

## PROGRAMA NACIONAL DE RESERVAS DE AGUA



**Análisis Costo-Beneficio para el decreto de reservas de agua para el ambiente en las cuencas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan**

*Reservas de agua:* Río Actopan y Río La Antigua

## Contenido

Índice de figuras .....	3
Índice de Tablas .....	3
Lista de abreviaturas .....	4
Resumen Ejecutivo.....	5
Introducción .....	6
Antecedentes .....	6
Caudal Ecológico .....	7
Reserva de Agua.....	7
Beneficios .....	8
Valoración de Servicios Ecosistémicos (SE).....	8
Objetivos .....	9
Metodología utilizada .....	10
Valoración económica de beneficios .....	10
Contexto.....	14
Población.....	14
Agua superficial .....	16
Volumen disponible .....	16
Presas .....	18
Agua Potable de Abastecimiento Público .....	18
Agua Subterránea.....	19
Agua Industrial.....	20
Otros uso del Agua.....	20
Desarrollo y valoración de costos y beneficios.....	21
Valoraciones absolutas.....	21
Servicios Ecosistémicos (SE) .....	21
Zonas de influencia directa.....	22
Otras regiones de la cuenca (Zona de influencia indirecta).....	22
Actividad Pesquera .....	23
Actividad Agrícola .....	24
Explotación de material pétreo.....	26
Beneficios atribuibles a la Reserva de Agua.....	27
Costos.....	28
Resultados .....	29
Fuentes .....	31

Lista de expertos .....	35
Anexo A: Alternativas metodológicas y metodología elegida .....	36
Estado del arte de la valoración de servicios ecosistémicos.....	36
Valoración de servicios ecosistémicos .....	36
Métodos agregados de valoración de los servicios ecosistémicos. ....	37
Modelos espacialmente explícitos de servicios ecosistémicos.....	37
Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs (InVEST).....	38
Metodología elegida: Valoración por transferencia básica .....	39
Literatura citada .....	44

## Índice de figuras

Figura 1. Localidades presentes en la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero. ....	15
Figura 2. Cuencas hidrológicas dentro de la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero.....	16
Figura 3. Red hidrográfica dentro de la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero.....	17
Figura 4. Uso consuntivo conservación ecológica o de los ecosistemas y conservación ecológica o de los ecosistemas y Por municipio en la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero. ....	18
Figura 5. Servicios Ecosistémicos dólares constantes/ha/año en la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero .....	22
Figura 6. Producción agrícola en la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero. Superficie sembrada de temporal .....	24
Figura 7. Producción agrícola en la Región Hidrológica Costa Chica de Guerrero. Superficie sembrada de riego. ....	25

## Índice de Tablas

Tabla 1. Beneficios de la Reserva de Agua.....	11
Tabla 2. Atribución a la Reserva de Agua, según expertos, del valor generado por los distintos servicios y funciones económicas. ....	14
Tabla 3. Costo actual del agua potable superficial.....	19
Tabla 4. Costo actual del agua potable del acuífero. ....	20
Tabla 5. Costo de agua superficial para sector industrial .....	20
Tabla 6. Costo de agua subterránea para sector industrial.....	20
Tabla 7. Costo de agua superficial para otros usos .....	20
Tabla 8. Costo de agua subterránea para otros usos.....	20
Tabla 9. Conceptos valorados y mecanismos de cuantificación .....	21
Tabla 10. Beneficio general directo de los Servicios ecosistémicos.....	22
Tabla 11. Beneficio general indirecto de los Servicios ecosistémicos .....	22
Tabla 12. Beneficio general de la pesca.....	23
Tabla 13. Beneficio general de la acuicultura en la cuenca. ....	24

Tabla 14. Beneficio general de producción agrícola de temporal. ....	25
Tabla 15. Beneficio general de producción agrícola de riego. ....	26
Tabla 16. Beneficio general de extracción de material pétreo .....	27
Tabla 17. Beneficio atribuibles a la Reserva de Agua .....	27
Tabla 18. Beneficios atribuibles a la Reserva de Agua con tasa de descuento del 10% .....	28
Tabla 19. Modificación de Zonas de Disponibilidad del Agua Superficial.....	28
Tabla 20. Costo del agua superficial con Reserva .....	29
Tabla 21. Relación Beneficio por conceptos.....	29
Tabla 22. Relación Beneficio-Costo .....	30

### **Lista de abreviaturas**

BID.- Banco Interamericano de Desarrollo

CONABIO.- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad

CONAGUA.- Comisión Nacional del Agua

CONANP.- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

CONAPO.- Consejo Nacional de Población

INEGI.- Instituto Nacional de Estadística y Geografía

InVEST.- Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs

REPDA.- Registro Público de Derechos de Agua

SIAP.- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

WWF.- Fondo Mundial para la Naturaleza, México

## Resumen Ejecutivo

El Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA) para el medio ambiente es una iniciativa conjunta de CONAGUA, CONANP y WWF, con apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte y el Banco Interamericano de Desarrollo, que busca establecer reservas de agua en 189 cuencas hidrológicas del país con disponibilidad de agua y que por su riqueza biológica, importancia ecológica y escasa presión hídrica, presentan condiciones favorables para su establecimiento. Las reservas de agua –en los términos de la Ley de Aguas Nacionales– garantizan los flujos mínimos para la protección ecológica.

El análisis de las cuencas hidrológicas del país tiene como sustento metodológico para la determinación del caudal ecológico la Norma Mexicana de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012), mismo que establece un equilibrio entre diferentes objetivos de conservación ambiental, funciones sociales y grados de presión sobre el recurso.

Tras analizar distintas opciones metodológicas para la valoración económica de los beneficios asociados al decreto de reservas en todas las cuencas objetivo, se optó por la metodología de transferencia básica de beneficios, consistente en la cuantificación de valores de los servicios ambientales en la cuenca, así como de las funciones económicas de los principales sectores beneficiados (agricultura, pesca y extracción de material pétreo), ponderada con un factor de atribución de beneficios asociados implícitamente al caudal ecológico. El detalle metodológico y el análisis de alternativas pueden consultarse en el Anexo A del presente.

**El análisis económico costo-beneficio para las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan, indica que el costo total relacionado con la reserva de agua es de \$452.65 millones de pesos, mientras que los beneficios dan un total de \$9,775.40 millones de pesos, lo cual da una relación beneficio-coste de 21.59 a 1. Esto coloca a la reserva de agua como una estrategia con viabilidad para cumplir los fines de garantizar los flujos de agua para la conservación ecológica o de los ecosistemas y uso ambiental.**

## Introducción

El Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA) para el medio ambiente es una iniciativa conjunta de CONAGUA, CONANP y WWF, con apoyo del BID, que busca establecer reservas de agua en 189 cuencas hidrológicas del país con disponibilidad de agua y que por su riqueza biológica, importancia ecológica y escasa presión hídrica, presentan condiciones favorables para su establecimiento. Las reservas de agua –en los términos de la Ley de Aguas Nacionales– garantizan los flujos mínimos para la protección ecológica.

## Antecedentes

El párrafo tercero del artículo 27° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece que la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de regular el aprovechamiento de los recursos naturales susceptibles de apropiación con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana y agrega que para lograr ese fin, deben dictarse las medidas necesarias para, entre otros aspectos, establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques.

De esta forma, la regulación ha sido uno de los instrumentos tradicionalmente más utilizados por el gobierno para darle una racionalidad al uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, que por virtud de lo señalado en la propia Constitución Política y reglamentado en la Ley de Aguas Nacionales, son susceptibles de ser utilizadas por personas físicas o morales de carácter público y privado a través de la concesión. **La finalidad de las Reservas de Agua es proteger al medio ambiente y a los ecosistemas presentes incentivando la conservación del recurso hídrico.**

Las reformas realizadas en 2004 por parte del Congreso de la Unión a la Ley de Aguas Nacionales incorporan el término de “uso ambiental” o “uso para conservación ecológica” y condicionan el otorgamiento de concesiones de agua a la no afectación de este uso. Sin embargo, la reforma no desarrolló los mecanismos tendientes a la protección del “uso ambiental” o “uso para conservación ecológica”.

A este respecto, es importante mencionar que el 19 de noviembre de 2012 entró en vigor la Norma Mexicana **NMX-AA-159-SCFI-2012**, que establece el procedimiento para la determinación del **caudal ecológico** en cuencas hidrológicas. Dicho instrumento regulatorio, de carácter voluntario, sugiere una serie de criterios y metodologías que pueden ser considerados para determinar el volumen de agua propuesto para “uso ambiental” o “uso para conservación ecológica”.

Por otra parte, de conformidad con la Ley Federal de Procedimiento Administrativo las declaratorias de reservas deben someterse previamente al procedimiento de evaluación de impacto regulatorio. En el caso concreto de las Reservas de Agua cuya finalidad es proteger el “uso ambiental” del agua, resulta necesario integrar en esa evaluación de impacto regulatorio, elementos que tradicionalmente no se integraban en las declaratorias de Reservas de Agua que perseguían otros propósitos.

**El presente trabajo tiene como finalidad presentar el análisis de los Costos/Beneficios del decreto de una Reserva de Agua en las cuencas hidrológicas de los ríos Actopan y La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan.** Es decir, medir el impacto regulatorio de la Reserva de Agua específicamente dirigida a la protección del “uso ambiental”.

La evaluación del impacto regulatorio conlleva un análisis de costos y beneficios, que permita determinar de manera paramétrica, con valores cuantificados, la relación proporcional que guardan los beneficios sociales del mismo contra los costos económicos asociados al mismo.

La Reserva de Agua, como la que se propone, permitirá regular los aprovechamientos de las aguas, permitiría a la autoridad del agua otorgar concesiones respecto de los volúmenes disponibles para los distintos usos señalados en la ley de la materia conforme estos le fueran requeridos.

En este sentido, se presenta el marco conceptual bajo el que se aplica la metodología de valoración económica del análisis costo-beneficio de la región hidrológica de interés.

### **Caudal Ecológico**

El caudal ecológico (CE) en ríos y humedales beneficia un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos<sup>1</sup>, que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad<sup>2</sup>. El CE concilia la demanda económica, social y ambiental del agua, reconoce que los bienes y servicios de las cuencas hidrológicas dependen de procesos físicos, biológicos y sociales, y que únicamente conservando el agua que éstos necesitan, se puede garantizar su provisión futura.

En la práctica, el CE busca reproducir en alguna medida el Régimen Hidrológico Natural (RHN), conservando los patrones estacionales de caudales mínimos y máximos -temporada de sequías y lluvias, respectivamente-, su régimen de crecidas y tasas de cambio -de especial interés para la gestión de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica. Estos componentes del RHN determinan la dinámica de los ecosistemas acuáticos y su relación con los ecosistemas terrestres.

### **Reserva de Agua**

La reserva de agua para el medio ambiente es un instrumento jurídico (decreto) que garantiza un volumen de agua para el uso ambiental o para conservación ecológica en una cuenca hidrológica (CONAGUA, 2015). Su finalidad es lograr la conservación del medio ambiente y los ecosistemas de una cuenca, dando sustento a todas las actividades que en ella se desarrollen fortaleciendo la gestión integrada de los recursos hídricos.

---

<sup>1</sup> Proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados en una cuenca, con la intención de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de ecosistemas vitales (Global Water Partnership, 2000).

<sup>2</sup> 10th International River Symposium and Environmental Flow Conference, Brisbane, Australia, September, 2007.

La reserva de agua para el ambiente se plantea como un camino para adaptarse al cambio climático y alcanzar una condición de seguridad hídrica para México. Este proceso se fundamenta en la aplicación de la Norma Mexicana de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012) en 189 cuencas con reservas de agua para el ambiente que preservarán 97 áreas naturales protegidas y 55 humedales de importancia internacional (Ramsar).<sup>3</sup>

El PNRA se ejecuta mediante un decreto presidencial. El decreto de reserva de agua para uso ambiental es el acto administrativo de carácter general mediante el cual el Ejecutivo Federal declara el establecimiento de limitaciones en la explotación, uso o aprovechamiento de una porción o la totalidad de las aguas disponibles, es decir una reserva, en áreas específicas de los acuíferos, cuencas hidrológicas, o regiones hidrológicas, con el propósito de garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica, incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales (CONAGUA, 2017). Hasta ahora, se han decretado dos reservas de agua, la del Río San Pedro Mezquital (integrado por 11 cuencas hidrológicas) y la del río Fuerte (integrado por cuatro cuencas hidrológicas).

### **Beneficios**

El Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA) para el medio ambiente, busca entre varios objetivos:

- I) Establecer un sistema nacional de reservas de agua para el medio ambiente;
- II) Demostrar sus beneficios como instrumento garante de la funcionalidad del ciclo hidrológico y sus servicios ecosistémicos; y
- III) Fortalecer la aplicación de la norma mexicana de caudal ecológico en el país.

Se considera que algunos de los beneficios de estas reservas de agua, son:

- I) Conectividad hidrológica en las cuencas y humedales
- II) Conservación de los humedales y las actividades presentes en ellas  
conservación ecológica o de los ecosistemas
- IV) Garantía legal de agua (decreto) y
- V) Creación de capacidades y cultura del agua en términos de su conservación y protección

### **Valoración de Servicios Ecosistémicos (SE)**

La propuesta de evaluación de los ecosistemas del milenio ilustra con claridad las interdependencias entre los sistemas ecológicos y el bienestar humano, así como el estado y tendencias de los principales servicios ecosistémicos del planeta (MEA 2005). Dicho bienestar depende de los beneficios que proveen los ecosistemas a la sociedad, entre ellos los servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y de soporte. La valoración de los servicios ecosistémicos es un tema de interés académico que tiene aplicaciones en la toma de decisiones y en la creación de instrumentos de gestión ambiental del territorio (Ruhl et al. 2007). Sin embargo, para que los servicios ecosistémicos sean considerados por los tomadores de decisiones se

---

<sup>3</sup> <https://publications.iadb.org/handle/11319/7316#sthash.Q98vVq5c.dpuf>

requieren métodos sistemáticos para determinar su valor y las fluctuaciones en el mismo como resultado de políticas alternativas o actividades humanas (Mäler et al. 2008).

El presente estudio toma las metodologías de valoración por transferencia básica de beneficios e InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, por sus siglas en inglés) para por un lado, modelar espacialmente los servicios ecosistémicos y, por otro darles un valor económico, que permita incidir en la adecuada gestión del recurso hídrico a través del PNRA.

## Objetivos

- Mencionar y describir los beneficios y costos económicos, sociales y ambientales que, de manera potencial, se derivarían de la creación de la Reserva de Agua en las cuencas hidrológicas de los ríos Actopan y La Antigua, pertenecientes a la **Región Hidrológica Papaloapan**.
- Cuantificar en términos monetarios los beneficios y costos, tanto económicos como sociales y ambientales que se obtendrían a partir de la creación de la Reserva de Agua en las cuencas hidrológicas de los ríos Actopan y La Antigua, pertenecientes a la **Región Hidrológica Papaloapan**.

La evaluación económica y social del método Beneficio/Costo consiste en determinar si los beneficios, al incluir un proyecto cualquiera, son suficientes para cubrir los costos de inversión necesarios para su realización, en donde todos los valores serán determinados a una misma referencia en valor presente, calculados a partir de una tasa de descuento establecida del **10%** por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

La principal limitante de este tipo de estudios es la existencia de una buena cantidad de beneficios y costos intangibles cuya cuantificación es difícil dadas las actuales condiciones técnicas y del conocimiento, por lo que en el presente estudio se mencionarán todos aquellos beneficios tangibles e intangibles posibles de calcular y estimar, privilegiando y contabilizando los primeros. En consecuencia, consideramos que los beneficios y costos del proyecto regulatorio debe privilegiar el siguiente orden de importancia:

- a. Beneficios Económicos
- b. Beneficios Sociales
- c. Beneficios Ambientales
- d. Principios éticos y de equidad inter e intra-generacional.

La intangibilidad en la medición de los beneficios y costos, no significa que los mismos no tengan una importancia sustancial para la sociedad. Esto conlleva a que, si bien el estudio de Beneficio/Costo resulta positivo, la imposibilidad de cuantificar todas las ventajas posibles hace que la decisión final sobre la ejecución de un proyecto tenga no sólo un carácter meramente técnico-económico, sino también social, ético y político.

## Metodología utilizada

Métodos de valoración: Se eligen en función de la información más confiable y precisa disponible, dependiendo de la existencia de cada variable por identificar.

- Se da preferencia a las cifras oficiales
- Las cifras utilizadas para una misma valoración deben ser homogéneas (misma métrica, preferentemente la misma fuente)
- Se utilizaron las cifras más actualizadas disponibles (publicadas u obtenidas) al momento de realizar el estudio. Para homologar su análisis, todas las cifras son convertidas a unidades del Sistema Métrico Decimal, y los montos son convertidos a pesos mexicanos.

La metodología utilizada para la valoración económica de los beneficios es Valoración por Transferencia. A continuación se describe el protocolo metodológico. El análisis de alternativas metodológicas disponibles y la justificación de la elección de esta metodología se encuentra disponible en el Anexo A del presente.

## Valoración económica de beneficios

El caudal ecológico tiene múltiples beneficios y beneficiarios. Se identifican a través de:

- a) Ecosistemas, cuantificados por sus servicios ecosistémicos.
- b) Sectores, como la agricultura, pesca y extracción de material pétreo, cuantificados por el valor de producción.

En la Tabla 1 se listan algunos de los beneficios que el caudal ecológico aporta a los servicios ecosistémicos y sectores.

Sector valorado	Beneficios de las Reservas de Agua
Servicios Ecosistémicos Directos	Mantienen el caudal en ríos, lagunas y manglares y con ello la continuidad en la provisión de los servicios ecosistémicos hacia la sociedad.
Servicios Ecosistémicos Indirectos	Permiten mantener una cierta riqueza de flora y fauna. El caudal es parte importante de los procesos ecosistémicos que suceden en la cuenca, que a su vez determinan la oferta de servicios ecosistémicos. Promueve el flujo de nutrientes hacia el suelo y subsuelo.
Agricultura de riego	Permiten que existan servicios ecosistémicos y condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de los cultivos. Garantizan el agua superficial para los usuarios de sistemas de riego.
Agricultura de temporal	Permiten que existan servicios ecosistémicos y condiciones climáticas óptimas para el crecimiento de los cultivos. Garantizan inundaciones para cultivos como el arroz.
Extracción de material pétreo	Los bancos de materiales son producto del arrastre de estos materiales que resulta gracias a un caudal sano, a las inundaciones y a la precipitación.

Sector valorado	Beneficios de las Reservas de Agua
Pesca	Mantienen el caudal en ríos, lagunas y manglares, con ello se garantiza el hábitat de especies de carácter comercial, su diversidad y cantidad.

Tabla 1. Beneficios de la Reserva de Agua.

## Valoración de los Servicios Ecosistémicos

Para valorar económicamente los servicios ambientales en cada cuenca, se siguen 3 pasos:

- a) Se identifica la cobertura en hectáreas totales por ecosistema (utilizando los polígonos de Uso de Suelo y Vegetación Serie V, INEGI).
- b) Teniendo el área total por ecosistema, se utilizan los valores de servicios ambientales de (Constanza et al, 2014), expresados en dólares/ha/año, multiplicándolos por la cobertura resultante del proceso “a”.
- c) Contando con el valor total en dólares 2011 por ecosistema (tipo de cambio pesos por dólar es de (\$13.99), se actualiza el valor de la moneda (utilizando el factor de depreciación del dólar, que fue de 10% en el periodo 2011-2016) y se convierte a pesos mexicanos, de acuerdo con el tipo de cambio al 31 de diciembre de 2016 (\$20.73 pesos por dólar).

Para cada una de las funciones económicas valoradas (agricultura de riego y temporal, pesca y extracción de material pétreo), los valores se distinguen en función de su relación de proximidad con el caudal, diferenciándose en:

### Beneficios Directos:

Aquellos que manifiestan costos o beneficios del cauce del río de manera directa, entre ellos los que están situados sobre el cauce o dentro de un buffer de 2 km del mismo, o bien los que extraen agua del río para realizar sus actividades.

### Beneficios Indirectos:

Aquellos que manifiestan costos o beneficios del cauce del río de manera indirecta, entre ellos los que están situados dentro del polígono de la cuenca pero fuera del buffer de 2 km del cauce, o bien los que obtienen agua de pozos u otras fuentes para realizar sus actividades.

## Agricultura de Temporal

Se analizó la información por municipio de:

- **Superficie Sembrada**
- **Principales Cultivos por Reserva**
- **Se obtiene el Valor de Producción para la totalidad de municipios\* dentro de la reserva (\$), utilizando los factores de atribución posteriormente descritos**

\*Los municipios que no son cubiertos en su totalidad por la reserva de agua, también son tomados en cuenta (Nota: La información de fuentes oficiales únicamente muestra totales por

municipio. Para aquellos municipios que no son cubiertos en su totalidad por la reserva de agua, se utilizó la capa de Uso de Suelo y Vegetación (INEGI) para identificar la proporción del mismo cubierta con algún tipo de agricultura).

Fuentes: SIAP, SAGARPA. Información a nivel municipal:

- Superficie Sembrada (ha)
- Superficie Cosechada (ha)
- Valor de Producción (miles de pesos)
- Tipo de cultivo
- Producción (ton)
- Rendimiento (ton/ha)
- PMR Precio Medio Rural (\$/ton)

### **Valoración de la Agricultura de Riego**

Se analizó la información por municipio de:

- **Superficie Sembrada**
- **Principales Cultivos por Reserva**
- **Se obtiene el Valor de Producción para la totalidad de municipios\* dentro de la reserva (\$), utilizando los factores de atribución posteriormente descritos**

\*Los municipios que no son cubiertos en su totalidad por la reserva de agua, también son tomados en cuenta (el máximo desglose es municipio).

Fuente: SIAP, SAGARPA. Información:

- Superficie Sembrada (ha)
- Superficie Cosechada (ha)
- Valor de Producción (miles de pesos)
- Tipo de cultivo
- Producción (ton)
- Rendimiento (ton/ha)
- PMR Precio Medio Rural (\$/ton)

### **Valoración de la Explotación de material pétreo**

Con base en la información del anuario del **Valor Total de Producción y Tonelada de Producto** se estimó el **Valor de Tonelada** del Agregado Pétreo.

Para obtener la **Producción Anual** se multiplicó **Toneladas por Valor de Tonelada**.

Los valores (\$) obtenidos fueron convertidos de pesos a **miles de pesos**.

Fuente: LOCREPDA (Localizador REPDA de Aguas Nacionales, Zonas Federales y Descargas de Aguas Residuales).

Información:

- Concesiones de extracción de material
- Toneladas
- Producto
- Tonelada de producto

- Valor total de producto

### Estimación de Factores de Atribución

Si bien el método de transferencia básica nos otorga los valores absolutos de cada servicio ecosistémico, y la valoración de actividades económicas nos brinda información sobre el valor económico generado para cada actividad, es preciso determinar qué proporción del valor generado, tanto en los servicios ecosistémicos como en las actividades productivas puede atribuirse directamente a la Reserva de Agua para el ambiente. A la fecha de elaboración del presente no existe una sola referencia científica que determine esta relación puntualmente. Ante este reto, se consultó la opinión de ocho científicos mexicanos<sup>4</sup> con experiencia en valoración y servicios ecosistémicos y comprensión del Programa Nacional Reservas de Agua.

A pregunta expresa, se solicitó a cada experto determinar la proporción del valor de cuatro elementos (servicios ecosistémicos, actividad pesquera, actividad agrícola y extracción de materiales), diferenciándolos entre aquellos que ocurren o se benefician directamente sobre el buffer del caudal (sobre o a un máximo de 2 km del cuerpo de agua superficial), de aquellos que están fuera del margen del buffer de 2 km). Es decir, se les preguntó a los expertos qué porcentaje del valor de los servicios ecosistémicos y las actividades productivas pueden ser atribuidos a la protección del caudal ecológico.

Las distintas opiniones de los expertos sobre el nivel de atribución se muestran en los rangos expresados en la Tabla 2, en donde el valor mínimo es la cifra más baja expresada por alguno de ellos, y el valor máximo es la cifra más alta expresada por los mismos.

Para efectos de cálculo de beneficios en el presente documento, **en la totalidad de los casos la atribución se toma con los valores mínimos de cada rango.** Estando conscientes de que este escenario es conservador y los beneficios pueden ser mayores, priorizamos la solidez del consenso, al utilizar el rango mínimo, sabemos que todos los expertos consideraron que el beneficio es igual o mayor que el valor atribuido. De este modo, se asegura que todos los expertos coinciden en que, como mínimo, ese es el valor atribuible a la reserva de agua de uso ambiental.

### ¿Qué proporción del valor de cada elemento definido puede atribuirse a las Reservas de Agua, diferenciándolos entre los que se encuentran a 2 kilómetros del caudal, de aquellos que se encuentran fuera de este margen?

	Sobre los cuerpos de agua superficiales	Fuera del margen de los cuerpos de agua superficiales
Servicios ecosistémicos	70% a 100%	20% a 40%
Pesca	60% a 80%	0% a 20%
Agropecuario	50% a 80%	10% a 25%

<sup>4</sup> Ver lista al final de documento

	Sobre los cuerpos de agua superficiales	Fuera del margen de los cuerpos de agua superficiales
Extracción de materiales	60% a 80%	0%

Tabla 2. Atribución a la Reserva de Agua, según expertos, del valor generado por los distintos servicios y funciones económicas.

Para desarrollar la presente metodología se consideraron distintas opciones metodológicas con sustento científico existentes, resultando la Valoración por Transferencia básica la más adecuada para este análisis de Beneficio Costo. El detalle sobre las metodologías analizadas y el estado del arte de la valoración de los mismos puede consultarse en el Anexo A.

## Contexto

### Población

La población intrínsecamente produce impactos en el ambiente que le rodea, ya sea extrayendo recursos, modificando el paisaje o generando contaminantes, entre otras, que afectan los niveles de calidad y cantidad de agua en la cuenca. Es un agente que puede cuidar o destruir el medio ambiente.

Las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan se extienden por los estados de la República Mexicana: Veracruz y Puebla. Veracruz ocupa el tercer lugar a nivel nacional de habitantes (8,112,505 habitantes) y Puebla el quinto lugar (6,168,883 habitantes) (INEGI 2015).

La población que vive dentro de los límites de las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a Región Hidrológica Papaloapan asciende a 1,597,594 habitantes<sup>5</sup>. El suministro de agua de estas localidades está supeditado en su mayoría (67 %) a las corrientes de agua superficiales, **por lo que el decreto de Reservas de Agua garantizaría la disponibilidad de agua presente y futura a este sector.**

Las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan cuentan con 64 localidades urbanas (con población igual o mayor a 2,500 habitantes). La población urbana dentro de las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan asciende a 1,205,185 habitantes (75.4%).

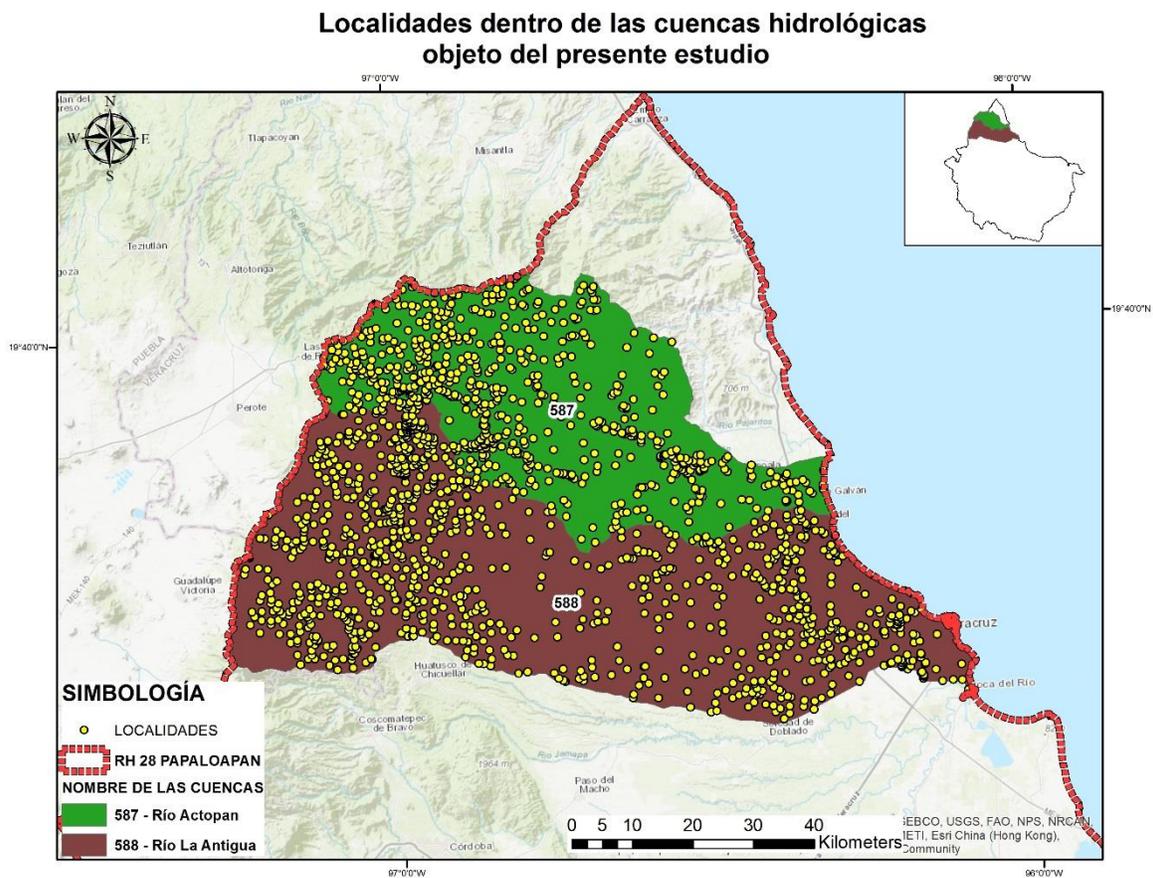
Los municipios con mayor número de habitantes en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan son: Veracruz (548,420 habitantes) y Xalapa (457,928 habitantes).

La presión sobre los recursos hídricos tiende a aumentar junto con el crecimiento de la población, el desarrollo económico y los cambios potenciales del clima. Es importante señalar que 19 de 40 municipios en la Reserva de Agua tienen un grado Alto y Muy alto de marginación (CONAPO 2005), por lo que la disponibilidad del agua en las cuencas hidrológicas Río Actopan

<sup>5</sup> INEGI, 2005

y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan se traduce en beneficios inmediatos para la población.

Figura 1. Localidades presentes en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan.



Fuente: Censo INEGI, 2010.

## Agua superficial

### Volumen disponible

La Región Hidrológica Papaloapan está conformada por 18 cuencas hidrológicas, entre las que se encuentran las dos cuencas hidrológicas objeto del presente estudio. Las cuencas hidrológicas Río Actopan (204,580 ha) y Río La Antigua (344,390 ha).

Figura 2. Cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua dentro de la Región Hidrológica Papaloapan.



Fuente: Elaboración propia.

Las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan aportan en promedio anual  $2,983.276 \text{ hm}^3$  del escurrimiento nacional<sup>6</sup>, esto se debe

<sup>6</sup>  $1 \text{ hm}^3$  (hectómetro cúbico) equivale a  $1,000,000 \text{ m}^3$ .

DOF (07 de julio 2017). ACUERDO por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Río Salado, Río Grande, Río Trinidad, Río Valle Nacional, Río Playa Vicente, Río Santo Domingo, Río Tonto, Río Blanco, Río San Juan, Río Tesechoacán, Río Papaloapan, Llanuras de Papaloapan, Río Actopan, Río La Antigua, Río Jamapa, Río Cotaxtla, Río Jamapa-Cotaxtla y Llanuras de Acopan, pertenecientes a la Región Hidrológica No. 28 Papaloapan.



## Presas

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan no existen presas.

## Agua Potable de Abastecimiento Público

Las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan cuentan con 64 localidades urbanas, siendo Veracruz y Xalapa Enriquez las localidades con una población mayor a 400 mil habitantes. La población urbana dentro de la estas cuencas hidrológicas asciende a 1,205,185 habitantes, equivalente al 75.4% de la población total.

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan el 49.67% de la población cuenta con suministro de agua potable (INEGI 2010). Actualmente, estas cuencas tienen un volumen concesionado total de 372.67<sup>8</sup> hm<sup>3</sup>. De ellos, el 66.93%<sup>9</sup> es de origen superficial, de los cuales 72.97 hm<sup>3</sup> son para el uso de abastecimiento público<sup>10</sup>.

Figura 4. Uso consuntivo conservación ecológica o de los ecosistemas y conservación ecológica o de los ecosistemas y Por municipio en la Región Hidrológica Papaloapan.

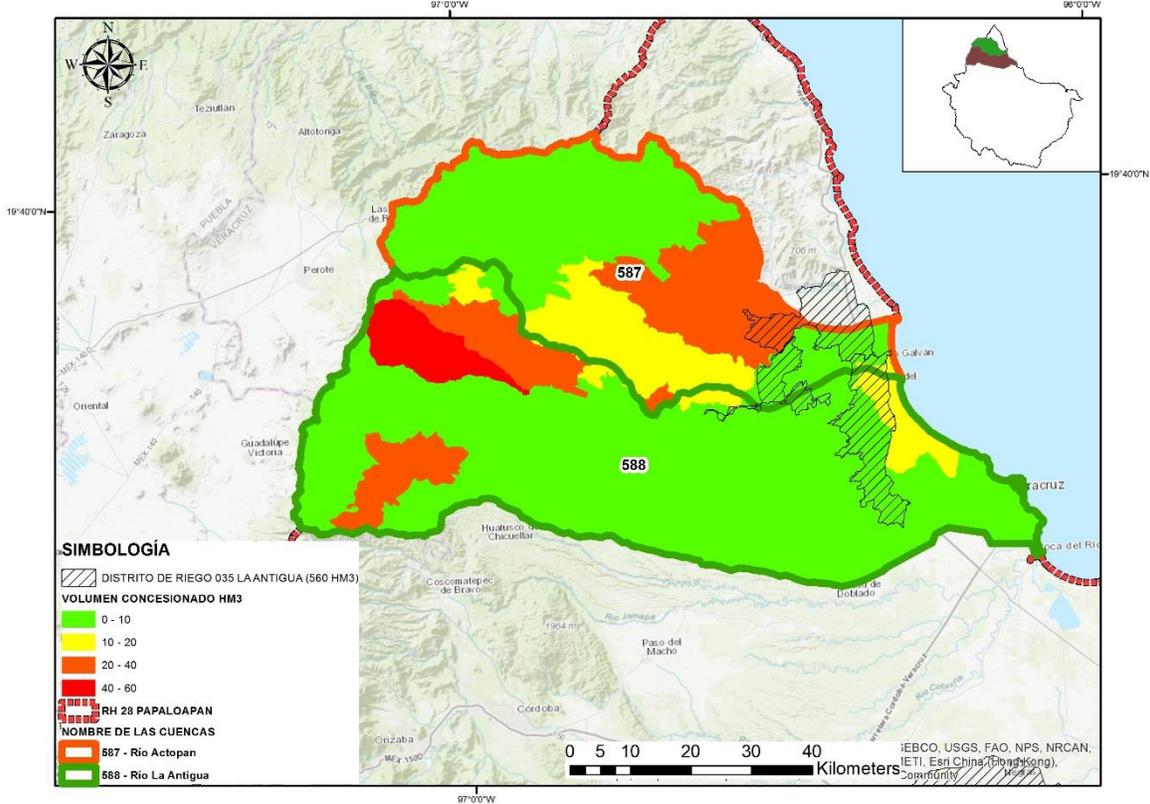
---

<sup>8</sup> Conagua. *op cit.*

<sup>9</sup> Conagua. *loc. cit.*

<sup>10</sup> Se consideran los usos Doméstico y Público Urbano.

## Usos de agua por municipios en las cuencas hidrológicas objeto del presente estudio



Fuente: Uso del agua, base de datos REPDA.

El volumen de agua demandado para abastecimiento urbano en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan es de 72.924 hm<sup>3</sup>. Tabla 3.

Costo actual del agua potable superficial de la Cuenca		
Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
72.924	\$0.108	\$7,887.43

**Tabla 3. Costo actual del agua potable superficial.**

\*Nota: Tabla elaborada con información del Artículo 223 de la Ley Federal de Derechos, 2017

### Agua Subterránea

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan, sus acuíferos tienen disponibilidad de agua. La demanda de agua subterránea en estos acuíferos es de 123.259 hm<sup>3</sup>.

El volumen de agua para abastecimiento público asciende a 45.170 hm<sup>3</sup>, equivalentes al 36.64% del volumen subterráneo total. Tabla 4.

Costo actual del agua potable de acuíferos de la Región		
Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
45.170	\$0.123	\$5,534.70

Tabla 4. Costo actual del agua potable del acuífero.

\*Nota: Tabla elaborada con información del Artículo 223 de la Ley Federal de Derechos, 2017

## Agua Industrial

El volumen de agua superficial concesionado es de 66.235 hm<sup>3</sup> (Tabla 5) y de 17.739 hm<sup>3</sup> de agua subterránea (Tabla 6), su uso genera un valor total de \$200,866.675 miles de pesos).

Costo actual de agua industrial superficial de la Región		
Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
66.235	\$2.294	\$151,917.28

Tabla 5. Costo de agua superficial para sector industrial.

\*Nota: Tabla elaborada con información del Artículo 223 de la Ley Federal de Derechos, 2017

Costo actual de agua industrial subterránea de la Región		
Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
17.739	\$2.760	\$48,949.391

Tabla 6. Costo de agua subterránea para sector industrial.

\*Nota: Tabla elaborada con información del Artículo 223 de la Ley Federal de Derechos, 2017

## Otros uso del Agua

Dentro de las cuencas existen otras concesiones de agua como acuicultura, agrícola, generación de energía hidroeléctrica, entre otros (Tabla 7).

Costo actual de agua superficial para otros usos			
Uso	Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
Acuicultura	3.146	\$0.001	\$2.706
Agrícola	637.907	\$0.000	\$0.000
Doméstico	0.055	\$0.000	\$0.000
Pecuario	0.215	\$0.000	\$0.000
Servicios	28.362	\$2.294	\$65,051.083
Múltiples	0.167	\$0.000	\$0.000
Total	110.251		\$65,053.789

Tabla 7. Costo de agua superficial para otros usos.

En lo que respecta al volumen concesionado subterráneo de otras actividades es el siguiente (Tabla 8).

Costo actual de agua subterránea para otros usos			
Uso	Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
Acuicultura	0.100	0.001	\$0.095
Agrícola	49.078	0.000	\$0.000

Costo actual de agua subterránea para otros usos			
Uso	Volumen demandado actualmente (hm <sup>3</sup> /año)	Precio promedio por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )	Costo total (miles de pesos/año)
Doméstico	0.004	0.000	\$0.000
Pecuario	0.010	0.000	\$0.000
Servicios	10.362	2.760	\$28,592.835
Múltiples	0.797	0.000	\$0.000
<b>Total</b>	<b>60.351</b>		<b>\$28,592.930</b>

Tabla 8. Costo de agua subterránea para otros usos.

## Desarrollo y valoración de costos y beneficios

La metodología utilizada permite englobar los valores desde dos aspectos: la valoración de los servicios ecosistémicos y la valoración de diversas actividades económicas que se vinculan con el caudal ecológico. Las valoraciones comprenden, para cada sector, un mecanismo de valoración total y posteriormente, se aplica un factor de atribución al PNRA, entendido como la proporción del valor total que puede atribuirse al caudal ecológico. Tabla 9.

Concepto	Cuantificación Total
Servicios Ecosistémicos	Valor total de los 17 servicios ecosistémicos detallados en la metodología, para cada ecosistema identificado en la cuenca.
Agricultura de temporal	Valor total de la producción agrícola de temporal en la cuenca
Agricultura de riego	Valor total de la producción agrícola de riego en la cuenca.
Extracción de material pétreo	Valor total de la extracción de material pétreo sobre cuerpos de agua superficiales.
Pesca	Valor total de la producción pesquera sobre cuerpos de agua superficiales.

Tabla 9. Conceptos valorados y mecanismos de cuantificación.

## Valoraciones absolutas

### Servicios Ecosistémicos (SE)

Los servicios ecosistémicos (SE) son los beneficios que las poblaciones humanas obtienen de los ecosistemas.<sup>11</sup> Los servicios ecosistémicos o ambientales son los siguientes: A) Regulación de Gases, B) Regulación del Clima, C) Resiliencia ante perturbaciones, D) Regulación hidrológica, E) Provisión de agua, F) Control de la Erosión, G) Formación de suelo, H) Reciclaje de nutrientes, I) Tratamiento de desechos, J) Polinización, K) Control biológico de plagas, L) Hábitat, M) Producción de alimentos, N) Provisión de materiales para construcción, O) Provisión de recursos genéticos, P) Recreación, Q) Culturales.<sup>12</sup> Para el presente análisis se realizó una valoración por transferencia con base en el valor de los servicios ecosistémicos por tipos de vegetación estimados por Costanza *et al.*, 2014

Como se ha descrito anteriormente, la valoración económica de servicios ambientales no es homogénea en toda la cuenca, diferenciándose entre:

- zonas de influencia directa (entendidos como aquellos ecosistemas que se encuentran situados sobre el cauce o dentro de un buffer de 2 km del mismo) y
- zonas de influencia indirecta, que son aquellos que están situados más allá del buffer de 2 km del cauce del río.

<sup>11</sup> Daily 1997; MA 2003.

<sup>12</sup> Costanza *et al.*, 2014.

Las diferencias básicas en las interacciones del caudal con cada una de estas dos zonas pueden consultarse, como se describió anteriormente, en la Tabla 9)

### Zonas de influencia directa

Los Servicios Ecosistémicos de influencia directa son aquellos que manifiestan beneficios del cauce del río de manera directa, entre ellos los que están situados sobre el cauce o a un lado del mismo, o bien los que extraen agua del río para realizar sus actividades. De esta forma, si se considera únicamente el valor de los servicios ecosistémicos proporcionados por los cuerpos de agua y manglares (influencia directa) asciende a \$274.57 millones de pesos, dicho monto representa los beneficiarios directos de la Reserva de Agua. Tabla 10.

Tipo de hábitat	Área (ha)	Valor Serv Amb (dólares/ha/año)	Valor Serv Amb (dólares/año)	Tipo de cambio dólar Fix abril 2011	Valor en pesos 2011	INPC (variación 2011-2016)	Valor en pesos (considerando deflación 2011-2016)
Cuerpos de Agua	387.224	Directos	25,024.000	13.990	\$67,782,819.690	18%	\$80,196,349.184
Manglar	60.579	Directos	193,843.000	13.990	\$164,287,651.208	18%	\$194,374,767.870
<b>TOTAL</b>	<b>447.804</b>		<b>218,867.000</b>				<b>\$274,571,117.054</b>

Tabla 10. Beneficio general directo de los Servicios ecosistémicos.

### Otras regiones de la cuenca (Zona de influencia indirecta)

Los Servicios Ecosistémicos que se encuentran en otra parte de la cuenca son aquellos que manifiestan beneficios del cauce del río de manera indirecta, entre ellos los que están situados dentro del polígono de la cuenca pero no cerca ni sobre el cauce, o bien los que obtienen agua de pozos u otras fuentes para realizar sus actividades.

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan el uso de suelo preponderante es el de cultivos (263,308 ha), seguido de pastizales (151,827 ha) y bosque tropical (68,567 ha). En total el valor de estos servicios ambientales asciende a \$45,142 millones de pesos. Tabla 11.

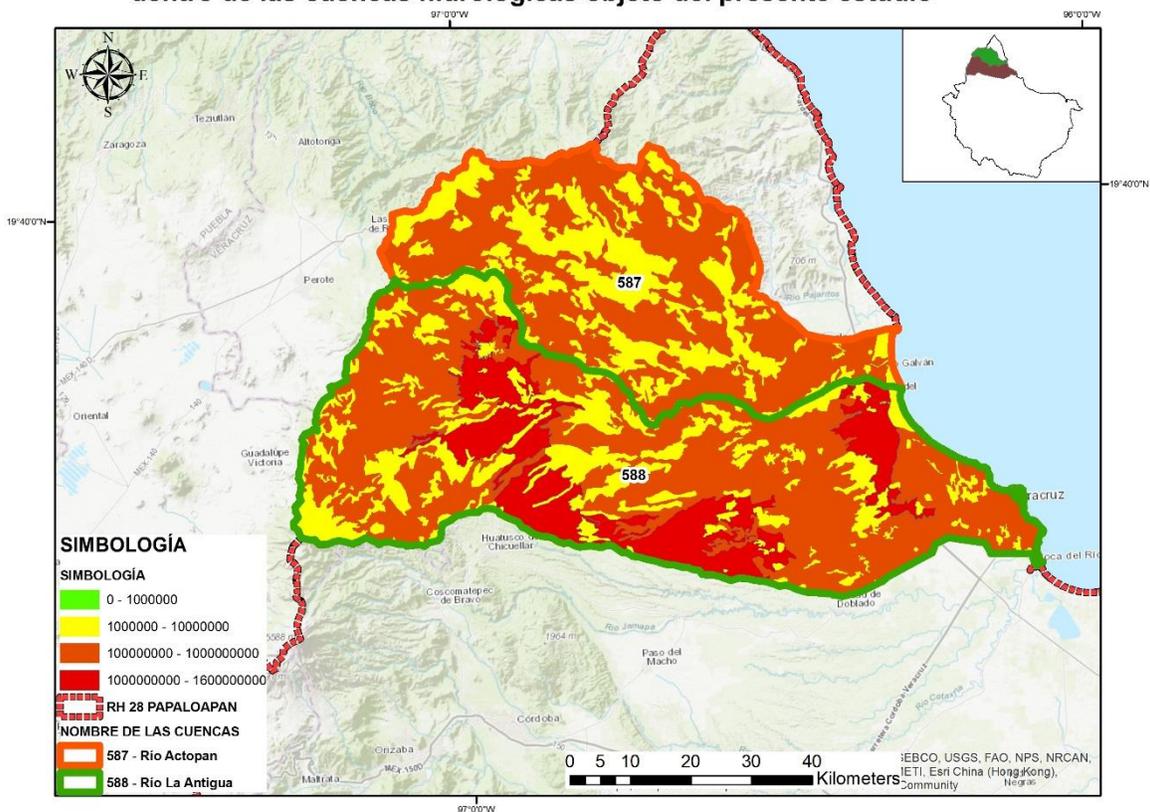
Tipo de hábitat	Área (ha)	Valor Serv Amb (dólares/ha/año)	Valor Serv Amb (dólares/año)	Tipo de cambio dólar Fix abril 2011	Valor en pesos 2011	INPC (variación 2011-2016)	Valor en pesos (considerando deflación 2011-2016)
Cultivos	263,308.740	144,742.000	1,465,839,753.715	363.750	20,507,684,490.375	18%	24,263,396,445.600
Pastizales	151,827.230	33,328.000	632,512,242.196	111.923	8,849,099,273.224	18%	10,469,695,101.535
Rocas	4.657	0.000	0.000	13.990	0.000	18%	0.000
Bosque Templado	46,401.090	59,603.000	145,560,217.896	265.818	2,036,445,672.458	18%	2,409,393,840.341
Bosque Tropical	68,567.339	91,494.000	369,029,417.061	237.837	5,162,869,156.450	18%	6,108,380,553.568
Área Urbana	17,153.739	26,644.000	114,261,057.138	55.962	1,598,557,893.778	18%	1,891,312,689.942
<b>Total</b>	<b>547,262.794</b>	<b>\$327,976.000</b>	<b>\$2,727,202,688.006</b>				<b>\$45,142,178,630.985</b>

Tabla 11. Beneficio general indirecto de los Servicios ecosistémicos.

Se debe de considerar que los cultivos y pastizales son los tipos de vegetación que generan los servicios ecosistémicos más valiosos en la región.

Figura 5. Servicios Ecosistémicos dólares constantes/ha/año en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan

**Servicios Ecosistémicos dólares constantes/ha/año  
dentro de las cuencas hidrológicas objeto del presente estudio**



Fuente: Elaboración propia, a partir del mapa de uso de suelo y vegetación, INEGI, Serie V y Constanza et al (2014).

### Actividad Pesquera

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan se estima que el valor de producción de la actividad pesquera es de \$1.44 millones de pesos (Tabla 12), siendo la pesca en ríos la de mayor valor \$1.03 millones de pesos, equivalente al 71.7% del valor total.

Beneficios de la pesca en la región					
Valor de la producción (pesos 2014)		INPC (variación 2014-2016)	Valor de la producción (pesos 2016)		Total General
Captura en agua dulce	Captura en agua salobre		Captura en agua dulce	Captura en agua salobre	
\$370,045,681.095	\$384,056,830.147	5.563%	\$1,034,641.959	\$407,951.668	\$1,442,593.626

Tabla 12. Beneficio general de la pesca.

### Acuicultura

En el caso de la producción acuícola se genera tanto en agua dulce como salobre. En general la producción acuícola en la cuenca genera un valor estimado de \$1.45 millones de pesos (Tabla

13). Se estima que en la cuenca el 97% del valor de la producción es de cultivos de agua dulce, equivalente a \$1.41 millones de pesos.

Beneficios de la acuicultura en la región					
Valor de la producción (pesos 2014)		INPC (variación 2014-2016)	Valor de la producción (pesos 2016)		Total General
Acuicultura de agua dulce	Acuicultura de agua salobre		Acuicultura de agua dulce	Acuicultura de agua salobre	
\$505,635,388.309	\$29,431,610.476	5.563%	\$1,413,748.668	\$31,262.755	\$1,445,011.422

Tabla 13. Beneficio general de la acuicultura en la cuenca.

## Actividad Agrícola

La agricultura se presenta en dos modalidades: riego y temporal. La de temporal depende de la época de lluvias para poder desarrollarse; mientras que la agricultura de riego depende de las concesiones de aguas superficiales y subterráneas para su desarrollo. La superficie sembrada en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan asciende a 244,600 ha, el 81.37% de esta superficie es de temporal (199,033 ha) y el 18.63% es de riego (45,567 ha). El valor de la producción de ambos tipos de actividad agrícola asciende a \$4,764 millones de pesos. El valor de la producción de temporal asciende a \$2,662 millones de pesos, seguida por la producción de riego \$2,102 millones de pesos.

Los sistemas de siembra bajo modalidad de temporal son los más comunes en la zona. Representan mayor superficie y mayor valor de producción. Esta modalidad no utiliza el agua de las fuentes existentes como los ríos o acuíferos, ya que su sistema se vale de los ciclos de lluvias por lo que no genera ninguna afectación a las aguas nacionales.

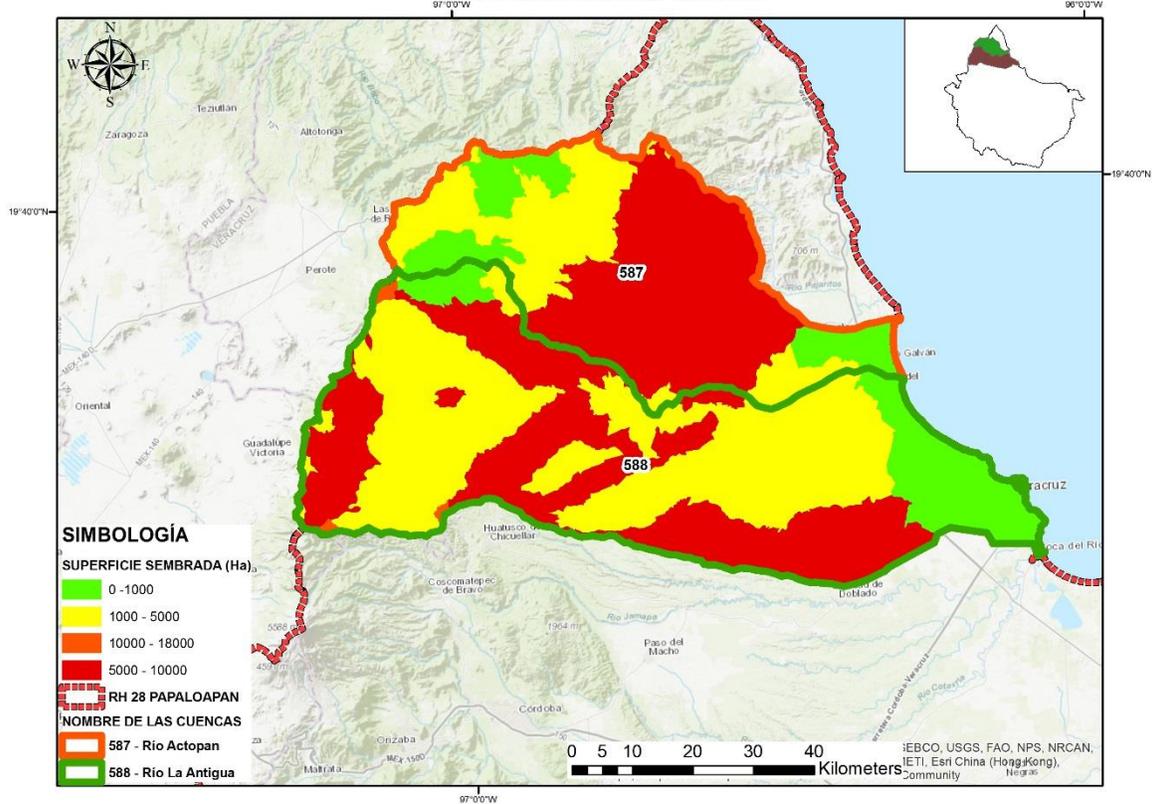
### *Agricultura de temporal*

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan el total de la superficie de temporal sembrada es de 199,033 ha. El monto total de la producción asciende a \$2,662 millones de pesos (Tabla 14), siendo los municipios de Veracruz los que más valor generan con \$2,104 millones de pesos y los de Puebla con 557 millones de pesos.

Los municipios con mayor superficie de temporal sembrada son: Perote (17,824 ha) y Huatusco (10,428 ha) en Veracruz y San Marcos (34,589 ha) y Tlachichuca (16,955 ha) en Puebla. Los municipios que más producen bajo esta modalidad son: Tlatetela (177 millones de pesos) en Veracruz y Tlachichuca (200 millones de pesos) en Puebla. Figura 6.

Figura 6. Producción agrícola en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan. Superficie sembrada de temporal

**Producción agrícola por municipios  
dentro de las cuencas hidrológicas objeto del presente estudio  
Superficie sembrada de temporal**



Fuente: Base de datos de SIAP, 2015.

Beneficios en Producción Agrícola de Temporal				
No. de municipios	Superficie sembrada (ha)	Valor de la producción (miles de pesos 2015)	INPC (variación 2015-2016)	Valor de la producción (miles de pesos 2016)
50	199,033.060	\$2,575,668,840.000	3.360	\$2,662,218.371

Tabla 14. Beneficio general de producción agrícola de temporal.

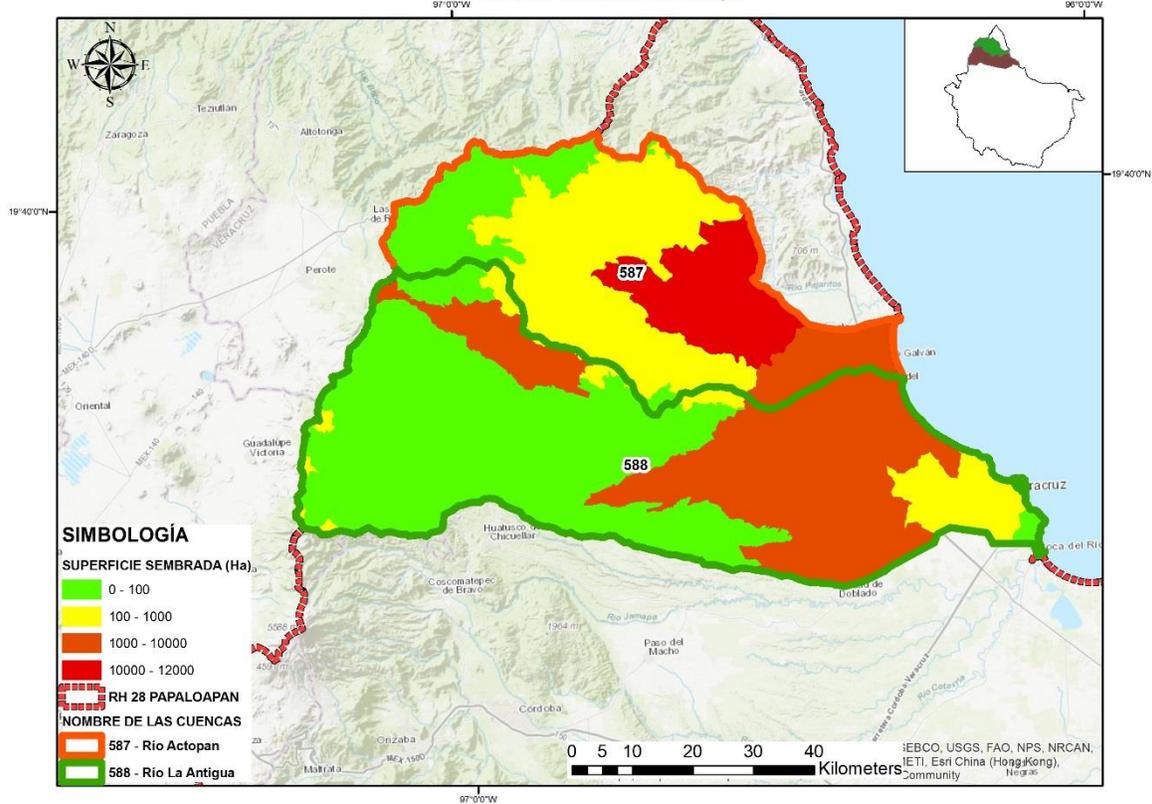
### **Agricultura de riego**

La agricultura de riego es inferior al de la modalidad de temporal dentro de la región hidrológica. Los municipios con mayor agricultura se concentran en el estado de Veracruz, siendo Actopan el que cubre mayor superficie con 11,715 ha, seguido de Ursulo Galván con 7,394 ha. El total de la superficie sembrada es de 45,567 ha.

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan el estado de Veracruz tiene una superficie sembrada de cultivos de riego de 44,921 ha y Puebla de 646 ha. En lo que respecta al valor de producción es de 2,102 millones de pesos (Tabla 15). Para Veracruz asciende a \$ 2,079 millones de pesos, siendo el estado donde la producción agrícola de riego tiene el mayor valor, en lo que respecta a Puebla el valor de producción agrícola es del orden de a los \$ 22 millones de pesos.

Figura 7. Producción agrícola en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan. Superficie sembrada de riego.

**Producción agrícola por municipios  
dentro de las cuencas hidrológicas objeto del presente estudio  
Superficie sembrada de riego**



Fuente: Base de datos de SIAP, 2015.

Beneficios en Producción Agrícola de Riego			
Superficie sembrada (ha)	Valor de la producción (miles de pesos 2015)	INPC (variación 2015-2016)	Valor de la producción (miles de pesos 2016)
45,567.580	\$2,034,088,400.000	3.360	\$2,102,439.344

Tabla 15. Beneficio general de producción agrícola de riego.

### Explotación de material pétreo

En las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan existen 36 concesiones para extracción de agregados pétreos generan beneficios por \$ 68 millones de pesos (Tabla 16). Es importante fortalecer la regulación ambiental de los bancos de materiales en la ribera, dado que estos generan los siguientes impactos ambientales: modificaciones a la morfología del río, disminución de la calidad del agua río abajo, la remoción de vegetación ribereña, destrucción de hábitat, cambio de régimen hidrológico y el aumento de vulnerabilidad ante eventos extremos hidrometeorológicos.

Extracción de materiales						
Títulos de concesión	Sustancia benéfica	Agregados pétreos (m3)	Valor m3	Valor total anual (pesos 2015)	INPC (variación 2015-2016)	Valor de la producción (pesos 2016)
32	Material en Grena	541,931.640	\$120.53	\$65,316,979.54	3.360	67,511,809.035

Extracción de materiales						
Títulos de concesión	Sustancia benéfica	Agregados pétreos (m3)	Valor m3	Valor total anual (pesos 2015)	INPC (variación 2015-2016)	Valor de la producción (pesos 2016)
4	Piedra	8,000.000	\$120.53	964,209.870	3.360	996,609.964
	Total	549,931.640		66,281,189.412		\$68,508,419.00

Tabla 16. Beneficio general de extracción de material pétreo.

## Beneficios atribuibles a la Reserva de Agua

Para atribuir valores a los diferentes Servicios ecosistémicos (SE) y a las actividades económicas que se ven beneficiadas al caudal ecológico de la Reserva es necesario ponderar los valores (anteriormente mencionados) en relación a la vinculación que se tiene con el caudal del río. Este vínculo se manifiesta por medio un porcentaje de atribución (ponderación) que se le asigna a cada una de las actividades.

La Tabla 17 plasma los valores actuales totales de los SE y de las actividades económicas, así como el porcentaje ponderado de dicha actividad al caudal ecológico, finalizando con un valor atribuible al caudal.

Concepto	Valor actual (Millones de pesos 2016)	% Ponderación	Valor ponderado (Millones de pesos 2016)
SA -Zona Influencia	\$80.20	70%	\$56.14
SA -Otras Regiones	\$45,142.18	20%	\$9,028.44
Agricultura Temporal - Zona Influencia	\$239.60	50%	\$119.80
Agricultura Riego - Zona Influencia	\$189.22	50%	\$94.61
Agricultura Temporal - Otras Regiones	\$2,422.62	10%	\$242.26
Agricultura Riego - Otras Regiones	\$1,913.22	10%	\$191.32
Pesca y acuicultura	\$2.89	60%	\$1.73
Extracción de material Pétreo	\$68.51	60%	\$41.11
<b>Total</b>	<b>\$50,058.43</b>		<b>\$9,775.40</b>

Tabla 17. Beneficio atribuibles a la Reserva de Agua.

De esta forma el valor total actual en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan es de \$9,775 MDP (Tabla 18).

Concepto	Valor ponderado (Millones de pesos)	Valor ponderado 10 años (MDP)	Valor ponderado 20 años (MDP)	Valor ponderado 30 años (MDP)	Valor ponderado 40 años (MDP)	Valor ponderado 50 años (MDP)
SA -Zona Influencia	56.14	19.57	6.83	2.38	0.83	0.29
SA -Otras Regiones	9,028.44	3,148.02	1,097.65	382.73	133.45	46.53
Agricultura Temporal - Zona Influencia	119.80	41.77	14.56	5.08	1.77	0.62
Agricultura Riego - Zona Influencia	94.61	32.99	11.50	4.01	1.40	0.49
Agricultura Temporal - Otras Regiones	242.26	84.47	29.45	10.27	3.58	1.25
Agricultura Riego - Otras Regiones	191.32	66.71	23.26	8.11	2.83	0.99
Pesca y acuicultura	1.73	0.60	0.21	0.07	0.03	0.01
Extracción de material Pétreo	41.11	14.33	5.00	1.74	0.61	0.21
<b>Total</b>	<b>9,775.40</b>	<b>3,408.47</b>	<b>1,188.46</b>	<b>414.39</b>	<b>144.49</b>	<b>50.38</b>

Concepto	Valor ponderado (Millones de dólares)	Valor ponderado 10 años (MDD)	Valor ponderado 20 años (MDD)	Valor ponderado 30 años (MDD)	Valor ponderado 40 años (MDD)	Valor ponderado 50 años (MDD)
SA -Zona Influencia	2.71	0.94	0.33	0.11	0.04	0.01

Concepto	Valor ponderado (Millones de pesos)	Valor ponderado 10 años (MDP)	Valor ponderado 20 años (MDP)	Valor ponderado 30 años (MDP)	Valor ponderado 40 años (MDP)	Valor ponderado 50 años (MDP)
SA -Otras Regiones	435.50	151.85	52.95	18.46	6.44	2.24
Agricultura Temporal - Zona Influencia	5.78	2.01	0.70	0.24	0.09	0.03
Agricultura Riego - Zona Influencia	4.56	1.59	0.55	0.19	0.07	0.02
Agricultura Temporal - Otras Regiones	11.69	4.07	1.42	0.50	0.17	0.06
Agricultura Riego - Otras Regiones	9.23	3.22	1.12	0.39	0.14	0.05
Pesca y acuicultura	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Extracción de material Pétreo	1.98	0.69	0.24	0.08	0.03	0.01
<b>Total</b>	<b>471.53</b>	<b>164.41</b>	<b>57.33</b>	<b>19.99</b>	<b>6.97</b>	<b>2.43</b>

Tabla 18. Beneficios atribuibles a la Reserva de Agua con tasa de descuento del 10%.

## Costos

Los costos del proyecto pueden resultar por:

- A) Proyectos que se encuentren en desarrollo y en cuyas manifestaciones de impacto ambiental o cualquier otra información pública disponible hagan patente una necesidad de un volumen de agua que, debido a la Reserva de Agua, no sería posible concesionarles. Bajo este supuesto, los proyectos tendrían que cancelarse o adecuarse.
- B) Cambios tarifarios, derivados en el cambio de zona de disponibilidad referida en el artículo 223 de la Ley Federal de Derechos.

Al momento de realizar la presente investigación, no se encontró en los Programas de Desarrollo Estatales ni en las delegaciones de SEMARNAT ningún proyecto en ejecución que manifestara abiertamente la necesidad de volúmenes de agua que no puedan ser concedidos debido a las implicaciones en disponibilidad por la reserva, por lo que no existe ningún costo por cancelación de proyectos.

Al momento de decretarse la Reserva de Agua el nivel permitido de disposición de agua superficial para los usos consuntivos que en las cuencas se realizan cambiarán en las dos cuencas de las 18 que conforman la Región Hidrológica Papaloapan. Pasando en conformidad con el Artículo 223 de la Ley Federal de Derechos 2017 de: Zona 3 a Zona 2 de disponibilidad. (Tabla 19).

Cambio de Zonas de Disponibilidad con Reserva de Agua		
Nombre cuenca	Clasificación actual	Con Reserva
Río Actopan	3	2
Río La antigua	3	2

Tabla 19. Modificación de Zonas de Disponibilidad del Agua Superficial.

Estos cambios de Zona, traería una variación en el valor de agua superficial del cual se nutren algunas concesiones. Si los volúmenes concesionados por uso permanecen constantes, el cambio tarifario (\$/m<sup>3</sup>) implica un costo adicional para los usuarios con derechos por un total de

\$452.65 millones de pesos. Estas modificaciones se detallan para cada uno de los usos en la Tabla 20.

Costo de agua superficial con Reserva						
Uso	Volumen de agua concesionada (hm <sup>3</sup> /año)	Precio actual m <sup>3</sup> (pesos) Diversas zonas	Valor Actual (Millones de pesos)	Precio m <sup>3</sup> con Reserva (pesos)	Valor con Reserva (Millones de pesos)	Costo adicional (Millones de pesos)
Acuacultura	3.146	0.001	0.003	0.002	0.006	0.003
Agrícola	637.907	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Doméstico	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Industrial	66.235	2.294	151.917	6.995	463.323	311.405
Pecuario	0.215	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Público Urbano	72.924	0.108	7.887	0.217	15.794	7.906
Servicios	28.362	2.294	65.051	6.995	198.395	133.344
Múltiples	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Uso</b>	<b>249.410</b>		<b>\$224.859</b>		<b>\$677.517</b>	<b>\$452.659</b>

Tabla 20. Costo del agua superficial con Reserva.

## Resultados

Analizando los Beneficios y Costos económicos que se tienen al decretarse la reserva de agua en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua, pertenecientes a la Región Hidrológica Papaloapan, se observa una relación de 21.59 a 1, teniendo por un lado beneficios que totalizan \$9,775.40 millones de pesos, contra el total de costos, que asciende a \$452.65 millones de pesos. Tabla 21.

Comparativo de conceptos de Beneficios - Costos en la Reserva de Agua				
Concepto de Beneficios de la Reserva de Agua		Beneficios (Millones de pesos)	Concepto de costos de volumen de agua superficial	Costo (Millones de pesos)
SA -Zona Influencia		\$56.137	Acuacultura	\$0.003
SA -Otras Regiones		\$9,028.436	Agrícola	\$0.000
Agricultura Temporal - Zona Influencia		\$119.800	Doméstico	\$0.000
Agricultura Riego - Zona Influencia		\$94.610	Industrial	\$311.405
Agricultura Temporal - Otras Regiones		\$242.262	Pecuario	\$0.000
Agricultura Riego - Otras Regiones		\$191.322	Público Urbano	\$7.906
Pesca y acuacultura		\$1.733	Servicios	\$133.344
Extracción de material Pétreo		\$41.105	Múltiples	\$0.000
		<b>\$9,775.404</b>		<b>\$452.659</b>

Tabla 21. Relación Beneficio por conceptos.

En la Tabla 22 se puede apreciar que el beneficio es 21.59 veces mayor que el costo.

Relación Beneficio-Costo		
Beneficio	Costo	Relación
\$9,775.404	\$452.659	<b>\$21.596</b>

Tabla 22. Relación Beneficio-Costo.

## Fuentes

- 10th International River Symposium and Environmental Flow Conference, Brisbane, Australia, September, 2007.
- Adamowickz, M.L., R. Naidoo, E. Nelson, S. Polaky and J. Zhang. 2011. Nature-based tourism and recreation. In: Kareiva, P., H. Tallis, T.H. Ricketts, G.C. Daily, S. Polasky. (Editors). *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.
- Álvarez-Arteaga, Gustavo, García Calderón, Norma E., Krasilnikov, Pavel, & García-Oliva, Felipe. (2013). "Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca, México" en *Agrocienci*. Disponible en: 47(2),171180. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952013000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000200006&lng=es&tlng=es)
- Balbontín, C., Cruz, C. O., Paz, F., & Etchevers, J. D. (2009). Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico. *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*, (soilcarbonseque), 71-96.
- BANXICO. *Mercados Cambiarios (Tipo de Cambio)*. Consultado el 07 de junio de 2017. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/>
- CONABIO (2007). *Hidrografía*. Shapefile. Consultado el 28 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA (2016). *Concesiones, asignaciones, permisos otorgados y registros de obras situadas en zonas de libre alumbramiento* [2015]. Consultado el 22 de mayo de 2017. Disponible en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/concesiones-asignaciones-permisos-otorgados-y-registros-de-obras-situadas-en-zonas-de-libre-alu>
- CONAGUA. *Usos REPDA* [Volumen superficial concesionado de la Región Hidrológica Papaloapan]. Base de datos proporcionada por CONAGUA.
- CONAGUA. 2014. Mapa de la disponibilidad de agua subterránea.
- CONAGUA. Acuerdo ET RH 28 Papaloapan (Río Actopan y Río La Antigua) aprobado. Proporcionado por CONAGUA.
- CONAGUA. *SIGA-REPDA. Extracción de materiales*. kmz. Consultado el 30 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/Menu/FrameKMZ.htm>
- CONAGUA. *Zonas de Disponibilidad*. RH 28 Papaloapan. Proporcionado por CONAGUA.
- CONAPESCA (2016). *Base de Datos de Producción Anual 2014*. Consultado el 29 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca>
- CONAPESCA (2016). *Estadística de Producción Pesquera*. [2001-2013]. Consultado el 29 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas\\_de\\_produccion\\_pesquera](http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas_de_produccion_pesquera)
- CONAPO (2015). *Índice de marginación por municipio 1990-2015*. Consultado el 06 de junio de 2017. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion)

- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., & Turner, R. K. (2014). "Changes in the global value of ecosystem services" en *Global Environmental Change* 26: 152-158.
- Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martínez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., & Mulder, K. (2008). "The value of coastal wetlands for hurricane protection" en *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 37(4), 241-248.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R.V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital" en *Nature*
- Cotler, H. (Coordinadora). 2010. Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización. Diagnóstico y Priorización. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Fundación Gonzalo Río Arronte. 231 pp.
- DOF (24 de marzo de 2017). "ACUERDO por el que se dan a conocer las zonas de disponibilidad que corresponden a las cuencas y acuíferos del país para el ejercicio fiscal 2017, en términos del último párrafo del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos vigente. 24 de marzo". Consultado el 25 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5477506&fecha=24/03/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5477506&fecha=24/03/2017)
- DOF (03 de enero 2012). ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Cuenca Hidrológica Río Actopan de la Región Hidrológica denominada Papaloapan A.
- DOF (03 de enero 2012). ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Cuenca Hidrológica Río La Antigua de la Región Hidrológica denominada Papaloapan A.
- Global Water Partnership (2000)
- IMTA INE SEMARNAT (2012). *Portafolio de medidas de adaptación al cambio climático en el escurrimiento superficial de las regiones hidrológico administrativas de México*.
- IMTA. *Eric III – Versión 3.2. Extractor de información climatológica*. (Software).
- INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- INEGI (2010). *Localidades de la República Mexicana, 2010*. Shapefile. Consultado el 25 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- INEGI (2010). *Red Hidrográfica, Edición 2.0*, [2010]. Escala 1:50,000. Shapefile. Consultada el 29 de noviembre de 2016. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones\\_hidrograficas.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx)
- INEGI (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/default.aspx?tema=P>
- INEGI (2015). *Uso de suelo y vegetación, Serie V [2012-2013]*. Escala 1:250 000. Shapefile. Consultado el 29 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- INEGI (2016). *Áreas geoestadísticas municipales, 2015, 1: 250000*. Shapefile. Consultado el 30 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

- INEGI (2016). *División política estatal 2015, 1: 250000*. Shapefile. Consultado el 30 de noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- IPCC. (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Jiménez, B., Torregrosa, M. L., & Aboites, L. (2010). *El agua en México: cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias. México, DF.
- Kareiva, P., H. Tallis, T.H. Ricketts, G.C. Daily, S. Polasky. 2011. *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.
- *Ley Federal de Derechos* (edición 2017).
- Mendoza, G., D. Ennaanay, M. Conte, M. T. Walter, D. Freyberg, S. Wolny, L. Hay, S. White, E. Nelson and L. Solorzano. 2011. Water supply as an ecosystem service for hydropower irrigation. In: Kareiva, P., H. Tallis, T.H. Ricketts, G.C. Daily, S. Polasky. (Editors). *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press.
- Mendoza-Vega, J., Karlun, E., & Olsson, M. (2003). Estimations of amounts of soil organic carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 177(1), 191-206.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D., ... & Lonsdorf, E. (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.
- Ordóñez, J. A. B., de Jong, B. H., García-Oliva, F., Aviña, F. L., Pérez, J. V., Guerrero, G., ... & Masera, O. (2008). Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2074-2084
- Pavón Hernández, N. P. (2000). Root distribution, standing crop biomass and belowground productivity in a semidesert in México.
- Ramírez-Rodríguez, M., C. López-Ferreira, G. De la Cruz-Agüero (2011). *Atlas de localidades de México. Libro once.*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. 173 páginas. Disponible: [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/cona\\_chiapas](http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/cona_chiapas)
- REPDA. *Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)*. 2017 Comisión Nacional del Agua. <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>
- Rodiles-Hernández, R., A. González-Díaz y C. Chan-Sala (2005). *Lista de peces continentales de Chiapas, México*. *Hidrobiológica* 15 (2): 245-253.
- SAGARPA (2006). *Anuario Estadístico de Pesca 2003*. Conapesca, Mazatlán, México. 265 pp.
- SGM (2016). *Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana 2015, Edición 2016*. Consultado el 30 de noviembre de 2017. Disponible en: [www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2015\\_Edicion\\_2016.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2015_Edicion_2016.pdf)

- SGM. *Panoramas mineros estatales*. Consultados 30 de noviembre de 2017. Disponibles en: <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-los-panoramas-mineros-estatales>
- SIAP (2015). *Producción Agrícola*. Consultado el 28 noviembre de 2016. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Vargas, R., Allen, E. B., & Allen, M. F. (2009). Effects of Vegetation Thinning on Above- and Belowground Carbon in a Seasonally Dry Tropical Forest in Mexico. *Biotropica*, 41(3), 302-311.
- WWF. *Cuencas del Programa Nacional de Reservas de Agua*. Shapefile proporcionado por WWF- México.

## Lista de expertos

Expertos Consultados			
Fecha	Nombre	Institución	Área de especialidad
26/05/2017	Dr. Octavio Pérez Maqueo	Instituto de Ecología, A.C.	Redes bayesianas, Servicios Ecosistémicos, Integridad ecológica.
26/05/2017	Dra. Luciana Porter Bolland	Instituto de Ecología, A.C.	Interacciones sociedad-naturaleza en zonas tropicales, ecología del paisaje.
26/05/2017	Dra. Adriana García Vásquez	Instituto de Ecología, A.C.	Ecología de peces en sistemas ribereños, parasitología.
27/05/2017	Dr. Julio Butler Cortés	CEPAL	Servicios Ecosistémicos, interacción con zonas productivas primarias.
29/05/2017	M en C. Simon Pierre Mokondoko Delgadillo	Instituto de Ecología, A.C.	Mapeo y evaluación espacial de múltiples Servicios Ecosistémicos.
01/06/2017	M. en C. Landy Carolina Orozco Uribe	Jardín Bótanico "El charco del Ingenio"	Valoración de Servicios Ecosistémicos.
29/05/2017	M. en C. Carlos Rubio Montiel	CATIE	Servicios Ecosistémicos, mapeo espacial.
26/05/2017	Biol. María del Carmen Martínez	Instituto de Ecología, A.C.	Est. Maestría Economía Ambiental UV

## Anexo A: Alternativas metodológicas y metodología elegida

### Estado del arte de la valoración de servicios ecosistémicos

#### Valoración de servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son la contribución relativa del capital natural al bienestar humano (Costanza et al. 2014). Dicho capital natural está constituido por los ecosistemas, sistemas auto-organizados y con capacidad de regeneración sin intervención del hombre (Costanza and Daly 1992). El valor económico de los servicios ecosistémicos resalta la importancia de dichas contribuciones a la sociedad (Costanza et al. 2014). Una vez que los servicios ecosistémicos han sido identificados, cuantificados y mapeados existen diversas técnicas de valoración económica total (Tabla 1).

Enfoques	Tipos de métodos	Descripción
Enfoques de preferencias reveladas	Costo de viaje	La valoración de las amenidades del sitio se sustenta en los costos que tienen para los visitantes su disfrute.
	Métodos de mercado	La valoración es obtenida directamente de la sociedad estaría dispuesta a pagar por los bienes o servicios.
	Métodos hedónicos	La valoración de los servicios se obtiene a partir de lo que la sociedad estaría dispuesta a pagar la compra de dichos bienes en mercados relacionados, por el ejemplo el valor de áreas abiertas obtenido a partir de valores del mercado inmobiliario.
Enfoques orientados a la producción		Los valores de los servicios son asignados a partir de los impactos de dichos servicios en el volumen de la producción económica.
Enfoques sustentados en preferencias del estado.	Valoración contingente	Los usuarios son cuestionados directamente acerca de su disponibilidad para pagar o aceptar la compensación por cambios en servicios ecológicos
	Análisis conjunto	Se solicita a los usuarios realizar elecciones o clasificaciones sobre la condición de los servicios
Enfoques sustentados en costos	Costo de remplazo	Los servicios ecosistémicos se evalúan a partir del costo que tendría remplazar dichos servicios por otros medios.
	Costo de prevención	La valoración se sustenta en el cálculo de los costos asociados que la actual prestación del servicio previene.
Valoraciones no monetarias	Métodos de valoración individual	Modelos de clasificación, modelos de elección a partir de rangos y opiniones expertas.

**Tabla 1.** Diferentes enfoques y métodos de valoración de los servicios ecosistémicos (Fuente: Turner et al., 2015).

## Métodos agregados de valoración de los servicios ecosistémicos.

Los servicios de los ecosistemas a menudo se evalúan y valoran en sitios específicos. Sin embargo, algunos usos requieren valores agregados sobre escalas espaciales y temporales mayores (Tabla 2). Los métodos de valoración agregada por transferencia básica son dependientes de la escala y se utilizan con diferentes objetivos. Una de las limitaciones de estos métodos es que parte del valor de los agregados se encuentra embebida en el Producto Interno Bruto (Boumans et al. 2002).

Método de Agregación	Supuestos	Ejemplos
Transferencia básica	Asume que los valores permanecen constantes en los diferentes tipos de ecosistemas.	Costanza et al. (1997)
Transferencia de valor modificada por expertos	Ajusta el valor a la condición de los ecosistemas locales.	Batker et al. (2008)
Transferencia estadística de valor	Construye modelos estadísticos espaciales entre otras dependencias.	De Groot et al. (2012)
Modelos espacial y funcionalmente explícitos	Construyen modelos espacialmente explícitos o sistemas dinámicos incorporados en la valoración.	Boumans et al. (2002)

**Tabla 2.** Niveles de valoración agregada de los servicios ecosistémicos. (Tomado de Costanza et al. 2014).

## Modelos espacialmente explícitos de servicios ecosistémicos

InVEST y ARIES son métodos de modelación espacial y funcionalmente explícitos que utilizan diferentes métricas de servicios ecosistémicos dado que están sustentados en diferentes enfoques de modelación matemática (Bagstad et al. 2013). ARIES no requiere datos extensos ni familiaridad con el sistema a diferencia de InVEST. Sin embargo, InVEST es un método cuyo uso se encuentra en auge entre la comunidad científica debido a que cuenta con una robusta base financiera para el desarrollo de módulos adicionales, así como cursos de capacitación. ECOSER tiene un uso muy limitado entre la comunidad científica y únicamente se ha aplicado en algunas localidades de América Latina, por lo que se le considera que no tiene aplicabilidad limitada. SWAT y VIC son métodos de modelado espacial y funcionalmente explícitos que únicamente modelan servicios ecosistémicos hidrológicos. VIC es preferible a SWAT dado que no requiere modelos de erosión del suelo o retención de nutrientes, ni entrenamiento o familiarización con el sistema (Tabla 3).

A partir de datos de gabinete disponibles en esta investigación se presentan los resultados del mapeo y cuantificación biofísica de cuatro servicios ecosistémicos a partir de modelos TIER 1 de InVEST: 1) Cosecha de agua, 2) Captura de carbono, 3) Retención de sedimentos y por último 4) Recreación. Una de las ventajas de InVEST es la flexibilidad para monetizar los servicios ecosistémicos una vez mapeados y cuantificados. Diversos expertos en valoración de servicios ecosistémicos han señalado que InVEST es la mejor alternativa para la valoración cuando se trata de escalas grandes y no se dispone de extensas series de datos de campo.

## Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs (InVEST).

InVEST actualmente contiene nueve modelos marinos y siete para modelación de servicios ecosistémicos terrestres y de agua dulce (Tallis et al. 2013). Los modelos TIER 1 utilizan información del uso de suelo y la cobertura del suelo (USCS por sus siglas en español), otros parámetros y tablas de coeficientes vinculando USCS con la provisión de servicios ecosistémicos con modelos biofísicos de la producción de funciones ecológicas y la cuantificación de servicios (Daily et al. 2009). Los mapas de salida para diferentes servicios ecosistémicos pueden ser comparados, así como entre la línea base y múltiples escenarios. Para la mayoría de los modelos TIER 1, los datos de valoración pueden ser incluidos en los modelos para derivar una valoración en dólares sustentada en la cuantificación biofísica de los servicios.

Modelos funcionalmente explícitos de mapeo y valoración de servicios ecosistémicos	¿Qué valora?	Descripción	Organización es usuarias de estos métodos	Artículos en base Scopus que utilizan el método
<b>Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST),</b>	Mapeo y valoración de servicios ecosistémicos 1.- Cosecha de agua 2.- Generación y descarga de sedimento en corrientes de agua. 3.- Captura de carbono 4.- Actividades de recreación	Uso de la plataforma generada por InVEST.	University of Standford, University of Minnesota, The Nature Conservancy y WWF. Aplicación global.	299
<b>Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial (ECO-SER)</b>	Mapeo de servicios ecosistémicos 1. Protección de acuíferos por cobertura vegetal 2. Retención de sedimentos en franjas de vegetación ribereña 3. Almacenamiento de carbono en biomasa.	Uso de las herramientas de ArctoolBox generadas por Eco-Ser.	IMTA, CONICET, CYTED, LANES, Fundación Bariloche. Se utiliza más en América del Sur.	3
<b>Soil and Water Assessment Tool (SWAT)</b>	Mapeo de servicios ecosistémicos 1.-Provisión de agua (water yield) 2.-Generación y descarga de sedimento en la corriente de agua	Uso de la plataforma generada por SWAT.	University of Texas A&M, USDA, Agricultural Research Service. Aplicación global.	23

Modelos funcionalmente explícitos de mapeo y valoración de servicios ecosistémicos	¿Qué valora?	Descripción	Organización es usuarias de estos métodos	Artículos en base Scopus que utilizan el método
<b>Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES)</b>	Mapeo de servicios ecosistémicos 1.- Suministro de agua (water supply) 2.- Generación y descarga de sedimento en la corriente de agua	Uso de la plataforma web de Aries.	University of Vermont, Earth Economics y Conservation International.	46
<b>Variable Infiltration Capacity Model (VIC)</b>	Mapeo de servicios ecosistémicos 1.- Provisión de agua (water yield)	Uso de la plataforma generadas por VIC.		2

### Metodología elegida: Valoración por transferencia básica

La valoración consiste en evaluar las compensaciones para lograr un objetivo (Farber et al., 2002). Todas las decisiones que involucran costos-beneficios implican valoración, implícita o explícitamente (Costanza et al., 2011). Los servicios de los ecosistemas se definen como los beneficios que los ecosistemas brindan a la sociedad para el bienestar humano (Costanza et al., 1997, MEA 2005). Al evaluar el valor de los servicios ecosistémicos, es importante tener claridad del objetivo de la evaluación.

El valor de los servicios ecosistémicos es por lo tanto, la contribución relativa de los ecosistemas a ese objetivo. Existen múltiples formas de evaluar esta contribución, algunas de las cuales están sustentados en las percepciones individuales de los beneficios que derivan los servicios ecosistémicos. La evaluación del soporte al bienestar humano de los ecosistemas es un objetivo mucho más amplio (Costanza, 2000) y las percepciones de los individuos son limitadas y a menudo sesgadas. Por lo tanto, también se requiere incluir métodos para evaluar los beneficios para las personas que no perciben, beneficios para comunidades enteras y beneficios para la sostenibilidad (Costanza, 2000).

También es importante señalar que los ecosistemas (capital natural) no pueden transmitir sus beneficios de manera directa a los individuos, se requiere de las interacciones entre los individuos (capital humano), sus comunidades (capital social) y el entorno construido (capital construido). Es decir que los servicios no fluyen directamente del capital natural al bienestar humano, sólo a través de la interacción con las otras tres formas de que el capital natural puede aportar beneficios.

Los servicios de los ecosistemas a la sociedad a menudo se evalúan y valoran en sitios para servicios específicos. Sin embargo, en ocasiones son necesarias agregaciones de valores en escalas espacio-temporal más amplias. Sin embargo tales agregados sufren de los mismos problemas que otras estimaciones agregadas, por ejemplo: estimaciones macroeconómicas como el producto interno bruto (PIB).

*Valoración por transferencias propuesta por Costanza et al. (1997, 2014)*

La valoración por transferencia básica de beneficios asume un valor unitario constante por hectárea por tipo de ecosistema y multiplica ese valor por el área para llegar a los totales agregados (Costanza et al. 1997). Estos agregados pueden mejorarse ajustando los valores usando la opinión de expertos a las condiciones locales (Batker et al., 2008).

La transferencia de beneficios es análoga a la contabilidad del producto interno bruto, dado que es el resultado de la medición de la cantidad de servicios de los ecosistemas (Howarth y Farber, 2002). La valoración agregada puede realizarse en distintas escalas. Los agregados regionales son útiles para evaluar el cambio en el uso de la tierra. Los agregados nacionales son útiles para revisar los ingresos. Los agregados globales son útiles para la sensibilización y hacer hincapié en la importancia de los servicios en relación con otros contribuyentes al bienestar humano.

A pesar de las limitaciones y restricciones de los métodos de valoración por transferencia (Brouwer, 2000, Defra, 2010, Johnston y Rosenberger, 2010), está sigue siendo una opción atractiva para los investigadores y encargados de formular políticas públicas, en particular cuando se tienen limitaciones presupuestales y de tiempo. Las valoraciones por transferencia de valor han sido ampliamente utilizadas en distintas escalas y contextos.

El valor de los servicios ecosistémicos en términos monetarios es una estimación de los beneficios para la sociedad que se perderían si fueran destruidos o ganados si fueron restaurados. Por lo tanto, las valoraciones monetarias de la sociedad pueden ser una herramienta de comunicación poderosa e indiscutiblemente esencial para mejores y más equilibradas decisiones en cuanto a su manejo. Las evaluaciones de los servicios ecosistémicos se consideran como complementarias de la toma de decisiones convencionales. Estos marcos en los que las externalidades positivas y negativas del uso o la pérdida de muchos bienes y servicios ecosistémicos siguen insuficientemente reconocidos.

La valoración monetaria puede ayudar para hacer estas externalidades visibles y complementar las ideas sobre el papel y la importancia de la naturaleza obtenidos mediante otras estimaciones cuantitativas y cualitativas (Fundaciones TEEB, 2010). Las valoraciones puede eventualmente internalizar al menos parte de su importancia económica en la toma de decisiones, la contabilidad económica, y en las respuestas políticas, incentivos económicos y en el ordenamiento territorial.

*El reto de comprender, capturar y valorar los beneficios en el PIB*

La valoración por transferencia es la contribución relativa, expresada en unidades monetarias, de los activos o actividades en el momento actual. Por lo que la valoración económica por transferencia estima una fracción del valor de estos beneficios de su contribución total a la economía (Costanza et al., 2014; Kubiszewski et al., 2013).

La valoración de los beneficios de los ecosistemas es un estimado relativo de la contribución del capital natural en el momento presente. Es importante subrayar que con el saldo actual de tipos de activos, parte de esta contribución ya está incluida en el producto interno bruto (PIB). Es decir que una parte de estos beneficios económicos están incorporados en la contribución del capital natural a los bienes comercializados y servicios. Sin embargo gran parte de este valor económico no se captura en el PIB porque está integrado en servicios que no se comercializan o no se capturan completamente.

En productos y servicios comercializados. La estimación de Costanza et al. (2014) muestra que por ejemplo: el servicio ecosistémico de protección contra tormentas, es mayor en magnitud relativa en este momento que la suma de bienes y servicios (PIB). Algunos autores han argumentado que este resultado es imposible, asumiendo erróneamente que todas las estimaciones de (Costanza et al. 2014) están sustentadas en la disposición a pagar y que no puede exceder la capacidad de pago (es decir, el PIB). Costanza et al. (2014) argumentan que para este razonamiento sea válido, uno tendría todos los beneficios humanos deberían ser comercializados y capturados en el PIB. Otro ejemplo son los muchos otros tipos de bienes y servicios negociados en "mercados negros" que en algunos países superan con creces el PIB. Las estimaciones de Costanza et al. (2014) es una medida sustentada en precios y rentas virtuales no reales y son estos gastos totales virtuales que no deben superarse (Costanza et al., 1998; Howarth y Farber, 2002).

#### *El reto de la escala*

En ciertas ocasiones los servicios ecosistémicos son evaluados y valorados en sitios específicos para servicios específicos. Sin embargo, algunos usos requieren valores agregados en escalas espaciales y temporales mayores. La mayoría de los agregados son "medidas contables" de la extensión espacial de los ecosistemas (Howarth y Farber, 2002). En esta contabilidad, la medida se sustenta en precios virtuales, no en ingresos. Este grado de aproximación es apropiado para algunos usos, pero en última instancia un enfoque espacialmente más explícito y dinámico sería preferible para escalas más grandes.

Los agregados regionales son útiles para los tomadores de decisiones así como para establecer escenarios de cambio en el uso de suelo. Los agregados nacionales son útiles para revisar las cuentas de ingresos nacionales. Los agregados globales son importantes para sensibilizar y activar la acción (Costanza et al. 1997).

Cuatro niveles de agregación del valor del servicio de los ecosistemas (adaptado de Croen et al., 1991).

<b>Métodos de valoración agregada</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Referencias</b>
Transferencia básica de valores	Asume valores constantes de los distintos tipos de ecosistemas.	Costanza et al. (2002)
Transferencia básica de valores ajustada por expertos.	Ajusta los valores para condiciones del ecosistema, utilizando la opinión de expertos	Batker et al. (2010)
Transferencia de valor estadístico	Construye un modelo estadístico del espacio y otras dependencias.	De Groot et al. (2012)
Modelos espacialmente explícitos	Construye modelos espacialmente explícitos incorporando valoraciones por transferencia.	Boumans et al. (2002), Costanza et al. (2008), Nelson et al. (2009)

Modelar a una escala apropiada para el manejo de la tierra, para escala de cada caso, proporciona información importante para la toma de decisiones. Se pueden adaptar diferentes marcos diferentes grupos y disciplinas basados en la disponibilidad de datos (Boyd y Banzhaf, 2007, Carpenter et al., 2009, Fisher et al. 2009; Sukhdev y Kumar, 2010; Seppelt et al., 2011, 2012). Estos modelos se pueden agregar y escalar para cubrir distintas extensiones- escenarios, regiones, nacional y mundial.

Aunque ha habido un llamado para crear una cuenta unificada y estandarizada de servicios ecosistémicos. La propuesta de Costanza et al., 1997, 2014 es un marco de trabajo que permite una agregación transparente entre escalas y disciplinas (Costanza, 2008; Lamarque et al., 2011). Es claro que ningún marco de valoración funcionará para todos los contextos (Costanza, 2008), no obstante es importante tomar en cuenta los efectos trans-escalares en la valoración de los beneficios ecosistémicos (Hein et al., 2006; Fisher et al., 2009; Scholes et al., 2013). Por ejemplo: políticas sobre temas globales que afectan las estrategias locales de gestión. Por lo tanto, la escala es fundamental para describir el contexto, cualquier evaluación o modelo debe tomar en consideración las cuestiones trans-escalares, ya se trate de evaluaciones de síntesis a escala o evaluaciones decididamente trans-escalares (Scholes et al., 2013).

Si bien el método de transferencia básica nos otorga los valores absolutos de cada servicio ecosistémico, y la valoración de actividades económicas nos brinda información sobre el valor económico generado para cada actividad, es preciso determinar qué proporción del valor generado, tanto en los servicios ecosistémicos como en las actividades productivas puede

atribuirse directamente a la Reserva de Agua para el ambiente. A la fecha de elaboración del presente no existe una sola referencia científica que determine esta relación puntualmente. Ante este reto, se consultó la opinión de ocho científicos mexicanos con experiencia en valoración y servicios ecosistémicos y comprensión del Programa Nacional Reservas de Agua.

A pregunta expresa, se solicitó a cada experto determinar la proporción del valor de 4 elementos (servicios ecosistémicos, actividad pesquera, actividad agrícola y extracción de materiales), diferenciándolos entre aquellos que ocurren o se benefician directamente sobre el buffer del caudal (sobre o a un máximo de 2km del cuerpo de agua superficial), de aquellos que están fuera del margen del buffer de 2 km).

Las distintas opiniones de los expertos sobre el nivel de atribución se muestran en los rangos expresados en la TABLA 1, en donde el valor mínimo es la cifra más baja expresada por alguno de ellos, y el valor máximo es la cifra más alta expresada por los mismos.

Para efectos de cálculo de beneficios en el presente, **en la totalidad de los casos la atribución se toma con los valores mínimos de cada rango**. Estando conscientes de que este escenario es conservador y los beneficios pueden ser mayores, priorizamos la solidez del consenso (al utilizar el rango mínimo, sabemos que todos los expertos consideraron que el beneficio es igual o mayor que el valor atribuido). De este modo, se asegura que todos los expertos coinciden en que, como mínimo, ese es el valor atribuible a la reserva de agua de uso ambiental.

¿Qué proporción del valor de cada elemento definido puede atribuirse a las Reservas de Agua, diferenciándolos entre los que se encuentran a 2 kilómetros del caudal, de aquellos que se encuentran fuera de este margen?

	Sobre los cuerpos de agua superficiales	Fuera del margen de los cuerpos de agua superficiales
Servicios ecosistémicos	70% a 100%	20% a 40%
Pesca	60% a 80%	0% a 20%
Agropecuario	50% a 80%	10% a 25%
Extracción de materiales	60% a 80%	0%

Estos factores de atribución son los utilizados en la valoración económica y el análisis beneficio / costo del Programa Nacional Reservas de Agua.

Tipo de hábitat	Valor SE (dólares/Ha/año)
Área urbana	\$6,661
Bosque templado	\$3,137
Bosque tropical	\$5,382
Cuerpos de agua	\$12,512

Tipo de hábitat	Valor SE (dólares/Ha/año)
Cultivos	\$5,567
Mangle	\$193,843
Pastizales	\$4,166

## Literatura citada

- Boumans, R., Costanza, R., Farley, J., Wilson, M. A., Portela, R., Rotmans, J. & Grasso, M. 2002. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics*, 41(3), 529-560.
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E. & Munro, K. 2002. Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 297(5583), 950-953.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, & Raskin, R. G. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253-260.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., & Turner, R. K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26: 152-158.
- Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martínez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., & Mulder, K. 2008. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37(4), 241-248.
- Stoeckl, N., Hicks, C. C., Mills, M., Fabricius, K., Esparon, M., Kroon, F., & Costanza, R. 2011. The economic value of ecosystem services in the Great Barrier Reef: our state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219(1), 113-133.
- De Groot, R., Brander, L., Van Der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., & Hussain, S. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem services* 1(1), 50-61.
- Farber, S. C., Costanza, R., & Wilson, M. A. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics*, 41(3), 375-392.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D. & Lonsdorf, E. 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4-11.
- MEA. 2005. *Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*, Published by World Resources Institute, Washington, DC.