de los recursos hídricos son la cantidad de agua potable disponible para los clientes y la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento. Asimismo, los expertos identificaron a los niveles de turbiedad y oxígeno disuelto como indicadores clave de la calidad en la estación húmeda y la estación seca, respectivamente. Al otro grupo de expertos en la gestión de cuencas y servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique se les solicitó que evaluaran la importancia, el alcance (la distribución física) y la posibilidad de sustitución de 10 servicios ecosistémicos diferentes, y que describieran la distribución de los beneficios entre los beneficiarios. Este enfoque de provisión de servicios ecosistémicos se elaboró sobre la base de las publicaciones académicas pertinentes, como Farber, Costanza y Wilson (2002), Metzger *et al.* (2006), y Nelson *et al.* (2009). Las respuestas se registraron en cuadernos (véanse los anexos 4 y 5) y se utilizó un protocolo de estimación de

26 El taller se llevó a cabo en octubre de 2012.

27 Véase Pacific Climate Impacts Consortium (s. f.).

28 La herramienta de análisis regional (versión beta) creada por Pacific Climate Impacts Consortium utilizada para generar los datos de temperatura y precipitaciones de todos los escenarios del *SRESAR4* para el horizonte cronológico de 2020 (2010-39). A continuación, se extrajeron de cada conjunto de datos las coordenadas geográficas más cercanas a las coordenadas de la zona del estudio de caso utilizadas por cada modelo. Como resultado, se obtuvieron 136 conjuntos de datos de temperatura y 133 de precipitaciones. Los datos incluyeron los cambios en la media mensual y anual. Luego se calcularon los percentiles 10 y 90 de cada mes y de la media anual. El percentil 10 se consideró como el escenario de bajo nivel de cambio climático (es decir, 1 posibilidad entre 10 de que la media sea más baja que este valor), y el percentil 90 se consideró como el escenario de alto nivel de cambio climático (es decir, 1 posibilidad entre 10 de que la media sea más alta que este valor).

tres pasos para las respuestas (estimación máxima, mínima y mejor), a fin de controlar la confianza desmesurada en la estimación (McDaniels *et al.*, 2012).

Las respuestas a cada pregunta se promediaron y luego se multiplicaron por el costo unitario asociado y se recopilaron en un cálculo de valor neto actualizado (VNA), con lo que se obtuvo una estimación general del valor de los beneficios en el año 2012 expresado en dólares de 2012. Esto se realizó mediante un proceso de cuatro pasos. En primer lugar, se estimó el valor anual de los beneficios completos (es decir, el beneficio previsto para el año 2030, cuando se logren los beneficios máximos del plan de gestión de la cuenca). En este paso, se resumieron los beneficios acumulados en tres esferas: 1) volumen de almacenamiento mantenido, 2) provisión de agua adicional, y 3) mejora de la calidad del agua. En segundo lugar, los beneficios se distribuyeron durante el período comprendido entre 2019 y 2035: en 2019 se comenzó a obtener beneficios parciales, y en 2030 los beneficios alcanzaron su máximo valor, y lo conservaron hasta 2035. En tercer lugar, los costos de ejecución relacionados con el plan de gestión de la cuenca se distribuyeron durante el período de ejecución (2013-18). En cuarto lugar, el VNA en 2012 de los beneficios netos para el período 2013-35 se calculó utilizando una tasa de descuento adecuada para el país. El plazo elegido representa la provisión de beneficios durante un período de 20 años, uno de los parámetros del estudio.

3.7 Interacción entre la investigación y las políticas

A fines de 2011, los investigadores del CATIE se comunicaron con el SANAA y con el equipo del proyecto del Fondo de Adaptación. Las tareas de investigación se diseñaron dentro del marco de los objetivos y las actividades de estas dos entidades en la cuenca. Los miembros del personal de estas dos entidades, considerados como los informantes principales durante el proceso de investigación, participaron en todas las actividades de recopilación de datos de primera mano.

Los resultados de la investigación, incluidos los resultados del análisis económico, se presentaron a las principales partes interesadas nacionales en un taller²⁹. El objetivo del taller era validar los resultados, recibir opiniones e involucrar a las partes interesadas en una evaluación de las compensaciones de ventajas y desventajas de cada una de las opciones de gestión. Se utilizó una matriz para conectar las opciones de gestión de gobierno con los escenarios de cambio climático y las futuras vulnerabilidades. Esto permitió que las partes interesadas realizaran un análisis crítico de las opciones de adaptación mediante la comparación de resultados y brindó una oportunidad de diálogo entre los principales responsables de políticas, los administradores de los recursos y los investigadores, y el examen colectivo de las estrategias para abordar los (futuros) problemas de vulnerabilidad y el desarrollo, en forma colaborativa, de la adaptación de las estrategias con los principales responsables de políticas.

En el Proyecto de Uso de los Bosques para Aumentar la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático (ForCC), se utilizó un boletín electrónico mensual, producido en conjunto por el SANAA y el proyecto del Fondo de Adaptación, para compartir las actividades y las conclusiones del proyecto con un público más amplio. Además, el informe técnico completo estuvo disponible en español y en inglés, y se elaboró un documento de políticas para las principales partes interesadas y los encargados de tomar decisiones a nivel nacional. Las conclusiones de la investigación también se divulgaron en dos importantes sitios web centrados en la adaptación al cambio climático: ADAnet (adaptacionyecosistemas.net) y MIA (www.proyectomia.com).

29 Este taller se llevó a cabo en noviembre de 2012.

4. Impactos del cambio climático y del cambio del uso de la tierra en los servicios ecosistémicos y de abastecimiento de agua

4.1 Escenarios climáticos

Los 16 escenarios de cambio climático muestran un futuro aumento de las temperaturas en el sitio del estudio de caso de 1,1 °C a 5,3 °C en 2080. Las tendencias futuras de las precipitaciones son inciertas, con un rango de cambios relativos del -34 % al +9 % en 2080. No obstante, existen más escenarios que muestran una reducción en lugar de un aumento (10 escenarios señalan una reducción, 4 indican un aumento y 2 no presentan cambios). Otro estudio, basado en un conjunto de 136 escenarios de cambio climático en América Central, mostró que las precipitaciones probablemente disminuirán en el sitio de nuestro estudio en el período comprendido entre 2070 y 2099 en el contexto de escenarios de altos niveles de emisiones. Las precipitaciones probablemente también se reducirán en el contexto de escenarios de niveles bajos y moderados de emisiones (Imbach *et al.*, 2012). En un análisis general de los escenarios de cambio climático, se llegó a la conclusión de que América Central es un lugar crítico con respecto al cambio climático en la zona tropical (Giorgi, 2006).

La incertidumbre sobre las futuras precipitaciones influye, en gran medida, en la incertidumbre acerca de los impactos del cambio climático en los servicios ecosistémicos y los medios de subsistencia. En el caso de Honduras, la incertidumbre no es tan grande como en otras zonas tropicales; sin embargo, dada la incertidumbre acerca de otras causas de los futuros cambios en los servicios ecosistémicos (en especial, el cambio del uso de la tierra y la degradación de los ecosistemas provocada por las cosechas), los estudios de impacto se ven obstaculizados por la gran incertidumbre de los resultados (Kandlikar *et al.*, 2005). En consecuencia, a los científicos les resulta difícil comunicar los resultados (Patt y Dessai, 2005) y a los encargados de tomar decisiones, utilizarlos. Sin embargo, algunas decisiones pueden generar beneficios en materia de adaptación en el contexto de una amplia variedad de escenarios climáticos, y se puede elaborar estrategias flexibles y adaptables que tienen más probabilidades de ser sólidas ante la incertidumbre (Dessai y Wilby, 2011).

4.2 Modelos de ecosistemas

Cuando se utiliza un modelo acoplado de clima-vegetación-suelo-agua con los 16 escenarios de cambio climático, todos los escenarios predicen un aumento de la productividad de la vegetación natural (rango de cambios entre el +16 % y el +62 % en 2080). El escenario con la mayor reducción de las precipitaciones muestra el menor aumento de la productividad, pero este aumento sigue siendo positivo. Es necesario realizar más investigaciones para comprender los motivos del aumento de la productividad a pesar de la reducción de las precipitaciones, lo que quizá esté vinculado con el aumento de las temperaturas. En otro estudio de alcance mundial, se observaron cambios limitados en la productividad de los ecosistemas en América Central, mucho más bajos que en nuestro estudio. Sin embargo, la mayoría de los estudios de alcance mundial, realizados a una escala general, no pueden reflejar la diversidad del clima en la estrecha franja de América Central. Por ejemplo, nuestro estudio muestra la forma en que la productividad varía ampliamente en cuanto al espacio a la escala de Honduras, una zona que puede estar representada por uno o dos píxeles en los estudios de alcance mundial.

Los resultados del modelo muestran que la escorrentía, según se prevé, se reducirá en todos los escenarios, con cambios relativos que oscilan entre el -31 % y el 0 % para 2080. En un estudio regional, basado en 136 escenarios y otro modelo de vegetación, se encontraron resultados similares (Imbach *et al.*, 2012): es muy probable que la escorrentía disminuya en el período comprendido entre 2070 y 2099. Aunque no todos los escenarios prevén una reducción de las precipitaciones, la certeza del aumento de la temperatura se traduce en la disminución de la escorrentía en todos los escenarios. Este resultado tiene importantes consecuencias para los usuarios de aguas superficiales en el sitio del estudio.

En 14 de los 16 escenarios, no se prevé que las tendencias futuras de prevalencia de incendios sufran muchos cambios hasta 2030 y 2080. En los otros dos escenarios, se muestra una disminución de la prevalencia de incendios en el futuro. Es necesario realizar más investigaciones para comprender cuáles son las causas de la reducción de la fracción de incendios en el contexto de estos dos escenarios. Los resultados indican que los incendios revisten poca importancia durante los climas futuros promedio. Sin embargo, en nuestra elaboración de los modelos, no se tienen en cuenta fenómenos climáticos extremos, como los años sumamente secos y de altas temperaturas, durante los cuales los incendios pueden afectar a zonas más grandes que en un año promedio. Varios estudios de alcance mundial sobre el impacto del cambio climático en los incendios señalan que en el sitio de nuestro estudio se producirán cambios limitados de la probabilidad, la frecuencia o el potencial de incendios (Alo y Wang, 2008; Krawchuk *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2010; Moritz *et al.*, 2012; Scholze *et al.*, 2006). En estos estudios se utilizan distintos enfoques: se combinan varios escenarios climáticos con modelos empíricos de incendios (Krawchuk *et al.*, 2009; Moritz *et al.*, 2012), índices de incendios (Liu *et al.*, 2010), o bien, modelos de vegetación mundiales dinámicos como en nuestro estudio (Alo y Wang, 2008; Scholze *et al.*, 2006). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los estudios de alcance mundial utilizan una resolución gruesa que no es adecuada para la región del estudio, que presenta altos gradientes climáticos.

En los escenarios de cambio climático, las zonas de vida de Holdridge pueden convertirse en zonas de vida más secas (por ejemplo, de bosques húmedos a bosques secos). Este resultado tiene repercusiones limitadas debido a la clasificación simplificada de las zonas de vida y solo indica que es posible que se produzcan cambios en los tipos de ecosistemas y la biodiversidad, pero es necesario realizar más investigaciones sobre este tema.

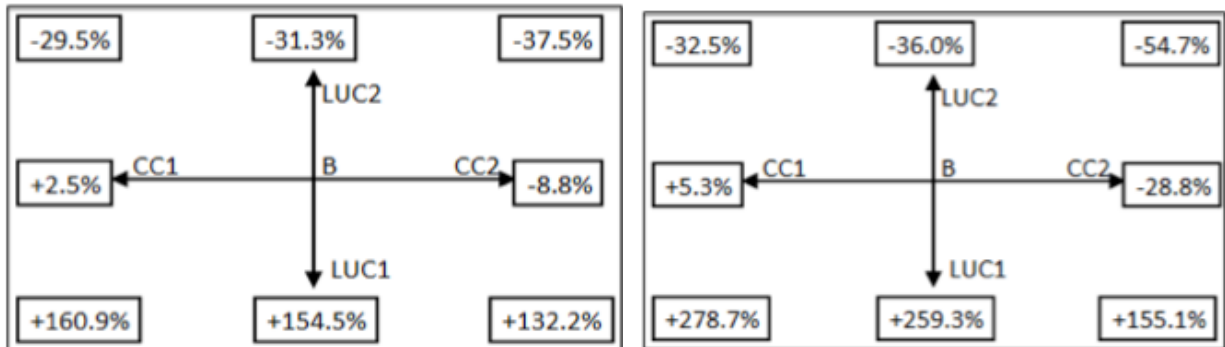
4.3 El caso de la erosión del suelo

El cambio climático modificará la erosividad de la lluvia, lo que es causa de gran preocupación para los usuarios del agua y la infraestructura afectada por los sedimentos (por ejemplo, los embalses y los sistemas de abastecimiento de agua potable). El cambio previsto en la erosividad de la lluvia oscila entre el -29 % y el +5 % para 2080. La mayoría de los escenarios muestra un descenso de la erosión debido a la disminución de las lluvias, pero en nuestros escenarios de cambio climático solo se consideran los cambios en las precipitaciones medias, y no en los fenómenos climáticos extremos. La erosión podría aumentar debido a la mayor intensidad de las lluvias o los años sumamente húmedos. Si bien los fenómenos climáticos extremos no están bien representados en los escenarios de cambio climático, un estudio indica que la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones extremas han aumentado en las últimas décadas (Aguilar *et al.*, 2005).

El principal cambio de la cubierta terrestre observado en el sitio de nuestro estudio entre 2005 y 2009 fue un aumento de la conversión de bosques cerrados a bosques abiertos y una reducción de las tierras de cultivo en forma de mosaico o zonas de arbustos y de la vegetación herbácea. Uno de los cuatro escenarios generales de cambio del uso de la tierra en América Central indica una marcada reducción de las zonas de vegetación natural para 2080; sin embargo, los otros tres escenarios muestran zonas de vegetación natural similares o más amplias para 2080 en comparación con la referencia.

Al aplicar los escenarios de cambio del uso de la tierra y cambio climático específicamente a la cuenca Guacerique, observamos que los beneficios de la menor erosividad de la lluvia en 2080 (-29 %) pueden perderse debido al uso inadecuado de la tierra, ya que los peores escenarios de uso de la tierra (desde el punto de vista de la erosión) pueden generar un fuerte aumento de la erosión (+155 %).

Gráfico 7. Cambio en la erosión del suelo en comparación con la referencia (B) en dos escenarios climáticos contrapuestos (CC1: PCM.B2A y CC2: HAD3.A1FI) y dos escenarios de cambio del uso de la tierra contrapuestos (LUC1: escenario A y LUC2: escenario D) en 2030 (izquierda) y 2080 (derecha)



La gestión adecuada del uso de la tierra puede contrarrestar los impactos negativos del cambio climático en la erosión causada por las lluvias: si bien la erosión causada por las lluvias puede aumentar en un 5 % según un escenario, puede reducirse en un 32 % mediante la gestión del uso de la tierra. En todos los plazos, los escenarios de uso de la tierra generan más variabilidad en la erosión que los escenarios de cambio climático.

4.4 Análisis general

Muchas proyecciones, incluidas las de este informe, indican que la zona que rodea Tegucigalpa se volverá más seca, lo que repercutirá directamente en el sistema de abastecimiento de agua potable que depende de las aguas superficiales. Asimismo, las precipitaciones más intensas asociadas al cambio climático y la posible concentración de las precipitaciones totales en menos lluvias, pero más intensas, pueden hacer que los embalses capten una menor cantidad total de agua por año (los embalses se desbordan y no pueden almacenar el alto volumen de agua para el futuro). Además, las lluvias más intensas producen una mayor erosión, lo que provoca que se acumulen sedimentos en los embalses y afecta la calidad del agua. El aumento de la variabilidad climática también generará una mayor variabilidad en el comienzo, la duración y el final de la estación seca, por lo que, en algunos años, se incrementará la cantidad de meses en los que el sistema dependa completamente del almacenamiento de agua y surgirán problemas de calidad del agua cuando las prolongadas estaciones secas agoten los embalses y reduzcan los niveles de agua (República de Honduras, s. f.; TroFFCA, 2008; PNUD y SERNA, s. f.).

Las predicciones de los modelos de cambio climático indican que los ecosistemas forestales y, por ende, la naturaleza actual de los servicios ecosistémicos de la cuenca son vulnerables al cambio climático y probablemente sufran cambios. También señalan que el cambio climático afectará los medios de subsistencia agrícolas en la cuenca y, por lo tanto, la vulnerabilidad de las comunidades locales al cambio climático.

En este contexto, los administradores de recursos hídricos procuran aplicar la AbE centrada en los bosques para abordar los problemas hídricos, es decir, la disponibilidad y la calidad del agua. La cubierta forestal aumentará la retención de sedimentos aguas arriba e influirá en el balance hídrico (y, a largo plazo, proporcionará una cierta estabilidad al caudal base). Sin embargo, los administradores de los recursos hídricos y forestales también deben prever cambios en el ecosistema forestal predominante de la cuenca; estos cambios presentan la dificultad, en materia de administración, de comprender cómo intervenir de forma adecuada en un paisaje que atraviesa procesos naturales de cambio y qué impacto tendrán tales procesos en la provisión de una amplia variedad de servicios ecosistémicos.

5. Evaluación de la vulnerabilidad de la cuenca Guacerique

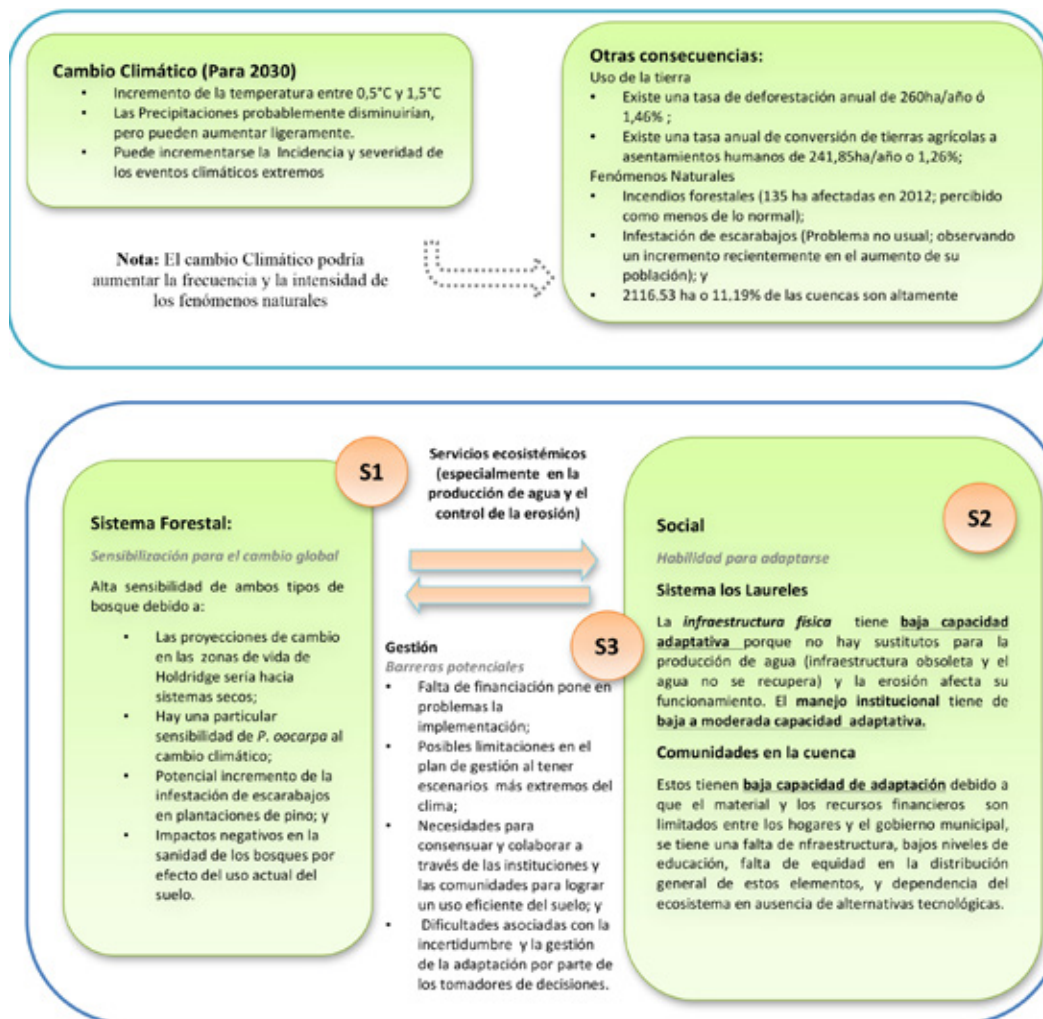
En el gráfico 7, se resumen los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad realizada como parte de este proyecto de investigación. El análisis revela que es probable que los bosques locales sean moderadamente a sumamente sensibles al cambio climático mundial y los procesos relacionados, que diversos factores indican una capacidad de adaptación entre baja y moderada de la institución de gestión, y que las comunidades ubicadas dentro de la cuenca Guacerique son muy sensibles a los cambios en la provisión de servicios ecosistémicos, ya que los medios de subsistencia locales están íntimamente vinculados con la provisión de servicios tales como el combustible, el agua, la formación del suelo, la circulación de nutrientes y la polinización. Existen diversos obstáculos que impiden la gestión acertada de la cuenca, entre los que se incluyen las restricciones de financiamiento, la idoneidad de la opción de gestión en algunos escenarios climáticos futuros y diversas restricciones en los procesos de toma de decisiones (restricciones jurídicas, institucionales y relacionadas con la capacidad humana de responder a un futuro incierto). Estas conclusiones se analizan con mayor detalle en las secciones siguientes.

5.1 Exposición

La exposición se ha descrito en la sección 3 y se resume en la parte superior izquierda del gráfico 7. Los cambios climáticos a los que, según se prevé, se verán expuestos los sistemas sociales y ambientales de la cuenca Guacerique incluyen un aumento de la temperatura de 0,5 °C a 1,5 °C a corto plazo (2030) y grandes probabilidades de que se produzca una reducción de las precipitaciones (también para 2030), además de un aumento de la incidencia y la gravedad de los fenómenos climáticos extremos.

Otras causas del cambio, que se exponen en la parte superior derecha del gráfico 8, incluyen la reciente tasa anual de deforestación de 260 hectáreas por año, o 1,46 %; la reciente tasa anual de conversión de la tierra para actividades agrícolas o asentamientos humanos de 241,85 hectáreas por año, o 1,26 %; los incendios forestales (135 hectáreas afectadas en 2012); la invasión de escarabajos descortezadores (no se conoce la zona afectada por año; aumento de las poblaciones observado por los administradores en 2012), y un 11,19 % de la cuenca entre moderada y sumamente susceptible a los desprendimientos de tierras.

Gráfico 8. Análisis de la vulnerabilidad de la cuenca Guacerique



Fuentes: Marco adaptado de TroFCCA (2012); datos de otras causas del cambio extraídos de TroFCCA (2008).

5.2 Sensibilidad ecológica

La mortalidad de los árboles causada por el estrés fisiológico, los impactos de los brotes de plagas o los incendios forestales provocados por el cambio climático se han identificado como indicadores adecuados de la sensibilidad de los bosques al cambio climático (Allen *et al.*, 2010). En Costa Rica y Panamá, ya se han documentado aumentos en la mortalidad de fondo de los árboles en los bosques tropicales de hoja ancha (Allen *et al.*, 2010).

La investigación sobre la sensibilidad al cambio climático de las especies arbóreas *Pinus* y *Quercus* en México indica que la sensibilidad es específica de cada especie, y también señala que *P. oocarpa* es una de las especies de pino más sensibles al cambio climático (mientras que la sensibilidad de la especie *P. pseudostrobus* osciló entre la mitad y un cuarto de la sensibilidad de *P. oocarpa*, según el escenario) (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007). En el mismo estudio, se documentaron importantes reducciones del rango en el contexto del cambio climático en el caso de las especies *Quercus* relacionadas con los bosques de pinos, pero menos sensibilidad al cambio climático en el caso de las especies *Quercus* relacionadas con climas más cálidos (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007). En general, en este estudio la distribución geográfica de robles y pinos se modeló para disminuir del 7 % al 48 % y del 0,2 % al 64 %, respectivamente, según la gravedad del escenario de cambio climático (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007).

Con cierta similitud con estos resultados, la elaboración de modelos realizada en el contexto de este proyecto en relación con las zonas de vida de Holdridge indica que, según se prevé, la distribución actual de las zonas de vida mostrará cambios hacia sistemas más secos en casi todos los escenarios de cambio climático, con una transición hacia bosques tropicales más secos y, tal vez, incluso bosques tropicales muy secos (gráfico 9).

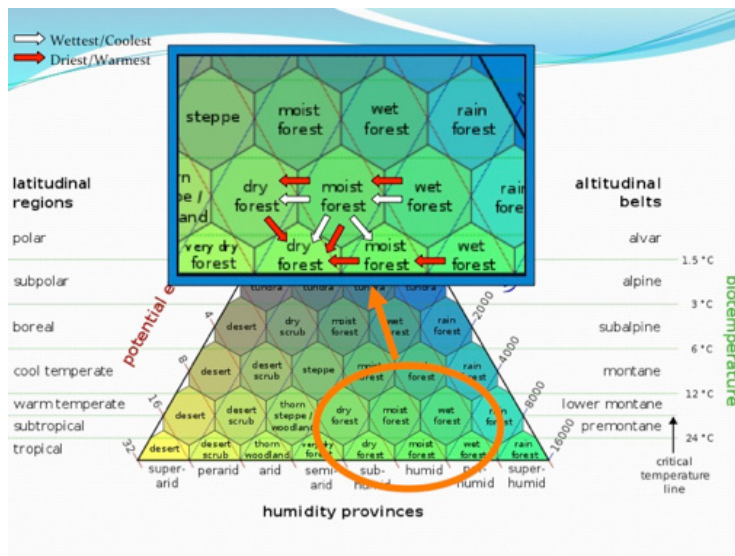
En otro estudio, se señaló un alto riesgo de pérdida forestal en América Central. En este estudio, hasta un 40 % de los modelos indicaron un cambio de hasta el 10 % en la zona forestada, con una transición hacia una cubierta vegetal no forestal en el contexto del escenario del aumento de temperatura de <2 °C (Scholze *et al.*, 2006).

Los resultados del estudio sobre los impactos del cambio climático en las poblaciones de pinos de México y América Central indican que algunas especies de pinos pueden ser adaptables en cierta medida, pero que el cambio del uso de la tierra y las perturbaciones humanas representan una amenaza significativa para estos tipos de bosques (van Zonneveld *et al.*, 2009).

La elaboración de modelos realizada por Rivera Rojas (2007) indica que las mayores temperaturas y las variaciones en los regímenes de lluvias, incluida la prolongación de la estación seca, aumentarán la propensión a las invasiones de escarabajos descortezadores. Si bien los incendios hacen que los pinos de América Central sean más susceptibles a estas invasiones (Billings *et al.*, 2004), la elaboración de modelos realizada por Palacios (2008) indica un riesgo estable de incendios forestales en los bosques de *Pinus* y *Quercus* de América Central en general, y quizá incluso una disminución del riesgo de incendios forestales en la región de Honduras donde se encuentra la zona del estudio de caso.

Como se menciona en la sección 3.3, la tasa de deforestación en la cuenca Guacerique es superior al promedio nacional y está vinculada con los procesos de cambio del uso de la tierra, que incluyen tanto la expansión agrícola como la urbanización.

Gráfico 9. Resultados de la elaboración de modelos de cambios de las zonas de vida en el departamento de Francisco Morazán en el contexto del cambio climático



Esta información, en su conjunto, indica una sensibilidad entre moderada y alta de los dos tipos de bosques al cambio climático mundial y los procesos relacionados. Es importante destacar que los encargados de tomar decisiones a nivel nacional consultados en este estudio relacionan el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones con una menor disponibilidad de agua, riesgos para los bosques y la biodiversidad, impactos en la salud humana y, en general, la necesidad de una mayor gestión del riesgo de desastre para abordar el incremento de la variabilidad climática. Este grupo de partes interesadas también demuestra que es particularmente consciente de la función que cumplen el cambio del uso de la tierra (expansión urbana y agrícola), los incendios forestales y la contaminación proveniente de fuentes comerciales e industriales en el aumento de la vulnerabilidad ambiental.

5.3 Vulnerabilidad social³⁰

El análisis de la vulnerabilidad del componente social (S2) de este sistema humano-ambiental se realizó para dos sistemas separados pero interrelacionados: 1) la infraestructura de abastecimiento de agua potable perteneciente a la empresa nacional encargada de brindar el servicio (es decir, el embalse Los Laureles), y 2) las comunidades que viven en la cuenca y cuyos medios de subsistencia dependen de los recursos locales. El análisis se centra principalmente en la vulnerabilidad a los cambios en la provisión de los servicios ecosistémicos, es decir, los cambios en el control del agua y la erosión del embalse y en un espectro más amplio de servicios ecosistémicos para los habitantes de la cuenca.

5.3.1 Sensibilidad y capacidad de adaptación del embalse Los Laureles

El embalse es muy sensible a los cambios en la provisión de servicios ecosistémicos debido a que el sistema depende completamente de la disponibilidad de agua para funcionar, y la erosión reduce el funcionamiento del sistema. El huracán Mitch puso de manifiesto la sensibilidad del embalse Los Laureles a los fenómenos climáticos extremos. El impacto de este fenómeno climático en el funcionamiento del sistema perdura hasta la fecha y resulta evidente en la reducción de la calidad de agua que ingresa en la planta de tratamiento, los aumentos constantes de los costos del tratamiento del agua y el alto nivel de inversión en infraestructura necesaria durante los últimos 15 años. Por ende, los administradores de los recursos hídricos ya son muy conscientes de los elevados costos que el cambio climático mundial implica para la empresa de abastecimiento de agua.

La elaboración de modelos realizada para este proyecto indica que, según se prevé, el cambio climático reducirá la provisión de disponibilidad de agua y control de la erosión como servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique. Los modelos de escorrentía en el contexto del cambio climático señalan una reducción de hasta el 10 % para ambos plazos (2030 y 2080)³¹. Los expertos consultados para el análisis económico consideraron que los escenarios de cambio climático más graves incrementarán la erosión y superarán los beneficios obtenidos a través del plan de gestión de la cuenca. Otro compromiso de las partes interesadas indica que los encargados de la toma de decisiones a nivel nacional son especialmente conscientes de las vulnerabilidades con respecto a las reducciones previstas de la provisión de agua.

Por lo tanto, el embalse Los Laureles y la infraestructura conexas son muy sensibles a los procesos del cambio climático mundial. La importancia relativa de esta infraestructura para la provisión total de agua en la capital implica que existen consecuencias significativas para el sistema de abastecimiento de agua potable en su conjunto.

En cuanto a la capacidad de adaptación, se puede considerar que la infraestructura física tiene una capacidad de adaptación muy baja por dos razones: 1) no existen sustitutos de la disponibilidad de agua (sin agua, la infraestructura se torna obsoleta), y 2) la erosión aumenta considerablemente los costos operativos. Sin embargo, es más interesante considerar la capacidad de adaptación de la institución que gestiona esta infraestructura.

En este sentido, la experiencia con el huracán Mitch demuestra que el embalse y la empresa de abastecimiento de agua tienen capacidad para afrontar las consecuencias del cambio climático mundial (es decir, la infraestructura de abastecimiento de agua potable no colapsó durante el paso del huracán Mitch ni posteriormente; sin embargo, la institución continúa enfrentando las consecuencias hasta hoy, 15 años más tarde). De hecho, la elaboración del plan de gestión de la cuenca y su función en la mitigación de algunos de los problemas más importantes que enfrenta la empresa de abastecimiento de agua en esta cuenca demuestran la capacidad de dicha empresa para tomar medidas tendientes a moderar los posibles daños.

Los recursos económicos, la tecnología, la información y las aptitudes, la infraestructura, las instituciones y la igualdad se consideran como factores determinantes esenciales de la capacidad de adaptación (Smit *et al.*, 2001). En este sentido, la capacidad de adaptación podría estar limitada por los recursos con los que cuenta el SANAA para responder a las dificultades que plantean el cambio del uso de la tierra y el cambio climático en la cuenca Guacerique y, en especial, por los escasos recursos de los que dispone el departamento de la cuenca del SANAA para ejecutar eficazmente el plan de gestión de la cuenca. De hecho, la insuficiencia de los

30 La vulnerabilidad social se estima utilizando datos de los años 2012 y 2013. En 2014 se eligió una nueva administración, y los cambios derivados de esta elección en términos de organismos y ministerios no se han tenido en cuenta.

31 Según la opinión de los expertos consultados para el análisis económico, las actividades de reforestación incrementarán la disponibilidad de agua al aumentar la infiltración y regular la liberación de agua hacia el caudal base en el contexto de ambos escenarios de cambio climático.

recursos proporcionados por el Estado para respaldar su propia legislación ambiental en términos de elaboración y ejecución del plan impone límites a la capacidad de adaptación en general.

La cuenca Guacerique está bien estudiada, y el SANAA tiene numerosas alianzas que permiten la capacitación de su personal técnico en la elaboración de modelos ambientales y en otras esferas relacionadas con la protección de los recursos hídricos y la provisión de agua potable. Esto indica que existe un nivel adecuado de información y aptitudes dentro de la organización. Sin embargo, es importante destacar que las aptitudes también incluyen la capacidad de emplear los recursos de manera que se logren los cambios necesarios (es decir, que se implementen efectivamente los cambios). Al respecto, el déficit de infraestructura es un problema permanente dentro del SANAA, lo que se torna especialmente evidente en el déficit de agua del 55 % dentro del sistema de abastecimiento de agua potable de la capital y las cuatro décadas que han transcurrido desde que se propuso por primera vez el proyecto del embalse Guacerique II, lo cual es, por cierto, una limitación de la capacidad de adaptación (Coello Balthasar, 2011). Por otro lado, las instituciones se encuentran en un momento de transición, dado que se encuentra pendiente el proceso de descentralización de los servicios de abastecimiento de agua potable del SANAA hacia un proveedor de servicios municipales para Tegucigalpa. Será muy importante que el futuro proveedor de servicios municipales, el SANAA y otras instituciones establezcan una coordinación eficaz con relación a la protección de los recursos en el contexto del cambio climático para que esta transición no perjudique la capacidad de adaptación.

La capacidad del SANAA para ejecutar el plan de gestión de la cuenca y colaborar con las otras partes interesadas (es decir, los Gobiernos municipales) para controlar el cambio del uso de la tierra en la cuenca puede verse limitada por el nivel de legitimidad que estas partes interesadas atribuyen al SANAA (según las consultas informales) y, por ende, su disposición a colaborar con dicha institución en la consecución de estos objetivos. Por último, en la medida en que tanto las leyes y reglamentaciones como las prácticas institucionales se consideren instituciones, es posible que la capacidad del SANAA para gestionar los recursos hídricos y forestales de la cuenca en el contexto del cambio climático se vea obstaculizada por las leyes y reglamentaciones existentes que definen las prácticas de gestión "adecuadas" en un área protegida y otras prácticas institucionales que perpetúan formas de hacer las cosas o impiden que los administradores tomen ciertas decisiones. En esencia, la institución responsable de la gestión de los recursos hídricos debe ser un líder reconocido y debe contar con financiamiento suficiente para ejecutar eficazmente el plan.

Un último aspecto que se debe considerar es en qué medida se ha debatido y analizado una gama completa de opciones de adaptación dentro de la institución. La premisa fundamental del plan de gestión de la cuenca (y de las leyes ambientales conexas de Honduras) es que la reforestación aumentará la provisión de recursos hídricos. Sin embargo, el estudio de Locatelli y Vignola (2009) demuestra que este supuesto no se cumple en todos los contextos. Si el vínculo entre la cubierta forestal y la disponibilidad de agua no es tan directo en la cuenca Guacerique como se supone en la legislación, este podría ser un caso en el que las leyes, como instituciones, pueden representar obstáculos para la adaptación. En vista de estos factores, se considera que la institución de gestión tiene una capacidad de adaptación entre baja y moderada.

5.3.2 Sensibilidad y capacidad de adaptación de las comunidades de la cuenca

Las comunidades ubicadas dentro de la cuenca Guacerique son sumamente sensibles a los cambios en la provisión de servicios ecosistémicos debido a que los medios de subsistencia locales están íntimamente vinculados con la provisión de servicios tales como el combustible, el agua, la formación del suelo, la circulación de nutrientes y la polinización.

Un estudio reciente señala que los habitantes de la cuenca Guacerique son más conscientes de la *variabilidad climática* que del cambio climático y que identifican tres amenazas climáticas en particular: las tormentas intensas, el retraso en la llegada de las lluvias y las tormentas de viento (Díaz, 2009). Los encuestados en el marco de este estudio vincularon estas amenazas climáticas con impactos negativos en los recursos naturales, la salud humana y las economías de los hogares. De hecho, el ahorro de los hogares es el recurso más afectado por estos tipos de fenómenos, y el retraso en la llegada de las lluvias se consideró como el principal obstáculo para el éxito de los agricultores (Díaz, 2009). Por último, en este mismo estudio, se demostró que las comunidades se basan en los recursos naturales (recursos forestales, hídricos y de suelos), los recursos materiales (carreteras y herramientas) y los recursos financieros (ahorro y crédito), junto con el capital humano (conocimientos teóricos y prácticos) para hacer frente a los impactos de la variabilidad climática. El impacto de la variabilidad climática en estos mismos recursos (a excepción del capital humano) destaca el nivel de vulnerabilidad de estas comunidades al cambio climático (Díaz, 2009).

En un contexto de recursos materiales y financieros limitados (tanto a nivel de los hogares como de los Gobiernos municipales), falta de infraestructura, bajos niveles de educación, falta de igualdad en general en la distribución de estos elementos, ausencia de alternativas tecnológicas y dependencia de los servicios ecosistémicos degradados, la capacidad de adaptación de las comunidades locales de la cuenca Guacerique puede considerarse baja. Es importante mencionar que los habitantes de la cuenca Guacerique identifican los ingresos limitados de los hogares, la falta de infraestructura (a saber, centros de salud e infraestructura de abastecimiento de agua y saneamiento, caminos y viviendas dignas con condiciones sanitarias adecuadas) y la falta de educación como aspectos que aumentan su vulnerabilidad. Los habitantes de las comunidades locales también consideran que los incendios forestales representan un riesgo para la vida humana (Díaz, 2009).

5.4 Gestión de la adaptación³²

Moser y Ekstrom (2010) han elaborado un marco para diagnosticar los obstáculos a la adaptación al cambio climático que resulta útil para analizar la función de la gestión ambiental en el contexto de esta evaluación de la vulnerabilidad. Estos autores destacan que los obstáculos pueden estar relacionados con los actores, el contexto y el sistema de interés, y que pueden surgir durante cualquiera de las tres etapas generales del proceso de adaptación (comprensión, planificación y gestión).

Dado que los administradores de los recursos hídricos están preparados para ejecutar el plan de gestión de la cuenca, este análisis se centrará en los obstáculos que podrían surgir en la tercera etapa. No obstante, como señalan Moser y Ekstrom (2010), las medidas, actitudes o decisiones que afectan los resultados en las primeras dos etapas pueden generar obstáculos en una etapa subsiguiente. Por lo tanto, es importante destacar que hubo pocas consultas con la comunidad, o poca participación de esta, durante la elaboración del plan de gestión de la cuenca (es decir, en la etapa de planificación). Como resultado, muchos habitantes locales están desinformados y temen que la ejecución del plan los perjudique (por ejemplo, restringiendo el acceso a la tierra y, por ende, limitando sus medios de subsistencia, o incluso desalojándolos de tierras que no les pertenecen), por lo que se muestran reacios a respaldar la ejecución. Más importante aún, la supuesta relación entre la cubierta forestal y la disponibilidad de agua, mencionada anteriormente, que puede o no ser cierta, tiene el potencial de generar obstáculos a la adaptación satisfactoria en el futuro para los administradores de los recursos hídricos.

En el marco de Moser y Ekstrom (2010), la etapa de gestión comienza con la ejecución de la opción de adaptación elegida (en este caso, el plan de gestión de la cuenca). En este estudio de caso, la falta de financiamiento sólido es un obstáculo evidente para la adaptación, ya que, sin fondos, la ejecución será fragmentada, en el mejor de los casos³³. Lógicamente, la falta de financiamiento también pone en peligro los pasos subsiguientes de seguimiento y evaluación, a pesar de que el plan de gestión de la cuenca incluye una disposición explícita sobre estos pasos.

Otros obstáculos a la ejecución probablemente surjan de la necesidad de identificar enfoques adecuados para brindar asistencia técnica a fin de mejorar la capacidad local a nivel de la comunidad y del Gobierno. Debido a la eliminación gradual de los servicios de extensión, la falta de modelos de prestación que funcionen correctamente será una limitación para la ejecución, ya que estos servicios son esenciales para generar el cambio de comportamiento necesario para promover las formas adecuadas de gestión de la tierra. Otra restricción es la necesidad de abordar las cuestiones de tenencia de la tierra y los conflictos relativos a ella, en particular, en las zonas donde el usuario de la tierra carece de acceso formal o no tiene un título de propiedad.

Otro obstáculo para la adaptación es la idoneidad o solidez de la opción de adaptación. La opinión de los expertos (solicitada como parte del análisis económico) indica que el plan de gestión de la cuenca no pondrá freno a la erosión en el contexto de los escenarios de cambio climático más extremos y, por lo tanto, no permitirá que los administradores de los recursos hídricos alcancen sus objetivos de calidad del agua.

32 Esta sección se basa en información de los años 2012 y 2013. En 2014 se eligió una nueva administración, y los cambios derivados de esta elección en términos de organismos y ministerios no se han tenido en cuenta.

33 Es importante destacar que el proyecto del Fondo de Adaptación ha proporcionado algunos fondos al SANAA para colaborar con los agricultores locales en la implementación de prácticas de control de la erosión del suelo en sus campos y, por lo tanto, al menos parcialmente, la ejecución de este aspecto del plan de gestión de la cuenca ya está en curso con unos pocos productores. El Fondo de Adaptación también ha proporcionado fondos para el fortalecimiento de la capacidad en las comunidades, incluida la colaboración con las juntas administradoras de los servicios de agua locales.

Otro conjunto de obstáculos puede surgir debido a que el logro de los objetivos de gestión de la tierra y los recursos en la cuenca requiere la coordinación entre diversas instituciones, incluidos, como mínimo, dos municipios y dos o más departamentos del SANAA y el ICF. Para que se cumplan los objetivos, se necesita el reconocimiento mutuo de la legitimidad y la autoridad, relaciones sólidas y consenso sobre los objetivos de adaptación (gestión de la tierra), y mecanismos de comunicación o coordinación. Asimismo, los objetivos de gestión de la tierra solo se lograrán con el respaldo y la contribución de los habitantes locales. En este sentido, la atención insuficiente a las necesidades de la comunidad y los hogares de la cuenca en el marco de la opción de adaptación constituirá un obstáculo. De hecho, existen numerosas barreras políticas que impiden la ejecución, incluida la necesidad de negociar con éxito las demandas y necesidades locales y vencer la resistencia y los temores. En este sentido, la opción de adaptación debe abordar los medios de subsistencia y quizá incluso las inquietudes de los Gobiernos municipales.

Existe un cierto nivel de colaboración entre el SANAA y el ICF con respecto a la conservación y la gestión de las cuencas en los 11 sistemas de agua y saneamiento administrados por el SANAA (aunque esta colaboración no está estandarizada ni impuesta por ley). Otros organismos clave responsables de aplicar la ley de recursos hídricos y la gestión de las cuencas son los Consejos de Cuencas y la SERNA. El ICF ofrece actividades de fortalecimiento de la capacidad para los Consejos de Cuencas. La colaboración entre la SERNA y el SANAA es menos evidente. Aparte de los organismos nacionales, el Gobierno local, a través de los municipios, es el otro nivel clave de administración. Todos los municipios tienen una unidad de medio ambiente, la Unidad de Manejo Ambiental. En los aproximadamente 250 municipios pobres de Honduras, pocas de estas unidades funcionan de forma adecuada y tienen la capacidad necesaria. Estas entidades actualmente reciben apoyo (en materia de asistencia técnica) de la Asociación de Municipios de Honduras.

Un obstáculo para el futuro surge de la incertidumbre respecto de la continuidad de la gestión de la cuenca después de que se complete el primer plan de seis años, y la posterior incorporación de las enseñanzas aprendidas a través de la evaluación de esta primera experiencia. La capacidad limitada para analizar y evaluar los resultados y las medidas de gestión acertadas es un problema común vinculado con los enfoques de gestión con fines de adaptación, y no se puede considerar que corresponde específicamente a este estudio de caso (Moser y Ekstrom, 2010). En este contexto particular, las instituciones presentan escasos informes, lo que complica aún más cualquier intento de gestión adaptable. Asimismo, la naturaleza jurídica del plan de gestión de la cuenca (es decir, el plan es aprobado por el ICF) puede ser, en sí misma, un obstáculo para las correcciones a mitad de camino que los administradores consideren necesarias. Por último, el desafío de tomar decisiones en un marco de incertidumbre constituye un obstáculo para los administradores y las partes interesadas que tomen decisiones relativas a la gestión durante este plan y los planes subsiguientes.

En resumen, el ecosistema es sumamente sensible y la infraestructura del embalse tiene una capacidad de adaptación muy limitada. La institución que gestiona la infraestructura de abastecimiento de agua tiene una capacidad de adaptación baja, aunque es importante señalar que muchas de las instituciones, si no todas, se encuentran en esta posición. Al mismo tiempo, el SANAA ha mostrado cierta capacidad de adaptación frente a los impactos de los fenómenos climáticos extremos experimentados en los últimos años. También se considera que las comunidades tienen una capacidad de adaptación baja, debido principalmente a las tasas de pobreza, la falta de educación y los recursos limitados del Gobierno municipal. No obstante, las comunidades demuestran capacidad de adaptación en las soluciones cotidianas a las necesidades y las condiciones cambiantes de los hogares, por lo que no se debe subestimar la capacidad de la comunidad para adaptarse. Por último, existen diversos obstáculos que impiden la gestión acertada de la cuenca, entre los que se incluyen las restricciones de financiamiento, la idoneidad de la opción de gestión en algunos escenarios climáticos futuros y diversas restricciones en los procesos de toma de decisiones (restricciones jurídicas, institucionales y relacionadas con la capacidad humana de responder a un futuro incierto).

6. Análisis de la gestión de gobierno³⁴

En el análisis de la gestión de gobierno, se reseña la legislación pertinente a los recursos hídricos y forestales de Honduras, y se destacan las oportunidades y los obstáculos presentes en el marco normativo. Seguidamente se examinan las preferencias de las partes interesadas con respecto a las medidas de política y los mecanismos institucionales necesarios para garantizar la protección de los recursos hídricos y la AbE centrada en los bosques. En el anexo 16, se incluye una reseña completa de la legislación pertinente y, en el cuadro 2, se presenta un resumen de las oportunidades y los obstáculos.

6.1 Reseña de la legislación pertinente para la AbE

La legislación hondureña establece una función explícita de los bosques en diversos sectores, que incluye la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad. Un ejemplo es la declaración incluida en la constitución del país que establece que la reforestación y la conservación de los bosques son cuestiones de “conveniencia nacional y de interés colectivo”. En este sentido, se asigna a los bosques una función central en el mantenimiento de la estabilidad ambiental y los beneficios resultantes para los sistemas humanos, lo que crea un marco adecuado para destacar la contribución de los bosques a las iniciativas de AbE. Asimismo, el supuesto de que existe una relación directa entre los bosques y la disponibilidad de agua fomenta las respuestas basadas en los bosques a los problemas de conservación de dicho recurso. Este supuesto aparece varias veces en todo el marco jurídico y de políticas general. Sin embargo, quizá sea muy simplista creer que, en todos los paisajes, la reforestación se traducirá necesariamente en un aumento del caudal base en los ríos cercanos a corto, mediano o largo plazo (Locatelli y Vignola, 2009).

La política forestal generalmente ocupa un lugar adecuado dentro de las políticas de desarrollo más amplias. Por ejemplo, mediante el documento **Visión de País (2010-38) y Plan de Nación (2010-22/2022-34)** de Honduras (República de Honduras, 2010), se sitúa al desarrollo sostenible en el primer plano de los programas de desarrollo del país y se promueve la utilización de la gestión integrada de los recursos naturales para garantizar el uso sostenible de los recursos y reducir la vulnerabilidad ambiental. En el plan se incluyen los objetivos específicos de obtención de créditos de carbono a través de la restauración de 1 millón de hectáreas de terrenos forestales degradados y de la ubicación de Honduras en una posición superior a la número 50 en el índice de riesgo climático. El cambio climático y los recursos naturales son dos consideraciones centrales del plan de desarrollo, que incluye un capítulo dedicado a cada una de estas cuestiones.

Las vulnerabilidades de los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático también se consideran explícitamente en la **Estrategia Nacional de Cambio Climático** de Honduras (SERNA, 2010). Mediante la estrategia se procura conservar la composición, la estructura y la función de los ecosistemas a largo plazo estableciendo marcos de acción para garantizar la protección y la restauración de las zonas degradadas. Entre las principales medidas de adaptación, se incluyen el fortalecimiento del Programa Nacional de Conservación y Reforestación (programa dirigido por el ICF), incentivos para fomentar el desarrollo de plantaciones forestales de uso múltiple, el establecimiento de corredores biológicos y bancos de semillas, y el mayor uso de planes de gestión y la planificación territorial del uso de la tierra. El énfasis combinado en la planificación del uso de la tierra y la reforestación como medidas de adaptación nuevamente establece un marco adecuado para el logro de la AbE mediante una mayor atención a los bosques. En la estrategia también se señala la vulnerabilidad de los recursos hídricos al cambio climático y el posible impacto en los sistemas humanos y ecológicos. La respuesta que se reseña en la estrategia tiene como objetivos conservar el caudal base y mantener la calidad del agua. Sin embargo, no aborda específicamente la vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable frente a la disponibilidad reducida de dicho recurso, ni el impacto que esto tiene en la salud humana y la estabilidad social. Esto también se refleja en la primera comunicación nacional a la CMNUCC, donde se destaca que es muy probable que los sistemas de abastecimiento

34 Esta sección se basa en información de los años 2012 y 2013. En esta sección no se han reflejado las nuevas leyes ni las modificaciones de la gestión de gobierno realizadas desde que la nueva administración asumió sus funciones en 2014.

de agua potable que dependen de embalses como el de Tegucigalpa se vean afectados por el aumento de la sedimentación (SERNA, 2000).

Sin embargo, las partes interesadas que participan en la gestión de los recursos hídricos de Honduras identifican una serie de obstáculos para la gestión de los recursos hídricos y forestales. Estos obstáculos están relacionados con los marcos que orientan la gestión de recursos, la dotación de recursos institucionales y los enfoques institucionales de gestión de recursos. Por una parte, el resultado es que las políticas y los planes a menudo no son factibles, sostenibles ni eficaces, y muchas de las actividades requeridas por tales políticas y planes solo se implementan parcialmente, si es que se implementan. Por otra parte, estos obstáculos frenan el posible impacto positivo de los numerosos foros de diversas partes interesadas sobre las cuestiones relacionadas con la gestión de recursos.

Existen dos leyes principales que rigen los recursos hídricos y forestales: la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** (Decreto n.º 156-2007) y la **Ley General de Aguas** (Decreto n.º 181-2009). Es interesante observar que estas dos leyes se adoptaron en los últimos seis años. Asimismo, en 2010, se elaboró la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Por ende, la legislación es lo suficientemente reciente como para incluir disposiciones de prácticas tales como los programas de PSE y las consultas con las partes interesadas y su participación en la gestión de los recursos (ambos conjuntos de disposiciones se analizan en más detalle a continuación).

La **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** es el marco jurídico principal de la administración y la gestión de los recursos forestales y las áreas protegidas, y reemplaza la legislación centrada en los bosques de 1971. En virtud de esta ley, el concepto de bosques se extiende tanto a las zonas forestales como a las zonas que *deberían* tener una cubierta forestal pero actualmente no la tienen (artículo 4). Asimismo, la vocación natural de los "suelos forestales" debe respetarse en la planificación del uso de la tierra (artículo 93). En el artículo 41, se establece la reforestación obligatoria en las zonas que producen agua, las zonas de recarga hídrica y las zonas adyacentes a los cursos de agua. Más importante aún, en el artículo 50 se establece que los ecosistemas y bosques (y los sistemas basados en árboles) generan servicios ecosistémicos específicos, a saber: conservación y recuperación de la biodiversidad y el suelo, protección contra desprendimientos de tierra, prevención de inundaciones, prevención de daños a los ríos y la infraestructura de captación de agua, y mejora de la calidad del agua. La ley también incluye un capítulo completo dedicado a la conservación del agua y del suelo. En este capítulo se establece que los bosques cuya función básica es el abastecimiento de agua son áreas protegidas (artículo 5), se prohíbe la extracción de recursos y los nuevos asentamientos en áreas protegidas (artículos 109 y 133), y se establece que las cuencas que producen agua para el consumo humano deben someterse a un régimen especial de gestión y, si se encuentran deforestadas, han de ser reforestadas (artículo 122). Este es el mandato legal para la planificación de la gestión de las cuencas en general y para el plan de gestión de la cuenca Guacerique en particular.

Con respecto al agua, la **Ley General de Aguas** es el marco principal que rige los recursos hídricos. Establece los principios de la gestión de los recursos hídricos, entre los que se incluyen los siguientes: el agua es un recurso esencial para la vida y, por ende, constituye una acción prioritaria del Estado; el consumo humano tiene prioridad; acceso equitativo; gestión participativa; responsabilidad y gestión compartida entre el Gobierno y la sociedad civil, y los PSE relacionados con el agua se utilizarán para financiar la explotación y la conservación de los recursos (artículo 3).

Debido a los continuos altibajos de las leyes y reglamentaciones relacionadas con los bosques (y, en ocasiones, los marcos legislativos incompletos) y a la educación insuficiente del público sobre los cambios, las partes interesadas y el público en general han quedado desinformados, lo que perjudica a los bosques y constituye uno de los obstáculos para la gestión eficaz de los recursos. Por ejemplo, la cuenca Guacerique se catalogó como área protegida por primera vez en virtud del Acuerdo n.º 3-1973. Las partes interesadas señalan que un "acuerdo", a diferencia de un "decreto", no es una ley formal (y esto debilita el estatus de área protegida de la cuenca). En su opinión, el mejor curso de acción sería que la declaración de área protegida de la cuenca Guacerique se aprobara como un decreto legislativo, y que luego se prepararan y se adoptaran reglamentaciones formales para orientar la gestión de las cuencas. No obstante, la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** establece que los bosques cuya función básica es el abastecimiento de agua son áreas protegidas (artículo 5), lo que indica que el estatus de protección de la cuenca Guacerique está reconocido por la legislación vigente (sin embargo, en el artículo 122 de la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**, se establece que la delimitación y la protección de un área de gestión son obligatorias, lo que indica que un estatus de protección más explícito es posible). Asimismo, las comunidades están muy desinformadas acerca de las estructuras jurídicas e institucionales que rigen los recursos hídricos y forestales. Se han realizado esfuerzos por informar a la población sobre la legislación, especialmente la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**. Sin embargo, los administradores de los recursos hídricos aún tienen dificultades para lograr la participación de las comunidades, las cuales consideran que el plan de gestión de la cuenca pondrá en peligro sus medios de subsistencia (por ejemplo, a través de los límites en el uso de la tierra, la expropiación por parte del Estado o la reubicación).

Claramente, este nivel de incertidumbre entre los administradores de la cuenca y el público en general constituye un obstáculo para la aplicación eficaz de las disposiciones legales.

A este respecto, y suponiendo que la cuenca está protegida, los administradores consideran que la falta de reglamentaciones formales que reseñen el mandato de gestión específico (lo que implica que no existe un conjunto claro de normas sobre el régimen de gestión que se ha de utilizar en la cuenca) desalienta los esfuerzos de gestión y permite que el Estado se quede de brazos cruzados. En otras palabras, en virtud de la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**, la supuesta contribución de los bosques de la cuenca Guacerique a la producción de agua para el consumo humano significa que estos bosques deben estar sometidos a lo que la ley denomina "régimen especial de manejo" (artículos 122 y 123). Esta categoría específica de gestión no se define en la ley ni en su reglamentación complementaria (**Reglamento General de la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**, Acuerdo Ejecutivo n.º 031-2010)³⁵. El mandato de gestión se limita a la declaración del artículo 123 de la ley y el artículo 160 del reglamento acerca de las actividades prohibidas, que incluyen "cortar, dañar, quemar o destruir árboles, arbustos y los bosques en general" y la construcción de infraestructura. Al parecer, este nivel de orientación sobre la gestión no satisface las expectativas de las partes interesadas en materia de directivas legales de gestión ambiental. De hecho, las partes interesadas consideran que la falta de claridad de las funciones y responsabilidades relacionadas con las iniciativas, incluidos los programas de PSE, constituyen un obstáculo para la gestión de los recursos hídricos y forestales. Uno de los principales desafíos consiste en encontrar la forma de brindar a las partes interesadas las directivas formales de gestión que desean y la manera de promover la gestión eficaz de los recursos por parte del Estado, sin estipular medidas que resulten ser poco adecuadas para la adaptación en el futuro.

Otro obstáculo relacionado con el marco general es la aplicabilidad de la legislación pertinente en vista de la discrepancia entre el nivel de intervención humana en la cuenca y los niveles de actividad humana permitidos por la ley. La **Ley de Bosques Nublados** prohíbe los asentamientos humanos en el centro de la Reserva Biológica Yerba Buena y, en términos generales, la **Ley General del Medio Ambiente** prohíbe los asentamientos humanos en las cuencas que producen agua. La **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** se limita a prohibir los nuevos asentamientos y las nuevas actividades agrícolas en las áreas protegidas, y otorga al Estado la autoridad para llevar a cabo el reasentamiento de nuevas comunidades. A pesar de estas restricciones, la cuenca tiene una población de casi 9000 personas y exhibe una tasa anual de conversión de la tierra para usos agrícolas y asentamientos humanos del 1,26 % (aproximadamente 242 hectáreas por año). Esto significa que el uso real de la tierra a menudo entra en conflicto con la categoría de gestión del uso de la tierra definida en la legislación; por lo tanto, los administradores de los recursos hídricos afrontan el desafío de lograr los objetivos de gestión de la cuenca y, a la vez, respetar las necesidades de los habitantes locales. Los administradores de los recursos hídricos comprenden que el éxito depende de la cooperación, la colaboración y el bienestar de los habitantes locales y, por ende, han incluido cantidades importantes de actividades locales de desarrollo humano y económico en el plan de gestión de la cuenca. De la misma manera, el presidente del consejo de la cuenca Guacerique afirmó que la participación de la comunidad es esencial para la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca y subrayó que el éxito dependerá de la capacidad del Estado para establecer un verdadero diálogo con las comunidades de la cuenca.

Con respecto a las disposiciones sobre los programas de PSE y otros incentivos para la conservación, la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** prevé diversos incentivos para promover la reforestación, la protección de los bosques y las cuencas, y la gestión forestal, entre los que se incluyen la provisión de asistencia técnica y extensión, sin cargo alguno, por parte de las entidades del Estado, el reconocimiento de los regímenes de certificados forestales, la promoción de soluciones de agrosilvicultura en tierras forestales actualmente destinadas a la producción agrícola, y el mandato de brindar beneficios económicos directos para la protección de los recursos, incluidos los programas de PSE (artículos 44, 76, 94 y 149). Asimismo, en la **Ley General de Aguas** se asigna a los PSE una función esencial en la gestión de los recursos hídricos. De hecho, en el artículo 25 se establece que las *comunidades* tienen el *derecho* de recibir pagos por conservar los servicios ecosistémicos. La ley establece que los fondos generados por los PSE relacionados con los recursos hídricos deberán utilizarse únicamente para la conservación y la protección en la cuenca correspondiente, y que los beneficiarios de los servicios ecosistémicos relacionados con los recursos hídricos deben compensar a aquellos que conservan el servicio (artículos 49 y 51).

Los programas de PSE son una de las oportunidades para abordar la escasez de recursos entre las instituciones, problema que las partes interesadas consideran un obstáculo importante. La falta de financiamiento suficiente para los planes y las políticas pone en peligro su ejecución plena y limita la capacidad, especialmente a nivel de las comunidades y los Gobiernos locales (por ejemplo, los municipios tienen una capacidad limitada para cumplir con los mandatos de gestión ambiental, incluido el control del uso de

35 En el artículo 157 de las reglamentaciones, se ratifica la declaración de la ley que establece que estos bosques pueden considerarse "bosques protegidos".

la tierra). Sin embargo, las partes interesadas lamentan que no se hayan creado programas concretos de PSE para la conservación del agua en Tegucigalpa. Si bien la creación de los programas de PSE requiere tiempo, Honduras tiene varios proyectos registrados de secuestro de carbono (incluido el proyecto Pico Bonito del Banco Mundial), de los cuales se pueden extraer enseñanzas sobre la forma de establecer estos tipos de sistemas compensatorios para llegar a las comunidades beneficiarias.

Existen otras oportunidades para financiar la conservación del agua, por ejemplo, el Fondo Hídrico, al que la **Ley de Aguas Generales** asignó 15 millones de lempiras para financiar proyectos y programas de conservación, lo que incluye las actividades de investigación y los Consejos de Cuencas (artículos 91 y 93). Asimismo, en la **Ley de Desarrollo Rural Sostenible** (Decreto n.º 12-2000), se establece el Programa Nacional de Desarrollo Rural y Urbano Sostenible (PRONADERS) y se incluye la gestión integrada de los recursos como uno de sus objetivos (artículo 6). En la ley, además de la creación del Fondo Nacional de Desarrollo Rural Sostenible, se asigna al PRONADERS la tarea de recopilar investigaciones sobre las mejores prácticas de agricultura en laderas (artículo 6). Estas dos disposiciones pueden aprovecharse para maximizar los beneficios del plan de gestión de la cuenca.

Un problema relacionado es la falta de información y datos territoriales relevantes. El hecho de que el plan de gestión de la cuenca Guacerique incluya un importante componente de planificación de uso de la tierra indica que las instituciones y los Gobiernos carecen de la documentación y los datos esenciales que se necesitan para tomar este tipo de decisiones. Esto puede constituir un obstáculo para los procesos de planificación de uso de la tierra. Sin embargo, el Gobierno ha identificado el mayor uso de planes de gestión y la planificación territorial del uso de la tierra como una de sus principales medidas de adaptación al cambio climático, lo que indica el alto nivel de reconocimiento de este obstáculo. También se debe prestar mayor atención a la recopilación, la documentación y la presentación de datos para mejorar la ejecución, el seguimiento y la evaluación de iniciativas, planes y actividades.

Con respecto a las consultas con las partes interesadas y a su participación en la gestión de los recursos, en la **Ley General de Aguas**, por ejemplo, se establece explícitamente que los Consejos de Cuencas son "(...) entidades de empoderamiento de la Comunidad para asegurar la participación ciudadana en el cumplimiento de la Ley (...)" (artículo 19), y en la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre** se crea un marco conocido como el "Sistema Social Forestal" que tiene como objetivo garantizar que la gestión forestal promueva el desarrollo social y económico a nivel local, y garantizar la participación de la comunidad en las actividades de gestión. No obstante, las comunidades tienen poco acceso a los planes de gestión forestal elaborados por el Estado para las tierras forestales públicas. Asimismo, si bien en el artículo 21 se establecen cuatro niveles de Consejos Consultivos (nacional, departamental, municipal y comunitario) para reunir a las comunidades y a las partes interesadas y permitir que los expertos técnicos locales contribuyan a las iniciativas municipales y departamentales de gestión forestal y planificación de las cuencas, en el artículo 121 se establece que el ICF mantendrá una relación de coordinación con entidades públicas y privadas respecto de los planes y proyectos de gestión de las cuencas, pero no se indica explícitamente que el Estado realizará consultas con las comunidades en estas instancias. En otras palabras, esta ley no garantiza un proceso amplio de consultas con relación a la elaboración del plan de gestión de la cuenca y, en general, por diversos motivos, no se permite que las comunidades participen en los regímenes de gestión o contribuyan a estos. Por ejemplo, las partes interesadas consideran que no se realizaron suficientes consultas con la comunidad durante la elaboración del plan de gestión de la cuenca Guacerique. Esto implica que existe un cierto grado de falta de transparencia en lo concerniente a los planes de gestión, ya que la información se encuentra principalmente en manos de los administradores de los recursos. En consecuencia, la participación pública en las iniciativas de gestión de recursos es limitada, a pesar de las disposiciones que promueven la participación.

Por último, es importante mencionar los mandatos legales relativos a la gestión de recursos conferidos en otros niveles gubernamentales, que convierten a los Gobiernos locales en asociados en la gestión de los recursos. La **Ley de Municipalidades** (Decreto n.º 134-1990) incluye la protección ambiental entre sus objetivos y las responsabilidades del Gobierno municipal (artículos 13 y 14), y establece que los municipios deben celebrar contratos con el Gobierno central y sus entidades para la explotación de los recursos naturales, la reforestación, la protección ambiental y los pagos conexos (artículo 13). Además, en el artículo 27 de la **Ley de Ordenamiento Territorial** (Decreto n.º 180-2003), se otorga autoridad específica a los municipios para utilizar la planificación del uso de la tierra a fin de regular los asentamientos humanos a efectos de la protección ambiental, y se establece que estos planes deben armonizarse con los planes conexos del Gobierno central (por ejemplo, los planes de áreas bajo régimen especial y las cuencas protegidas). En la **Ley General del Medio Ambiente** (Decreto n.º 104-1993), se delega a los municipios la responsabilidad de la protección de las fuentes de abastecimiento de agua y la reforestación (artículo 29), y también se asigna a los municipios la responsabilidad de aplicar la disposición que prohíbe los asentamientos en las cuencas (artículo 33). También se reconoce la función de los municipios en la prevención de incendios forestales y brotes de plagas (artículo 47). Asimismo, en la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**, se asigna a los municipios la responsabilidad de monitorear y controlar los asentamientos en las cuencas protegidas. Por ende, la obligación legal de los municipios de proteger la ecología local y promover la reforestación crea una

oportunidad para realizar actividades coordinadas entre los diferentes niveles de Gobierno con el objetivo de abordar las cuestiones relacionadas con los recursos hídricos y forestales.

Con respecto a los mecanismos institucionales de gestión de recursos, las partes interesadas mencionan una serie de obstáculos, entre los que se incluyen la falta de coordinación interinstitucional, especialmente entre los Gobiernos locales que comparten la responsabilidad de las cuencas, y la falta de consenso respecto a los objetivos comunes entre las diversas partes interesadas involucradas en el uso de la tierra y la gestión de la tierra, que incluyen a las autoridades nacionales, el Gobierno municipal, la sociedad civil y las comunidades. De hecho, los Gobiernos locales no siempre reconocen al SANAA como asociado legítimo en la planificación de la gestión de las cuencas, y las tensiones existentes dificultan la colaboración (un mecanismo para superar estas tensiones sería avanzar en la labor relacionada con los regímenes de PSE como compensación por las actividades de conservación, según se establece en la **Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre**). Asimismo, las partes interesadas consideran que la falta de voluntad política en todos los ámbitos del Gobierno es el principal obstáculo a la gestión eficaz de los recursos y lamentan que los procesos de gestión de recursos con participación de múltiples partes interesadas a menudo se vean interrumpidos por los ciclos de elecciones, los que conllevan un importante cambio de personal y hacen que los procesos pierdan ímpetu o queden paralizados mientras se incorporan los nuevos miembros del personal y se establecen las nuevas relaciones laborales. En general, las partes interesadas consideran que los intereses privados a menudo tienen prioridad sobre los bienes públicos. Se han construido asentamientos industriales y residenciales en sitios privilegiados sin siquiera considerar la función y el caudal de la cuenca.

En resumen, es evidente que el marco jurídico general incluye varios elementos que promueven la adaptación al cambio climático basada en los bosques. También contiene numerosos elementos que respaldan la gestión forestal eficaz. El cambio climático se contempla en la agenda nacional a través de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Plan de Nación, que respaldan futuras actividades legislativas tendientes a fortalecer la capacidad decisoria de las instituciones con respecto al cambio climático. Además, la legislación hace hincapié en la contribución de los bosques a la salud ambiental y el bienestar social y, dado que es reciente, contempla importantes mecanismos para lograr los objetivos de conservación, incluidas las disposiciones relacionadas con los programas de PSE y la participación de diversas partes interesadas. Sin embargo, debido a la falta de recursos, voluntad política y mandatos claros, y a los obstáculos que impiden la participación comunitaria de base amplia, entre otras cosas, la aplicación de las normas sigue siendo un desafío. No obstante, se están aplicando algunos aspectos clave de la legislación existente, como la elaboración y la ejecución de los planes de gestión de las cuencas. Los administradores de los recursos hídricos obtendrán importantes experiencias durante este proceso. De hecho, las enseñanzas aprendidas a partir de la elaboración del plan de gestión de la cuenca Guacerique actualmente se aplican a los procesos relacionados con los planes de gestión de otras cuencas que producen agua potable para Tegucigalpa.

Cuadro 2. Oportunidades y obstáculos para la AbE centrada en los bosques en la legislación de Honduras

Oportunidades	Obstáculos
<ul style="list-style-type: none"> • Función explícita de los bosques en una variedad de sectores, incluidas la provisión de agua y la conservación de la biodiversidad. Se asigna a los bosques una función central en el mantenimiento de la estabilidad ambiental y los beneficios resultantes para los sistemas humanos. • El supuesto de que existe una relación directa entre los bosques y la disponibilidad de agua fomenta las respuestas basadas en los bosques a los problemas de conservación del agua. • La política forestal generalmente ocupa un lugar adecuado dentro de las políticas más amplias de desarrollo y cambio climático. • El énfasis combinado en la planificación del uso de la tierra y la reforestación como medidas de adaptación fomenta aún más las respuestas basadas en los bosques a la conservación del agua. • La legislación pertinente incluye disposiciones relacionadas con mejores prácticas reconocidas, tales como los programas de PSE y las consultas con las partes interesadas y su participación en la gestión de los recursos. • Definición general de “suelos forestales” y reconocimiento de que los bosques producen servicios ecosistémicos en la legislación forestal pertinente. • Inclusión de la gestión participativa, la responsabilidad compartida y los PSE por actividades de conservación como los principios que rigen los recursos hídricos. • Numerosas disposiciones en las leyes que permiten una serie de incentivos para la conservación, incluidos los programas de PSE, y establecen que los fondos generados a través de los PSE relacionados con los recursos hídricos deberán utilizarse únicamente para la conservación y la protección en la cuenca correspondiente. • En la ley, se identifica a los Gobiernos locales como asociados en la gestión de los recursos, y la obligación legal de los municipios de proteger la ecología local y promover la reforestación crea una oportunidad para realizar actividades coordinadas entre los diferentes niveles de Gobierno con el objetivo de abordar las cuestiones relacionadas con los recursos hídricos y forestales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los continuos altibajos de las leyes y reglamentaciones relacionadas con los bosques, los marcos legislativos incompletos y la educación insuficiente del público. • Brecha entre la orientación sobre gestión provista por la ley y las expectativas de las partes interesadas con respecto a las directivas jurídicas de gestión ambiental. • Aplicabilidad de la legislación pertinente en relación con la discrepancia entre el nivel de intervención humana en la cuenca y los niveles de actividad humana permitidos por la ley. • Recursos limitados entre las instituciones. • La falta de financiamiento suficiente para los planes y las políticas pone en peligro su ejecución plena y limita la capacidad. • Ausencia de mecanismos para ejecutar las disposiciones de PSE de la legislación existente a efectos de la conservación del agua. • Limitada participación pública en la gestión de los recursos.

6.2 Alternativa de gestión para lograr una AbE satisfactoria en la cuenca Guacerique

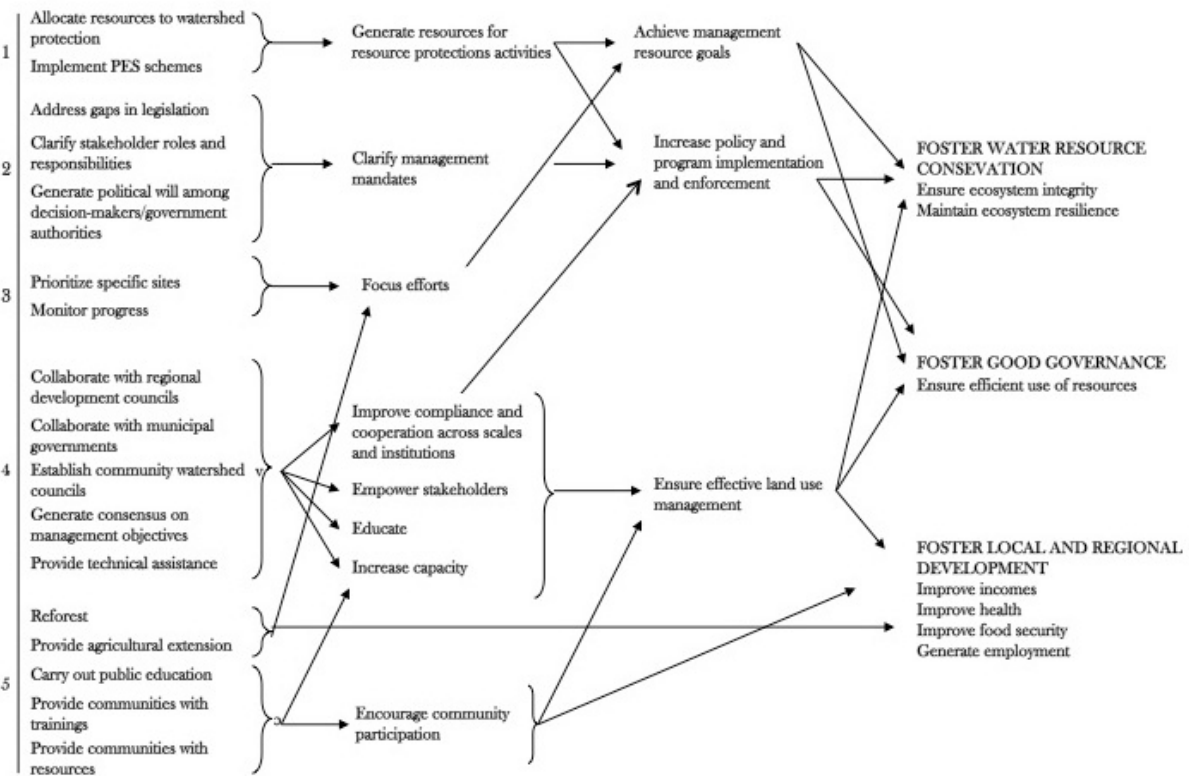
Las partes interesadas identifican diversas vías para resolver los problemas relacionados con la gestión de los recursos hídricos. Estas vías se ilustran en el gráfico 10 utilizando el método de objetivos de medios y fines. Este método se ha utilizado anteriormente para caracterizar los componentes de los mecanismos de gestión de gobierno para la conservación de servicios ecosistémicos (Vignola *et al.*, 2012).

Las partes interesadas identifican un conjunto de requisitos básicos para garantizar la gestión de los recursos hídricos y forestales. En primer lugar, es importante que se pongan a disposición recursos suficientes para la ejecución de los planes y las políticas. En segundo lugar, habida cuenta de las limitaciones en materia de recursos, las instituciones deben tratar de combinarlos. En tercer lugar, se requiere una comunicación eficaz en todos los niveles. En cuarto lugar, las iniciativas deben ser estratégicas, con un alcance bien definido. En quinto lugar, las iniciativas deben incluir un fuerte componente de seguimiento. Por último, es importante identificar medidas que pongan freno a los intereses privados y prioricen el bien público. Estos componentes permitirán que las iniciativas sean factibles y sostenibles, contribuirán a la eficacia y la eficiencia, ayudarán a mantener los procesos bien encaminados y a avanzar

en la consecución de los objetivos de gestión de los recursos, facilitarán la coordinación entre las partes interesadas, y servirán de base para la transparencia y la rendición de cuentas para la sociedad en general. Cabe mencionar que las partes interesadas no señalaron la necesidad de contar con un sistema de mediación para resolver conflictos de manera equitativa. Según las pruebas, queda claro que se han registrado varios casos en los que los miembros de la comunidad han expresado su “temor de perder el acceso a las tierras que gestionan”, lo que indica que los enfoques de comunicación y participación no son suficientes. Probablemente sea fundamental contar con un mecanismo para abordar los conflictos a fin de facilitar la ejecución de cualquier plan de gestión dirigido por el Gobierno y garantizar que los miembros de la comunidad se conviertan en agentes de cambios positivos, en lugar de seguir causando la degradación de la tierra.

Con respecto a las preferencias de las partes interesadas en cuanto a una alternativa de gestión factible, las medidas enumeradas a la izquierda del gráfico 10 pueden agruparse en cinco categorías: 1) generación de recursos, 2) mandatos del Gobierno, 3) planificación y aprendizaje, 4) coordinación interinstitucional, y 5) ejecución.

Gráfico 10. Diagrama de objetivos de medios y fines con un resumen de las preferencias de las partes interesadas para lograr una AbE satisfactoria en la cuenca Guacerique



Con respecto a la generación de recursos financieros, las partes interesadas destacan la necesidad de contar con más recursos para la conservación en general y consideran que se pueden crear programas de PSE a partir de las enseñanzas extraídas de los proyectos de secuestro de carbono actualmente en curso en el país para facilitar el establecimiento de estos tipos de sistemas compensatorios. Este enfoque se considera uno de los más prometedores para la generación de recursos destinados a las iniciativas de gestión de cuencas y conservación del agua.

Con respecto a los mandatos del Gobierno, las partes interesadas señalan que es importante buscar la forma de generar voluntad política entre los encargados de tomar decisiones y los representantes del Gobierno. Asimismo, también es importante abordar las deficiencias de la legislación y definir claramente las funciones y responsabilidades de cada parte interesada o grupo de partes interesadas, y mejorar la transparencia y la rendición de cuentas. Es esencial identificar a las personas responsables de la iniciativa

y a aquellas que participan en esta, incluidos los encargados de tomar decisiones. Resulta igualmente importante definir de forma clara la responsabilidad del personal de apoyo y otros actores para permitir que las diversas partes colaboren eficazmente.

En lo concerniente a la planificación y al aprendizaje, las partes interesadas sugieren que se debe priorizar las actividades y los sitios de intervención, y que los programas deben estar acompañados de un fuerte componente de seguimiento.

Las medidas que se enumeran en la categoría de coordinación interinstitucional y el énfasis en las actividades centradas en la comunidad (categoría 5) responden al reconocimiento de las partes interesadas de que es importante llevar a cabo actividades a diversas escalas, desde la escala de la cuenca fluvial hasta las escalas de la cuenca hidrográfica, el municipio y la comunidad. Sin embargo, las partes interesadas hacen hincapié en la necesidad de asistencia técnica para mejorar la capacidad de gestión, especialmente a nivel de la comunidad y del Gobierno local. De hecho, la mayoría de las partes interesadas consideran que los Gobiernos municipales son los que tienen mayor control sobre la planificación del uso de la tierra y el cambio del uso de la tierra a nivel del paisaje, y perciben que no ejercen plenamente esa facultad en la cuenca Guacerique. Asimismo, dado que las investigaciones muestran que el control del cambio del uso de la tierra es el factor más importante para el logro de los objetivos de gestión de las cuencas, el establecimiento de relaciones eficaces con los Gobiernos municipales y la promoción del ejercicio municipal de las facultades de planificación del uso de la tierra son esferas de trabajo esenciales. Además, es fundamental generar consenso entre las partes interesadas acerca de los objetivos de cualquier plan, política, programa o iniciativa en particular, de modo que estén de acuerdo sobre el problema y puedan conducirse de forma tal que contribuya al logro de los objetivos establecidos en conjunto.

Con respecto a la ejecución (la última categoría), las partes interesadas consideran que proporcionar capacitación y recursos financieros a las comunidades es una forma eficaz de aumentar la participación de la comunidad en las iniciativas de gestión de las cuencas. Además, en este estudio de caso en particular, las partes interesadas consideran que la extensión agrícola es fundamental para mejorar el uso de la tierra y la conservación de los bosques, con importantes beneficios derivados para el bienestar de los hogares, entre los que se incluyen mayores ingresos y la seguridad alimentaria local y regional.

7. Análisis económico

En el análisis económico, se cuantifican los posibles beneficios derivados de la ejecución del plan de gestión de la cuenca Guacerique, que comenzó a fines de 2012. Se estima el impacto del plan propuesto de gestión de la cuenca Guacerique en los principales servicios ecosistémicos y el ahorro de costos resultante a lo largo del tiempo para la empresa nacional de abastecimiento de agua, el SANAA, que posee una importante infraestructura de abastecimiento de agua potable en la cuenca. En el estudio se calcularon los beneficios hasta 2035, es decir que el estudio abarca un período de 20 años.

Se prevé que el cambio climático genere más presión sobre los recursos de agua potable y, por ende, los beneficios se estimaron en el contexto de la influencia de dos escenarios de cambio climático. Dada la índole del estudio de caso, el análisis se centró en dos servicios ecosistémicos específicos: por una parte, la disponibilidad de agua y, por otra parte, la regulación de la erosión (este último servicio ecosistémico se incluye debido a su relación directa con la calidad del agua). En el estudio, también se analizaron el alcance y el tipo de beneficios adicionales que diversas partes podrían obtener a partir de estas medidas de AbE.

Los resultados del análisis económico se resumen en tres subsecciones: la opinión de los expertos acerca del desempeño futuro de cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca; el beneficio económico, y la opinión de los expertos sobre el desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales. Se incluye una última subsección con un análisis de los resultados. En los anexos 6 y 7 se brinda más información.

7.1 Desempeño futuro de la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la gestión de la cuenca

La opinión de los expertos acerca del desempeño futuro de las cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca *en el escenario de bajo nivel de cambio climático* indica lo siguiente:

- La sedimentación del embalse se reducirá en un 18,0 %.
- Los niveles de oxígeno disuelto durante el período seco anual aumentarán en un 7 %.
- La turbiedad del embalse se reducirá en un 24,0 %.
- El ingreso de agua al embalse durante el período seco anual aumentará en un 11,3 %.

La opinión de los expertos acerca del desempeño futuro de las cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca *en el escenario de alto nivel de cambio climático* indica lo siguiente:

- La sedimentación del embalse aumentará en un 13,0 %.
- Los niveles de oxígeno disuelto durante el período seco anual aumentarán en un 23,8 %.
- La turbiedad del embalse aumentará en un 9,8 %.
- El ingreso de agua al embalse durante el período seco anual aumentará en un 29,0 %.

7.2 Beneficio económico

El beneficio económico *anual* total del plan de gestión de la cuenca para la empresa nacional de abastecimiento de agua para los años 2030 a 2035, expresado en dólares de 2012 sin actualizar, es de US\$3 706 000 (o US\$3,7 millones) en el escenario de bajo nivel de cambio climático, y de US\$9 152 000 (o US\$9,2 millones) en el escenario de alto nivel de cambio climático. En el cuadro 3, se resumen los valores de cada variable y la suma de cada escenario de cambio climático. En el anexo 13, se incluyen detalles acerca de estos cálculos.

Estos beneficios anuales se utilizan como base para calcular el *VNA en 2012 de los beneficios netos de la ejecución del plan de gestión de la cuenca para el período 2013-35 expresado en dólares de 2012*.

Cuadro 3. Beneficios anuales generados por el plan de gestión de la cuenca para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar

Beneficios	Escenario de bajo nivel de cambio climático	Escenario de alto nivel de cambio climático
Volumen de almacenamiento	US\$929	-US\$671
Agua adicional	US\$3 575 830	US\$9 176 908
Calidad del agua	US\$129 447	-US\$24 448
Totales (redondeados)	US\$3 706 000	US\$9 152 000

Para determinar el VNA, los costos y los beneficios económicos se distribuyeron durante el período sujeto a la evaluación (2013-35). El costo de la ejecución del plan se calculó como se describe en el anexo 1.3 y se distribuyó durante el período de ejecución de seis años; los beneficios también se distribuyeron durante el período correspondiente. Con respecto a los beneficios, se partió del supuesto de que algunos beneficios comenzarán a obtenerse una vez que se ejecute el plan de gestión de la cuenca, mientras que otros demorarán en concretarse. Por ejemplo, en el escenario de gestión se supone que se aplicarán medidas de conservación del suelo en 2000 hectáreas de campos de cultivo. Estos beneficios se concretarán inmediatamente. Por el contrario, se supone que los beneficios de las actividades de reforestación (en aproximadamente 1500 hectáreas) se concretarán más lentamente, a medida que el bosque madure. Por lo tanto, inicialmente se estimó que el 60 % de los beneficios se concretarán en 2019, y que los beneficios se incrementarán de forma lineal hasta el 100 % en 2030, momento en el que se estabilizará la provisión de beneficios. Esta distribución de la provisión de beneficios a lo largo del tiempo refleja la gran superficie sujeta a la gestión de la erosión del suelo, en comparación con la superficie que se reforestará. Por lo tanto, el beneficio económico anual total se asignó al año 2030 y a cada año subsiguiente hasta 2035 inclusive, y el 60 % de ese beneficio se asignó al año 2019, y se aplicó una tasa compuesta de crecimiento de 1,0475 a fin de calcular el valor para cada año de 2020 a 2030. Este cálculo se realizó para los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático (véase el anexo 14 para obtener más información sobre este cálculo).

En el cuadro 4, se muestra el beneficio económico neto total del plan de gestión de la cuenca en el año 2012, expresado en dólares de 2012.

Cuadro 4. VNA del beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca para la empresa nacional de abastecimiento de agua en 2012, expresado en dólares de 2012, por tasa social de descuento y escenario de cambio climático

Tasa social de descuento	Escenario de bajo nivel de cambio climático	Escenario de alto nivel de cambio climático
2,1	US\$34 721 000	US\$91 518 000
3,3	US\$28 580 000	US\$76 135 000
4,5	US\$23 593 000	US\$63 616 000

Nota: Se supone que el 60 % de los beneficios totales se obtendrán en 2019 y que la provisión de beneficios se incrementará de forma lineal hasta llegar al 100 % en 2030, nivel en el que permanecerá hasta 2035.

Por lo tanto, según se prevé, el beneficio económico neto derivado del plan de gestión de la cuenca oscila entre US\$23,6 millones y US\$34,7 millones en el escenario de bajo nivel de cambio climático, y entre US\$63,6 millones y US\$91,5 millones en el escenario de alto nivel de cambio climático, según la tasa social de descuento que se aplique. Suponiendo una tasa de crecimiento económico moderado en el futuro, la tasa social de descuento intermedia resulta aplicable y, por ende, el beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca es de aproximadamente US\$28,6 millones en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático y de US\$76,1 millones en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático.

7.3 Desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca

Como se mencionó en la sección relativa a los métodos, en el análisis económico también se consideró el desempeño futuro de una amplia variedad de servicios ecosistémicos de la cuenca. Esto permitió que los investigadores resaltarán los beneficios adicionales que se obtendrán a partir de la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca. Se solicitó a los expertos que evaluaran la posibilidad de sustitución de los servicios, la distribución de los beneficios y el alcance y la importancia de la provisión de los servicios³⁶. Los servicios ecosistémicos que se consideran en esta sección son los siguientes: agua dulce, fibra, combustible, regulación de la erosión, regulación de plagas, polinización, regulación de riesgos naturales, formación del suelo, circulación de nutrientes, y recreación y ecoturismo. Estos servicios ecosistémicos se identificaron como los más importantes de los servicios mencionados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Cabe mencionar que, en este contexto, la fuente de fibra y de combustible es la madera, y que los productos madereros son los más utilizados para la extracción de fibra. En el anexo 7, se incluye información adicional sobre los resultados de esta parte de la obtención de opiniones de los expertos.

Con respecto a la posibilidad de sustitución, los servicios ecosistémicos relevantes para la empresa de abastecimiento de agua, es decir, el agua dulce y la regulación de la erosión, se consideraron como no sustituible (el agua dulce) y parcialmente sustituible (la regulación de la erosión). Las medidas de prevención de la erosión son el sustituto de la regulación de la erosión e incluyen desde prácticas de cultivo hasta soluciones de ingeniería civil, pero este servicio solo puede sustituirse parcialmente debido a los altos costos y la menor eficacia general de las alternativas.

Además, los encuestados consideran que la formación del suelo no es sustituible, al igual que la polinización y la regulación de riesgos naturales. La fibra, el combustible, la circulación de nutrientes, la regulación de plagas y la recreación se consideran parcialmente sustituibles. Ningún servicio ecosistémico se consideró completamente sustituible (se considera que el servicio más sustituible entre los considerados es la regulación de plagas, y la sustitución de este servicio ecosistémico con productos agroquímicos es común en Honduras, a pesar de los costos ocultos del uso de estos productos para la salud de las personas y el medio ambiente).

Es importante destacar que la posibilidad de sustitución depende del contexto (véase el análisis relacionado en Farber, Costanza y Wilson, 2002). Por ende, es posible que las fuentes locales de fibra y combustible (es decir, la madera, en ambos casos) sean fundamentales para los medios de subsistencia locales y, por lo tanto, relativamente no sustituibles, y que aun cuando las cocinas a gas sean una alternativa a la leña, los obstáculos económicos o relacionados con el transporte (por ejemplo) limiten la medida en que la leña se puede sustituir por el gas en este caso en particular. La posibilidad de sustitución parcial de la circulación de nutrientes probablemente se deba a la sustitución por fertilizantes, y la de la regulación de plagas se debe a los plaguicidas químicos, aunque esta solo se puede sustituir parcialmente debido al costo y a las compensaciones de ventajas y desventajas ambientales conexas. Se puede interpretar que la posibilidad de sustitución de la recreación se refiere a que los habitantes de la cuenca disponen de medios limitados para acceder y participar en actividades de recreación al aire libre en sitios alejados de sus casas (es decir, fuera de la cuenca).

Con respecto a la distribución de los beneficios, los beneficiarios se agrupan en cinco categorías diferentes: los habitantes de la cuenca baja, media y alta (tres categorías), los administradores de los recursos hídricos situados aguas abajo, y otros usuarios situados aguas abajo que consumen recursos de la cuenca. Los resultados muestran que los principales beneficiarios de la provisión de los servicios ecosistémicos son los habitantes de la cuenca. Estos habitantes, especialmente los que residen en las regiones media y alta de la cuenca, son los más beneficiados de la provisión de agua dulce, fibra, combustible, regulación de plagas, polinización, formación del suelo, circulación de nutrientes, y recreación y ecoturismo. El beneficio diferenciado entre los sectores de la cuenca

³⁶ *Posibilidad de sustitución* se refiere al grado de facilidad con el que se puede brindar los servicios ecosistémicos a los beneficiarios directos a través de otros medios, incluso desde fuentes ubicadas en otras zonas; *alcance* se refiere a la superficie de la cuenca que brinda el servicio ecosistémico, y, por último, *importancia* se refiere a la contribución del servicio ecosistémico al bienestar en la cuenca.

puede atribuirse a las diferencias socioeconómicas (los campesinos aguas arriba y la élite rica aguas abajo). Otros usuarios, incluidos los administradores de los recursos hídricos, se benefician de la provisión de agua dulce, la regulación de plagas y la regulación de la erosión y los riesgos naturales. Estos resultados indican que el mantenimiento de los suelos aguas arriba beneficia principalmente a los beneficiarios aguas abajo, especialmente a los administradores del embalse Guacerique que se ven afectados por la sedimentación. Los administradores de los recursos hídricos pueden beneficiarse de la regulación de plagas, puesto que controla a los escarabajos de los pinos, lo que mantiene saludables a los bosques aguas arriba y mejora la retención del suelo. También pueden beneficiarse de la polinización, puesto que contribuye a asegurar la cubierta vegetal. Se considera que los administradores de los recursos hídricos y los habitantes de la cuenca baja son los más beneficiados de la regulación de riesgos naturales³⁷. La calificación intermedia de los beneficios que se asigna a los habitantes de la cuenca media y alta marca un contraste con la inquietud documentada en relación con los desprendimientos de tierra en todas las zonas de la cuenca (TroFCCA, 2008, pág. 34), y es posible que los encuestados, al responder esta pregunta, hayan confundido la regulación de riesgos naturales generales con una mitigación de los efectos derivados de fenómenos climáticos extremos.

También se les solicitó a los encuestados que mencionaran quiénes sufrirían consecuencias adversas en virtud del plan de gestión de la cuenca. Los expertos mencionaron a los agricultores de la cuenca media y alta, a quienes se les podría prohibir la realización de algunas actividades agrícolas y, en general, a los habitantes de la cuenca cuyos planes de desarrollo económico son contraproducentes para la protección y la conservación de la cuenca y, por ende, están prohibidos por el plan de gestión (por ejemplo, los terratenientes de la cuenca baja que desean desarrollar proyectos residenciales o, nuevamente, los agricultores de la cuenca media y alta que esperan expandir la superficie cultivable o procuran obtener beneficios comerciales a partir de los bosques).

Con respecto al alcance de la provisión de servicios, en general, se prevé que el plan de gestión aumente la superficie de la cuenca que brinda los servicios ecosistémicos antes mencionados, independientemente de los resultados en el ámbito del clima. Sin embargo, la provisión adicional de un servicio no supone necesariamente que los beneficiarios tengan un mayor acceso a dicho servicio. Por ejemplo, habrá más madera (fibra) disponible gracias a las actividades de reforestación, pero es posible que el acceso al recurso sea restringido. Sin embargo, la medida en que un servicio en particular está presente en la cuenca se ve afectada por el clima. Por lo tanto, se considera que los mejores resultados con relación a la provisión de agua dulce y fibra y la formación del suelo se obtienen con la ejecución plena del plan de gestión y en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático. Por el contrario, se considera que los mejores resultados con relación a la regulación de la erosión, las plagas y los riesgos naturales, la polinización y la recreación se obtienen con la ejecución plena del plan de gestión de la cuenca y en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático. Es lógico que los resultados en materia de regulación de la erosión y los riesgos naturales sean menores en el contexto del escenario de alto cambio climático, en comparación con el escenario de bajo cambio climático, debido al impacto previsto del aumento de las precipitaciones en estos servicios.

En cuanto a la importancia de la provisión de servicios para el bienestar humano en la cuenca, los resultados muestran que es independiente de los escenarios climáticos. Si se supone que la importancia es igual en todos los escenarios, y se promedian las respuestas sobre cada servicio ecosistémico de los cuatro escenarios y luego se las ordena de forma descendente, la importancia de estos servicios ecosistémicos es la siguiente (de más a menos importante): agua dulce, circulación de nutrientes, formación del suelo, polinización, regulación de plagas y de riesgos naturales (empate), regulación de la erosión, combustible, fibra y recreación. Cabe destacar que la provisión de agua dulce, que se considera esencial para el bienestar de los habitantes de la cuenca en todos los escenarios, también se considera no sustituible. Ningún otro servicio ecosistémico se consideró tan importante para el bienestar como la provisión de agua dulce. La importancia de la circulación de nutrientes, la formación del suelo y la polinización es comprensible, ya que estos servicios son esenciales para la agricultura. La fibra y el combustible se consideran medianamente importantes (es decir, importantes pero no esenciales) para el bienestar en la cuenca; sin embargo, se supone que la provisión de ambos se verá restringida en virtud del plan de gestión (mayor control sobre la tala de árboles). (El plan de gestión de la cuenca incluye 100 hectáreas de plantaciones de árboles para leña para satisfacer las necesidades locales relacionadas con el combustible y, de este modo, reducir la tala general de árboles para utilizarlos como leña). El caso de la importancia estimada de la regulación de la erosión y los riesgos naturales en el contexto de un escenario de alto nivel de cambio climático es curioso, ya que es menor que en un escenario de bajo nivel de cambio climático. Se esperaba todo lo contrario, habida cuenta de la relación positiva entre el aumento de las precipitaciones (parte del escenario de alto nivel de cambio climático) y los resultados relativos a la erosión y los riesgos naturales. El hecho de que la recreación ocupe el último lugar confirma que no es un servicio ecosistémico importante en este contexto. Aparte del agua dulce, los otros servicios ecosistémicos a los que se les asigna gran importancia (por ejemplo, la circulación de los nutrientes, la formación

37 Esta respuesta quizá refleje un sesgo en la percepción: todos los encuestados son administradores de recursos hídricos, y sus respuestas quizá demuestren una sensibilidad acentuada con respecto a la infraestructura de abastecimiento de agua potable de la cual son custodios.

del suelo, la polinización y la regulación de plagas) son esenciales para los medios de subsistencia de los habitantes que residen aguas arriba. Las zonas con mayor riesgo de desprendimientos de tierra dentro de la cuenca también están ubicadas aguas arriba. Los usuarios que se encuentran aguas abajo son los más beneficiados de la regulación de la erosión. Esto significa que, en general, la gestión de los bosques y las tierras beneficiará tanto a los usuarios que residen aguas arriba como a los que se encuentran aguas abajo

7.4 Análisis

Las opiniones de los expertos indican que el plan de gestión de la cuenca contribuirá considerablemente a la mejora del desempeño de las cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático. En otras palabras, en circunstancias en las que el aumento de la temperatura durante los próximos 20 años es mínimo (aproximadamente 0,5 °C) y la reducción de las precipitaciones es considerable (aproximadamente del 20 %), cabe prever que el plan de gestión de la cuenca ayude de manera sustancial a los administradores de los recursos hídricos a mejorar la cantidad y la calidad del agua. Sin embargo, si el cambio climático va acompañado de un aumento importante de las precipitaciones, estos factores climáticos superan los beneficios de la regulación de la erosión derivados del plan de gestión de la cuenca. En este sentido, el plan de gestión de la cuenca "no es suficiente" en el contexto de escenarios de cambio climático más extremos y, si las precipitaciones aumentan durante los próximos 20 años, cabe prever que la empresa de abastecimiento de agua continúe teniendo problemas relativos a la sedimentación y la turbiedad (es decir, pérdida del volumen general del embalse y problemas de calidad relacionados con la turbiedad).

A pesar de ello, se prevé que el plan de gestión de la cuenca contribuya a resolver los problemas relacionados con los niveles de oxígeno disuelto (es decir, los problemas de eutrofización que surgen durante la estación seca), incluso en los escenarios de alto nivel de cambio climático. De hecho, se prevé que los resultados sean mejores en el escenario de alto nivel de cambio climático cuando el aumento de las precipitaciones se combina con la reducción de la sedimentación. Además, también se prevé que el plan de gestión de la cuenca aumente la cantidad de agua que ingresa al embalse durante la estación seca anual (de diciembre a mayo) tanto en el escenario de bajo cambio climático como en el de alto cambio climático. Se prevé que la forestación incremente el caudal base (al aumentar la infiltración), a pesar de la notable reducción de las precipitaciones en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático, y las proyecciones indican que los resultados serán aún mejores en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático, dado el aumento de las precipitaciones.

Teniendo en cuenta la influencia prevista del plan de gestión de la cuenca en estas variables, se prevé que el beneficio económico neto derivado de dicho plan oscile entre US\$23,6 millones y US\$34,7 millones en el escenario de bajo nivel de cambio climático, y entre US\$63,6 millones y US\$91,5 millones en el escenario de alto nivel de cambio climático, según la tasa social de descuento que se aplique (véase el cuadro 4). Suponiendo una tasa de crecimiento económico moderado en el futuro, la tasa social de descuento intermedia resulta aplicable y, por ende, el beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca es de aproximadamente US\$28,6 millones en el escenario de bajo nivel de cambio climático y de US\$76,1 millones en el escenario de alto nivel de cambio climático.

El cálculo del beneficio económico muestra que casi el 100 % del beneficio económico total derivado del plan de gestión de la cuenca proviene del aumento de la provisión de agua. De hecho, en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático, el beneficio económico total de la provisión de agua se reduce en virtud de los costos relacionados con los aumentos de la sedimentación y la turbiedad. Esto demuestra que cabe prever que el cambio climático sobrecargue a las empresas de servicios públicos con costos operativos adicionales y pone de relieve la importancia de la adaptación planificada para gestionar los costos operativos a largo plazo. Además, los resultados de las pruebas de sensibilidad acerca de los futuros supuestos sobre la disponibilidad de agua muestran que el beneficio total es sensible al supuesto sobre la disponibilidad de agua, y que la modificación de este supuesto genera importantes cambios (aumentos o reducciones) en el beneficio económico neto. De hecho, es posible que el beneficio económico neto desaparezca en el escenario de bajo cambio climático si no se concreta la provisión de agua adicional. Por otra parte, si el abastecimiento de agua es mayor que el previsto, el valor económico general aumenta entre un 55 % y un 110 % en los contextos de los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático, respectivamente (véase el anexo 1.4 para obtener más información). De hecho, dado que la mayor parte del beneficio se obtiene a partir de esta variable, el punto de precio elegido para valorar el cambio incremental del bien es también un factor determinante esencial del resultado del cálculo del beneficio. En este sentido, nuevas investigaciones acerca de la disposición de los consumidores a pagar en este contexto ayudarán a garantizar que no se subestime el bien.

Es importante señalar que es evidente que los expertos consultados adhieren a la creencia generalizada de que el aumento de la cubierta forestal se traducirá en un incremento del caudal del río Guacerique. Este supuesto también es evidente en el plan de gestión de la cuenca. Sin embargo, la labor de Locatelli y Vignola (2009) demuestra que el efecto de la deforestación y la forestación en el caudal de los cursos de agua dista de ser uniforme. Se necesitan nuevas investigaciones para comprender verdaderamente el impacto de la forestación en el caudal base del río Guacerique, ya que la evapotranspiración podría desempeñar un papel importante en el secado del caudal base, al menos, en las etapas iniciales de crecimiento de los árboles.

También es importante poner en perspectiva la escala de los aumentos previstos en los volúmenes de agua durante la estación seca. Se prevé que el aumento del ingreso de agua al embalse durante la estación seca anual sea del orden del 10 % al 30 % en los dos escenarios, lo que se traduce en incrementos del volumen de entre 407 000 metros cúbicos y 1,22 millones de metros cúbicos. Aun así la cantidad más grande representa apenas el 12 % del volumen efectivo actual del embalse³⁸. Asimismo, esta cantidad equivale a menos de dos semanas de abastecimiento de agua según las tasas de procesamiento de la planta de tratamiento durante la estación seca (sobre la base de una tasa mensual de consumo de agua durante el verano del embalse Los Laureles de 3 millones de metros cúbicos), mientras que el valor más bajo equivale a menos del 4 % del volumen total de almacenamiento del embalse y a menos de una semana de abastecimiento de agua. Por lo tanto, si bien el impacto del mayor ingreso de agua es importante para la empresa de abastecimiento de agua dado el contexto local, estos volúmenes no son suficientes para resolver los problemas más graves que enfrenta dicha empresa.

En este sentido, el plan de gestión de la cuenca evidentemente no es una alternativa a los proyectos de infraestructura de abastecimiento de agua potable (ni los administradores de los recursos hídricos lo consideran una alternativa a la infraestructura). Los informantes estiman que el sistema de abastecimiento de agua de Tegucigalpa actualmente funciona con un déficit del 55 % (es decir, la demanda de agua de toda la ciudad supera el abastecimiento en un 55 %) y, por ende, se necesita una nueva infraestructura con mayor capacidad (de almacenamiento y tratamiento) para satisfacer las necesidades básicas de la población de la capital.

El proyecto Guacerique II, que, según estudios recientes, es la alternativa más eficaz en función de los costos de todas las alternativas posibles de abastecimiento de agua para la ciudad, permitiría que los administradores de los recursos hídricos aprovechen el abundante servicio ecosistémico de provisión de agua que existe en la cuenca, al aumentar considerablemente la capacidad general de almacenamiento (SOGREAH Consultants, 2004; CETI S.A., 2011). Asimismo, la mejora de la retención de sedimentos derivada del plan de gestión de la cuenca contribuirá a maximizar la utilidad de las futuras inversiones en infraestructura. Además, hasta que la nueva infraestructura se haga realidad, el plan de gestión de la cuenca tendrá un impacto directo en el funcionamiento y los costos operativos de la infraestructura existente, y ayudará a los administradores de los recursos hídricos a proporcionar más agua de mejor calidad a sus clientes, a pesar de las limitaciones actuales relativas a la infraestructura.

Por lo tanto, si bien un nuevo embalse grande con una gestión adecuada de la cuenca para garantizar el abastecimiento de agua y la retención de sedimentos es la solución óptima, una alternativa más factible, habida cuenta de las limitaciones actuales en materia de recursos, es la combinación del plan de gestión de la cuenca con la adición de la barrera inflable para el embalse Los Laureles y la construcción de la tubería de transferencia de Los Laureles-Concepción, que añadiría aproximadamente 7 millones de metros cúbicos de agua por año al sistema de distribución, con un costo total de ejecución de alrededor de US\$12,2 millones en costos de infraestructura (dólares nominales de 2011) y US\$4,2 millones en costos de gestión de la cuenca (dólares nominales de 2011). En comparación, se estima que el embalse Guacerique II costará US\$322,48 millones (dólares de 2012; véase el anexo 1.3.4 para obtener más información).

Los resultados de las pruebas de sensibilidad acerca del supuesto sobre la proporción de beneficio acumulado ya en 2019 muestran que el valor aumenta considerablemente cuanto antes se concretan los beneficios (véase el anexo 1.4 para obtener más información). En este sentido, a la empresa de abastecimiento de agua le conviene adoptar medidas que maximicen la provisión temprana de beneficios y los mantengan a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el concepto del presupuesto para sedimentos quizá podría ayudar a los administradores a ubicar las fuentes y los sumideros de sedimentos, y a realizar un seguimiento de la influencia de las decisiones relativas a la gestión de la tierra en el depósito de sedimentos del embalse, y si bien las medidas relacionadas con la erosión del suelo pueden ser muy eficaces, las experiencias previas ponen de manifiesto la necesidad de innovar para garantizar la participación constante de las personas en las iniciativas de conservación a nivel del paisaje (Pimentel *et al.*, 1995; Walling y Collins, 2008). Por lo tanto, se necesitan nuevas investigaciones para comprender cómo se puede maximizar y mantener la provisión de los beneficios en la cuenca Guacerique.

³⁸ El volumen total del embalse Los Laureles es de 12 millones de metros cúbicos; sin embargo, se considera que un volumen de 1,5 millones de metros cúbicos se ha perdido a causa de la sedimentación, lo que reduce la capacidad efectiva de almacenamiento a 10,5 millones de metros cúbicos.

Con respecto al impacto estimado del plan de gestión en la calidad del agua, la experiencia internacional indica que los beneficios relacionados con la calidad del agua derivados de la forestación pueden ser mayores que los previstos. Por ejemplo, un estudio de empresas de abastecimiento de agua de los Estados Unidos revela una relación inversa entre la superficie forestada de las cuencas y los costos del tratamiento del agua potable (los costos de tratamiento en el caso de las empresas de abastecimiento de agua con cuencas que tienen una superficie forestada del 60 % o más son la mitad de aquellos de las empresas con cuencas que tienen una cubierta forestal del 30 %) (Ernst, 2004, citado en Postel y Thompson, 2005). Por ende, es posible que las actividades de reforestación en la cuenca Guacerique reduzcan los costos del tratamiento del agua mucho más que lo que indican las conclusiones presentadas en este documento.

Si bien los beneficios previstos son considerables, el cálculo económico no brinda una imagen completa de la situación. La consulta sobre los beneficios adicionales de la provisión de servicios ecosistémicos generales demuestra que el plan de gestión de la cuenca impulsará la provisión de servicios ecosistémicos en el contexto del cambio climático y brindará una amplia variedad de beneficios a los usuarios tanto dentro como fuera de la cuenca. Se prevé que el plan de gestión de la cuenca aumente la provisión de agua dulce en general, fortalezca servicios tales como la polinización, la formación del suelo y la circulación de los nutrientes que respaldan el medio de subsistencia local predominante (la agricultura), y contribuya al bienestar general de los habitantes locales. El valor de estos beneficios adicionales (aunque no se calcula en este documento) incrementa aún más los beneficios económicos generales del plan de gestión de la cuenca.

Es interesante observar que, en el análisis de la provisión de servicios ecosistémicos generales en la cuenca, la disponibilidad de agua obtuvo una alta calificación, y se asignó mucha menos importancia a la regulación de la erosión, pese al reconocimiento de que es un servicio ecosistémico que, en el mejor de los casos, es solo parcialmente sustituible. Este resultado indudablemente refleja esa importancia de la disponibilidad de agua para el beneficio económico previsto para la empresa de abastecimiento de agua; sin embargo, parece reducir los impactos negativos de la sedimentación que experimenta actualmente dicha empresa, en particular, su experiencia en los 15 años transcurridos desde el paso del huracán Mitch, el que, según la opinión de los administradores de los recursos hídricos, ha generado los problemas relacionados con los sedimentos.

Por último, al evaluar los beneficios, es importante abordar la escala y las compensaciones de ventajas y desventajas. Hasta ahora, los beneficios se han considerado principalmente en relación con los objetivos y las metas de la empresa de abastecimiento de agua. Si bien cabe prever que la ejecución del plan de gestión de la cuenca generará beneficios para dicha empresa, los habitantes de la cuenca afrontarán tanto beneficios como ventajas y desventajas. Los expertos del SANAA indicaron que, en el marco del plan de gestión, los medios de subsistencia se verán limitados debido a los mayores controles sobre la tala de árboles y el uso de la tierra, que llegarán al nivel de las parcelas y las decisiones personales. No obstante, la provisión de servicios ecosistémicos adicionales que se menciona en el párrafo anterior también generará ciertos beneficios para estas mismas personas. Por lo tanto, las medidas específicas crean tanto beneficios como desventajas en diferentes escalas espaciales y temporales. Se necesitan nuevas investigaciones para comprender el impacto económico del plan de gestión en las diversas partes interesadas de la cuenca.

En resumen, este análisis económico se realizó con el objetivo de estimar el impacto del plan propuesto de gestión de la cuenca Guacerique en los principales servicios ecosistémicos, y el ahorro de costos resultante a lo largo del tiempo para la empresa nacional de abastecimiento de agua, el SANAA, responsable de la infraestructura de abastecimiento de agua potable en la cuenca. Dicho análisis es importante para dilucidar los posibles beneficios para los sistemas humanos relacionados con la implementación de la AbE en los bosques. Suponiendo una tasa social de descuento moderada del 3,3 %, el beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca en 2012 es de aproximadamente US\$28,6 millones en el escenario de bajo nivel de cambio climático y de US\$76,1 millones en el escenario de alto nivel de cambio climático. Además de estos beneficios, a través del plan se respaldan muchos otros servicios ecosistémicos, que brindan diversos beneficios a las partes interesadas dentro y fuera de la cuenca.

8. Recomendaciones sobre la contribución de los sistemas forestales a la AbE

En este estudio de caso, se analiza la AbE y se considera la forma en que ciertas medidas específicas del plan de gestión de la cuenca Guacerique (es decir, las prácticas de uso de la cubierta forestal y conservación agrícola) pueden mejorar los servicios de disponibilidad de agua y retención del suelo. En las siguientes recomendaciones y modificaciones institucionales, se destaca cómo se pueden utilizar los bosques para lograr la adaptación al cambio climático y aumentar la resiliencia:

APOYAR LA ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO Y LOS BOSQUES POR PARTE DE LOS AGRICULTORES

Se prevé que el cambio climático afecte los medios de subsistencia agrícolas en la cuenca. Las prácticas sostenibles de uso de la tierra desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la retención del suelo. Según los escenarios de cambio climático previstos para la cuenca Guacerique, es probable que los pequeños agricultores enfrenten condiciones más secas y prolongadas de cultivo, además de la irregularidad del régimen de precipitaciones. Para que los agricultores de subsistencia adopten las actividades de conservación y reforestación, deben comprender los beneficios directos que tales actividades generarán para sus medios de subsistencia, ahora y en el futuro. Deben entender que el mantenimiento de la cubierta forestal puede contribuir a controlar la erosión del suelo y los desprendimientos de tierra, y a incrementar la infiltración y la evapotranspiración, lo que permite evitar las inundaciones (Stimson *et al.*, 2004). Además, los agricultores necesitarán incentivos para adoptar las prácticas de conservación de suelos. En el caso de que los agricultores necesiten realizar inversiones para adoptar tales prácticas, también deberán tener acceso a créditos para llevar a cabo los cambios necesarios en sus terrenos. La adopción de prácticas de conservación de suelos forestales y agrícolas, como la formación de terrazas, el cultivo de contorno, el cultivo con menor grado de labranza, la siembra de barreras vivas, la construcción de zanjas de ladera y la rotación de los cultivos, entre otras, se relaciona con la disponibilidad de la asistencia técnica y la extensión agrícola proporcionadas por el Gobierno y otras entidades. La adopción de prácticas de agrosilvicultura como el cultivo intercalado, entre otras, puede ser otra forma de aumentar la retención de los suelos de las cuencas. Habida cuenta del cambio climático, será necesario actualizar permanentemente los conocimientos de los pequeños agricultores y establecer nuevas prácticas (Vignola *et al.*, 2010).

Además, el análisis económico de la cuenca Guacerique demuestra que los beneficios generales para la empresa de abastecimiento de agua se incrementan gracias a la mayor cantidad y la mejor calidad del agua en cuanto se implementan medidas eficaces de prevención de la erosión del suelo. Esto constituye un incentivo adicional para que el Gobierno centre los esfuerzos en las prácticas de conservación de los suelos y los bosques en la cuenca y las áreas aledañas.

OBTENER FINANCIAMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE LOS PLANES DE GESTIÓN EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS PRIORITARIAS

Para lograr una implementación satisfactoria de la AbE, se necesita la voluntad política del Gobierno y las instituciones. La demostración del compromiso del Gobierno con la ejecución efectiva del plan de gestión de la cuenca Guacerique debe ir acompañada de mecanismos adecuados de financiamiento. La falta de financiamiento actual pone en riesgo la ejecución del plan, lo que a su vez pone en peligro los objetivos relacionados con la gestión de la tierra. Mediante la creación de la unidad de gestión de la cuenca, el SANAA ha defendido la gestión de la cuenca como una estrategia de gestión de los recursos. El personal de los distintos departamentos reconoce la importancia que la gestión de la cuenca reviste para la institución. Este enfoque se ha sostenido en un contexto en el que el financiamiento para proyectos de infraestructura es escaso, y se lo puede considerar como una opción alternativa que surgió en respuesta a estas condiciones. Al mismo tiempo, la unidad de gestión de las cuencas recibe un financiamiento limitado, y los gastos administrativos absorben la mayor parte del presupuesto. Esto reduce la capacidad de la unidad de gestión de las cuencas para contribuir de manera eficaz a los objetivos de gestión de la infraestructura y el medio ambiente.

Por lo tanto, se recomienda que se asignen fondos especiales para la unidad de gestión de las cuencas del SANAA en general y las actividades de gestión de las cuencas, a fin de garantizar que se aplique plenamente la legislación relacionada con los planes de gestión. Esto también permitirá que los administradores puedan elaborar planes de gestión sólidos y específicos para los recursos hídricos y forestales.

ESTABLECER UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO PARA AJUSTAR DE FORMA ADECUADA LAS RESPUESTAS DE ABE

Los planes de gestión forestal que detienen o revierten las tasas de deforestación pueden reducir la erosión del suelo. Sin embargo, la planificación y la implementación de medidas de AbE se caracterizan por los altos niveles de incertidumbre con respecto a los impactos del cambio climático en los ecosistemas y la eficacia de ciertas prácticas para reducir la sedimentación y los contaminantes. A fin de optimizar los escasos recursos para ejecutar el plan de gestión de la cuenca, es importante generar datos actualizados, a través de la presentación de informes y del seguimiento, para permitir que los administradores ajusten las medidas a lo largo del tiempo. A través del seguimiento, se deben proporcionar datos sobre los cambios en las áreas y variables clave, controlar el avance en la adopción de medidas de conservación de los bosques y los suelos, y medir el éxito relativo en la reducción de la erosión y la mejora de la infiltración del agua. Existen ejemplos de diferentes países del norte y del sur que podrían considerarse para Honduras.

LOGRAR LA APLICACIÓN EFICAZ DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL RELATIVA A LOS BOSQUES Y LOS RECURSOS HÍDRICOS

Si bien la legislación existente incluye varios elementos promisorios para garantizar la gestión satisfactoria de los recursos, las mayores dificultades para la gestión de los recursos hídricos y forestales en Honduras están relacionadas con la ejecución y la aplicación de la legislación existente. Los recursos humanos, financieros y técnicos limitados constituyen un obstáculo para la aplicación de las leyes ambientales en el país. Para lograr una AbE satisfactoria, se necesitan mecanismos que generen confianza, diálogo, coordinación, colaboración y consenso para trabajar en la consecución de objetivos comunes, especialmente entre los municipios y otras instituciones.

El compromiso con procesos participativos que comiencen desde las bases y generen diálogo entre las comunidades y el Estado, y que permitan que las comunidades desempeñen el importante papel de definir las normas y su aplicación, junto con programas comunitarios amplios de educación y sensibilización del público en materia ambiental, exámenes sistemáticos de los procesos de ejecución, y documentos e informes de las enseñanzas aprendidas, sentarán las bases para la aplicación eficaz de la legislación ambiental.

EXPANDIR LA PERSPECTIVA SOBRE LOS BENEFICIOS POTENCIALES DE LA ABE A UNA GAMA MÁS AMPLIA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

En este estudio de caso, se demuestra que los bosques brindan diversos servicios ecosistémicos que benefician tanto a las comunidades locales como a las distantes. Para incrementar la cantidad de partes interesadas involucradas en la ejecución satisfactoria del plan de gestión de cuencas, es importante que se tenga en cuenta la gama completa de servicios ecosistémicos (por ejemplo, fibras, alimentos, polinización y circulación de nutrientes), y que los beneficios se comuniquen de forma adecuada a las partes interesadas pertinentes. Esto ofrece posibilidades para lograr un consenso más amplio sobre el plan de gestión de la cuenca e incrementar los recursos disponibles para la ejecución. Además, el diseño y la implementación de sistemas de PSE en las cuencas que rodean a la capital pueden contribuir a mejorar el abastecimiento de agua y los medios de subsistencia.

9. Conclusión

En este informe, se ha analizado cómo se puede utilizar un enfoque de AbE centrado en los bosques para aumentar la capacidad de adaptación social y ambiental frente al cambio climático en un plazo de 20 a 50 años, mediante la identificación de la vulnerabilidad social y ambiental, tanto actual como futura, y el establecimiento de conexiones directas con la adaptación planificada al cambio climático. El análisis de la AbE se centró en la contribución de los bosques al abastecimiento de agua potable para las grandes ciudades.

En el informe, se indica que el cambio climático probablemente genere un aumento de las temperaturas y una reducción de las precipitaciones en la cuenca Guacerique, lo que dará como resultado una disminución de la escorrentía y una transición del paisaje hacia un tipo de ecosistema más seco. Además, el cambio climático también provocará fenómenos extremos de precipitaciones más frecuentes con un alto potencial de erosión del suelo. Es probable que los impactos incluyan la menor disponibilidad general de aguas superficiales para el sistema de abastecimiento de agua potable y para los habitantes locales de Tegucigalpa, quienes utilizan las mismas fuentes de agua para el consumo en el hogar y las actividades productivas, y las condiciones más secas posiblemente produzcan cambios importantes en los bosques y los ecosistemas conexos existentes. Por otra parte, es posible que los fenómenos extremos de precipitaciones den lugar al depósito periódico de grandes cantidades de sedimentos en el embalse Los Laureles, lo que reducirá la capacidad de almacenamiento, que ya es limitada, y afectará de forma permanente la calidad del agua. Los impactos del cambio climático limitarán aún más el abastecimiento de agua potable para Tegucigalpa, donde ya existen estrictos regímenes de racionamiento, especialmente en la estación seca, y afectarán las estrategias de quienes practican la agricultura de subsistencia, que predomina en la cuenca. Por lo tanto, este sistema humano-ambiental presenta claras vulnerabilidades en el contexto del cambio climático, y los administradores de los recursos enfrentan el desafío de identificar e implementar mecanismos y fomentar prácticas que produzcan los mejores resultados para una amplia variedad de necesidades y objetivos en las distintas escalas espaciales y, como parte de ese proceso, facilitar el reconocimiento mutuo de necesidades, objetivos y beneficios en múltiples niveles.

La opción de adaptación que se analiza en este informe es la ejecución de un plan de gestión de la cuenca con un componente importante de reforestación y control de la erosión del suelo. El plan también incluye elementos de planificación del uso de la tierra, desarrollo económico y fortalecimiento de la capacidad, a fin de generar información y lograr la participación de las comunidades locales. Este estudio de caso revela que los bosques no solo contribuyen a la provisión de agua potable (y, por ende, al bienestar urbano), sino que también pueden respaldar los medios de subsistencia y el bienestar a nivel local. De modo similar, a escala nacional, los bosques contribuyen a la mitigación del cambio climático y, por lo tanto, mediante la conservación y la ampliación de la cubierta forestal, la sociedad puede lograr los objetivos compatibles de mitigación y adaptación.

El análisis económico demostró que la implementación de la AbE en los bosques conlleva importantes beneficios para los sistemas humanos. Suponiendo una tasa social de descuento moderada del 3,3 %, el beneficio económico neto del plan de gestión de la cuenca en 2012 es de aproximadamente US\$28,6 millones en el escenario de bajo nivel de cambio climático y de US\$76,1 millones en el escenario de alto nivel de cambio climático. El beneficio económico puede incrementarse en cierta medida, a US\$33,1 millones en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático y a US\$89,0 millones en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático, si algunos beneficios, como la retención del suelo, se concretan lo antes posible. Además de estos beneficios, a través del plan de gestión de la cuenca se respaldan muchos otros servicios ecosistémicos, que brindan diversos beneficios a los grupos dentro y fuera de la cuenca.

En el informe también se señala que el cambio climático no siempre es el peligro más importante que enfrenta la sociedad. Con respecto a la provisión de agua para Tegucigalpa y la cuenca Guacerique, los resultados en materia de uso de la tierra tienen una influencia significativa en la futura erosión del suelo en el contexto del cambio climático. La elaboración de modelos de los efectos combinados del cambio climático y del cambio del uso de la tierra en la erosión del suelo demuestra que, a mediano plazo, la ordenación adecuada de la tierra puede reducir el potencial de erosión en un 29,5 % en un escenario en el que el cambio climático solo podría aumentar el potencial de erosión en un 2,5 %, y que la ordenación deficiente de la tierra puede ocasionar un incremento del 132,2 % del potencial de erosión en un contexto en el que el cambio climático solo generaría una reducción del 8,8 % del potencial de erosión. Por lo tanto, la erosión se puede controlar, en gran medida, mediante las prácticas de uso de la tierra (reforestación y

otras prácticas de control de la erosión del suelo), lo que conlleva importantes beneficios y protege a los sistemas de los impactos del cambio climático. Estos resultados ponen de relieve la importancia de asegurar la gestión eficaz del uso de la tierra como medida de adaptación al cambio climático.

Si bien asegurarse de que se produzcan cambios en la gestión del uso de la tierra será fundamental para obtener beneficios relativos a la capacidad de adaptación al cambio climático a partir de la AbE centrada en los bosques, se necesitarán otras medidas para satisfacer las crecientes demandas de agua potable. En el estudio se observa que el sistema actual de embalses no tiene capacidad para suministrar el volumen necesario de agua potable. Asimismo, existen deficiencias en el sistema de abastecimiento de agua potable (por ejemplo, las tuberías). Por lo tanto, para construir un sistema con capacidad de resistencia, será necesario analizar la combinación óptima de inversiones en diferentes partes del sistema de almacenamiento de agua y abastecimiento de agua potable. Las inversiones en la AbE permitirán ofrecer beneficios relacionados con la reducción de la sedimentación y la disponibilidad de agua, lo que aumentará las probabilidades de obtener un rendimiento positivo de las inversiones en la infraestructura física necesaria. Estas inversiones también ayudarán a mejorar el desempeño de la infraestructura física.

Tal como lo demuestra este estudio de caso, la AbE centrada en los bosques plantea numerosas dificultades. Una de las principales consiste en modificar las prácticas de uso de la tierra de innumerables partes interesadas (en su mayoría, pequeños agricultores y agricultores de subsistencia), quienes, en conjunto, son las principales impulsoras del cambio del uso de la tierra. Dado que las necesidades básicas no están necesariamente satisfechas y que el sustento de los hogares depende de las actividades basadas en la tierra, es difícil pedirles que realicen cambios para favorecer a los usuarios que se encuentran aguas abajo, cuando no conocen los nuevos enfoques o técnicas y los beneficios inmediatos son inciertos. Por ende, es imperativo demostrar que la reforestación y los otros cambios en el uso de la tierra mejorarán los medios de subsistencia y el bienestar de los agricultores. Otras dificultades incluyen la necesidad de proporcionar seguridad sobre la tierra a los pequeños agricultores que deben cambiar las prácticas de gestión de la tierra, brindarles la asistencia técnica necesaria y garantizar que existan formas de mediar en los conflictos que pudieran surgir. Asimismo, también será importante asegurar la disponibilidad de recursos financieros y de otro tipo para ejecutar sistemáticamente los planes de gestión, la predisposición de las diferentes instituciones a colaborar en la consecución de los objetivos de gestión de la tierra, y la capacidad del Estado para aplicar la legislación ambiental, que quizá no se haya aplicado sistemáticamente en el pasado.

Habida cuenta de estos obstáculos, en el informe se formulan las siguientes recomendaciones acerca de la implementación de la AbE como parte de un enfoque más amplio para fortalecer la capacidad de adaptación del sistema de abastecimiento de agua: 1) apoyar la adopción de prácticas de conservación del suelo y los bosques por parte de los agricultores; 2) obtener financiamiento para la ejecución de los planes de gestión de las cuencas en esta y otras cuencas hidrográficas; 3) establecer un sistema de seguimiento para ajustar de forma adecuada las respuestas de AbE; 4) lograr la aplicación eficaz de la legislación ambiental relativa a los bosques y los recursos hídricos, y 5) expandir la perspectiva sobre los beneficios potenciales de la AbE a una gama más amplia de servicios ecosistémicos. Muchas de estas medidas son medidas útiles en todos o en casi todos los casos, ya que ofrecerán beneficios más amplios que aquellos generados por el aumento de la disponibilidad de agua en el sistema.

Anexo 1: Detalles del análisis económico

A1.1. Métodos utilizados para el análisis económico

El análisis económico consiste en estimar el impacto del plan propuesto de gestión de la cuenca Guacerique en los principales servicios ecosistémicos, y el ahorro de costos resultante para la empresa nacional de abastecimiento de agua en dos escenarios de cambio climático. Se utilizaron entrevistas individuales y fuentes secundarias para establecer las opciones de gestión y los costos unitarios relacionados. Posteriormente, sobre la base de las opiniones de los expertos, se estimó el impacto de las opciones específicas de gestión en los resultados en materia de abastecimiento de agua en el contexto del cambio climático. Se eligió la obtención de opiniones de expertos como metodología adecuada porque su objetivo es obtener los conocimientos y criterios de las personas capacitadas que mejor comprenden la cuestión en estudio y la dinámica del sistema específico, a la vez que se evitan los altos costos de la elaboración de modelos asistida por computadoras. En el pasado se ha utilizado con éxito esta metodología para abordar cuestiones de gestión de recursos en contextos de incertidumbre relacionada con el cambio climático (Hagerman *et al.*, 2010; McDaniels, 1995; McDaniels *et al.*, 2012; Morgan *et al.*, 2001). Las respuestas de los expertos se obtuvieron en un taller que se realizó en Tegucigalpa en octubre de 2012. Anteriormente, se utilizaron entrevistas individuales y fuentes secundarias para establecer las opciones de gestión y los costos unitarios conexos.

Elaboración de escenarios

Los futuros escenarios climáticos para el estudio de caso se elaboraron con datos extraídos de la herramienta de análisis regional (versión beta) creada por Pacific Climate Impacts Consortium³⁹. La herramienta se utilizó para generar los datos de temperatura y precipitaciones de todos los escenarios del *SRES AR4* para el horizonte cronológico de 2020 (2010–39). A continuación, se extrajeron de cada conjunto de datos las coordenadas geográficas más cercanas a las coordenadas de la zona del estudio de caso utilizadas por cada modelo. Como resultado, se obtuvieron 136 conjuntos de datos de temperatura y 133 de precipitaciones. Los datos incluyeron los cambios en la media mensual y anual. Luego se calcularon los percentiles 10 y 90 de cada mes y de la media anual. El percentil 10 se consideró el escenario de bajo nivel de cambio climático (es decir, 1 posibilidad entre 10 de que la media sea más baja que este valor), y el percentil 90 se consideró el escenario de alto nivel de cambio climático (es decir, 1 posibilidad entre 10 de que la media sea más alta que este valor). Los cuadros 5 y 6 son los que se presentaron a los expertos en el cuaderno, y en ellos que se resumen los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático resultantes que se utilizaron en el estudio⁴⁰.

El escenario de gestión se resumió como el logro pleno de los aspectos específicos relacionados con los árboles y los suelos del plan de gestión de la cuenca durante el transcurso de 6 años (2013–18) y el mantenimiento de estos logros durante los 11 años subsiguientes (2019–29), de modo que en el año 2030 las actividades de reforestación descritas anteriormente hayan dado lugar al establecimiento de bosques jóvenes, y los beneficios resultantes de todas las actividades descritas anteriormente continúen manifestándose dentro y fuera de la cuenca. Además, el escenario incluyó el supuesto de que el crecimiento demográfico continúa a una tasa similar a la observada en los últimos años (tasa de crecimiento anual del 2,4 %) y de que un gran asentamiento residencial que se construyó en la cuenca baja, pero nunca se habitó, continúa vacío.

39 Véase Pacific Climate Impacts Consortium (s. f.).

40 La siguiente declaración también se incluyó junto con estos cuadros en el cuaderno: "Además, en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (2007b) se confirma que un aumento de la frecuencia y la intensidad de los fenómenos climáticos extremos acompañará a ambos escenarios".

Cuadro 5. Escenario de bajo nivel de cambio climático de la cuenca Guacerique (hasta 2030)

Variable climática	Valor	Impacto
Cambio en la temperatura media anual	+0,65 °C	La temperatura media anual llega a 23 °C.
Cambio en la precipitación media anual	-21,78 %	La precipitación media anual disminuye a 894 milímetros.

Cuadro 6. Escenario de alto nivel de cambio climático de la cuenca Guacerique (hasta 2030)

Variable climática	Valor	Impacto
Cambio en la temperatura media anual	+1,51 °C	La temperatura media anual llega a 23,9 °C.
Cambio en la precipitación media anual	+5,37 %	La precipitación media anual aumenta a 1200 milímetros.

A1.1.1 Identificación de los expertos

Los expertos se seleccionaron entre los miembros del personal del SANAA. Se utilizó el método de bola de nieve para ampliar el conjunto de expertos más allá del grupo identificado durante las etapas iniciales del proyecto de investigación. Los expertos fueron identificados como aquellas personas que participan directamente en el proceso de planificación de la cuenca, en la gestión de la infraestructura de abastecimiento de agua en la cuenca, o en la elaboración de los planes de inversiones en infraestructura conexos. Se identificó a un total de 10 expertos, quienes participaron en el taller. Entre ellos se incluyeron miembros de la unidad de gestión de las cuencas (6), de las unidades de infraestructura (3) y de la oficina central (1) de la institución. De los 10 expertos, 6 se concentraron en el desempeño de las variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable, y los otros 4 se concentraron en la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca.

A1.1.2 Emisión de las opiniones

A los expertos se les proporcionó un cuaderno con material de referencia y una sección de preguntas (se puede solicitar una versión electrónica de este cuaderno a los autores del estudio de caso). En la sección del material de referencia, se resumió la geografía, la economía y la demografía de la cuenca, dos posibles escenarios climáticos futuros para la cuenca y el escenario de gestión. Los participantes examinaron y analizaron conjuntamente el material en un taller. A los participantes se les entregó una de dos versiones del cuaderno. En una versión, las preguntas se centraron en el desempeño de un conjunto de variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable (véase el anexo 4), y en la otra versión, las preguntas se enfocaron en la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca (véase el anexo 5). Por lo tanto, los expertos recibieron solamente las preguntas relacionadas con su esfera de trabajo y sus conocimientos. Como se mencionó anteriormente, 6 de los 10 expertos se concentraron en el desempeño de las variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable, y los otros 4, en la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca. En ambos casos, se les pidió que estimaran el desempeño de estas variables en el año 2030 suponiendo la aplicación eficaz del plan de gestión de la cuenca descrito anteriormente, en primer lugar en el contexto de un escenario de bajo nivel de cambio climático y, en segundo lugar, en el contexto de un escenario de alto nivel de cambio climático.

Las respuestas se registraron en el cuaderno mencionado anteriormente. A los expertos que estimaron el desempeño de las variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable, se les pidió que proporcionaran las estimaciones máxima, mínima y mejor del nivel de desempeño de cada variable. La estimación de tres pasos se utilizó para controlar la confianza desmesurada en la estimación (McDaniels *et al.*, 2012). Los expertos que se concentraron en la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca proporcionaron respuestas con una sola estimación.

Las preguntas utilizadas para estimar el desempeño futuro de la infraestructura de abastecimiento de agua potable se elaboraron en respuesta a la investigación inicial realizada para dilucidar las principales esferas de interés de los expertos y los indicadores pertinentes para estas variables. La investigación inicial señaló que las principales inquietudes de los administradores de los recursos hídricos son la cantidad de agua potable disponible para los clientes y la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento. Asimismo, los expertos señalaron los niveles de turbiedad y oxígeno disuelto como indicadores clave de la calidad en la estación

húmeda y la estación seca, respectivamente. Por lo tanto, se solicitó a los expertos que estimaran el impacto del plan de gestión de la cuenca teniendo en cuenta cuatro variables: 1) las tasas de sedimentación del embalse, 2) los niveles de turbiedad del embalse, 3) los niveles de oxígeno disuelto del embalse durante la estación seca anual (de diciembre a mayo), y 4) la cantidad de agua que ingresa al embalse durante la estación seca anual. En el cuadro 7, se presentan las preguntas específicas que se formularon a los expertos para cada una de las variables.

Cuadro 7. Preguntas sobre el desempeño de las variables específicas relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable

H2.1	En el escenario de bajo nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en la acumulación de sedimentos en el embalse?	H3.1	En el escenario de alto nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en la acumulación de sedimentos en el embalse?
H2.3	En el escenario de bajo nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de turbiedad del embalse?	H3.3	En el escenario de alto nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de turbiedad del embalse?
H2.6	En el escenario de bajo nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de oxígeno disuelto en el embalse <i>durante el período seco anual?</i>	H3.6	En el escenario de alto nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de oxígeno disuelto en el embalse <i>durante el período seco anual?</i>
H2.9	En el escenario de bajo nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en el ingreso de agua al embalse <i>durante el período seco anual?</i>	H3.9	En el escenario de alto nivel de cambio climático , ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en el ingreso de agua al embalse <i>durante el período seco anual?</i>

En relación con la provisión de servicios ecosistémicos generales, a los expertos en cuencas se les pidió que evaluaran la importancia, el alcance (la distribución física) y la posibilidad de sustitución de 10 servicios ecosistémicos diferentes, y que describieran la distribución de los beneficios entre los beneficiarios. Este enfoque de provisión de servicios ecosistémicos se elaboró sobre la base de las publicaciones académicas pertinentes, incluidos Farber, Costanza y Wilson (2002), Metzger *et al.* (2006), y Nelson *et al.* (2009). En este caso, los expertos evaluaron la provisión en el contexto de cuatro escenarios que combinaron la finalización satisfactoria del plan de gestión de la cuenca frente a un escenario sin modificaciones con los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático. En el cuadro 8, se presentan las principales preguntas que se formularon a este conjunto de expertos. En el cuadro 9, se presentan los cuatro escenarios utilizados para la emisión de opiniones.

Cuadro 8. Preguntas formuladas en relación con la provisión de servicios ecosistémicos generales

H5.1	Califique, en una escala de 1 a 5, la posibilidad de sustitución de cada uno de los siguientes servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique en 2030. La posibilidad de sustitución se refiere al grado de facilidad con el que se puede brindar los servicios ecosistémicos a los beneficiarios directos a través de otros medios, incluso desde fuentes ubicadas en otras zonas.
H5.2	En su opinión, ¿quiénes son los más beneficiados de cada uno de los siguientes servicios ecosistémicos que brinda la cuenca Guacerique? En cada caso, ordene a los beneficiarios de los más beneficiados (1) a los menos beneficiados (5). (Se permiten empates).
H5.5	Califique, en una escala de 1 a 7, el alcance de cada uno de los siguientes servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique en 2030. El alcance se refiere a la superficie de la cuenca que brinda el servicio ecosistémico.
H5.6	Califique, en una escala de 1 a 7, la importancia de los siguientes servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique en 2030. La importancia se refiere a la contribución del servicio ecosistémico al bienestar en la cuenca.

Nota: Las preguntas H5.5 y H5.6 se repitieron en los cuatro escenarios diferentes considerados por este grupo de expertos.

Cuadro 9. Escenarios utilizados para la emisión de opiniones sobre la provisión de servicios ecosistémicos generales

Escenario A	Es el año 2030. En este escenario, NO se ha implementado la gestión de la cuenca. El cambio del uso de la tierra y el crecimiento demográfico correspondientes al período 2010-30 han sido similares a los cambios observados en el período 1990-2010. Los supuestos de BAJO nivel de cambio climático han resultado ser correctos.
Escenario B	Es el año 2030. En este escenario, la gestión de la cuenca se ha implementado plenamente como se describe en la sección G1 y ha frenado el cambio del uso de la tierra y la deforestación. El crecimiento demográfico correspondiente al período 2010-30 ha sido similar a los cambios observados en el período 1990-2010. Los supuestos de BAJO nivel de cambio climático han resultado ser correctos.
Escenario C	Es el año 2030. En este escenario, NO se ha implementado la gestión de la cuenca. El cambio del uso de la tierra y el crecimiento demográfico correspondientes al período 2010-30 han sido similares a los cambios observados en el período 1990-2010. Los supuestos de ALTO nivel de cambio climático han resultado ser correctos.
Escenario D	Es el año 2030. En este escenario, la gestión de la cuenca se ha implementado plenamente como se describe en la sección G1 y ha frenado el cambio del uso de la tierra y la deforestación. El crecimiento demográfico correspondiente al período 2010-30 ha sido similar a los cambios observados en el período 1990-2010. Los supuestos de ALTO nivel de cambio climático han resultado ser correctos.

A1.1.3 Análisis de datos

Para ambos conjuntos de preguntas, se promediaron las respuestas de los expertos correspondientes a cada variable, con lo que se obtuvo una estimación agregada del desempeño.

Durante el proceso de examen de los datos, se limpió el conjunto de datos. Las explicaciones escritas de las respuestas proporcionadas por los expertos en los cuadernos se utilizaron para comparar la lógica con las respuestas y garantizar la coherencia. Luego del proceso de examen, algunas respuestas se eliminaron del conjunto de datos. En el cuadro 10, se muestra la cantidad resultante de respuestas consideradas para cada pregunta.

Cuadro 10. Cantidad de encuestados para cada una de las preguntas del conjunto completo de datos

P.	Cantidad de respuestas	P.	Cantidad de respuestas	P.	Cantidad de respuestas
H2.1	5	H3.1	5		
H2.3	5	H3.3	5	H5.1	
H2.6	4	H3.6	4	a H5.12	4
H2.9	4	H3.9	5		

A1.1.4 Cálculos del valor

Las estimaciones de los cambios en el desempeño de las variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable en el contexto de los dos escenarios se aplicaron a los cálculos de los costos para estimar el beneficio económico que el plan de gestión de la cuenca genera para la empresa nacional de abastecimiento de agua. El valor de las mejoras de la provisión de agua (calidad y cantidad) se calculó utilizando uno de tres métodos. Con el primer método, el costo unitario de los productos químicos específicos empleados en el tratamiento se utilizó para valorar los cambios en la calidad del agua logrados a través del plan de gestión de la cuenca. Con el segundo método, el valor de la capacidad de almacenamiento de agua del embalse se equiparó con el costo unitario del proyecto propuesto del embalse Guacerique II. Se consideró que este proyecto ofrecía una medida adecuada del valor, ya que también procura lograr objetivos similares a los mencionados en este párrafo, incluidos el aumento del suministro de agua y la mejora de la calidad del agua. Asimismo, dada la antigüedad del embalse Los Laureles, el proyecto Guacerique II es una estimación adecuada del valor actual de la capacidad de almacenamiento⁴¹. Con el tercer método, se valuó la disponibilidad de agua utilizando

41 En el anexo 8 se incluyen los detalles sobre el cálculo del valor de la capacidad de almacenamiento.

una medida aproximada de la predisposición de los consumidores a pagar, representada por el precio por volumen que pagan actualmente los habitantes de los vecindarios marginales de Tegucigalpa que compran agua de camiones cisterna pertenecientes al municipio o a distribuidores privados⁴². Es importante reconocer que, dada la capacidad limitada de los consumidores de los vecindarios marginales de Tegucigalpa para pagar los servicios, entre otras cosas, este valor puede considerarse el límite inferior del valor marginal.

El cálculo inicial proporcionó una estimación del valor anual de los beneficios totales previstos para el año 2030, momento en el que se obtienen los máximos beneficios del plan de gestión de la cuenca. Sin embargo, dado que algunos beneficios se obtendrán inmediatamente después de la finalización del plan de gestión (es decir, el impacto positivo en la erosión de las medidas relativas a la erosión del suelo aplicadas a los campos de cultivo), se supuso el 60 % de estos beneficios se obtendrán ya en 2019 y que se incrementarán de forma lineal durante los 11 años siguientes hasta llegar al 100 % en 2030⁴³. Dado que no existe una regla práctica para estimar los beneficios incrementales a lo largo del tiempo, se considera que estos supuestos son válidos.

Con respecto a los costos, aquellos previstos para el plan de gestión de la cuenca se ajustaron a los dólares y las transferencias (es decir, impuestos) de 2012, y otros elementos de costo de oportunidad cero (incluida la mano de obra local) se eliminaron del cálculo. El resultado fue un costo expresado en dólares de 2012 para cada uno de los seis años durante los cuales se ejecutará el plan de gestión de la cuenca (2013-18)⁴⁴.

A continuación, se calculó el VNA de los beneficios netos (beneficios menos costos) que se obtendrán durante el período 2013-35 utilizando tres tasas de descuento diferentes para Honduras, con lo que se obtuvo una estimación general del valor de los beneficios en el año 2012, expresado en dólares de dicho año. El plazo elegido representa la provisión de beneficios durante un período de 20 años, uno de los parámetros del estudio.

Como se mencionó anteriormente, no se asignó un valor en dólares a los servicios ecosistémicos adicionales que, según identificaron los expertos, se obtendrán en la cuenca en virtud del plan de gestión.

Pruebas de sensibilidad

Se realizaron pruebas de sensibilidad para comprobar la influencia de diversos supuestos y estimaciones en los resultados generales. Se comprobaron los siguientes aspectos del cálculo:

1. *Estimación de la futura disponibilidad de agua en el contexto del cambio climático.* Se considera que esta es la prueba de sensibilidad más importante que se ha de realizar, ya que casi el 100 % de los beneficios provienen de esta variable. El valor se comprobó utilizando los límites superior e inferior de las estimaciones de los expertos para medir la influencia de este supuesto en el cálculo de los beneficios generales.
2. *Supuesto de que el 60 % de los beneficios se obtienen en 2019.* Se considera que esta es la segunda prueba de sensibilidad más importante que se ha de realizar, ya que el VNA general se ve afectado cuando se producen beneficios. El supuesto se comprobó realizando el cálculo de los beneficios y suponiendo una provisión de beneficios del 30 % y del 90 % en 2019.
3. *Estimación de que el 30 % de los sedimentos existentes en el embalse se pueden atribuir al huracán Mitch.* El cálculo de las tasas actuales de sedimentación, en el que se evitó la sedimentación futura, se basó en este promedio de estimaciones que brindaron los expertos. Se comprobaron los límites superior e inferior de las estimaciones (20 % y 40 %) para medir la influencia de este supuesto en el cálculo de los beneficios generales.

En el anexo 1.4, se presentan los resultados de las pruebas de sensibilidad.

42 En el anexo 9 se incluyen los detalles sobre el cálculo de la predisposición a pagar.

43 Se utilizó una tasa compuesta de crecimiento para calcular el valor de los beneficios para cada año entre 2019 y 2030. La tasa compuesta de

crecimiento se calculó según la fórmula estándar: $\left(\frac{V_{2030}}{V_{2019}}\right)^{\frac{1}{20-n}}$, donde V_{2030} = beneficios en 2030, V_{2019} = valor en 2019.

44 Véase el anexo 1.3 para obtener más detalles sobre los costos de la ejecución del plan.

A1.2. Descripción detallada de los resultados de la obtención de las opiniones de los expertos

A1.2.1. Opinión de los expertos sobre el desempeño futuro de cuatro variables relativas a la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca

EN EL ESCENARIO DE BAJO NIVEL DE CAMBIO CLIMÁTICO

En cuanto a las **tasas de sedimentación del embalse**, en el escenario de bajo nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos es -1,80, lo que indica una disminución del 18 % de la sedimentación como resultado de la ejecución del plan de gestión de la cuenca⁴⁵. En el gráfico 11, se muestra la uniformidad relativa entre las respuestas, que se concentran en una disminución de la sedimentación del 20 % (cuatro respuestas), además de una respuesta que indica una disminución del 10 % de la sedimentación. Cuatro de cinco expertos proporcionaron un rango de posibles cambios de apenas el 10 % en cada lado de su valor central. Un experto tuvo un rango total levemente más grande, del 30 %, que abarcó desde la ausencia de cambios hasta un aumento del 30 %. El valor promedio del límite inferior de cambio es -2,80, o una disminución del 28 % de la sedimentación, y el valor promedio del límite superior de cambio es -0,60 o una disminución del 6 % de las tasas de sedimentación. Cuatro de cinco expertos manifestaron una certeza del 70 % al 75 %. Un experto manifestó una certeza del 50 %. Un comentario que realizó un participante indica que, al menos según una opinión, el factor definitivo de la reducción de los sedimentos serán los cambios del uso de la tierra que se logren en virtud del plan de gestión de la cuenca. En otro comentario, se destacó el papel que desempeñan las decisiones individuales en los resultados relativos al uso de la tierra, y la necesidad de trabajar en estrecha colaboración con los habitantes locales para cumplir los objetivos de uso de la tierra.

En cuanto a los **niveles de turbiedad del embalse**, en el escenario de bajo nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre los futuros niveles de turbiedad fue -2,4, es decir, una reducción del 24 % de la turbiedad. En el gráfico 12, se muestra que los encuestados están de acuerdo en que habrá una disminución de la turbiedad en el contexto de este escenario, y que las respuestas se concentran relativamente en una disminución del 30 % de la turbiedad del embalse, mientras que otras dos respuestas corresponden al -10 % y -20 %, respectivamente. Nuevamente, se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central, en la mayoría de los casos, era de apenas el 20 % (cuatro casos) y del 40 % en otro caso. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es -3,6, o una disminución del 36 % de la turbiedad, y el valor promedio del límite superior de cambio en este escenario es -1,2, o una reducción del 12 % de los niveles de turbiedad. La certeza de las respuestas osciló entre el 60 % (una respuesta) y el 80 % (tres respuestas), y un encuestado manifestó una certeza del 70 %. Los comentarios de los expertos con relación a sus respuestas señalan dos factores que afectan la turbiedad del embalse: la disminución de la erosión aguas arriba debida al cambio del uso de la tierra combinada con la reducción de las precipitaciones.

En cuanto a los **niveles de oxígeno disuelto del embalse durante la estación seca anual**, en el escenario de bajo nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre este indicador es 0,7, o un aumento del 7 % de los niveles de oxígeno disuelto del embalse durante los meses secos. En el gráfico 13, se muestra que la respuesta a esta pregunta puede interpretarse como bimodal. Un experto estimó que no se producirían cambios y otro, una disminución del 10 % de los niveles de oxígeno disuelto, mientras que los otros dos expertos estimaron un aumento del 20 % en este escenario. Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era de apenas el 15 % en un caso, del 20 % en dos casos, y del 30 % en un cuarto caso. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es -0,5, o una disminución del 5 % de los niveles de oxígeno disuelto, y el valor promedio del límite superior de cambio en este escenario es 1,88, o un aumento del 18,8 % de los niveles de oxígeno disuelto. La certeza de las respuestas osciló entre el 40 % (un encuestado) y el 70 % al 75 % (tres encuestados). Los comentarios de los expertos acerca de sus respuestas indican que consideran que el depósito de sedimentos en el embalse es el factor determinante de los niveles de oxígeno, pero que la provisión de agua también es importante y, por lo tanto, la reducción de las precipitaciones en este escenario podría contrarrestar los beneficios obtenidos a través de los niveles de oxígeno disuelto derivados de la retención de sedimentos aguas arriba.

45 Como se describe en la sección 3.6, el 100 % de los beneficios se concretan en el año 2030.

En cuanto al **ingreso de agua al embalse durante la estación seca anual**, en el escenario de bajo nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre este indicador es 1,13, o un aumento del 11,3 % del ingreso de agua al embalse durante la estación seca. En el gráfico 14, se muestra que las respuestas tienden hacia una estimación de un aumento del 10 % al 25 % del ingreso de agua al embalse en este escenario, con una respuesta atípica de una disminución del 10 % y, por ende, también un tanto bimodal. Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era del 20 % en un caso, del 30 % en dos casos y del 40 % en un cuarto caso. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es -0,5, o una disminución del 5 % del ingreso de agua, y el valor promedio del límite superior de cambio es 2,25, o un aumento del 22,5 %. Los expertos manifestaron una certeza de las respuestas del 70 % (dos encuestados) y del 80 % (tres encuestados). Los comentarios de los expertos sobre sus respuestas indican que están divididos entre aquellos que consideran que el factor determinante será el aumento del caudal base derivado de la mayor infiltración y aquellos que creen que las precipitaciones totales serán el factor determinante de la disponibilidad de agua.

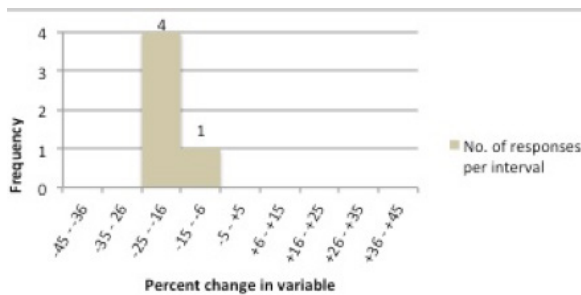
En resumen, según las opiniones de los expertos acerca del desempeño futuro de las cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca en el escenario de bajo nivel de cambio climático, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La sedimentación del embalse se reducirá en un 18,0 %.
- Los niveles de oxígeno disuelto durante el período seco anual aumentarán en un 7 %.
- La turbiedad del embalse se reducirá en un 24,0 %.
- El ingreso de agua al embalse durante el período seco anual aumentará en un 11,3 %.

EN EL ESCENARIO DE ALTO NIVEL DE CAMBIO CLIMÁTICO

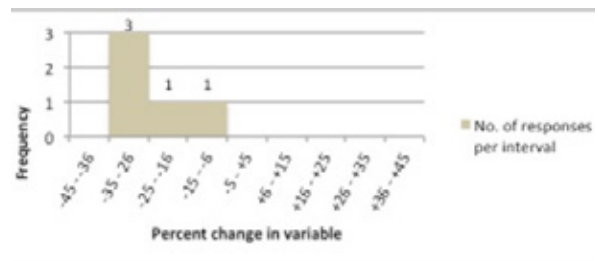
En cuanto a las **tasas de sedimentación del embalse**, en el escenario de alto nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre esta variable es 1,3, o un aumento del 13,0 % de las tasas de sedimentación del embalse. En el gráfico 15, se muestra que la mayoría de los encuestados están de acuerdo en que habrá un aumento de la sedimentación en el embalse en el contexto de este escenario, pero existe disenso acerca de la escala, y las mejores estimaciones sobre esta variable en este escenario oscilan entre la ausencia de cambios (un encuestado) y un aumento del 20 % de las tasas de sedimentación (dos encuestados). Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era de apenas el 10 % en dos casos, del 15 % en otro caso y del 20 % en los dos casos restantes. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es un aumento del 5 % de las tasas de sedimentación, y el valor promedio del límite superior de cambio es un aumento del 20 % de las tasas de sedimentación. Los expertos manifestaron una certeza del 70 % en cuatro casos y del 50 % en un caso. Los comentarios de los expertos indican que el aumento de las precipitaciones es la principal variable en que se basaron sus respuestas.

Gráfico 11. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.1



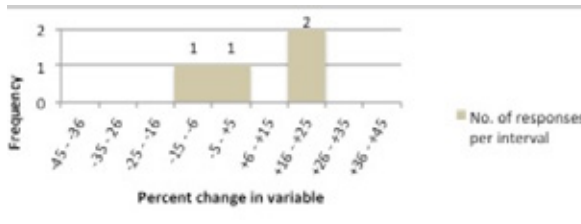
En el escenario de bajo nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en la acumulación de sedimentos en el embalse?

Gráfico 12. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.3



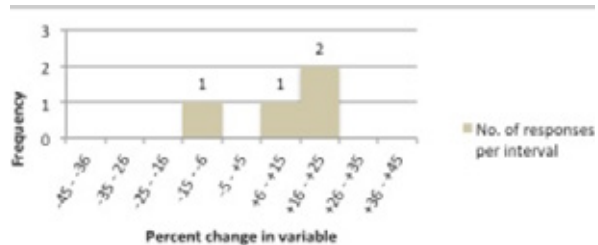
En el escenario de bajo nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de turbiedad del embalse?

Gráfico 13. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.6



En el escenario de bajo nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de oxígeno disuelto del embalse durante el período seco anual?

Gráfico 14. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H2.9



En el escenario de bajo nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en el ingreso de agua al embalse durante el período seco anual?

En cuanto a los **niveles de turbiedad del embalse**, en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre este indicador es 0,98, o un aumento del 9,8 % de la turbiedad en este escenario. En el gráfico 16, se muestra que todos los encuestados están de acuerdo en que habrá un aumento de la sedimentación en el embalse en este escenario, pero nuevamente existe disenso acerca de la escala. Las mejores estimaciones de los expertos oscilan entre un aumento del 5 % (una respuesta) y un aumento del 20 % (una respuesta). Otros encuestados mencionaron aumentos del 9 % y el 10 %. Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era de apenas el 10 % en dos casos, del 15 % en otro caso y del 20 % en los dos casos restantes. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es 0,2, o un aumento del 2 % de la turbiedad, y el valor promedio del límite superior de cambio es 1,7 o un aumento del 17 % de la turbiedad. La certeza de las respuestas osciló entre el 60 % (un encuestado) y el 80 % (un encuestado), mientras que tres encuestados mencionaron una certeza del 70 % al 75 %.

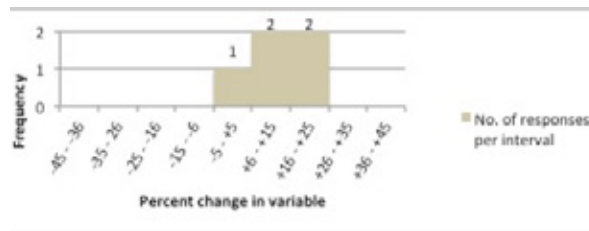
Los comentarios de los expertos acerca de sus respuestas indican que un aumento de las precipitaciones es el factor determinante de los niveles de turbiedad, a pesar de las iniciativas de retención del suelo implementadas aguas arriba.

En cuanto a los **niveles de oxígeno disuelto del embalse durante la estación seca anual**, en el escenario de alto nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre este indicador es 2,38, o un aumento del 23,8 % de los niveles de oxígeno disuelto. En el gráfico 16, se muestra que las respuestas de los expertos se concentraron en un aumento del 20 % al 25 % de la variable (tres respuestas), con una estimación adicional de un 30 % (una respuesta). Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era de apenas el 15 % en un caso y del 20 % en los otros tres casos. El valor promedio del límite

inferior de cambio en este escenario es 1,38, o un aumento del 13,8 %, y el valor promedio del límite superior de cambio es 3,25, o un aumento del 32,5 %. La certeza de las respuestas osciló entre el 60 % (un encuestado) y el 80 % al 85 % (tres encuestados). Los comentarios de los expertos acerca de sus respuestas indican que este resultado sería la consecuencia del efecto combinado del aumento del ingreso de agua derivado del incremento de las precipitaciones y la reducción de las cargas de sedimentos generada por la retención de sedimentos aguas arriba.

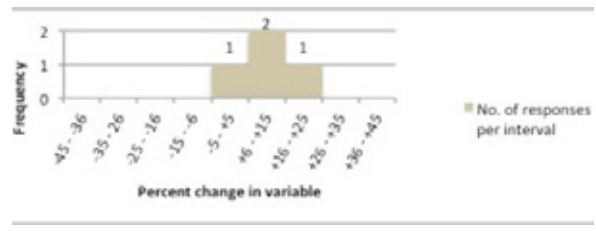
En cuanto al **ingreso de agua al embalse durante la estación seca anual**, en el escenario de alto nivel de cambio climático, el promedio de las mejores estimaciones de los expertos sobre este indicador es 2,9, o un aumento del 29 % del ingreso de agua al embalse durante la estación seca. En el gráfico 18, se muestra que las respuestas tienden a concentrarse en un aumento considerable del ingreso de agua en este escenario. Las mejores estimaciones de los expertos oscilan entre un aumento del 10 % (un encuestado) y un aumento del 40 % (un encuestado). Tres encuestados proporcionaron estimaciones en un rango del 30 % al 35 %. Se estimó que el rango de posibles cambios en torno al valor central era de apenas el 15 % en un caso, del 20 % en dos casos, del 30 % en otro caso y del 40 % en el caso restante. El valor promedio del límite inferior de cambio en este escenario es 1,60, o un aumento del 16,0 %, y el valor promedio del límite superior de cambio es 4,40, o un aumento del 44 %. La certeza de las respuestas osciló entre el 60 % (un encuestado) y el 80 % al 85 % (tres encuestados). Un experto manifestó una certeza del 70 %. Los comentarios de los expertos acerca de sus respuestas indican que el aumento de la infiltración es el principal factor determinante del caudal base. Un experto manifestó claramente que esto aumentaría el caudal base a pesar del incremento de la evapotranspiración a temperaturas más elevadas. Otro experto destacó la influencia negativa de las extracciones de agua antropogénicas realizadas aguas arriba de la represa en las tasas de ingreso de agua.

Gráfico 15. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H3.1



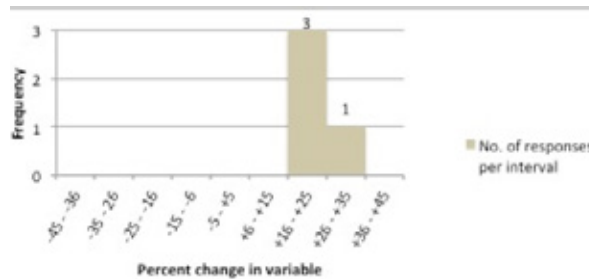
En el escenario de alto nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en la acumulación de sedimentos en el embalse?

Gráfico 16. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H3.3



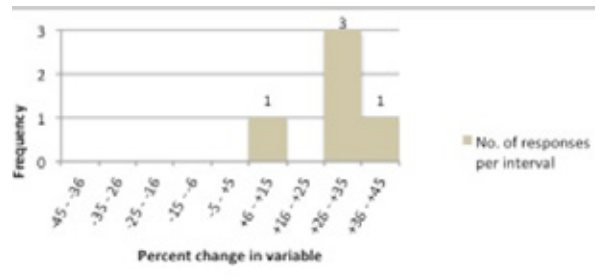
En el escenario de alto nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de turbiedad del embalse?

Gráfico 17. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H3.6



En el escenario de alto nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en los niveles de oxígeno disuelto del embalse durante el período seco anual?

Gráfico 18. Frecuencia de las respuestas a la pregunta H3.9



En el escenario de alto nivel de cambio climático, ¿qué efecto tendrá el plan de gestión de la cuenca en el ingreso de agua al embalse durante el período seco anual?

En resumen, según las opiniones de los expertos acerca del desempeño futuro de las cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión de la cuenca en el escenario de alto nivel de cambio climático, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La sedimentación del embalse aumentará en un 13,0 %.
- Los niveles de oxígeno disuelto durante el período seco anual aumentarán en un 23,8 %.
- La turbiedad del embalse aumentará en un 9,8 %.
- El ingreso de agua al embalse durante el período seco anual aumentará en un 29,0 %.

A1.2.2. Opiniones de los expertos sobre el desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca

Como se indica en la sección sobre métodos, la segunda versión del cuaderno estaba centrada en la provisión de servicios ecosistémicos, y esta tarea de emisión de opiniones se asignó a cuatro expertos. Los cuatro escenarios que se utilizan en este caso se describen en el anexo 3 de este informe.

Los servicios ecosistémicos que se consideran en esta sección son los siguientes: agua dulce, fibra, combustible, regulación de la erosión, regulación de plagas, polinización, regulación de riesgos naturales, formación del suelo, circulación de nutrientes, y recreación y ecoturismo. Estos servicios ecosistémicos se identificaron como los más importantes de los servicios mencionados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Cabe mencionar que, en este contexto, la fuente de fibra y combustible es la madera, ya que los productos madereros son los más utilizados para la extracción de fibra, y la mayoría de los hogares utilizan leña para cocinar.

Los resultados se analizarán en cuatro categorías: posibilidad de sustitución, distribución de beneficios y alcance e importancia de la provisión de los servicios en el contexto de los cuatro escenarios.

EVALUACIÓN DE LA POSIBILIDAD DE SUSTITUCIÓN

Se solicitó a los encuestados que calificaran, en una escala de 1 a 5, la posibilidad de sustitución de cada uno de los servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique en 2030. *Posibilidad de sustitución* se refiere al grado de facilidad con el que se puede brindar los servicios ecosistémicos a los beneficiarios a través de otros medios. En el cuadro 11, se resumen las respuestas a esta pregunta.

Los encuestados consideran que el **agua dulce** y la **formación del suelo** no son sustituibles (valor de 1,00). La polinización y la regulación de los riesgos naturales reciben valores similares (valor de 2,00).

La **fibra**, el **combustible**, la **circulación de nutrientes**, la **regulación de la erosión**, la **regulación de plagas** y la **recreación** se consideran parcialmente sustituibles (valores de 2,50 a 3,50).

Ningún servicio ecosistémico se consideró completamente sustituible (se estima que el servicio más sustituible entre aquellos considerados es la regulación de plagas, que recibió un valor de 3,50⁴⁶).

46 La sustitución de este servicio ecosistémico con productos agroquímicos es común en Honduras, a pesar de los costos ocultos del uso de estos productos para la salud de las personas, por ejemplo.

Cuadro 11. Respuestas a la pregunta H5.1, promediadas entre los cuatro encuestados

Servicio ecosistémico	Valor	Servicio ecosistémico	Valor
Agua dulce	1,00	Regulación de la erosión	2,75
Fibra	2,50	Regulación de plagas	3,50
Combustible	2,75	Polinización	2,00
Formación del suelo	1,5	Regulación de los riesgos naturales	2,00
Circulación de nutrientes	2,67	Recreación y ecoturismo	3,25

Nota 1: La posibilidad de sustitución se evaluó en una escala de 1 a 5, donde 1 = insustituible, 3 = sustituible en cierta medida, y 5 = completamente sustituible.

Nota 2: Los colores denotan el tipo de servicio ecosistémico: de aprovisionamiento, de regulación, de apoyo y cultural.

Es importante destacar que la posibilidad de sustitución depende del contexto (véase el análisis relacionado en Farber, Costanza y Wilson, 2002). Al respecto, las fuentes locales de **fibra** y **combustible** (es decir, la madera en ambos casos) son fundamentales para los medios de subsistencia de los lugareños y, por ende, relativamente insustituibles. En este sentido, si bien las cocinas a gas son una alternativa a la leña, los obstáculos económicos o relacionados con el transporte (por ejemplo) limitan la medida en que la leña se puede sustituir por el gas. La posibilidad de sustitución parcial de la **circulación de nutrientes** probablemente se deba a la sustitución por fertilizantes. Cabe suponer que el sustituto de la **regulación de la erosión** es una serie de medidas de prevención de la erosión, que incluyen desde prácticas de cultivo hasta soluciones de ingeniería civil, pero este servicio solo puede sustituirse parcialmente debido al costo y la menor eficacia general de las alternativas. El sustituto de la **regulación de plagas** pueden ser los plaguicidas químicos, aunque este servicio solo se puede sustituir parcialmente debido al costo y a las compensaciones de ventajas y desventajas ambientales conexas. Se puede interpretar que la posibilidad de sustitución de la **recreación** se refiere a que los habitantes de la cuenca disponen de medios limitados para acceder y participar en actividades de recreación al aire libre en sitios alejados de sus casas (es decir, fuera de la cuenca).

EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS

En una segunda instancia, se solicitó a los encuestados que calificaran quién se beneficia más de cada uno de los servicios ecosistémicos, y se asignó un valor de 1 al principal grupo de beneficiarios. Los beneficiarios se agrupan en cinco categorías diferentes: los habitantes de la cuenca baja, media y alta (tres categorías), los administradores de los recursos hídricos situados aguas abajo, y otros usuarios situados aguas abajo que consumen recursos de la cuenca⁴⁷. En el cuadro 12, se incluyen las respuestas a esta pregunta.

Los habitantes de la cuenca (de las regiones alta, media y baja) y los administradores de los recursos hídricos se benefician por igual de la provisión de **agua dulce** (valor de 1,00). En los dos casos, se consideró que otros usuarios que se encuentran aguas abajo se benefician un poco menos del agua dulce (valor de 3,00). Si bien el agua proveniente de esta cuenca se envía directamente al sistema de distribución de agua de la capital, este resultado podría deberse al hecho de que los usuarios ubicados aguas abajo tienen otras fuentes de agua. Los habitantes de la cuenca media y alta (es decir, aquellos que viven más cerca de la tierra) son los más beneficiados de la provisión de **fibra** (valor de 1,00 y 1,25). Tal como podría esperarse, los administradores de los recursos hídricos son los menos beneficiados, y otros usuarios ubicados aguas abajo no se benefician en gran medida (valor de 5,00 y 4,50, respectivamente). Esto indica que la tala ilegal con fines comerciales no es una causa de gran preocupación en esta cuenca, lo que se ha confirmado en las conversaciones previas con los expertos en la cuenca.

Los habitantes de la cuenca media y alta son los más beneficiados de la provisión de **combustible** (valor de 1,25 y 1,50). Se considera que los habitantes de la cuenca baja también se benefician (valor de 2,25). El beneficio diferenciado entre los sectores de la cuenca puede atribuirse a las diferencias socioeconómicas (los campesinos aguas arriba y la élite rica aguas abajo). Los escasos beneficios atribuidos a los otros usuarios ubicados aguas abajo que consumen recursos de la cuenca (valor de 4,75) no parecen reflejar el hecho de que los expertos han afirmado que, durante la noche, periódicamente salen de la cuenca camiones cargados con leña extraída ilegalmente para venderla en la capital.

47 Los expertos indicaron que la categoría "otros usuarios" incluía a los habitantes de la capital, los habitantes de otras ciudades ubicadas aguas abajo en la provincia de Choluteca y otros municipios y provincias (es decir, Choluteca, Valle y Nacaome).

Se considera que los administradores de los recursos hídricos y los habitantes de la cuenca baja son los más beneficiados de la **regulación de la erosión** (valor de 1,00 y 1,25, respectivamente). Es interesante destacar que, según se observa, los habitantes de la cuenca media y otros usuarios ubicados aguas abajo se benefician por igual de la regulación de la erosión (valor de 2,75), mientras que los habitantes de la zona alta son los menos beneficiados (valor de 3,75). Estos resultados indican que existe la percepción de que los usuarios ubicados aguas abajo son los más beneficiados de la regulación de la erosión, y especialmente las personas de la cuenca baja que son receptoras de sedimentos no deseados, mientras que el beneficio del mantenimiento de los suelos aguas arriba (es decir, la provisión *in situ* de los beneficios de la regulación de la erosión) no es motivo de preocupación en este contexto.

Cuadro 12. Respuestas a la pregunta H5.2, promediadas entre los cuatro encuestados

Servicio ecosistémico	Habitantes de la cuenca (véase la nota a continuación)			Administradores de recursos hídricos aguas abajo (SANAA)	Otros usuarios ubicados aguas abajo que consumen los recursos de la cuenca
	Habitantes de la cuenca baja	Habitantes de la cuenca media	Habitantes de la cuenca alta		
Agua dulce	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00
Fibra	3,00	1,25	1,00	5,00	4,50
Combustible	2,25	1,25	1,50	4,75	4,75
Regulación de la erosión	1,25	2,75	3,75	1,00	2,75
Regulación de plagas	3,50	1,75	1,25	1,50	4,00
Polinización	4,25	2,00	1,00	2,75	4,00
Regulación de los riesgos naturales	1,25	2,75	2,25	1,00	3,00
Formación del suelo	2,75	1,00	1,00	2,50	4,00
Circulación de nutrientes	2,75	1,00	1,00	3,00	4,00
Recreación y ecoturismo	3,50	2,25	1,00	4,75	3,00

Nota: 1 = más beneficiados, 5 = menos beneficiados.

Se considera que los habitantes de la cuenca media y alta y los administradores de los recursos hídricos son los más beneficiados de la provisión de la **regulación de plagas** (valores entre 1,25 y 1,75). La importancia de la regulación de plagas para los intereses de la silvicultura comercial (aunque quizás ilegal) no parece reflejarse en las respuestas (a los otros usuarios se les ha asignado un valor de 4,00), lo que nuevamente denota que la tala ilegal con fines comerciales no es motivo de gran preocupación en esta cuenca. Los administradores de los recursos hídricos pueden beneficiarse de este servicio ecosistémico, ya que la regulación de plagas controla los escarabajos de los pinos, lo que mantiene saludables a los bosques aguas arriba y mejora la retención del suelo.

Se considera que los habitantes de la cuenca alta son los más beneficiados de la **polinización** (valor de 1,00). Los habitantes de la cuenca media ocupan el segundo lugar (valor de 2,00), a pesar de que la agricultura es el principal medio de subsistencia en ambos grupos. Los administradores de los recursos hídricos pueden beneficiarse de la polinización, debido a que esta contribuye a asegurar la cubierta vegetal (valor de 2,75).

Se considera que los administradores de los recursos hídricos y los habitantes de la cuenca baja son los más beneficiados de la **regulación de riesgos naturales** (valores de 1,00 y 1,25, respectivamente). Por una parte, esta respuesta quizá refleje un sesgo en la percepción: todos los encuestados son administradores de recursos hídricos, y sus respuestas quizá demuestren una sensibilidad acentuada con respecto a la infraestructura de abastecimiento de agua potable de la cual son custodios. La calificación intermedia de los beneficios asignada a los habitantes de la cuenca media y alta (valores de 2,25 y 2,75) parece ser contraria a la preocupación documentada acerca de los desprendimientos de tierra en todas las áreas de la cuenca (TroFCCA, 2008, pág. 34). (Es posible que los encuestados, al responder esta pregunta, hayan confundido la regulación de riesgos naturales generales con una mitigación de los efectos derivados de fenómenos climáticos extremos).

Se considera que los habitantes de la cuenca media y alta son los más beneficiados de la **formación del suelo** (valor de 1,00). Se considera que los administradores de los recursos hídricos ocupan el siguiente lugar entre los beneficiarios (valor de 2,50).

Se considera que los habitantes de la cuenca media y alta son los más beneficiados de la **circulación de nutrientes** (valor de 1,00).

En relación con la **recreación** y el **ecoturismo**, al ordenar a los beneficiarios, dos encuestados comenzaron el sistema de numeración en el 2 y uno en el 3 (cabe destacar que estas respuestas se modificaron cuando se limpiaron los datos). Esto quizá indique que ninguno de los grupos de beneficiarios identificados utilizan la cuenca, en gran medida, con fines recreativos o perciben la provisión de este posible servicio. Sin embargo, se considera que los habitantes de la cuenca son los más beneficiados de la provisión de este servicio (valor de 1,00), seguidos de los habitantes de la cuenca media (valor de 2,25) y, luego, los otros usuarios ubicados aguas abajo (valor de 3,00). Una interpretación de estos resultados es que los principales beneficiarios de las oportunidades de recreación al aire libre que ofrece la cuenca son aquellos que viven más cerca de la reserva; los habitantes de la capital que visitan ocasionalmente la reserva también se ven beneficiados. Como cabría esperar, no se considera que los administradores de los recursos hídricos se beneficien de este servicio (valor de 4,75).

En una pregunta de seguimiento, también se solicitó a los encuestados que mencionaran quiénes se verían perjudicados en virtud del plan de gestión de la cuenca. Los expertos mencionaron a los agricultores de la cuenca media y alta, a quienes se les podría prohibir la realización de algunas actividades agrícolas y, en general, a los habitantes de la cuenca cuyos planes de desarrollo económico son contraproducentes para la protección y la conservación de la cuenca y, por ende, están prohibidos por el plan de gestión (por ejemplo, los terratenientes de la cuenca baja que desean desarrollar proyectos residenciales o, nuevamente, los agricultores de la cuenca media y alta que esperan expandir la superficie cultivable o procuran obtener beneficios comerciales a partir de los bosques).

Evaluación del alcance de la provisión de servicios ecosistémicos en el contexto de los cuatro escenarios

En esta pregunta, se solicitó a los encuestados que calificaran, en una escala de 1 a 7, el alcance de cada uno de los servicios ecosistémicos de la cuenca en 2030 en cuatro escenarios distintos. *Alcance* se refiere a la superficie de la cuenca que brinda el servicio ecosistémico (como referencia, los cuatro escenarios se describen en el cuadro 9 del anexo 3). En el cuadro 13, se incluyen las respuestas a esta pregunta.

En general, se prevé que el plan de gestión de la cuenca aumente la superficie de la cuenca que brinda todos los servicios ecosistémicos antes mencionados, independientemente de los resultados en el ámbito del clima (los escenarios B y D tienen mejores resultados que los escenarios A y C, respectivamente). Cabe destacar que la provisión adicional de un servicio no supone necesariamente que los beneficiarios tengan un mayor acceso a dicho servicio. Por ejemplo, habrá más madera (fibra) disponible gracias a las actividades de reforestación, pero el acceso al recurso será restringido.

Sin embargo, la medida en la que un servicio en particular está presente en la cuenca se ve afectada por el clima (diferencias entre los escenarios B y D). Por lo tanto, se considera que los mejores resultados con relación a la provisión de **agua dulce y fibra** y la **formación del suelo** se obtienen con la ejecución plena del plan de gestión de la cuenca y en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático.

Por el contrario, se considera que los mejores resultados con relación a la **regulación de la erosión**, las **plagas** y los **riesgos naturales**, la **polinización** y la **recreación** se obtienen con la ejecución plena del plan de gestión de la cuenca y en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático.

Es lógico que los resultados en materia de **regulación de la erosión** y **riesgos naturales** sean menores en el escenario de alto cambio climático, en comparación con el escenario de bajo cambio climático, debido al impacto previsto del aumento de las precipitaciones en estos servicios.

Las razones de los menores resultados en el escenario de alto nivel de cambio climático en lo que respecta a algunos de los otros servicios (regulación de plagas, polinización y recreación) no son tan claras. Por ejemplo, es posible que un aumento de 1,5 °C de la temperatura se considere suficiente para influir negativamente en la ecología que sustenta los servicios de polinización y regulación de plagas. Sin embargo, la importante disminución de las precipitaciones que se contempla en el escenario de bajo nivel de cambio climático (alrededor del 20 %) también podría alterar estos sistemas⁴⁸.

Por último, se considera que los escenarios de cambio climático no tienen efecto alguno en los resultados relativos a la **circulación de los nutrientes**.

48 Es posible que la comprensión intuitiva de los encuestados de cada escenario se haya visto influida por el título, es decir, que "alto", por ejemplo, se haya asociado con "más extremo" y, por lo tanto, se haya supuesto que los resultados serían "peores" en este escenario, y que las respuestas se hayan formulado como consecuencia de este criterio intuitivo, y no en función de las características específicas de cada escenario.

Cuadro 13. Evaluación del alcance de la provisión de servicios ecosistémicos en los cuatro escenarios

Servicio ecosistémico	Escenario			
	A	B	C	D
Agua dulce	4,75	6,25	4	6,5
Fibra	3,75	4	3,5	4,25
Combustible	4,75	3,25	3,75	4,25
Formación del suelo	4	4,75	3,25	5,25
Circulación de nutrientes	3,25	5	3	5
Regulación de la erosión	2,5	5,5	2,25	3
Regulación de plagas	3,5	5,25	2,25	3,25
Polinización	4	6,25	2,75	4
Regulación de los riesgos naturales	2,75	5,5	2,5	3,75
Recreación y ecoturismo	2,25	5,75	1,75	4,5

Nota: El alcance se evaluó en una escala del 1 al 7, en la que 1 = no está presente en la cuenca; 4 = presente en la mitad de la superficie de la cuenca, y 7 = presente en toda la superficie de la cuenca.

EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA EN LOS CUATRO ESCENARIOS

En esta pregunta, se solicitó a los encuestados que calificaran, en una escala del 1 al 7, la importancia de cada uno de los servicios ecosistémicos de la cuenca Guacerique en 2030 en el contexto de los mismos cuatro escenarios. *Importancia* se refiere a la contribución del servicio ecosistémico al bienestar en la cuenca. En el cuadro 14, se incluyen las respuestas a esta pregunta.

En general, estos resultados indican que se considera que la importancia del servicio ecosistémico para el bienestar en la cuenca es independiente de los escenarios y, por lo tanto, se los califica de forma similar en todos los escenarios.

Si se supone que la importancia es igual en todos los escenarios, y se promedian las respuestas sobre cada servicio ecosistémico de los cuatro escenarios y luego se las ordena de forma descendente, la importancia de estos servicios ecosistémicos es la siguiente (de más a menos importante): agua dulce, circulación de nutrientes, formación del suelo, polinización, regulación de plagas y de riesgos naturales (empate), regulación de la erosión, combustible, fibra y recreación.

Cuadro 14. Evaluación de la importancia de la provisión de servicios ecosistémicos en los cuatro escenarios

Servicio ecosistémico	Escenario			
	A	B	C	D
Agua dulce	7	7	7	6,75
Fibra	4,25	4,75	5	4,75
Combustible	5	4,5	4,75	4,75
Formación del suelo	5,75	5,25	5,25	5,25
Circulación de nutrientes	5,75	5,5	5,5	5,5
Regulación de la erosión	5	5	4,75	4,75
Regulación de plagas	5	5	5	5,25
Polinización	6	5,25	4,75	4,75
Regulación de los riesgos naturales	5,75	5,5	4,25	4,75
Recreación y ecoturismo	4	5,25	2,75	4,75

Nota: La importancia se evaluó en una escala del 1 al 7, en la que 1 = ninguna importancia (no contribuye en nada al bienestar de los habitantes de la cuenca); 4 = cierta importancia (contribuye al bienestar de los habitantes de la cuenca pero no es esencial), y 7 = suma importancia (es fundamental para el bienestar de los habitantes de la cuenca).

Cabe destacar que la provisión de **agua dulce**, que se considera esencial para el bienestar de los habitantes de la cuenca en el contexto de todos los escenarios, también se considera no sustituible (pregunta H5.1). Ningún otro servicio ecosistémico se consideró tan importante para el bienestar como la provisión de agua dulce.

La importancia de la **circulación de nutrientes**, la **formación del suelo** y la **polinización** es comprensible, ya que estos servicios son esenciales para la agricultura.

La **fibra** y el **combustible** se consideran medianamente importantes (es decir, importantes pero no esenciales) para el bienestar en la cuenca; sin embargo, se supone que la provisión de ambos se verá restringida en virtud del plan de gestión (mayor control sobre la tala de árboles). (El plan de gestión de la cuenca incluye 100 hectáreas de plantaciones de árboles para leña para satisfacer las necesidades locales relacionadas con el combustible y, de este modo, reducir la tala general de árboles para utilizarlos como leña).

La importancia estimada de la **regulación de la erosión** y de **los riesgos naturales** en un escenario de alto nivel de cambio climático constituye un caso curioso, ya que es menor que en un escenario de bajo nivel de cambio climático. Se esperaba todo lo contrario, habida cuenta de la relación positiva entre el aumento de las precipitaciones (parte del escenario de alto nivel de cambio climático) y los resultados relativos a la erosión y los riesgos naturales.

El hecho de que la **recreación** ocupe el último lugar confirma lo indicado en las respuestas a la pregunta H5.2: que este no es un servicio ecosistémico importante en este contexto.

En esta sección, se presentaron los resultados del estudio en relación con el desempeño futuro de cuatro variables relacionadas con la infraestructura de abastecimiento de agua potable con la ejecución satisfactoria del plan de gestión, los cálculos del análisis económico, y el desempeño futuro de la provisión de servicios ecosistémicos generales dentro de la cuenca. Los resultados se analizan con más detalle en la sección siguiente.

A1.3. Cálculo del valor neto actualizado

A1.3.1. Cálculo del valor del proyecto del embalse Guacerique II expresado en dólares de 2012 y valor subsiguiente por metro cúbico del volumen del embalse

Los costos de construcción del proyecto del embalse Guacerique II presentados en SOGREAH Consultants (2004b) sirvieron de base para calcular el valor de dicho proyecto en dólares de 2012.

Las cifras se transformaron de dólares de 2004 a dólares de 2012 utilizando un índice de precios de la construcción adecuado para la región. SOGREAH Consultants (2004b) indica explícitamente que los costos se citan en dólares constantes de 2004.

El personal del SANAA señaló que la compensación total estimada para los propietarios de las tierras que se incluye en este informe se considera insuficiente. El SANAA proporcionó una estimación más correcta y actualizada de US\$90 millones. Por lo tanto, los US\$19,4 millones destinados a la compensación que se incluyen en las estimaciones de 2004 se sustrajeron del costo total del proyecto de 2004.

En el cuadro 15, se muestra el costo del proyecto según se indica en SOGREAH Consultants (2004b) y con la modificación mencionada anteriormente.

Cuadro 15. Costo estimado del proyecto del embalse Guacerique II con la estimación de 2004 de la compensación para los propietarios de las tierras y sin ella

Partidas	Estimación de SOGREAH Consultants (millones de dólares de 2004)	Estimación menos la compensación para los propietarios de las tierras (millones de dólares de 2004)
Construcción	95,7	76,3
Equipos	17,6	17,6
Ingenieros, supervisión	8,1	8,1
Gastos imprevistos	10,7	10,7
Total	132,1	112,7

Fuente: SOGREAH Consultants (2004b).

Nota: En el informe original, la compensación para los propietarios de las tierras se incluía en la partida "Construcción".

Para calcular el costo total del proyecto en dólares de 2012, se seleccionó el índice oficial de precios de la construcción de Costa Rica correspondiente a edificios. No se identificó otro índice actual de precios de la construcción de ningún otro país de América Central, a excepción de Honduras, que publicó brevemente su propio índice de precios de la construcción de viviendas entre 2006 y 2008, en el que se tomó como base el año 2003 y, en este caso, el índice de 2008 fue 170,1. También se consideró el índice de precios de la construcción de los Estados Unidos y, en este caso, el multiplicador correspondiente habría sido 1,045⁴⁹. Sin embargo, la magnitud del índice publicado brevemente en Honduras indicó que el índice de Costa Rica es más representativo de los aumentos de los costos de la construcción en la región durante los últimos años que el índice de los Estados Unidos. En el cuadro 16, se incluyen los detalles del índice seleccionado y del multiplicador resultante.

Cuadro 16. Detalles del índice de precios de la construcción utilizado para el cálculo del VNA del proyecto del embalse Guacerique II

Título del índice	Instituto Nacional de Estadística y Censos (s. f.)
Año base	1976
Índice de 2004	10 944,54
Índice de 2012	22 576,56
Multiplicador	2,0628

Por lo tanto, se realizó el siguiente cálculo:

Costo modificado del proyecto del embalse Guacerique II (dólares de 2004) x multiplicador del índice de precios de la construcción + estimación actual de la compensación

O bien, en cifras:

US\$112,7 millones (dólares de 2004) x 2,0628 + US\$90 millones (dólares de 2012)

Por lo tanto, el valor del proyecto del embalse Guacerique II, expresado en dólares de 2012, es de US\$322,48 millones.

Dado que el embalse propuesto en SOGREAH Consultants (2004b) tiene un volumen de cuenca total de 82,5 millones de metros cúbicos y un período de vida útil total de 25 años, el valor unitario del proyecto Guacerique II en dólares de 2012, expresado en dólares estadounidenses por metro cúbico, es de US\$0,16.

49 Oficina del Censo de los Estados Unidos (s. f.).

A1.3.2. Identificación de una medida adecuada de la predisposición de los consumidores a pagar por el agua potable en Tegucigalpa, Honduras

Existen muchas formas de valorar un bien ambiental como el agua, y ninguna es perfecta. La predisposición de los consumidores a pagar es uno de los sistemas de valuación sugeridos (Cameron, 2011). Pond, Pedley y Edwards (2011) señalan que el análisis de los costos y beneficios sociales y los precios sombra son métodos adecuados para valorar la provisión de agua en circunstancias en las que dicho recurso escasea.

En este estudio de caso, se aborda una situación con graves problemas de escasez de agua, y existen numerosas formas de medir los beneficios si se superan esos problemas de escasez. La medida elegida refleja lo que sucede actualmente en Tegucigalpa debido a la grave escasez de agua: camiones cisterna pertenecientes al SANAA y a empresas comerciales privadas distribuyen agua en los vecindarios marginales. El agua de los camiones del SANAA se distribuye sin cargo alguno, mientras que los camiones comerciales compran agua al SANAA a una tarifa declarada de 0,05 lempiras por galón y la revenden a los hogares. Coello Balthasar (2011) señala que los camiones cisterna privados comercializan hasta 800 000 metros cúbicos de agua en Tegucigalpa.

Se determinó que el precio de compra al consumidor o el costo total del programa del SANAA serían posibles valores representativos del valor del agua, y que el más costoso de los dos valores sería más representativo del verdadero costo. Sin embargo, los funcionarios del SANAA informaron a los investigadores que no tienen una medida del costo de su programa de distribución de agua con camiones cisterna, y se consideró que el precio de venta a los camiones privados probablemente represente de forma insuficiente el verdadero valor, habida cuenta del interés de la empresa de abastecimiento de agua en suministrar agua a la población. Por lo tanto, a falta de otras medidas, para estimar la predisposición de los consumidores a pagar, se utilizaron los informes de medios de comunicación sobre el costo para los consumidores del agua proveniente de camiones cisterna privados.

Tras una breve búsqueda en Google, se obtuvieron dos informes recientes de los medios de comunicación sobre el precio que pagan los consumidores por el agua proveniente de los camiones cisterna (UTVUNAH, 2012, "Más de 250 mil hondureños enfrentan escasez de agua en Tegucigalpa", 2011). En el cuadro 17, se muestran los costos declarados por unidad de agua y sus conversiones a dólares estadounidenses por metro cúbico, expresados en dólares de 2012.

Cuadro 17. Precio declarado del agua proveniente de camiones cisterna privados en la ciudad de Tegucigalpa, extraído de los medios de comunicación y expresado en lempiras y dólares de 2012

Fuente	Costo declarado	
	L/galón (lempiras de 2012)	US\$/m ³ (dólares de 2012)
UTVUNAH (2012)	L0,7	US\$9,34
	L0,4	US\$5,34
	L0,5	US\$6,67
	L/barril (lempiras de 2012)	US\$/m ³ (dólares de 2012)
"Más de 250 mil hondureños enfrentan escasez de agua en Tegucigalpa" (2011)	L26,28	US\$5,48
	L57,81	US\$12,05
Costo medio (dólares de 2012)	--	US\$7,78

Nota 1: Los precios declarados en 2012 se consideraron como lempiras de 2012. Los precios citados en 2011 se consideraron como lempiras de 2011. En este segundo caso, las lempiras de 2011 se convirtieron a lempiras de 2012 utilizando el cambio del índice de precios al consumidor de Honduras entre esos dos años (1,051).

Nota 2: Las lempiras de 2012 se convirtieron a dólares de 2012 utilizando el tipo de cambio aplicado en este estudio, de L19,80.

Nota 3: Con respecto a los volúmenes, las unidades se informaron en galones estadounidenses. Un barril equivale a 64 galones y a 0,2423 metros cúbicos, y 1 galón equivale a 0,0039 metros cúbicos.

Por ende, el valor del agua medido por la predisposición a pagar oscila entre US\$5,34 por metro cúbico y US\$12,05 por metro cúbico. Se seleccionó el promedio de todos los valores declarados (US\$7,78) como medida adecuada del valor del agua adicional. Los límites superior e inferior de los valores declarados podrían haberse utilizado en las pruebas de sensibilidad; sin embargo, esto no se hizo porque, dado que casi el 100 % de los beneficios provienen de este valor, era evidente que un valor menor reduciría el beneficio neto general y que un valor mayor lo aumentaría.

Es importante reconocer que, habida cuenta de la capacidad limitada de los consumidores de los vecindarios marginales de Tegucigalpa para pagar los servicios, este valor puede considerarse como el límite inferior del valor marginal.

A1.3.3. Cálculo del costo de la ejecución del plan de gestión de la cuenca, expresado en dólares de 2012

El presupuesto del SANAA y el ICF (2011) sirvió de base para calcular el costo de la ejecución del plan de gestión de la cuenca, expresado en dólares de 2012. El costo total se extrajo del presupuesto consolidado final que se presenta en la última parte del documento, mientras que los costos de ejecución anuales se calcularon utilizando las cifras que se presentan en los presupuestos de cada programa de gestión (se utilizaron referencias cruzadas debido a las incoherencias entre los presupuestos de los programas y el presupuesto consolidado). Es importante destacar que los costos proporcionados no incluían los costos de los incentivos para el cambio del comportamiento relativo a la gestión de la tierra, la mediación para resolver conflictos o las formas de brindar servicios de extensión. Dado que los beneficios de tales esfuerzos superarían los beneficios de la cuenca y del abastecimiento de agua captados en el análisis económico, es posible que la omisión de estos costos no altere significativamente las conclusiones. No obstante, es importante mencionar que quizá sea necesario incurrir en costos adicionales a los contemplados en el plan actual.

En el informe, los gastos se extienden a lo largo de un período de ejecución de siete años. Sin embargo, los expertos del SANAA señalaron que el período de ejecución se había reducido a seis años. Por lo tanto, los costos de las actividades del séptimo año se distribuyeron en forma pareja entre los seis años anteriores para calcular un precio aproximado y la distribución anual de costos del plan de seis años.

Las cifras iniciales del SANAA y el ICF (2011) también se modificaron para excluir del cálculo del VNA a los impuestos y las oportunidades de empleo de mano de obra local. Para ello, se examinaron los presupuestos de los programas y se identificaron las partidas relacionadas principalmente con adquisiciones, contrataciones de consultores u oportunidades de empleo de mano de obra. Las partidas relacionadas con adquisiciones se redujeron en un 12 % para tener en cuenta el impuesto sobre las ventas; las partidas relacionadas con consultores se redujeron en un 12,5 % para tener en cuenta el impuesto que recauda el Estado sobre los honorarios de consultores, y las partidas de mano de obra se redujeron en un 100 % (suponiendo que el costo de oportunidad de la contratación de habitantes locales para mano de obra es cero). Estas reducciones de los costos generalmente se distribuyeron en forma pareja entre los años de ejecución y, en algunos casos, se asignaron a un solo año o se dividieron entre dos a cuatro años, según la manera en que se distribuyeron los gastos en los presupuestos originales. Mediante este procedimiento, el costo general del plan de gestión de la cuenca se redujo en casi 6 millones de lempiras.

SANAA y ICF (2011) citan las cifras en lempiras. Se supuso que estas cifras estaban expresadas en lempiras de 2011, puesto que el informe se elaboró durante ese año.

Se utilizó el índice de precios al consumidor de Honduras actualizado a septiembre de 2012 (BCH, s. f.) para convertir las cifras incluidas en el informe a lempiras de 2012. En el documento consultado se indicaba que dicho índice aumentó un 5,1 % en 2012 con respecto a 2011.

La cifra resultante se dividió por el tipo de cambio utilizado en este informe (L19,8 = US\$1) y se supuso que el resultado eran cifras expresadas en dólares de 2012.

La cifra resultante se consideró representativa del costo total de la ejecución del plan de gestión de la cuenca en dólares de 2012, y se la incorporó en el cálculo del VNA general de los beneficios de dicho plan.

El valor real obtenido con este cálculo fue un costo de ejecución total de US\$4 215 926 (dólares de 2012).

A1.3.4. Cálculo de las tasas actuales de sedimentación del embalse Los Laureles (análisis económico)

No hay medidas exactas de las tasas de sedimentación del embalse y, por ende, los administradores de los recursos hídricos dependen de las estimaciones. En el cuadro 18, se resumen los conocimientos y las estimaciones actuales sobre la sedimentación en el embalse Los Laureles.

Cuadro 18. Información clave sobre los patrones de sedimentación del embalse Los Laureles

Volumen total actual de sedimentos (estimado):	1 500 000 m ³
Antigüedad de la represa:	36 años (1976-2012)
Dragado anterior:	<ul style="list-style-type: none"> En 2004 se extrajeron 50 000 m³ de sedimentos (esto equivale al 3,2 % del volumen estimado de sedimentos existentes). Actualmente el embalse se encuentra equipado con un pequeño sistema de dragado que extrae los sedimentos que se depositan alrededor del sistema de ingreso de agua.
Fenómenos clave:	<ul style="list-style-type: none"> Se considera que el huracán Mitch (1998) aportó una cantidad importante de los sedimentos que se encuentran actualmente en el embalse.

Fuente: Entrevistas individuales con expertos del SANAA.

Además, en el cuaderno se incluyeron diversas preguntas sobre la sedimentación del embalse que, junto con la información anterior, permitieron calcular las tasas actuales de sedimentación del embalse.

Para estimar las tasas actuales de sedimentación del embalse Los Laureles, se utilizaron los siguientes supuestos:

- Actualmente hay 1,5 millones de metros cúbicos de sedimentos en el embalse, que se han acumulado durante 36 años.
- Los expertos estiman que el 30 % de esta cantidad, o 450 000 metros cúbicos, puede atribuirse al paso del huracán Mitch en 1998.
- Por ende, es lógico concluir que la erosión regular aportó 1,05 millones de metros cúbicos de sedimentos durante los últimos 36 años.
- Los expertos estiman que las concentraciones de sedimentos en el río Guacerique son un 20,8 % más altas tras el paso del huracán Mitch, en comparación con los niveles anteriores al huracán. Esto puede equipararse a una tasa de sedimentación de un 21 % más alta después del huracán Mitch. En otras palabras, Tasa 1 (antes del huracán Mitch) = X y Tasa 2 (después del huracán Mitch) = X*1,21.

$$(X*23)+(X*1.21*13)=1050000$$

$$23X+15.73X=1050000$$

$$X(23+15.73)=1050000$$

$$X=1050000/38.73 \quad X=27110.77$$

En resumen, se llegó a la conclusión de que las tasas de sedimentación anteriores al huracán Mitch eran de aproximadamente 27 020 metros cúbicos por año, y que las tasas de sedimentación en los 13 años posteriores al huracán Mitch han sido de alrededor de 32 964 metros cúbicos por año. En los cálculos, se utilizó la cifra redondeada de 33 000 metros cúbicos por año como la tasa actual de sedimentación del embalse Los Laureles.

A1.3.5. Cálculo del ingreso actual de agua al embalse Los Laureles

El promedio de 10 años del volumen de agua que ingresa en el embalse Los Laureles entre diciembre y mayo de cada año se calculó utilizando datos proporcionados por el SANAA. Los datos incluían los resultados del muestreo periódico de la velocidad del agua (metros cúbicos por segundo) en un punto ubicado justo arriba del ingreso de agua del embalse Los Laureles. Estos meses corresponden aproximadamente a la estación seca anual, cuando las precipitaciones no son suficientes para reponer continuamente el embalse, y la empresa de abastecimiento de agua solo cuenta con los 10,5 millones de metros cúbicos de agua del embalse.

El conjunto de datos proporcionado por el SANAA incluía datos del período comprendido entre diciembre de 1999 y junio de 2012. Se seleccionaron datos de 10 estaciones secas consecutivas (es decir, de diciembre de 2002-mayo de 2003 a diciembre de 2011-mayo de 2012) para calcular el promedio. El conjunto de datos proporcionado presentaba una frecuencia de muestreo irregular: la mayoría de los meses tenían 1 o 2 puntos de datos, mientras que otros meses tenían 4 o 5 (y en un caso, 10) puntos de datos.

Se calculó la velocidad promedio de cada mes del período de 10 años. El valor promedio (en metros cúbicos por segundo) posteriormente se transformó en un volumen estimado para cada mes utilizando la siguiente fórmula.

X metros cúbicos/segundo x 60 segundos x 60 minutos x 24 horas x cantidad de días del mes correspondiente

Se sumaron los volúmenes resultantes de cada período comprendido entre diciembre y mayo, y se obtuvo un volumen de ingreso estimado en la estación seca para cada año del período.

Por último, se calculó un promedio simple de estas 10 cifras anuales.

Hubo 8 meses de estos 10 períodos seleccionados que no tenían puntos de datos. En este caso, la velocidad del agua se determinó tomando el promedio del último punto de datos del mes precedente y el primer punto de datos del mes subsiguiente. Por ejemplo, el valor inicial de abril de 2009 (sin punto de datos en la serie original) se determinó tomando el promedio del último punto de datos de marzo de 2009 (27 de marzo) y el primer punto de datos de mayo de 2009 (7 de mayo).

A1.3.6. Cálculo del valor anual de los beneficios para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar

El beneficio económico del plan de gestión de la cuenca para la empresa nacional de abastecimiento de agua se calculó mediante un proceso de tres pasos. En primer lugar, se estimó el valor anual de los beneficios completos, es decir, el beneficio previsto para el año 2030, cuando se logren los beneficios máximos del plan de gestión de la cuenca. En este paso, se resumieron los beneficios acumulados en tres esferas: 1) volumen de almacenamiento mantenido, 2) provisión de agua adicional, y 3) mejora de la calidad del agua. En segundo lugar, los beneficios se distribuyeron durante el período comprendido entre 2019 y 2035: en 2019, se comenzaron a obtener beneficios parciales, y en 2030, los beneficios alcanzaron su máximo valor y lo conservaron hasta 2035. En tercer lugar, los costos de ejecución relacionados con el plan de gestión de la cuenca se distribuyeron durante el período de ejecución (2013-18). En cuarto lugar, el VNA en 2012 de los beneficios netos para el período 2013-35 se calculó utilizando una tasa de descuento adecuada para el país. Cada uno de estos pasos se describe en este anexo.

Los valores obtenidos a través de los cálculos en esta sección son beneficios anuales correspondientes a cada uno de los años del período comprendido entre 2030 y 2035, cuando se supone que finalmente se obtendrán los beneficios completos derivados de las actividades relacionadas con los bosques del plan de gestión de la cuenca. Estos valores se indican en dólares de 2012 sin actualizar.

BENEFICIOS ANUALES DE LA RETENCIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

La cantidad de volumen de almacenamiento retenido en el embalse Los Laureles a través de la provisión de servicios de regulación de la erosión en la cuenca Guacerique se calculó para los dos escenarios de cambio climático de la siguiente forma:

Cantidad de sedimento que se deposita en el embalse anualmente⁵⁰ x cambio en el depósito anual de sedimentos como resultado del plan de gestión de la cuenca en el contexto de cada escenario de cambio climático x valor unitario de la nueva infraestructura del embalse⁵¹

50 Las tasas actuales de sedimentación se estimaron utilizando los datos disponibles existentes y la opinión de los expertos sobre los diversos factores que afectan la sedimentación en el embalse Los Laureles. En el anexo 11, se incluyen otros detalles sobre el cálculo de este valor.

51 En el anexo 8, se incluyen los detalles sobre el cálculo del valor de la capacidad de almacenamiento.

El cálculo numérico para los dos escenarios de cambio climático es el siguiente:

Escenario de bajo nivel de cambio climático:	Escenario de alto nivel de cambio climático:
$33\ 000\ m^3/año \times -0,18 \times 0,16\ US\$/m^3$	$33\ 000\ m^3/año \times 0,13 \times 0,16\ US\$/m^3$

Por lo tanto, los beneficios anuales de esta variable equivalen a US\$928,74 en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático, y a -US\$670,76 en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático (dólares de 2012 sin actualizar). (El último valor es negativo debido al aumento previsto de las tasas de sedimentación en el contexto de este escenario y las consecuencias para el volumen total del embalse).

Beneficios anuales de la disponibilidad de agua adicional

La cantidad de agua adicional suministrada al embalse Los Laureles a través de la provisión de servicios ecosistémicos de disponibilidad de agua en la cuenca Guacerique se calculó para los dos escenarios de cambio climático de la siguiente forma:

Volumen medio total de agua que ingresa al embalse Los Laureles durante el período comprendido entre diciembre y mayo⁵² x cambio en el volumen como resultado del plan de gestión de la cuenca en el contexto de cada escenario de cambio climático x valor unitario del agua medido por la predisposición de los consumidores a pagar⁵³

El cálculo numérico para los dos escenarios de cambio climático es el siguiente:

Escenario de bajo nivel de cambio climático:	Escenario de alto nivel de cambio climático:
$4\ 070\ 000\ m^3/año \times 0,113 \times 7,78\ US\$/m^3$	$4\ 070\ 000\ m^3/año \times 0,29 \times 7,78\ US\$/m^3$

Por lo tanto, los beneficios anuales de esta variable equivalen a US\$3,58 millones en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático, y a US\$9,18 millones en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático (dólares de 2012 sin actualizar).

BENEFICIOS ANUALES DE LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La contribución de los servicios de regulación de la erosión de la cuenca Guacerique a la calidad del agua y el impacto en los costos del tratamiento del agua se calcularon para los dos escenarios de cambio climático de la siguiente forma:

(Cantidad actual de producto químico que se utiliza en el proceso de tratamiento en un año⁵⁴ x costo unitario del producto químico⁵⁵ – porcentaje de la cantidad actual de producto químico necesario en el contexto del nuevo escenario x cantidad actual de producto químico que se utiliza en el proceso de tratamiento en un año x costo unitario de producto químico)

Este cálculo se realizó para tres productos químicos: carbón activado (utilizado para eliminar contaminantes), sulfato de aluminio

52 El promedio de 10 años se calculó utilizando los datos de velocidad del agua proporcionados por el SANAA. En el anexo 12, se incluye más información.

53 En el anexo 9, se incluyen los detalles del cálculo de la predisposición de los consumidores a pagar.

54 Se tomó un promedio de cinco años para calcular la cantidad de cada producto químico utilizado generalmente en el tratamiento del agua en un año, sobre la base de los datos de los volúmenes anuales de insumos químicos suministrados por el SANAA.

55 El SANAA proporcionó el costo unitario actual de los productos químicos utilizados en el tratamiento, expresado en lempiras por kilogramo. Se utilizó un tipo de cambio de L19,80 para convertir los precios a dólares estadounidenses por kilogramo. Este es el valor aproximado de la lempira en el último trimestre de 2012.

(coagulante) y el activador coagulante/floculante que se utiliza actualmente en el plan de tratamiento. Se supuso una relación lineal inversa entre los niveles de oxígeno disuelto y la cantidad de carbón activado que se necesita en los procesos de tratamiento, y una relación lineal positiva entre los niveles de turbiedad y la cantidad de floculante y coagulante que se necesita en dichos procesos.

El cálculo numérico para los dos escenarios de cambio climático es el siguiente:

Escenario de bajo nivel de cambio climático:

$(39\,075\text{ kg/año} \times 2,73\text{ US\$/kg} - 0,93 \times 39\,075\text{ kg/año} \times 2,73\text{ US\$/kg}) + (822\,336\text{ kg/año} \times 0,61\text{ US\$/kg} - 0,76 \times 822\,336\text{ kg/año} \times 0,61\text{ US\$/kg}) + (1719\text{ kg/año} \times 5,76\text{ US\$/kg} - 0,76 \times 1719\text{ kg/año} \times 5,76\text{ US\$/kg})$

Escenario de alto nivel de cambio climático:

$(39\,075\text{ kg/año} \times 2,73\text{ US\$/kg} - 0,762 \times 39\,075\text{ kg/año} \times 2,73\text{ US\$/kg}) + (822\,336\text{ kg/año} \times 0,61\text{ US\$/kg} - 1,098 \times 822\,336\text{ kg/año} \times 0,61\text{ US\$/kg}) + (1719\text{ kg/año} \times 5,76\text{ US\$/kg} - 1,098 \times 1719\text{ kg/año} \times 5,76\text{ US\$/kg})$

Por lo tanto, los beneficios anuales relacionados con la calidad del agua equivalen a US\$129 447,03 en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático, y a -US\$24 447,99 en los años 2030 a 2035 en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático (dólares de 2012 sin actualizar). (Nuevamente, el último valor es negativo debido al aumento previsto de los niveles de turbiedad en el contexto de este escenario y las consecuencias para la calidad del agua en la toma).

BENEFICIOS ANUALES TOTALES DE LAS TRES VARIABLES

Por lo tanto, el beneficio económico anual total del plan de gestión de la cuenca para la empresa nacional de abastecimiento de agua para los años 2030 a 2035, expresado en dólares de 2012 sin actualizar, es de US\$3 706 000,00 (o US\$3,71 millones) en el contexto del escenario de bajo nivel de cambio climático, y de US\$9 152 000,00 (o US\$9,15 millones) en el contexto del escenario de alto nivel de cambio climático. En el cuadro 19, se resumen los valores de cada variable y la suma correspondiente a cada escenario de cambio climático.

Cuadro 19. Beneficios anuales generados por el plan de gestión de la cuenca para los años 2030 a 2035, expresados en dólares de 2012 sin actualizar

	Escenario de bajo nivel de cambio climático	Escenario de alto nivel de cambio climático
Volumen de almacenamiento	US\$929	-US\$671
Agua adicional	US\$3 575 830	US\$9 176 908
Calidad del agua	US\$129 447	-US\$24 448
Totales (redondeados)	US\$3 706 000	US\$9 152 000

A1.3.7. Cálculo del VNA en 2012 de los beneficios netos de la ejecución del plan de gestión de la cuenca para el período 2013-35, expresado en dólares de 2012

Para determinar el VNA, los costos y los beneficios económicos se distribuyeron durante el período sujeto a la evaluación (2013-35). Se elaboró un horizonte cronológico para el período 2013-35 en Excel con los costos de la ejecución del plan de gestión de la cuenca reflejados durante el período de ejecución (2013-18) y los beneficios derivados de la ejecución del plan reflejados durante el período subsiguiente (2019-35). El VNA se calculó utilizando la función de VNA de Excel.

El costo de la ejecución del plan se calculó como se describe en el anexo 1.3 y se distribuyó durante el período de ejecución de seis años.

Para distribuir los beneficios durante el período correspondiente, se partió del supuesto de que algunos beneficios comenzarán a obtenerse una vez que se ejecute el plan de gestión de la cuenca, mientras que otros demorarán en concretarse. Por ejemplo, en el escenario de gestión se supone que se aplicarán medidas de conservación del suelo en 2000 hectáreas de campos de cultivo. Estos beneficios se concretarán inmediatamente. Por el contrario, se supone que los beneficios de las actividades de reforestación (en aproximadamente 1500 hectáreas) se concreten más lentamente, a medida que el bosque madure. Por lo tanto, inicialmente se

estimó que el 60 % de los beneficios se concretarán en 2019, y que los beneficios se incrementarán de forma lineal hasta el 100 % en 2030, momento en el que se estabilizará la provisión de beneficios. Esta distribución de la provisión de beneficios a lo largo del tiempo refleja la gran superficie sujeta a la gestión de la erosión del suelo, en comparación con la superficie que se reforestará. Por lo tanto, el beneficio económico anual total se asignó al año 2030 y a cada año subsiguiente hasta 2035 inclusive, el 60 % de ese beneficio se asignó al año 2019, y se aplicó una tasa compuesta de crecimiento de 1,0475 a fin de calcular el valor para cada año de 2020 a 2030. Este cálculo se realizó para los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático.

Por último, las tasas de descuento para el cálculo del VNA se tomaron de López (2008) (véase el cuadro 20), y el cálculo del VNA se realizó para cada una de estas tasas sociales de descuento para los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático.

Cuadro 20. Tasas sociales de descuento de Honduras por escenario de crecimiento económico, calculadas por López (2008)

Escenario	Tasa social de descuento
Escenario de crecimiento bajo	2,1
Escenario de crecimiento moderado	3,3
Escenario de crecimiento alto	4,5

A1.4. Resultados de las pruebas de sensibilidad

Cabe señalar que, para cada prueba de sensibilidad, los demás supuestos se mantuvieron constantes. Se comprobó solo una variable a la vez.

A1.4.1 Estimación de la futura disponibilidad de agua en el contexto del cambio climático

Se consideró que esta era la prueba de sensibilidad más importante que había de realizarse, ya que casi el 100 % de los beneficios provienen de la futura disponibilidad de agua. Las opiniones de los expertos indicaron que, en el escenario de bajo nivel de cambio climático, la variación en la disponibilidad de agua podría oscilar entre el 5 % y el 22,5 %, y que, en el escenario de alto nivel de cambio climático, dicha variación podría oscilar entre el 16 % y el 44 %. En los cuadros 21 y 22, se describe el impacto de estas estimaciones máxima y mínima sobre la provisión de servicios. Tal como se preveía, la disponibilidad general de agua influye marcadamente en el beneficio general derivado del plan de gestión de la cuenca.

Cuadro 21. Impacto de las estimaciones máxima y mínima de la futura disponibilidad de agua en el escenario de bajo nivel de cambio climático en los beneficios anuales totales y VNA de los beneficios netos, expresados en dólares de 2012

En el escenario de bajo nivel de cambio climático			
Supuesto, variación de la disponibilidad de agua	Beneficios anuales totales (las tres variables; dólares de 2012 sin actualizar)	Tasa social de descuento	VNA en 2012 de los beneficios totales del período 2013-35 (dólares de 2012)
-5 %	-US\$1 451 850	2,1	-US\$19 076 000
		3,3	-US\$16 465 000
		4,5	-US\$14 317 000
+22,5 %	US\$7 250 391	2,1	US\$71 687 000
		3,3	US\$59 531 000
		4,5	US\$49 642 000

Cuadro 22. Impacto de las estimaciones máxima y mínima de la futura disponibilidad de agua en el escenario de alto nivel de cambio climático en los beneficios anuales totales y VNA de los beneficios netos, expresados en dólares de 2012

En el escenario de alto nivel de cambio climático			
Supuesto, variación de la disponibilidad de agua	Beneficios anuales totales (las tres variables; dólares de 2012 sin actualizar)	Tasa social de descuento	VNA en 2012 de los beneficios totales del período 2013-35 (dólares de 2012)
+16 %	US\$5 038 003	2,1	US\$37 826 000
		3,3	US\$30 154 000
		4,5	US\$23 999 000
+44 %	US\$13 898 466	2,1	US\$141 025 000
		3,3	US\$117 587 000
		4,5	US\$98 503 000

A1.4.2 Supuesto de que el 60 % de los beneficios se obtienen en 2019

Las pruebas de sensibilidad se realizaron sobre la base del supuesto de que el 60 % de los beneficios se obtendrán a partir de 2019, en lugar de suponer que el 30 % de los beneficios se obtendrá en 2019 (y se incrementarán hasta llegar al 100 % en 2030), y que el 90 % de los beneficios se obtendrán a partir de 2019 (y se incrementarán hasta llegar al 100 % en 2030), en los escenarios de alto y bajo nivel de cambio climático. En el cuadro 23, se presentan los resultados de las pruebas de sensibilidad. Tal como se preveía, el VNA aumenta con la provisión anticipada de los beneficios y disminuye cuanto más tardan estos en concretarse.

Cuadro 23. Resultados de las pruebas de sensibilidad del impacto de la proporción de beneficios que se supone se concretarán en 2019 en el VNA de los beneficios netos en 2012, expresados en dólares de 2012

Tasa social de descuento	Escenario de bajo nivel de cambio climático		Escenario de alto nivel de cambio climático	
	30 %	90 %	30 %	90 %
2,1	US\$27 728 000	US\$40 612 000	US\$74 248 000	US\$106 065 000
3,3	US\$22 408 000	US\$33 801 000	US\$60 896 000	US\$89 027 000
4,5	US\$18 133 000	US\$28 231 000	US\$50 135 000	US\$75 068 000

A1.4.3 Estimación de que el 30 % de los sedimentos existentes en el embalse se pueden atribuir al huracán Mitch

El cálculo de las tasas actuales de sedimentación, en el que se evitó la sedimentación del embalse en el futuro, se basó en este promedio de estimaciones que brindaron los expertos (30 %). Se comprobaron los límites superior e inferior de las estimaciones de los expertos (20 % y 40 %) para medir la influencia de este supuesto en el cálculo de los beneficios generales. El cambio afectó la tasa de sedimentación posterior al huracán Mitch (véase el cuadro 24), pero tuvo un efecto mínimo en el cálculo del beneficio neto general. Por lo tanto, se mantuvo la estimación del 30 %, o 33 000 metros cúbicos por año, como valor adecuado.

Cuadro 24. Estimaciones de las tasas anuales de sedimentación posteriores al huracán Mitch resultantes al cambiar el supuesto de que los sedimentos existentes son atribuibles a dicho huracán

Porcentaje de sedimentos existentes atribuibles al huracán Mitch	Tasas estimadas de sedimentación del embalse posteriores al huracán Mitch	
	Cifra exacta (m3/año)	Cifra redondeada (m3/año)
20 %	37 490	37 500
30 %	32 804	33 000
40 %	28 118	28 000

Anexo 2: Reseña de la legislación actual relacionada con la gestión de los recursos hídricos y forestales en Honduras

Legislación	Elementos clave
Constitución	En el artículo 340, se establece explícitamente que la reforestación y la conservación de los bosques es una cuestión de “conveniencia nacional y de interés colectivo”.
Ley General del Medio Ambiente (Decreto n.o 104-1993)	<p>En el artículo 28, se establece que el Estado es responsable de la gestión de los recursos naturales, la planificación del uso de la tierra y el ordenamiento de las cuencas hidrográficas.</p> <p>En el artículo 31, se establece que el agua destinada al consumo humano es objeto de protección y control especial.</p> <p>En el artículo 33, se delega a los municipios la responsabilidad de aplicar la prohibición de ubicar asentamientos en las cuencas.</p> <p>En el artículo 36, se autoriza al Estado a declarar áreas naturales protegidas.</p> <p>En el artículo 37, se autoriza a los municipios y “otras” entidades a participar en el establecimiento, la administración y el desarrollo de estas áreas naturales protegidas.</p> <p>En el artículo 39, se autoriza a los propietarios de terrenos privados y los pobladores ubicados en estas áreas naturales protegidas a realizar actividades productivas sujetándose a las normas técnicas y a los usos del suelo que se acuerdan en el decreto de declaración de cada área.</p> <p>En el artículo 45, se establece que el recurso forestal deberá ser manejado y utilizado bajo los principios de protección de la biodiversidad, rendimiento sostenible y uso múltiple del recurso, atendiendo sus funciones económicas, ecológicas y sociales.</p> <p>En el artículo 50, se establece que los terrenos de pendientes pronunciadas, cuyo aprovechamiento puede provocar su erosión, deberán mantenerse con una cubierta vegetal permanente.</p>
Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto n.o 156-2007)	<p>Es el marco jurídico principal para la administración y la gestión de los recursos forestales y las áreas protegidas de Honduras.</p> <p>En esta ley, se establecen la obligatoriedad de los planes de gestión y conservación para todos los bosques, y una serie de incentivos para promover la reforestación, la protección de los bosques y las cuencas, y la gestión forestal.</p> <p>En el artículo 4, el concepto de bosques se extiende tanto a las zonas forestales como a las zonas que deberían tener una cubierta forestal, pero actualmente no la tienen.</p> <p>En el artículo 5, se establece que los bosques cuya función básica es el abastecimiento de agua se consideran áreas protegidas.</p> <p>En el artículo 9, se establece la opción de gestión conjunta como medio para la participación de la comunidad en la gestión de los recursos forestales.</p> <p>En el artículo 12, se establece la creación del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF).</p> <p>En el artículo 18, se describen las principales obligaciones del ICF en relación con la gestión forestal, incluida la obligación de elaborar planes de uso de la tierra para las áreas forestales públicas, aprobar los planes de gestión elaborados por otras entidades, y recopilar y almacenar datos sobre los bosques (es decir, planes, mapas, inventarios, etc.).</p> <p>En el artículo 21, se establecen cuatro niveles de Consejos Consultivos (nacional, departamental, municipal y comunitario) para reunir a las comunidades y a las partes interesadas, y para permitir que los expertos técnicos locales contribuyan a las iniciativas municipales y departamentales de gestión forestal y planificación de las cuencas.</p> <p>En los artículos 46 y 47, se establece que los bosques públicos están bajo el control del Gobierno nacional o municipal.</p>

Legislación	Elementos clave
<p>Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto n.o 156-2007) <i>continuación</i></p>	<p>En el artículo 48, se delegan las responsabilidades de la gestión forestal al Estado o al Gobierno municipal, según los regímenes de propiedad.</p> <p>En el artículo 59, se establece que el ICF apoyará a los beneficiarios de los procesos de legalización relacionados con la propiedad de las tierras forestales y el derecho de uso de los recursos para que puedan participar en los regímenes obligatorios de gestión forestal.</p> <p>En el artículo 92, se establece que el uso no comercial de los productos forestales es para uso doméstico y los cortes de árboles que estén en el área donde se requiere construir obras de infraestructura pública.</p> <p>En el artículo 109, se prohíbe la extracción de recursos en las áreas protegidas.</p> <p>En el artículo 120, se delegan las actividades de gestión de las cuencas y planificación de uso de la tierra del Estado al ICF.</p> <p>En el artículo 121, se establece que el ICF es responsable de la legislación relativa a la planificación forestal y la restauración de los bosques, y que debe contribuir al sostenimiento de los recursos hídricos y demás acciones que tengan por objeto la prevención de la erosión y la protección de los suelos forestales. En este artículo, también se establece que el ICF coordinará actividades con organismos públicos y privados en el marco de los planes y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas.</p> <p>En el artículo 122, se establece que las cuencas que abastecen de agua para el consumo humano deben someterse a regímenes especiales de gestión y que, si se encuentran deforestadas, deben reforestarse.</p> <p>En el artículo 129, se autoriza a las comunidades a solicitar y recibir contratos de gestión forestal.</p> <p>En el artículo 133, se prohíben los nuevos asentamientos en las áreas protegidas y se otorga al Estado la autoridad para reasentar comunidades a fin de preservar la integridad de las áreas protegidas.</p>
<p><i>Ley General de Aguas (Decreto n.o 181-2009)</i></p>	<p>En el artículo 1, se establece que el objetivo de la ley es establecer los principios y el marco de la gestión de los recursos hídricos.</p> <p>En el artículo 3, se establecen los principios fundamentales de la gestión de los recursos hídricos.</p> <p>En el artículo 7, se establece que la SERNA es la entidad responsable.</p> <p>En el artículo 8, se crea el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, con representación intersectorial.</p> <p>En el artículo 10, se crea la Autoridad del Agua, dentro de la SERNA, como la entidad responsable de aplicar las políticas del sector hídrico.</p> <p>En el artículo 11, se crea el Instituto Nacional del Recurso Hídrico, entidad técnica de la Autoridad del Agua.</p> <p>En el artículo 19, se establece el objetivo de los Consejos de Cuencas de empoderar a las comunidades para asegurar la participación en la gestión de los recursos hídricos.</p> <p>En el artículo 25, se establece que el agua es un bien público que se distribuirá en forma equitativa, y que las comunidades tienen el derecho de recibir pagos como compensación por conservar los sistemas ecosistémicos.</p> <p>En los artículos 25 a 29, se establece que las áreas que rodean los cursos de agua y las masas de agua son de dominio público.</p> <p>En el artículo 34, se autoriza al Estado a realizar expropiaciones y a implementar restricciones de uso para promover la conservación del agua.</p> <p>En el artículo 23, se establecen derechos de uso para las poblaciones que realizan actividades que fomentan la provisión de servicios ecosistémicos (incluidas las regulaciones del control de la erosión y la calidad del agua) y su derecho a recibir PSE.</p> <p>En el artículo 40, se autoriza a establecer vedas a la explotación de los recursos hídricos si las condiciones así lo exigen.</p> <p>En el artículo 41, se establece la reforestación obligatoria en las zonas que producen agua, las zonas de recarga hídrica y las zonas adyacentes a los cursos de agua.</p> <p>En el artículo 44, se prohíbe el vertimiento de aguas residuales cerca de las obras de captación de agua potable, y se establece que el tratamiento de las aguas residuales es obligatorio.</p>

Legislación	Elementos clave
<i>Ley General de Aguas (Decreto n.o 181-2009)</i>	<p>En el artículo 46, se prohíbe la extracción de agua a menos de 500 metros aguas arriba y aguas abajo de represas.</p> <p>En el artículo 49, se establece que los fondos generados por los PSE vinculados a los recursos hídricos se utilizarán solamente para la conservación y la protección de la cuenca que los genera.</p> <p>En el artículo 50, se establece que los ecosistemas y bosques (y los sistemas basados en árboles) generan servicios ecosistémicos específicos, a saber: conservación y recuperación de la biodiversidad y el suelo, protección contra desprendimientos de tierra, prevención de inundaciones, prevención de daños a los ríos y la infraestructura de captación de agua, y mejora de la calidad del agua.</p> <p>En el artículo 51, se establece que los beneficiarios del servicio ambiental deben compensar a aquellos que lo conservan.</p> <p>En el artículo 52, se establece que el costo de estos pagos se debe incorporar en las tarifas del servicio de agua.</p> <p>En el artículo 61, se establece que los usuarios de subsistencia no necesitan permisos para utilizar el agua.</p> <p>En el artículo 67, se establece que los municipios otorgarán licencias y permisos de uso del agua.</p> <p>En el artículo 81, se delega la responsabilidad de la planificación del uso de los recursos hídricos a la Autoridad del Agua, lo que incluye la elaboración de inventarios, balance hídrico nacional, planes de gestión, mapas y sistemas de información, y la cuenca se constituye en unidad de gestión.</p> <p>En el artículo 84, se crea el Catastro de Agua.</p> <p>En el artículo 85, se crea el Registro Público de Aguas.</p> <p>En el artículo 91, se crea el Fondo Hídrico y se asignan 15 millones de lempiras para financiar proyectos y programas de conservación, lo que incluye las actividades de investigación y los Consejos de Cuencas (artículo 93).</p>
Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento (Decreto n.o 118-2003)	En el artículo 4, se establece que los municipios gozarán del derecho de preferencia sobre las fuentes de agua a fines del abastecimiento de agua potable para el consumo humano y la descarga de alcantarillados.
<i>Ley de Municipalidades (Decreto n.o 134-1990)</i>	<p>En los artículos 13 y 14, se asigna la protección ambiental como uno de los objetivos y las responsabilidades del Gobierno municipal.</p> <p>En el artículo 18, se designa a los municipios como las entidades responsables de recopilar datos catastrales rurales y urbanos.</p> <p>En el artículo 65, se autoriza a los municipios a solicitar al ICF que otorgue estatus de área protegida a las tierras que proporcionan agua potable.</p> <p>En los artículos 75 y 80, se autoriza a los municipios a aplicar un impuesto del 1 % sobre el valor comercial de los recursos madereros extraídos de su territorio.</p>
Ley de Ordenamiento Territorial (Decreto n.o 180-2003)	En el artículo 27, se delega a los municipios la autoridad específica de utilizar la planificación del uso de la tierra para regular los asentamientos a fin de proteger el medio ambiente.

(Footnotes)

- 1 El índice es mensual, por lo tanto, la cifra de 2004 es un promedio simple de los montos enumerados para los 12 meses de 2004.
- 2 En el momento en que se redactó este informe, solo se habían publicado en línea los primeros dos meses de 2012. Por ende, esta cifra es el promedio simple del índice de precios de la construcción correspondiente a los meses de enero y febrero de 2012.
- 3 Las tasas actuales de sedimentación se estimaron utilizando los datos disponibles existentes y la opinión de los expertos sobre los diversos factores que afectan la sedimentación en el embalse Los Laureles. En el anexo 11, se incluyen otros detalles sobre el cálculo de este valor.
- 4 En el anexo 8, se incluyen los detalles sobre el cálculo del valor de la capacidad de almacenamiento.
- 5 El promedio de 10 años se calculó utilizando los datos de velocidad del agua proporcionados por el SANAA. En el anexo 12, se incluye más información.
- 6 En el anexo 9, se incluyen los detalles del cálculo de la predisposición de los consumidores a pagar.
- 7 Se tomó un promedio de cinco años para calcular la cantidad de cada producto químico utilizado generalmente en el tratamiento del agua en un año, sobre la base de los datos de los volúmenes anuales de insumos químicos suministrados por el SANAA.
- 8 El SANAA proporcionó el costo unitario actual de los productos químicos utilizados en el tratamiento, expresado en lempiras por kilogramo. Se utilizó un tipo de cambio de L19,80 para convertir los precios a dólares estadounidenses por kilogramo. Este es el valor aproximado de la lempira en el último trimestre de 2012.

Bibliografía

- Adejuwon, J., C. Azar, W. Baethgen, C. Hope, R. Moss, N. Leary, R. Richels y J. P. van Ypersele (2001), "Overview of Impacts, Adaptation, and Vulnerability to Climate Change". En *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por James J. McCarthy, Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken y Kasey S. White, pp. 77-103, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Aguilar, E., T. C. Peterson, P. Ramírez Obando, R. Frutos, J. A. Retana, M. Solera, J. Soley, I. González García, R. M. Araujo, A. Rosa Santos, V. E. Valle, M. Brunet, L. Aguilar, L. Álvarez, M. Bautista, C. Castañón, L. Herrera, E. Ruano, J. J. Sinay, E. Sánchez, G. I. Hernández Oviedo, F. Obed, J. E. Salgado, J. L. Vázquez, M. Baca, M. Gutiérrez, C. Centella, J. Espinosa, D. Martínez, B. Olmedo, C. E. Ojeda Espinoza, R. Núñez, M. Haylock, H. Benavides, R. Mayorga (2005), "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003". En *Journal of Geophysical Research* 110, D23107.
- Alcamo, J., R. Leemans, E. Kreileman (comps.) (1998), *Global Change Scenarios of the 21st Century-Results from the Image 2.1 Model*, Oxford, Reino Unido, Elsevier.
- Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears, E. H. Hogg, P. González, R. Fensham, Z. Zhangm, J. Castro, N. Demidova, J. H. Lim, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci y N. Cobb (2010), "A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests". En *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660-684. <doi:10.1016/j.foreco.2009.09.001>.
- Alo, C. A. y G. Wang (2008), "Potential future changes of the terrestrial ecosystem based on climate projections by eight general circulation models". En *Journal of Geophysical Research*, p. 113, G01-004.
- Banco Central de Honduras (2012), *Honduras en cifras 2009-2011*, Honduras, Banco Central de Honduras, 77 p.
- _____ (s. f.), Cuadro n.º 1: Índice de precios al consumidor. Diciembre 1999 = 100 (septiembre de 2012). *Índice de precios al consumidor, año 2012* [en línea]. <http://www.bch.hn/indice_precios_pub.php> [consulta: 29 de octubre de 2012].
- Banco Mundial (2012), *Bajemos la temperatura: Por qué se debe evitar un planeta 4°C más cálido*, Washington, DC, Banco Mundial [en línea]. <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11860>>.
- Banco Mundial (2012), *Integrated Urban Water Management Case Study Tegucigalpa*, Water Partnership Program [en línea]. <<http://www.worldbank.org/laciuum>>.
- Beniston, M. y D. B. Stephenson, "Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions". En *Global and Planetary Change* 44, 1-9.
- Billings, R. F., S. R. Clarke, V. Espino Mendoza, P. Córdón Cabrera, B. Meléndez Figueroa, J. R. Campos y G. Baeza (2004), "Bark beetle outbreaks and fire: a devastating combination for Central America's pine forests". En *Unasylva*, 217(55): 15-21.
- Bosch, J. M. y J. D. Hewlett (1982), "A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration". En *Journal of Hydrology*, 55: 3-23.
- Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático (TroFCCA) (2008), *Impacto del cambio climático en los ecosistemas de las subcuencas de los ríos Guacerique y Grande, y en el abastecimiento de agua potable para Tegucigalpa-Informe de consultoría en el marco del proyecto Bosques Tropicales y su Adaptación al Cambio Climático-TroFCCA*, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 93 p.
- _____ (2009), *Reportes de consultorías desarrolladas en la subcuenca del Río Guacerique*. Costa Rica, CATIE.
- _____ (20 de marzo de 2012), "TroFCCA Methods and Activities", Centro de Investigación Forestal Internacional [en línea]. <<http://www.cifor.org/trofcca/the-project/methods-and-activities.html>> [consulta: 19 de julio de 2012].
- Burke L. y Z. Sugg (2006), *Hydrologic Modeling of Watersheds Discharging Adjacent to the Mesoamerican Reef. Analysis Summary - December 1, 2006*, Washington, DC, Instituto de Recursos Mundiales.

- Cameron, J. (2011), "Social cost-benefit analysis – principles". En *Valuing Water, Valuing Livelihoods*, editado por John Cameron, Paul Hunter, Paul Jagals y Katherine Pond, Londres, Reino Unido, IWA Publishing.
- Cecchini, S. y A. Uthoff (2007), *Reducción de la pobreza, tendencias demográficas, familias y mercado de trabajo en América Latina. Serie 136 – Políticas sociales*, Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 65 p.
- Centro de Estudios de Transporte e Infraestructura S.A. (diciembre de 2011), *Transferencia de los servicios de Agua Potable y Saneamiento por parte del SANAA. Informe N.º 6 (Final. Versión Preliminar). Tomo IV. Factores clave institucionales y operacionales*, 53 p.
- Coello Balthasar, Z. (2011), *Insufficient water supply in an urban area – case study: Tegucigalpa, Honduras*, TRITA LWR LIC 2058.
- Conway, T. J., P. P. Tans, L. S. Waterman, K. W. Thoning, D. R. Kitzis, K. A. Masarie y N. Zhang (1994), "Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network". En *Journal of Geophysical Research*, 99(D11), 22831-22.
- Dessai, S. y M. Hulme (2007), "Assessing the Robustness of Adaptation Decisions to Climate Change Uncertainties: A Case Study on Water Resources Management in the East of England". En *Global Environmental Change* 17, 59-72.
- Dessai, S. y R. Wilby (2011), *How Can Developing Country Decision Makers Incorporate Uncertainty about Climate Risks into Existing Planning and Policymaking Processes? World Resources Report*, Washington, DC, Instituto de Recursos Mundiales.
- Díaz, A. (2009), *Determinantes de las decisiones sociales de manejo del paisaje-bosque como respuesta adaptativa a los cambios de los servicios ecosistémicos hídricos para Tegucigalpa-I Informe de consultoría-TroFCCA*, Turrialba, Costa Rica, CATIE, 42 p.
- Equipo de IMAGE (2001), *The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios: A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century*, publicación 481508018 en CD-ROM del Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente, Países Bajos, Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, DC, Island Press.
- Farber, S. C., R. Costanza y M. A. Wilson (2002), "Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services". En *Ecological Economics* 41:375-392.
- Gerten D., S. Schaphoff, U. Haberlandt, W. Lucht, S. Sitch (2004), "Terrestrial vegetation and water balance: hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model". En *Journal of Hydrology*, 286: 249-270.
- Gómez-Mendoza, L. y L. Arriaga (2007), "Modeling the Effect of Climate Change on the Distribution of Oak and Pine Species of Mexico". En *Conservation Biology*, 21(6): 1545-1555. <doi:10.1111/j.1523-1739.2007.00814.x>.
- Hagerman, S. M., H. Dowlatabadi, T. S. Satterfield, T. McDaniels (2010), "Expert Views on Biodiversity Conservation in an Era of Climate Change". En *Global Environmental Change*, 20: 192-207.
- Harmeling, S., B. Schinke, C. Haberstroh y S. Kreft (2012), *Global Climate Risk Index. Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2010 and 1991 to 2010*, Berlín, Germanwatch Institute, 27 p.
- Haxeltine, A. e I. C. Prentice (1996), "BIOME3: an equilibrium terrestrial biosphere model based on ecophysiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types". En *Global Biogeochemical Cycles*, 10: 693-709.
- Hernández C., A. J. (2003), *Dinámica de uso de la tierra y de la oferta hídrica en la cuenca del río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras*, tesis de maestría, CATIE, 126 p.
- Holdridge, L. R. (1947), "Determination of world plant formations from simple climatic data". *Science* (105) 367-368.
- Imbach P., L. Molina, B. Locatelli, O. Roupsard, G. Mahé, R. Neilson, L. Corrales, M. Scholze y P. Ciais (2012), "Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios". En *Journal of Hydrometeorology* 13(2): 665-680. <doi:10.1175/JHM-D-11-023.1>.
- Instituto Nacional de Estadísticas (2002), Datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2001 [en línea]. <<http://www.inec.gov.hn/drupal/>> [consulta: 4 de mayo de 2012].
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (s. f.), C.01 Índice de precios de insumos para la construcción de edificios, Base enero 1976. Índice y variación porcentual mensual Febrero 1976 - Febrero 2012, *Índice de precios de la construcción – Base febrero 2012, Resultados* [en línea]. <<http://www.inec.go.cr/Web/Home/pagPrincipal.aspx>> [Consulta: 9 de octubre de 2012].

- IPCC (2007a), "Summary for Policymakers". En *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller, (comps.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y Nueva York, NY, Estados Unidos.
- _____ (2007b), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson (comps.), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 976 p.
- Jones, P. D., D. H. Lister, T. J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon y C. P. Morice (2012), "Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010". En *Journal of Geophysical Research*, 117.
- Kandlikar, M., J. Risbey y S. Dessai (2005), "Representing and communicating deep uncertainty in climate-change assessments". En *Comptes Rendu Geoscience* 337: 443-455.
- Krawchuk, M. A., M. A. Moritz, M. A. Parisien, J. Van Dorn y K. Hayhoe (2009), "Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire". En *PLoS ONE* 4.
- Lee, M. D. (2000), "Watershed Protection Challenges in Rapidly Urbanizing Regions: The Case of Tegucigalpa, Honduras". En *Water International* 25(2): 214-221.
- Liu, Y. Q., J. Stanturf y S. Goodrick (2010), "Trends in global wildfire potential in a changing climate". En *Forest Ecology and Management* 259: 685-697.
- Locatelli B. y R. Vignola (2009), "Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help?". En *Forest Ecology and Management* 258(9): 1864-1870. <doi:10.1016/j.foreco.2009.01.015>.
- Maldonado, T. y R. Pérez (1986), *Memoria del seminario sobre agua potable para Tegucigalpa-Asociación Hondureña de Ecología/CATIE/IUCN, Proyecto Regional de Manejo de Cuencas, CATIE, Tegucigalpa, Honduras*, 158 p.
- "Más de 250 mil hondureños enfrentan escasez de agua en Tegucigalpa". En *La Tribuna* [en línea], 29 de abril de 2011. <<http://old.latribuna.hn/2011/04/29/mas-de-250-mil-hondurenos-enfrentan-escasez-de-agua-en-tegucigalpa>> [consulta: 14 de noviembre de 2012].
- McAvaney, B. J., C. Covey, S. Joussaume, V. Kattsov, A. Kitoh, W. Ogana, A. J. Pitman, A. J. Weaver, R. A. Wood y Z. C. Zhao (2001), Model evaluation. En *Climate Change 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C. A. Johnson, 472-523, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken y K. S. While (comps.) (2001), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- McDaniels, T. (1995), "Using judgment in resource management: An analysis of a fisheries management decision". En *Operations Research*, 43(3):415-426.
- McDaniels, T., T. Mills, R. Gregory y D. Ohlson (2012), "Using Expert Judgments to Explore Robust Alternatives for Forest Management under Climate Change". En *Risk Analysis* [publicación anticipada en línea]. <doi: 10.1111/j.1539-6924.2012.01822.x>.
- Metzger, M. J., M. D. A. Rounsevell, L. Acosta-Michlik, R. Leemans y D. Schröter (2006), "The vulnerability of ecosystem services to land use change". En *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 69-85.
- Metzger, M. J. y D. Schröter (2006), "Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe". En *Regional Environmental Change*, 6:201-216. <doi: 10.1007/s10113-006-0020-2>.
- Mitchell, T. D., T. R. Carter, P. D. Jones, M. Hulme y M. New (2003), "A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)". En *Journal of Climate*: enviado.
- Morgan, M. G., L. Pitelka y E. Shevliakova (2001), "Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems". En *Climatic Change*; 49:279-307.
- Moritz, M. A., M. A. Parisien, E. Batllori, M. A. Krawchuk, J. Van Dorn, D. J. Ganz y K. Hayhoe (2012), "Climate change and disruptions to global fire activity". En *Ecosphere* 3: 1-22.

- Moser, S. C. y J. A. Ekstrom (2010), "A framework to diagnose barriers to climate change adaptation". En *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51): 22026-22031. <doi: 10.1073/pnas.1007887107>.
- Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D. R. Cameron, K. M. A. Chan, G. C. Daily, J. Goldstein, P. M. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, T. H. Ricketts y M. R. Shaw (2009), "Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales". En *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(1): 4-11. <doi:10.1890/080023>.
- Oficina del Censo de los Estados Unidos (s. f.), "New Single-Family Houses Under Construction - Base Year 2005. Monthly Laspeyres Constant Quality". *Construction Price Indexes* [en línea]. <<http://www.census.gov/construction/cpi/>> [consulta: 9 de octubre de 2012].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2001), *FRA 2000. Causas y Tendencias de la Deforestación en América Latina* [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/007/ad680s/ad680s00.htm>> [consulta: 11 de mayo de 2012].
- _____ (2004), *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de Trabajo* [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/007/j4456s/j4456s00.htm#TopOfPage>> [consulta: 11 de mayo de 2012].
- _____ (2010a), *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe nacional. Honduras* [en línea], Roma, FAO. <<http://www.fao.org/docrep/013/al5275/al5275.pdf>> [consulta: 15 de mayo de 2012].
- _____ *Framework for assessing and monitoring forest governance*, Roma, FAO, 32 p.
- Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) (2003), *Análisis del Sector Agua Potable y Saneamiento en Honduras*, Tegucigalpa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Banco Interamericano de Desarrollo, Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos, OPS/OMS, Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, SANAA, Ministerio de Salud, Grupo Colaborativo de Agua y Saneamiento de Honduras, 274 p.
- Pachauri, R. K. y A. Reisinger (comps.) (2007), *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Ginebra, Suiza: IPCC, 104 p.
- Pacific Climate Impacts Consortium (s. f.), Herramienta de análisis regional (versión beta), *Pacific Climate Impacts Consortium* [en línea]. <<http://tools.pacificclimate.org/select>> [consulta: 23 y 24 de julio de 2012].
- Palacios, E. (2008), *Incendios forestales y cambio climático en América Central*, Turrialba, Costa Rica, CATIE, Grupo Cambio Global, 69 p.
- Patt, A. y S. Dessai (2005), "Communicating uncertainty: lessons learned and suggestions for climate change assessment". En *Comptes Rendus Geoscience* 337: 425-441.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri y R. Blair (1995), "Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits". En *Science*, 267 (5201): 1117-1123.
- Pond, K., S. Pedley y C. Edwards (2011), "Background". En *Valuing Water, Valuing Livelihoods*, editado por John Cameron, Paul Hunter, Paul Jagals y Katherine Pond, Londres, Reino Unido, IWA Publishing.
- Postel, S. L. y B. H. Thompson, Jr. (2005), "Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services". En *Natural Resources Forum* 29: 98-108.
- Prentice, I.C., M. T. Sykes y W. Cramer (1993), "A simulation model for the transient effects of climate change on forest landscapes". En *Ecological Modeling* 65: 51-70.
- Prentice, I. C., W. Cramer, S. P. Harrison, R. Leemans, R. A. Monserud y A. M. Solomon (1992), "A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate". En *Journal of Biogeography*, 19: 117-134.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)-Honduras (2006), *Informe sobre desarrollo Humano. Honduras: Hacia la expansión de la ciudadanía*, Tegucigalpa, Honduras, PNUD, 258 p.
- _____ (septiembre de 2010), *Project/Program Proposal. Addressing Climate Change Risks on Water Resources in Honduras: Increased Systemic Resilience and Reduced Vulnerability of the Urban Poor* (Solicitud a la Junta del Fondo de Adaptación) [en línea], 49 p. <http://www.adaptation-fund.org/sites/default/files/Hondorus%20Project_0.pdf> [consulta: 7 de mayo de 2012].

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) (s. f.), *El cambio climático en Honduras. Una realidad del presente*, Tegucigalpa, Honduras, PNUD y SERNA, 28 p.
- Renard, J. G. y J. R. Freimund (1997), "Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE". En *Journal of Hydrology* 157: 287-306.
- Renard, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool y D. C. Yoder (1997), *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook 703, Washington, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, p. 384.
- República de Honduras (2010), *Visión de País 2010-38 y Plan de Nación 2010-22. Horizonte de Planificación para 7 períodos de gobierno*, 177 p.
- _____ (s. f.), *Segunda Comunicación Nacional del Gobierno de Honduras ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Tegucigalpa, Honduras, SERNA, 292 p.
- Resilience Alliance (2010), *Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0* [en línea]. <<http://www.resalliance.org/3871.php>>.
- Reyes, L. (2006), "Problemática de la calidad del agua del acueducto de Tegucigalpa". En *XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental "Superación Sanitaria y Ambiental: El Reto"*, Panamá. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia42.pdf>> [consulta: 7 de mayo de 2012].
- Rivera Rojas, M. (2007), *Impacto potencial del cambio climático en eventos epidémicos del gorgojo descortezador Dendroctonus frontalis (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) en Honduras*, tesis de Maestría, CATIE, 65 p.
- SANAA e ICF (2011), *Plan de Protección y Manejo de la Sub-Cuenca del Río Guacerique*, Tegucigalpa, Honduras, 184 p.
- Scholze, M., W. Knorr, N. W. Arnell e I. C. Prentice (2006), "A climate-change risk analysis for world ecosystems". En *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 13116-13120.
- Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (SERNA) (2000), *Primera comunicación de Honduras a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Año de Referencia 1995*, Tegucigalpa, Honduras, 106 p.
- _____ (2004), *La Estrategia de adaptación al cambio climático y plan de acción para la cuenca del Río Aguán en Honduras*, Honduras, SERNA, 53 p.
- _____ (2010), *Estrategia Nacional de Cambio Climático Honduras-síntesis para tomadores de decisión*, Honduras, SERNA, 46 p.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (s. f.), *About Climate Change and Biodiversity - Introduction*, Convenio sobre la Biodiversidad Biológica [en línea]. <<http://www.cbd.int/climate/intro.shtml>> [consulta: 24 de julio de 2012].
- Shlomo, A., K. Bartley, M. Derr, A. Malur, J. Mejía, P. Nuka, M. Perlin, S. Sahai, M. Torrens y M. Vargas (2004), "Rapid Urbanization in Tegucigalpa, Honduras: Preparing for the Doubling of the City's Population in the Next Twenty-five Years", Escuela Woodrow Wilson de Asuntos Públicos e Internacionales, Universidad de Princeton, Estados Unidos. <http://wvs.princeton.edu/research/final_reports/wvs591g_f03.pdf>
- Simmons, C. S. (1969), *Los suelos de Honduras. Informe al Gobierno de Honduras*, Roma, FAO.
- Sitch, S., B. Smith, I. C. Prentice, A. Arneeth, A. Bondeau, W. Cramer, J. Kaplan, S. Levis, W. Lucht, M. Sykes, K. Thonicke y S. Venevsky (2003), "Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Vegetation Model". En *Global Change Biology* 9: 161-185.
- Smit, B. y J. Wandel (2006), "Adaptation, adaptive capacity and vulnerability". En *Global Environmental Change*, 16(3): 282-292. <doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>.
- Smit, B., I. Burton, R. J. T. Klein y J. Wandel (2000), "An anatomy of adaptation to climate change and variability". En *Climatic Change* 45(1): 223-251.

- Smit, B., O. Pilifosova, I. Burton, B. Challenger, S. Huq, R. J. T. Klein, G. Yohe, N. Adger, T. Downing, E. Harvey, S. Kane, M. Parry, M. Skinner, J. Smith, J. Wandel, A. Patwardhan y J. F. Soussana (2001), "Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity". En *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, editado por James J. McCarthy, Osvaldo F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken y Kasey S. White, 77-103, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Smith, B., I. C. Prentice y M. T. Sykes (2001), "Representation of vegetation dynamics in the modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space". En *Global Ecology and Biogeography* 10, 621-637.
- SOGREAH Consultants (2004a, junio), *Proyecto de abastecimiento de agua para Tegucigalpa. Informe de síntesis. Identificación N.º 35 0034.14*, 55 p.
- _____ (2004b, junio), *Proyecto de abastecimiento de agua para Tegucigalpa. Informe Final – Volumen 5. Aspectos financieros e institucionales Guacerique II. Identificación N.º 35 0034.13.V5*, 86 p.
- Stimson, Jesse y Marcelino Losilla Peñón (2004), "A Critique of Existing Water Supply System Reconstruction Policies in the Aftermath of Hurricane Mitch, Northwest Coast of Honduras". En *Water International*, 29:1, 91-104. <DOI:10.1080/02508060408691752>.
- Televisión de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UTVUNAH) (2012), "La problemática del agua en Honduras", *Youtube*, publicado el 27 de marzo de 2012 [en línea]. <<http://www.youtube.com/watch?v=IH6bphXjRGo>> [consulta: 14 de noviembre de 2012].
- van Vuuren, D. P. y L. F. Bouwman (2005), "Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions". En *Ecological Economics*, 52: 43-62.
- van Zonneveld, M., A. Jarvis, W. Dvorak, G. Lema y C. Leibing (2009), "Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America". En *Forest Ecology and Management*, 257:1566-1576.
- Vignola, R., B. Locatelli, C. Martínez y P. Imbach (2009), "Ecosystem-based adaptation to climate change: What role for policy-makers, society and scientists?". En *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 691-696.
- Vignola R., T. L. McDaniels y R. W. Scholz (2010), "Decision-making by upstream farmers regarding ecosystem services: factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica". En *Land Use Policy*, 27(4): 1132-1142.
- Vignola, R., T. L. McDaniels y R. W. Scholz (2012), "Negotiation analysis for mechanisms to deliver ecosystem services: the case of soil conservation in Costa Rica". En *Ecological Economics*, 75: 22-31.
- Walling, D. E. y A. L. Collins (2008), "The catchment sediment budget as a management tool". En *Environmental Science and Policy*, 11:136-143. <doi: 10.1016/j.envsci.2007.10.004>.
- Zobler, L. (1986), *A world soil file for global climate modeling, NASA Technical Memorandum 87802*, Nueva York, Estados Unidos, Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA).

