



Sistema de  
Contabilidad  
Ambiental y  
Económica

# VALORACIÓN MONETARIA DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS PARA LA PROVISION DE AGUA EN MEXICO

Luis Miguel Galindo y Saúl Basurto

Informe del Proyecto NCAVES

## Reconocimientos

Este informe fue preparado por Luis Miguel Galindo y Saúl Basurto, consultores externos para el Proyecto de Contabilidad de Capital Natural y de Valoración de Servicios Ecosistémicos (NCAVES, por sus siglas en inglés), financiado por la Unión Europea. El proyecto NCAVES está siendo implementado en México bajo el liderazgo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con el apoyo de la División de Estadísticas de las Naciones Unidas (UNSD, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para Medio Ambiente (PNUMA).

## Descargos de autoría y responsabilidades

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan el punto de vista de las Naciones Unidas, la Unión Europea y las organizaciones involucradas en este proyecto.

Las denominaciones empleadas en los mapas que se incluyen en este informe y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no implican, de parte de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países territorios, ciudades o zonas o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites

## Información para citas bibliográficas y reproducción

Esta obra está disponible en acceso abierto cumpliendo con la licencia Creative Commons creada para organizaciones intergubernamentales, disponible en:  
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>

Se permite la reproducción siempre que se cite la fuente.

Galindo, Luis Miguel y Saúl Basurto (2021). Valoración monetaria de los servicios de los ecosistemas para la provisión de agua en México. Informe del proyecto NCAVES. División de Estadística de las Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Nueva York.



**United  
Nations**



System of  
Environmental  
Economic  
Accounting

**ONU**   
**medio ambiente**



**Financiado por  
la Unión Europea**

## Contenido

MENSAJES CLAVE: .....	4
1 INTRODUCCIÓN .....	5
2 ANTECEDENTES.....	5
3 UN MARCO CONTABLE PARA LOS ECOSISTEMAS Y LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO.....	8
4 EL VALOR MONETARIO DEL SERVICIO HÍDRICO DE LOS ECOSISTEMAS. ....	11
4.1 Método de la renta unitaria del recurso hídrico del servicio del ecosistema para el consumo de los hogares y suministro municipal.....	13
4.1.1 Contribución geo-referenciada del valor monetario de los servicios hídricos al consumo de los hogares y suministro municipal.....	16
4.2 El método de costo de remplazo del tratamiento del recurso hídrico para ríos limpios de aguas municipales e industriales. ....	17
4.3 Valor monetario del servicio hídrico en consumo de hogares y suministro municipal de los servicios de los ecosistemas. ....	20
5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES. ....	28
REFERENCIAS.....	30

## **MENSAJES CLAVE:**

Los servicios de provisión, regulación y culturales de los recursos hídricos de los ecosistemas contribuyen, a través de diversos canales, a las actividades económicas y al bienestar de la población. Sin embargo, la diversidad de canales de transmisión, los múltiples efectos y los procesos de retroalimentación de los servicios de los recursos hídricos y la presencia de una economía política en extremo compleja dificultan la valoración monetaria de los servicios que proporcionan los recursos hídricos. Así, estas estimaciones deben de considerarse como preliminares y con un alto nivel de incertidumbre.

Las estimaciones realizadas del valor monetario de los servicios de los recursos hídricos de los ecosistemas con base en el método del residual para el consumo de los hogares y el suministro municipal y por el método de costo de remplazo para el suministro municipal indican que:

- El valor monetario de la contribución los recursos hídricos para el consumo de los hogares, corresponde al 0.044 % y al 0.033% del PIB del 2018 considerando las dos fuentes de información disponibles (Sistema de Cuentas Nacionales y Censos Económicos).
- El valor monetario de la contribución los recursos hídricos para el suministro municipal, corresponde al 0.010% y al 0.012% del PIB del 2018 considerando las dos fuentes de información disponibles.
- Las estimaciones geo-referenciadas por el método de la renta del residual del valor monetario del consumo de los hogares indican que la mayor cantidad y valor de agua proviene de vegetación primaria con \$5,155 millones de pesos, lo cual representa el 0.024% del PIB nacional. En total, vegetación primaria, vegetación secundaria y otros tipos de uso de suelo generan un valor de \$10,240 millones de pesos lo que representa el 0.047% del PIB nacional.
- Los costos anuales de remplazo de aguas residuales municipales al 2030 e industriales corresponden a 0.25% y 0.49% del PIB de 2017, respectivamente.

Este conjunto de resultados muestra la relevancia de los servicios hídricos de los ecosistemas para el consumo de agua en los hogares y el suministro municipal.

Estos resultados muestran la compleja economía política de este sector en donde no se considera la relevancia de los Servicios de los Ecosistemas.

## 1 INTRODUCCIÓN.

Los ecosistemas contribuyen, a través de los recursos hídricos, con un conjunto de servicios de provisión, regulación y culturales esenciales para las actividades económicas y humanas. Disponer de una valoración monetaria de la contribución de los servicios de los recursos hídricos de los ecosistemas a las actividades económicas y humanas resulta fundamental para garantizar su preservación y uso sustentable, su aprovechamiento eficiente económicamente y su incorporación en los análisis de costo beneficio y en las estrategias de política pública. Sin embargo, la estimación del valor monetaria de estos servicios es en extremo compleja atendiendo a que los precios en los mercados de los recursos hídricos son inexistentes, están fuertemente administrados y sujetos a una compleja economía política.

En este sentido, el objetivo de este capítulo es estimar el valor monetario de los servicios hídricos de los ecosistemas para el consumo de los hogares (residencial) y para el suministro municipal. Esta valoración monetaria es, desde luego, preliminar y está sujeta a una elevada incertidumbre.

Este capítulo contiene cinco secciones. La primera sección es la introducción, la segunda sección presenta algunos antecedentes sobre los recursos hídricos, la tercera sección presenta un marco contable para estimar la contribución de los ecosistemas a la configuración de los servicios que ofrecen los recursos hídricos, la cuarta sección presenta las estimaciones de la contribución de los servicios hídricos de los ecosistemas al consumo de los hogares y el suministro municipal y, finalmente, la quinta sección concluye.

## 2 ANTECEDENTES.

Los recursos hídricos son un elemento fundamental para la vida y los ecosistemas y son insumos esenciales para el conjunto de las actividades económicas y los hogares. Actualmente, el país dispone, por precipitación pluvial, de aproximadamente 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua, de donde se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos (CONAGUA, 2018). Con base en ello se observa que el agua renovable (AR), que es el agua que es factible explotar en forma sustentable, corresponde a 451,585 hm<sup>3</sup> que implica un nivel de agua *per cápita* renovable de 3,656 hm<sup>3</sup> y con una recarga media total de acuíferos de 92,544 hm<sup>3</sup> en 2017. Ello se refleja en un grado de

presión<sup>1</sup> sobre los recursos hídricos a nivel nacional bajo (19.5% en 2017) y donde la calidad del agua en la mayoría de las cuencas es razonable de acuerdo a los diversos contaminantes considerados (materia orgánica biodegradable (DBO<sub>5</sub>), demanda química e oxígeno (DBO), Sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales (CF) (Comisión Nacional del Agua, 2018). Existen, sin embargo, condiciones heterogéneas regionales.

Estos recursos hídricos permiten tener un uso consuntivo del agua de 87,842 hm<sup>3</sup> de donde se destina el 76% al sector agrícola, el 14.4% al abastecimiento público, el 4.9% a la industria autoabastecida y el 4.7% a la energía eléctrica, excluyendo hidroelectricidad. Las fuentes de esta oferta hídrica provienen el 60.9% de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos) y el 39.1% de fuentes subterráneas (acuíferos). Estos recursos hídricos muestran una distribución heterogénea por regiones y por estratos socioeconómicos. Así, la distribución geográfica de los recursos hídricos renovables muestra una mayor disponibilidad en el sur que en el norte del país, con patrones de precipitación y sequías muy distintas por regiones y donde 105 de los 653 acuíferos están en condición de sobreexplotación en 2017. Todo ello se refleja, por ejemplo, que en algunas regiones en el centro, norte y noroeste del país presentan una presión definida como alta sobre los recursos hídricos (Comisión Nacional del Agua, 2018, pp. 91).

Los recursos hídricos son fundamentales para la realización de diversas actividades económicas y humanas en donde destacan su contribución a las actividades agrícolas, industriales y el consumo residencial. La provisión de estos recursos hídricos muestra, además, una asimetría ya que el abastecimiento hídrico agrícola proviene fundamentalmente de aguas superficiales mientras que el abastecimiento público proviene de recursos hídricos subterráneos (Cuadro 1). Esta oferta de agua es utilizada en diversas actividades económicas y humanas. Así, el volumen total concesionado de agua para estas actividades económicas y humanas corresponde para usos consuntivos<sup>2</sup> a 87,842 hm<sup>3</sup> y para usos no consuntivos<sup>3</sup> de 183,075 hm<sup>3</sup> que provienen de fuentes superficiales y subterráneas<sup>4</sup> (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Usos consuntivos y no consuntivos del agua agregados por actividades, sectores y fuentes: 2017.**

Consumos agrupados	Superficial (miles de hm <sup>3</sup> )	Subterráneo (miles de hm <sup>3</sup> )	Vol. Total Concesionado (hm <sup>3</sup> )	Porcentajes
--------------------	---	---	---	-------------

<sup>1</sup> El grado de presión es el porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos (i.e. volumen de agua concesionada) respecto al agua renovable (extracción del recurso con respecto al agua renovable) y puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés (i.e. entre 40-100% implica un grado de presión alto y mayor de 100% es muy alto (Comisión Nacional del Agua, 2018).

<sup>2</sup> Usos consuntivos se refiere a la diferencia entre volumen extraído y el descargado al realizar una actividad (CONAGUA, 2018, pp. 74).

<sup>3</sup> Este es el consumo donde la actividad no modifica el volumen de agua (CONAGUA, 2018, pp. 74).

<sup>4</sup> Esta información está disponible por Regiones Hidrológicas (CONAGUA, 2018, pp. 80-81).

<b>Agrícola</b>	42.47	24.32	66,799	76%
<b>Abastecimiento público</b>	5.25	7.38	12,628	14.4%
<b>Industrial integrado</b>	2.04	2.23	4,267	4.9%
<b>Electricidad excluyendo hidroelectricidad</b>	3.70	0.45	4,147	4.7%
<b>Subtotal consuntivo</b>	53.46	34.39	87,842	100
			Uso agrupado no consuntivo	
<b>Hidroeléctricas</b>			183,066	
<b>Conservación ecológica</b>			9.46	
<b>Subtotal no consuntivo</b>			183,075	
<b>Total</b>			270,917	

Fuente: CONAGUA, 2018, pp. 76-77. Las sumas son aproximadas y están redondeadas.

En este contexto se observa que el volumen concesionado<sup>5</sup> para abastecimiento público<sup>6</sup> corresponde a 12,628 hm<sup>3</sup> (14.4% del subtotal consuntivo) donde se observa que el 41.6% provienen de aguas superficiales y 58.4% de aguas subterráneas en 2017.

## **Cuadro 2. Evolución del volumen concesionado de uso agrupado de abastecimiento público por tipo de fuente, 2008-2017 (miles de hm<sup>3</sup>).**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Aguas superficiales</b>	4.24	4.31	4.33	5.03	4.70	4.74	4.76	5.16	5.22	5.25
<b>Aguas subterráneas</b>	6.96	7.09	7.11	7.15	7.28	7.22	7.29	7.32	7.36	7.38

Fuente: CONAGUA (2018), pp. 85.

Actualmente, la recaudación por los recursos hídricos es de, alrededor, de 19,339.9 millones de pesos en 2017 (CONAGUA, 2018). Ello se deriva de diversos cobros por la explotación, uso y suministro de agua que son diferenciados por zonas geográficas del país y donde se observa que las tarifas por m<sup>3</sup> son más elevadas en donde el agua es más escasa, tanto para aguas superficiales como subterráneas. Persiste, sin embargo, intensas discusiones sobre los precios a asignarles al agua, sus efectos y relevancia desde la óptica de la política pública.

El uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en México muestra que el 94.4% (97.2% urbana y 85.0% rural) de la población disponen de agua entubada en la vivienda o predio y 91.4% de la población tiene acceso a drenaje a red pública o fosa séptica (Comisión Nacional

<sup>5</sup> El Registro Público de Derechos de Agua (Repda) registra los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales.

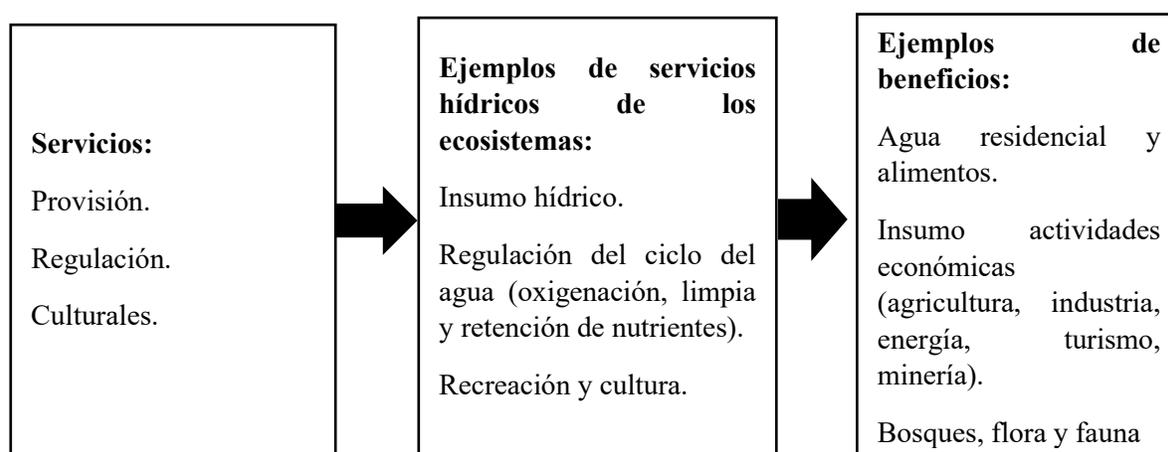
<sup>6</sup> El uso agrupado abastecimiento público consiste en aprovechar el agua entregada por las redes de agua potable, en el abastecimiento a los usuarios domésticos (domicilios), así como a diversas industrias y servicios (CONAGUA, 2018, pp. 85).

de Agua, 2018) y que existen 53.42 millones de habitantes (43.69 de la población total) que continúan en situación de pobreza y 9.4 millones en situación de pobreza extrema (7.60% de la población total) en el país en 2016 (Coneval, 2018)<sup>7</sup>. Ello resulta particularmente relevante ya que existe una alta correlación entre estos grupos en alta vulnerabilidad y diversas carencias en la calidad, condiciones y disponibilidad de agua adecuadas, que se reflejan, por ejemplo, en fallecimientos infantiles por enfermedades diarreicas y problemas de salud (CONAGUA, 2018).

### 3 UN MARCO CONTABLE PARA LOS ECOSISTEMAS Y LOS RECURSOS HÍDRICOS EN MÉXICO.

Existen, desde luego, diversos métodos para la valoración monetaria de los servicios de provisión y regulación de los recursos hídricos de los ecosistemas para las actividades económicas y humanas (Figura 1). Sin embargo, estos métodos muestran aún dificultades para capturar la interacción física y en valores monetarios entre los servicios de los ecosistemas y la oferta y la calidad del agua. Más aún, estos métodos de valoración enfrentan problemas de información hidrológica por área específica y su correspondencia con las actividades económicas y humanas y las dificultades inherentes a identificar la contribución de los servicios de los ecosistemas a la oferta y calidad de los recursos hídricos y aquella proporción o su contribución específica a las actividades económicas y humanas que se le otorga un valor monetario (Cuadro 4.A en el Apéndice). Así, la estimación del valor monetario de los servicios de provisión y regulación de los recursos hídricos de los ecosistemas a las actividades económicas y humanas tiene aún un alto nivel de incertidumbre.

**Figura 1. Servicios de provisión, regulación y cultura de los recursos hídricos.**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>7</sup> La población proyectada al 2017 es de 123.55 millones de habitantes (CONAPO 2018).

La información disponible sobre los flujos anuales de los recursos hídricos en México puede sintetizarse en las identidades (1), (2) y (3) (Figura 2). La precipitación media anual en México, en 2017, es, aproximadamente, 1,449,471 hm<sup>3</sup> de agua de donde 1,045,835 hm<sup>3</sup> regresan a la atmósfera por evo transpiración, 311,092 corresponde al escurrimiento natural medio superficial interno más otras filtraciones al subsuelo (acuíferos) de forma natural<sup>8</sup> (ecuación (1)). Así, el escurrimiento natural medio superficial interno más los flujos de exportaciones (432 hm<sup>3</sup>) e importaciones (48,381 hm<sup>3</sup>) de agua equivalen al escurrimiento natural medio superficial total (ecuación (2)) que junto con la recarga media de acuíferos corresponde al agua renovable<sup>9</sup> de 451,585 millones de metros cúbicos anuales en 2017 (ecuación (3)) (Comisión Nacional del Agua, 2018, pp. 32). Asimismo, la información disponible indica que las concesiones de agua en el 2017 correspondían a 270,917 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2018).

$$(1) \text{PRECIP}_{it} = \text{EVO}_{it} + \text{EMSI}_{it} + \text{RMA}_{it} = 1,449,471 = 1,045,835 + 311,092 + 92,544$$

$$(2) \text{EMST}_{it} = \text{EMSI}_{it} + (\text{EX}_{it} - \text{IMP}_{it}) = 359,041 = 311,092 + 48,381 - 432$$

$$(3) \text{AR}_{it} = \text{EMST}_{it} + \text{RMA}_{it} = 451,585 = 359,041 + 92,544$$

Donde  $\text{PRECIP}_{it}$  corresponde a la precipitación anual media,  $\text{EVO}_{it}$  es la evo-transpiración,  $\text{EMSI}_{it}$  es el escurrimiento natural medio superficial interno,  $\text{EMST}_{it}$  es el escurrimiento natural medio superficial total,  $\text{EXP}_{it}$  son las exportaciones totales de agua,  $\text{IMP}_{it}$  son las importaciones de agua y  $\text{AR}$  corresponde al agua renovable y  $\text{RMA}_{it}$  es la recarga media de acuíferos. Los subíndices  $t$  e  $i$  representan el tiempo y el área específica.

Así, la información disponible muestra que el escurrimiento natural medio superficial interno es de 311,092 hm<sup>3</sup> y el escurrimiento natural medio superficial interno más la recarga media del acuífero e incluyendo exportaciones menos importaciones hídricas indica que el agua renovable es de 451,585 hm<sup>3</sup> anuales (Figura 2). En este contexto, se observa que el agua renovable, el escurrimiento natural medio superficial, la recarga media total de acuíferos, la precipitación, la proporción del agua que regresa a la atmósfera por evo transpiración y la distribución en cuerpos de agua superficiales y en acuíferos y los usos de agua para las actividades económicas y humanas y los volúmenes concesionados para usos agrupados

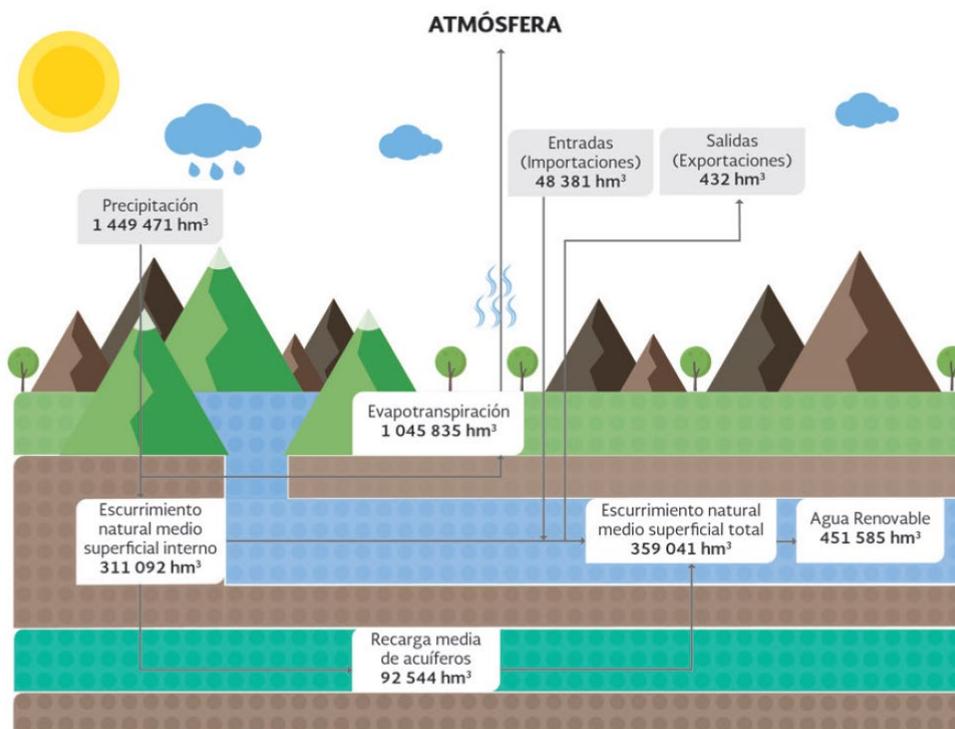
---

<sup>8</sup> Se estima que, del total del agua de precipitación, la evo-transpiración representa el 72.1%, la escorrentía hacia ríos y arroyos representa el 21.4% y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.

<sup>9</sup> El agua renovable representa la mayor cantidad de agua que es posible explotar anualmente y que corresponde a la cantidad de agua renovada por la precipitación debido al escurrimiento natural medio superficial interno más la recarga total anual de los acuíferos y el flujo neto de agua con respecto a otras regiones (CONAGUA, 2018).

consuntivos por entidad federativa es heterogénea por regiones hidrológicas (Cuadro 3) (CONAGUA, 2018).

**Figura 2. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México.**



Fuente: Tomado de CONAGUA (2018)

**Cuadro 3. Volúmenes concesionados para usos agrupados consuntivos por entidad federativa, 2017 (hm³).**

Clave	Entidad federativa	Volumen concesionado	Agrícola	Abastecimiento Público	Industria autoabastecida	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad
1	Aguascalientes	623.3	478.5	127.4	17.4	0.0
2	Baja California	3,041.9	2,582.0	187.5	83.1	189.3
3	Baja California sur	425.0	341.9	65.3	13.5	4.3
4	Campeche	1,534.5	1,337.0	170.2	23.6	3.6
5	Coahuila de Zaragoza	2,038.3	1,647.0	239.7	76.8	74.9
6	Colima	1,797.5	1,672.1	100.3	25.1	0.0
7	Chiapas	1,989.8	1,549.9	397.6	42.4	0.0
8	Chihuahua	5,300.0	4,723.6	491.5	57.4	27.5

9	Ciudad de México	1,122.2	1.2	1,089.6	31.4	0.0
10	Durango	1,594.7	1,392.9	170.1	20.2	11.5
11	Guanajuato	4,109.1	3,463.7	548.7	76.2	20.5
12	Guerrero	4,444.8	919.3	380.5	22.8	3,122.1
13	Hidalgo	2,388.0	2,099.7	165.5	40.2	82.6
14	Jalisco	5,007.4	3,725.0	1,066.9	215.4	0.1
15	México	2,764.0	1,160.1	1,375.2	198.1	30.6
16	Michoacán de Ocampo	5,511.8	4,807.9	377.8	278.2	47.9
17	Morelos	1,310.4	982.0	282.8	45.5	0.0
18	Nayarit	1,364.0	1,128.5	125.7	109.8	0.0
19	Nuevo León	2,092.4	1,473.6	533.1	85.5	0.2
20	Oaxaca	1,354.6	1,045.4	269.0	40.2	0.0
21	Puebla	2,514.4	1,629.4	433.1	445.4	6.5
22	Querétaro	1,013.0	641.7	305.6	59.9	5.7
23	Quintana Roo	1,153.4	329.7	212.8	610.9	0.0
24	San Luis Potosí	2,016.8	1,314.9	635.8	35.1	31.0
25	Sinaloa	9,558.5	9,005.4	509.2	43.9	0.0
26	Sonora	7,292.5	6,389.9	771.3	114.8	16.5
27	Tabasco	519.1	243.9	184.4	90.8	0.0
28	Tamaulipas	4,268.6	3,756.3	335.1	121.7	55.5
29	Tlaxcala	271.3	162.9	91.0	17.4	0.0
30	Veracruz de Ignacio de la Llave	5,642.0	3,583.3	553.4	1,097.6	407.8
31	Yucatán	2,105.0	1,782.2	257.1	56.6	9.1
32	Zacatecas	1,673.2	1,428.0	175.2	70.1	0.0
	<b>Total</b>	<b>87,841.5</b>	<b>66,799.0</b>	<b>12,628.4</b>	<b>4,266.9</b>	<b>4,147.1</b>

Fuente: Estadísticas del Agua en México, 2018 (CONAGUA, 2018).

#### 4 EL VALOR MONETARIO DEL SERVICIO HÍDRICO DE LOS ECOSISTEMAS.

Los recursos hídricos<sup>10</sup> de los ecosistemas proveen un conjunto de servicios de provisión, de regulación y culturales para las actividades económicas y humanas. Por ejemplo, los recursos hídricos son insumos básicos para la irrigación y los cultivos agrícolas, proveen una oferta de agua (potable) para consumo residencial, contribuyen a la producción de electricidad (hidro), son utilizados (ríos, lagos y cuerpos de agua) como vertederos de desechos, ayudan a los ecosistemas a filtrar, oxigenar y almacenar nutrientes y limpiar el agua de contaminantes y residuos, a la recarga de agua y a los servicios culturales (turismo y recreación) y además contribuye a preservar el hábitat de los ecosistemas (SEEA-EEA, 2012, *Technical*

<sup>10</sup> Básicamente agua superficial, agua subterránea y agua de suelo (SEEA-WATER, 2012, pp. 51).

*Recommendations*, 2012, pp. 146, SEEA-WATER, 2012). Estos servicios hidrológicos de los ecosistemas son ofrecidos como bienes y servicios al consumidor final, como insumo en los productores agrícolas, industriales y de servicios y como un atractivo para el turismo ecológico lo que ocasiona presiones por la competencia por los recursos hídricos limitados.

Estos servicios de los recursos hídricos de los ecosistemas se asocian a las características (i.e. extensión y condición) de los ecosistemas y al clima (temperatura y precipitación). En efecto, la cobertura del tipo de vegetación del suelo incide en los patrones de infiltración, retención y almacenamiento, evaporización y transpiración y de calidad del agua. De este modo, los tipos de ecosistemas condicionan la calidad y la magnitud de la oferta de agua que proviene de los ecosistemas (Sánchez-Colón, 2020).

La estimación del valor monetario de los servicios de los recursos hídricos a las actividades económicas y humanas puede realizarse con base en diversos métodos<sup>11</sup> como<sup>12</sup> el método de la renta unitaria del recurso (diferencia entre ingresos y costos -residual-), por el método de función de producción, por el método de precios hedónicos, por el método de costos defensivos, de remplazo o de daños evitados, a través de valuaciones contingentes o atendiendo al valor económico total del agua que corresponde al uso directo derivado de su uso como insumo o bien final, de su valor derivado de su uso indirecto proveniente de los servicios de los ecosistemas (incluye recepción de desechos) y de su valor de no uso asociado a su valor de opción o de herencia (SEE-EEA, 2012, SEEA-WATER, 2012, PP. 134, Dasgupta, 2004, Champ, *et al.* 2017, Remme *et. al.*, 2015, *University of Wangeningen*, 2019).

Estos métodos de valoración buscan identificar:

- El valor marginal del agua que representa el deseo de pagar por una unidad adicional.
- El valor medio del agua que corresponde al deseo promedio de pagar por el agua.
- El Valor Económico Total que busca calcular el bienestar derivado del uso o consumo del agua; ello incluyendo el superávit del consumidor y del productor.

Estas valoraciones monetarias de los servicios hidrológicos son complejas y tienen un alto nivel de incertidumbre atendiendo a que los servicios asociados a los recursos hídricos son muy diversos, corresponden a distintas actividades económicas y humanas y, donde además existen procesos de retroalimentación y de compensación entre los distintos servicios. Además, debe considerarse que los precios del agua que se observan en el mercado normalmente no reflejan el valor real del recurso hídrico o incluso no reflejan el “costo de ofrecer el producto” debido a la presencia de precios administrados, a fallas de mercado asociadas a estructuras de mercado oligopólicas o monopólicas, a que no existen derechos de

---

<sup>11</sup> Véase, por ejemplo, Reynaud, A. y Lanzanova, D., 2015. A global meta-Analysis of ecosystem services values provided by lakes. Presented at the 2nd Annual Conference of the French Association of Environmental and Resource Economists, 10–11 September in Toulouse.

<sup>12</sup> Algunos de estos métodos están descritos en Sánchez-Colón (2020).

propiedad claramente establecidos y a que el agua es un recurso vital normalmente de acceso público con una economía política en extremo compleja.

En este estudio se utiliza el método de la renta unitaria del recurso hídrico y el método de costo de remplazo de los recursos hídricos para el consumo de los hogares y el suministro municipal. Estas estimaciones son, por tanto, preliminares.

#### 4.1 Método de la renta unitaria del recurso hídrico del servicio del ecosistema para el consumo de los hogares<sup>13</sup> y suministro municipal.

El método del residual se basa en el supuesto de que todos los mercados son competitivos<sup>14</sup> con la excepción del mercado del agua<sup>15</sup>. De este modo, el valor total de producción del agua equivale al valor del producto del agua menos el excedente de operación bruto y menos el consumo de capital fijo (depreciación) y las ganancias de los activos producidos y los salarios de los empleados por cuenta propia (Cuadro 4) (SEA-EEA, 2012, SEEA-WATER, 2012, pp. 38 y pp. 135, INEGI, 2020). Desde luego, este método está sujeto a la crítica de que el residual puede incluir factores adicionales que fueron omitidos o a la obtención de valores negativos y a que los supuestos sobre la existencia de mercados perfectos son muy restrictivos (Edens y Graveland, 2014).

**Cuadro 4: Renta del recurso hídrico.**

Valor total del producto
- Consumo intermedio
- Sueldos y salarios
- Impuestos netos
Igual a Excedente de operación
- Consumo de capital fijo (depreciación)
- Ganancias de los activos producidos
- Sueldos y salarios de los empleados por cuenta propia
Igual a renta del recurso
= agotamiento + ingreso neto de los activos ambientales.

Fuente: Horlings, *et al.*, 2019.

<sup>13</sup> La contribución, por el método del residual, de los recursos hídricos a la producción agrícola está en la estimación del residual en la producción agrícola (SEEA-WATER, 2012, pp. 140).

<sup>14</sup> Las empresas maximizan sus ganancias en el punto donde los ingresos netos marginales son iguales a los costos marginales.

<sup>15</sup> De este modo, el valor estimado corresponde al valor monetario del agua que puede ajustarse corrigiendo por las distorsiones en los precios de mercado de los insumos o los costos de oportunidad de todos los insumos (SEEA-WATER, 2012, pp. 139).

El valor monetario agregado de la contribución de los servicios hídricos para las actividades económicas y humanas se estima entonces como<sup>16</sup>:

$$(4) \quad VH_{it} = CAC_{it}PU_{it}$$

Donde  $VH_{it}$  representa el valor monetario de los servicios hídricos para el consumo de los hogares y suministro municipal,  $CAC_{it}$  es el consumo consuntivo hídrico por el consumo de los hogares y suministro municipal y  $PU_{it}$  corresponde al precio unitario de la renta del recurso. Los subíndices  $i$  corresponde a hogares y suministro municipal y  $t$  el tiempo.

La estimación de valor monetario del agua para consumo de los hogares y suministro municipal (incluye consumo de hogares, industria y servicios) por el método de precio unitario del recurso se realiza con base en dos fuentes de información que corresponden a la información del Sistema de Cuentas Nacionales y a la información derivada de los Censos Económicos. Ello busca identificar un rango de valores del servicio hídrico de los ecosistemas.

De este modo, en primer lugar, la estimación del valor monetario unitario de la renta del recurso, con base en el Sistema de Cuentas Nacionales, se obtiene, para la rama 2221 Captación, tratamiento y suministro de agua<sup>17</sup>, donde al valor agregado bruto se extraen las remuneraciones, los impuestos netos para obtener el excedente bruto de operación (EBO), al que se le subtrae el consumo de capital fijo. La información del consumo de capital fijo de la rama 2221 se obtiene de la información disponible para el consumo de capital fijo del sub-sector 222 al que se aplica un factor de ajuste, de acuerdo a la participación de la rama 2221 en el EBO del sub-sector 222. En estas estimaciones se subtrae una ganancia promedio de los activos de 4% en forma similar a la estimación del sector agrícola.

En segundo lugar, la estimación del valor monetario unitario de la renta del recurso, con base en la información del Censo Económico del 2018 de la rama 2221 Captación, tratamiento y suministro de agua, se obtiene considerando al valor agregado bruto al que se extraen las remuneraciones totales, la formación bruta de capital y la depreciación de los activos fijos. En estas estimaciones se subtrae una ganancia promedio de los activos de 4% en forma similar a la estimación del sector agrícola.

Las estimaciones, sintetizadas en el Cuadro 5, indican un valor monetario del servicio hídrico de los organismos operadores de 34.05 miles de millones de pesos mexicanos con la información del Sistema de Cuentas Nacionales y de 24.84 miles de millones de pesos mexicanos con base en la información de Censos Económicos a 2018<sup>18</sup>. Estos valores

---

<sup>16</sup> Ello atendiendo a que la información disponible sugiere una demanda consistente con la oferta de recursos hídricos.

<sup>17</sup> Incluye hogares, industria y comercio.

<sup>18</sup> El precio promedio cobrado del consumo de agua concesionada es de 0.22 pesos/m<sup>3</sup> para 2017 (CONAGUA, 2018) y el precio de los futuros del agua en California se ubica en alrededor de 8 pesos/m<sup>3</sup>.

permiten construir un rango del valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas para el consumo de los hogares y municipal.

**Cuadro 5. Estimaciones del valor monetario del servicio hídrico con base en el método de la renta unitaria del recurso.**

Descripción (año)	2018
<b>Excedente Bruto de Operación subsector 222</b>	51939.770
<b>Consumo de Capital Fijo subsector 222</b>	16,385.374
<b>Depreciación</b>	1,361.843
<b>Renta neta (millones de pesos corrientes)</b>	34,046.080
Estimación de la renta neta de agua residencial con información de la rama 2221 Captación, tratamiento y suministro de agua de Censos Económicos de INEGI	
Descripción (año)	2018
<b>Valor Agregado Bruto (VAB) (millones de pesos corrientes)</b>	53,064.102
<b>Total de remuneraciones (millones de pesos corrientes)</b>	23,585.395
<b>Formación bruta de capital (millones de pesos corrientes)</b>	50,073.900
<b>Depreciación de los activos fijos (millones de pesos corrientes)</b>	4,637.023
<b>Renta neta o residual (millones de pesos corrientes)</b>	24,841.684

Fuente: Elaboración propia con datos de la Cuenta de Bienes y servicios del Sistema de Cuentas Nacionales y el Sistema Automatizado de Información Censal.

El valor monetario estimado del servicio hídrico de los ecosistemas es de \$1.95 y \$1.72 por m<sup>3</sup> derivados del Sistema de Cuentas Nacionales y del Sistema Automatizado de Información Censal obtenido dividiendo el valor de la renta unitaria del recurso por el consumo intermedio de la rama 2221 (Cuadro 7). Así, el valor monetario de la contribución los recursos hídricos al consumo de los hogares corresponden a 10.24 y 18.33 miles de millones de pesos, respectivamente, que equivale al 0.044 % y 0.078% del PIB nacional en 2018, ello considerando las dos fuentes de información. Asimismo, el valor monetario de la contribución los recursos hídricos para el suministro municipal corresponden a 27.92 y 18.33 miles de millones de pesos, respectivamente, que equivale al 0.044 % y 0.033% del PIB nacional en 2018, ello considerando las dos fuentes de información (Cuadro 7).

**Cuadro 7: Valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas para el suministro de los hogares y municipal: 2017**

	Valor monetario de los organismos operadores (miles de millones de \$)	Oferta total de agua (millones de m <sup>3</sup> )	Precio de la renta unitaria del recurso	Valor monetario (miles de millones de \$)	Valor (% del PIB nacional)
<b>Hogares (SCN)</b>	27.92	5,246	1.95	10.24	0.044
<b>Censos (CE)</b>	18.33	4,500	1.722	7.75	0.033
<b>Suministro municipal (SCN)</b>	6.13	1,152	1.95	2.25	0.010
<b>Suministro municipal (CE)</b>	2.75	1598	1.722	2.75	0.012

Fuente: Elaboración propia.

Este conjunto de estimaciones es consistente con un gasto, ajustado, en agua de los hogares derivado de la encuesta de gastos e ingresos de los hogares (i.e. ENIGH, 2018). No obstante, este método de estimación del valor monetario del servicio de los recursos hídricos no es necesariamente consistente con el concepto de valor de intercambio (Birol, *et. al.*, 2006) y puede sobrevalorar la contribución de los recursos hídricos al incluir factores aun no identificados en el residual obtenido por el método de la renta unitaria del recurso.

#### 4.1.1 Contribución geo-referenciada del valor monetario de los servicios hídricos al consumo de los hogares y suministro municipal.

Las estimaciones nacionales pueden desagregarse por Región Hidrológico Administrativa (RHA). Las estimaciones de la contribución monetaria de los servicios hídricos para consumo de los hogares para 2017 se presentan en el Cuadro 8 y la Figura 3 donde se observa una importante heterogeneidad geográfica y donde el mayor valor monetario se concentra en las regiones hídricas VI, VIII y IX.

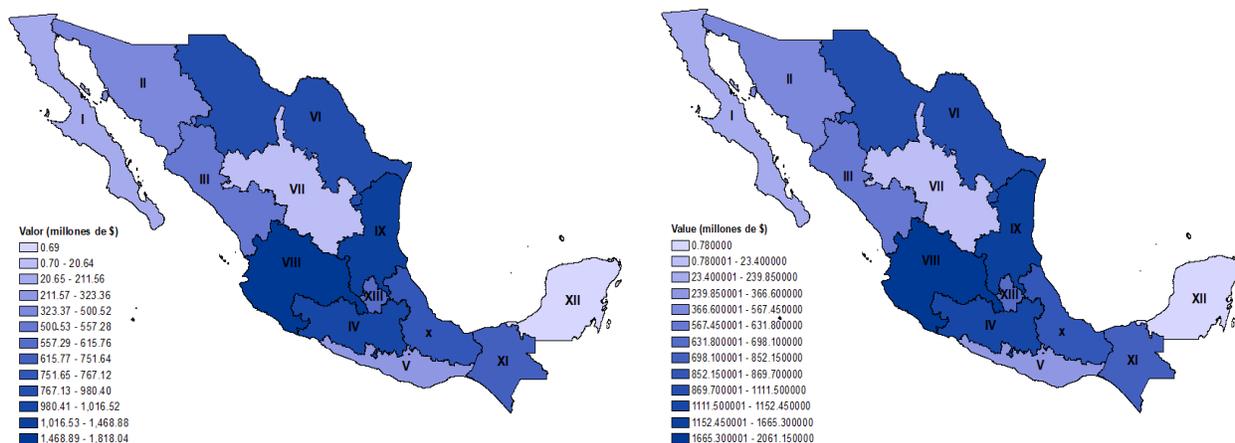
**Cuadro 8. Valor monetario de los servicios hídricos de los ecosistemas para consumo de los hogares por región hidrológica: 2017.**

Región	Abastecimiento público (hm <sup>3</sup> /año)	Valor (millones de pesos \$1.72/m <sup>3</sup> )	Valor (millones de pesos \$1.95/m <sup>3</sup> )	Valor (% del PIB - \$1.72/m <sup>3</sup> )	Valor (% del PIB - \$1.95/m <sup>3</sup> )
	<b>Superficial</b>				
<b>I</b>	123.00	211.56	239.85	0.0010	0.0011
<b>II</b>	291.00	500.52	567.45	0.0023	0.0026
<b>III</b>	324.00	557.28	631.80	0.0025	0.0029
<b>IV</b>	591.00	1,016.52	1,152.45	0.0046	0.0053
<b>V</b>	188.00	323.36	366.60	0.0015	0.0017
<b>VI</b>	570.00	980.40	1,111.50	0.0045	0.0051

VII	12.00	20.64	23.40	0.0001	0.0001
VIII	1,057.00	1,818.04	2,061.15	0.0083	0.0094
IX	854.00	1,468.88	1,665.30	0.0067	0.0076
X	446.00	767.12	869.70	0.0035	0.0040
XI	437.00	751.64	852.15	0.0034	0.0039
XII	0.40	0.69	0.78	0.0000	0.0000
XIII	358.00	615.76	698.10	0.0028	0.0032
<b>Total</b>	<b>5,251.40</b>	<b>9,032.41</b>	<b>10,240.23</b>	<b>0.0412</b>	<b>0.0467</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3. Valor monetario del servicio de consumo residencial.**



**3.1. Valor monetario del servicio de consumo residencial (millones de pesos – \$1.72/m3)**

**3.2. Valor monetario del servicio de consumo residencial (millones de pesos – \$1.95/m3)**

#### 4.2 El método de costo de remplazo del tratamiento del recurso hídrico para ríos limpios de aguas municipales e industriales.

El método de costo de remplazo del recurso hídrico estima el valor monetario del servicio de regulación intermedio de filtración natural de agua subterránea para consumo residencial y/o municipal (Horlings, *et al.*, 2019, ONU, 2021).

Para estimar este costo de remplazo existen diversas opciones como:

1. Estimar directamente el costo de tratamiento de agua bajo el supuesto que corresponde al costo de filtración natural.
2. Estimar el valor monetario del servicio de filtración natural de agua subterránea que corresponde a la diferencia de costos de producción entre el agua superficial y subterránea que se usa, después de un tratamiento, como agua potable. El beneficio económico corresponde a la reducción de costos de producción de agua potable y

donde los costos de producción incluyen costos operativos de capital, depreciación e impuestos y se asume que el costo del agua subterránea es cero (Horlings, *et al.*, 2019, pp. 37). El costo unitario corresponde entonces a la diferencia en los costos de producción ponderados por el volumen de agua ofertada.

Estimaciones para México, elaboradas por CONAGUA (2018 y 2012<sup>19</sup>), permiten identificar los costos de tratamiento de las aguas residuales municipales (público e industriales) por cuenca para disponer de ríos limpios al 2030. Estos costos para el tratamiento de aguas de origen municipal e industrial se estiman<sup>20</sup>, con base en el índice de costos de tratamiento de aguas residuales municipales basados en las curvas de costos estimadas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y en un estudio de costos sobre el tratamiento y reúso del agua en la industria petroquímica (CONAGUA, 2018). Estas curvas identifican el gasto promedio/marginal de tratamiento del agua residual municipal e industrial incluyendo los costos<sup>21</sup> anualizados de las inversiones y gastos operativos y de mantenimiento requeridos para cerrar la brecha de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales hasta el 2030 para disponer de agua en los ríos que cumpla con la normatividad del mínimo requerido por la NOM-001 SEMARNAT-1996 (CONAGUA, 2012; Prospectiva RHA III pp. 72) y donde el costo de tratamiento corresponde a la suma de los costos totales por m<sup>3</sup> (CONAGUA, 2012; Prospectiva RHA III, pp. 69).

Estos costos estimados de tratamiento de aguas residuales municipales pueden asociarse con el método de costos defensivos o de remplazo para estimar el valor monetario del servicio de filtración del ecosistema<sup>22</sup> (Champ, *et al.* 2017).

Los costos anuales de remplazo de aguas residuales municipales al 2030 e industriales corresponden a 0.25% y 0.49% del PIB de 2017, respectivamente (Cuadro 9).

Las estimaciones generales y geo-referenciadas por Regiones Hidrológicas Administrativas de estos costos de tratamiento de las aguas residuales municipales se sintetizan en el Cuadro

---

<sup>19</sup> Programa Hídrico Regional. Visión 2030 por regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) (CONAGUA, 2012).

<sup>20</sup> Ello debido al lugar de ubicación de la planta o de las condiciones regionales específicas.

<sup>21</sup> Se estima el costo requerido por cada m<sup>3</sup> adicional de agua es la suma anual de las inversiones requeridas descontadas por una tasa de 12% basado en el modelo ATP. SGP-Conagua. 2010 y donde el costo depende del volumen tratado (Prospectiva, Programa Hídrico Regional. Visión 2030 por regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) (CONAGUA, 2012)).

<sup>22</sup> En los Países Bajos se utilizó el método de costo de remplazo del recurso hídrico para el consumo residencial busca estimar el valor del servicio que corresponde a la reducción de costos para agua para beber (Horlings *et al.*, 2019, pp. 36). Ello corresponde a identificar el valor de un sustituto para el servicio de filtración del agua. De este modo, se estima el costo de remplazo a través del valor de la filtración de agua (Champ, *et al.* 2017, Remme *et al.*, 2015, Horlings, *et al.*, 2019). Esto es, se supone que utilizar agua para beber de acuíferos profundos a agua superficial aumenta los costos y por tanto se estima la diferencia en los costos de producción de agua para beber del agua subterránea (donde se supone que el valor del agua del acuífero es cero) en relación al agua superficial. Así, el análisis se realiza con base en la diferencia de costos de las empresas que usan agua superficial y empresas que usan agua de acuíferos. La diferencia en los costos de producción entre las empresas que utilizan agua superficial y agua de acuíferos subterráneos se ubica entre 0.35 euros en 2012 y 0.40 euros en 2016 por m<sup>3</sup>. La estimación subestima el valor del servicio ya que no considera el agua que proviene de los ríos (Horlings, *et al.*, 2019, pp. 38).

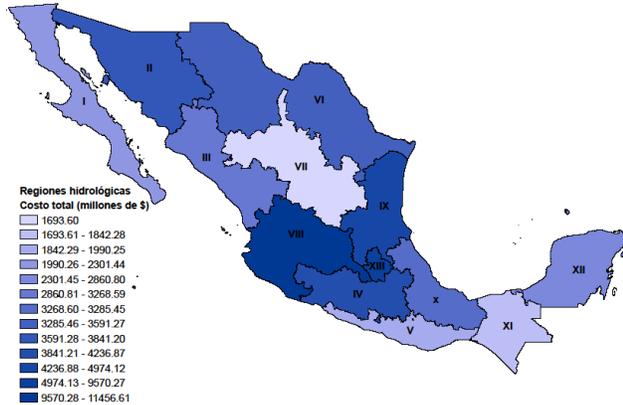
9 y en la Figura 5. Estas estimaciones muestran que el valor monetario de los servicios hídricos de los ecosistemas se concentra en el centro y occidente del país. Las estimaciones considerando exclusivamente el tratamiento para aguas superficiales se incluyen en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Costos de remplazo de aguas residuales municipales e industriales totales y por regiones hidrológicas.**

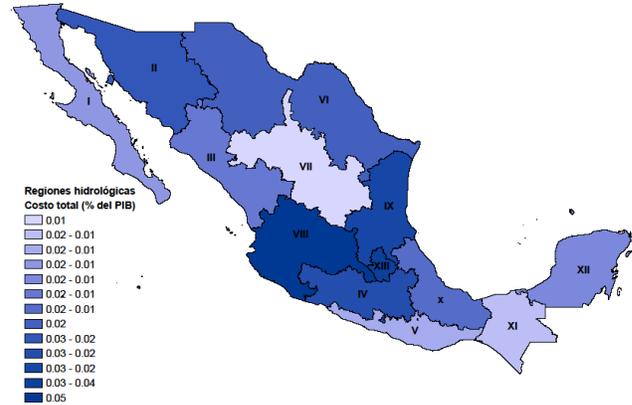
RHA	Costo de proveer de agua limpia a ríos derivada de aguas municipales residuales (\$/m3)	Costo de remplazo de volumen de agua para ríos limpios (millones de \$)			Costo de remplazo de volumen de agua para ríos limpios (% del PIB)		
		Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
RHA I	4.96	610.1	1,691.4	2,301.4	0.003	0.008	0.010
RHA II	6.60	1,920.6	1,927.2	3,841.2	0.009	0.009	0.018
RHA III	4.93	1,597.3	1,671.3	3,268.6	0.007	0.008	0.015
RHA IV	3.47	2,050.8	2,186.1	4,236.9	0.009	0.010	0.019
RHA V	4.75	893.0	1,097.3	1,990.3	0.004	0.005	0.009
RHA VI	2.83	1,613.1	1,978.2	3,591.3	0.007	0.009	0.016
RHA VII	4.64	55.7	1,637.9	1,693.6	0.000	0.007	0.008
RHA VIII	4.47	4,724.8	6,611.1	11,456.6	0.022	0.030	0.052
RHA IX	4.92	4,201.7	772.4	4,974.1	0.019	0.004	0.023
RHA X	4.47	1,993.6	1,291.8	3,285.5	0.009	0.006	0.015
RHA XI	3.16	1,380.9	461.4	1,842.3	0.006	0.002	0.008
RHA XII	4.47	0.0	2,860.8	2,860.8	0.000	0.013	0.013
RHA XIII	4.47	1,600.3	7,970.0	9,570.3	0.007	0.036	0.044
<b>Total</b>	<b>4.49</b>	<b>22,641.8</b>	<b>32,156.8</b>	<b>54,912.8</b>	<b>0.103</b>	<b>0.147</b>	<b>0.250</b>
RHA	Costo de proveer de agua limpia a ríos derivada de aguas municipales residuales (\$/m3)	Costo de remplazo de volumen de agua para consumo industrial (millones de \$)			Costo de remplazo de volumen de agua para consumo industrial (% del PIB)		
		Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
RHA I	25.00	1,800.0	625.0	2,425.0	0.008	0.003	0.011
RHA II	25.00	200.0	2,750.0	2,950.0	0.001	0.013	0.013
RHA III	25.00	975.0	550.0	1,525.0	0.004	0.003	0.007
RHA IV	25.00	6,725.0	2,325.0	9,050.0	0.031	0.011	0.041
RHA V	25.00	25.0	500.0	525.0	0.000	0.002	0.002
RHA VI	25.00	350.0	5,200.0	5,550.0	0.002	0.024	0.025
RHA VII	25.00	25.0	2,700.0	2,725.0	0.000	0.012	0.012
RHA VIII	25.00	1,650.0	12,875.0	14,525.0	0.008	0.059	0.066
RHA IX	25.00	10,825.0	1,025.0	11,850.0	0.049	0.005	0.054
RHA X	25.00	26,100.0	3,900.0	30,000.0	0.119	0.018	0.137
RHA XI	25.00	1,425.0	1,900.0	3,325.0	0.006	0.009	0.015
RHA XII	25.00	0.0	17,275.0	17,275.0	0.000	0.079	0.079
RHA XIII	25.00	775.0	4,150.0	4,925.0	0.004	0.019	0.022
<b>Total</b>		<b>50,875.0</b>	<b>55,775.0</b>	<b>106,650.0</b>	<b>0.232</b>	<b>0.254</b>	<b>0.486</b>

Fuente: Elaboración propia con base en los Programas Hídricos Regionales: visión 2030 para las 13 regiones hídricas y en el documento Estadísticas del agua en México, 2018

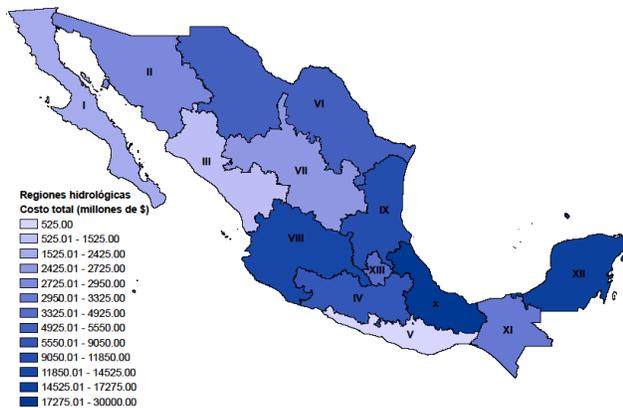
**Figura 5. Costos de remplazo de aguas residuales municipales e industriales totales y por regiones hidrológicas**



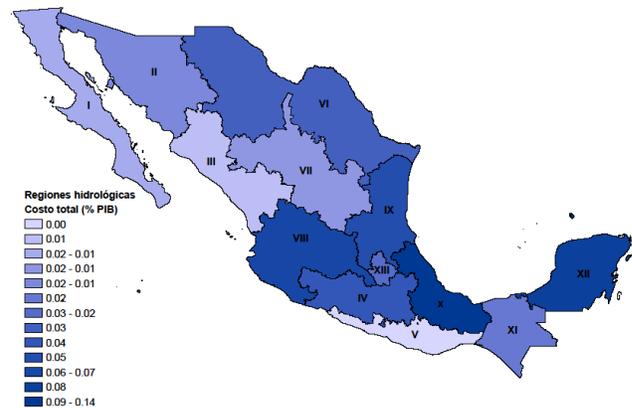
**Figura 5.1. Costo de remplazo de volumen de agua para consumo residencial (millones de \$)**



**Figura 5.2. Costo de remplazo de volumen de agua para consumo residencial (% del PIB)**



**Figura 5.3. Costo de remplazo de volumen de agua para consumo industrial (millones de \$)**



**Figura 5.4. Costo de remplazo de volumen de agua para consumo industrial (% del PIB)**

### 4.3 Valor monetario del servicio hídrico en consumo de hogares y suministro municipal de los servicios de los ecosistemas.

La provisión de agua está condicionada por el tipo de uso y cobertura de suelo y vegetación que incide sobre los patrones de evo-transpiración e infiltración y retención de agua alterando los ciclos hidrológicos y por tanto la oferta hídrica. En este sentido, la oferta de agua asociada a los distintos ecosistemas permite estimar el rendimiento del agua de los ecosistemas (*water yields*) que equivale al agua que proviene de la precipitación, ajustada por un parámetro que identifica la fracción del agua que proviene de la precipitación y que no regresa a la atmósfera por evaporización o transpiración, y que fue entonces capturada por los ecosistemas asociado a diferentes tipos de suelo (ONU, 2021, Sánchez-Colón, 2020).

De este modo, la oferta de agua para las actividades económicas y humanas se obtiene de acuíferos superficiales (ríos, lagos) o subterráneos. Así, se dispone del agua que proviene de la precipitación que escurre a los cuerpos de agua (lagos y ríos) y acuíferos subterráneos<sup>23</sup> dependiendo del tipo de suelo y cobertura vegetal.

El valor del servicio del ecosistema de provisión de agua corresponde entonces a la cantidad de agua extraída del agua de superficie y/o acuíferos subterráneos destinada para usos consuntivos multiplicada por el precio unitario de la renta del recurso<sup>24</sup>. La contribución de los SE a los recursos hídricos se iguala al punto donde intersecan el escurrimiento natural medio interno superficial (ríos y lagos) y la recarga media del acuífero subterráneos con el uso consuntivo del agua<sup>25</sup> (ecuación (4)).

$$(4) \quad \min: \quad (\text{EMSI}_{it}) * VPMA_w = (\text{CA}_{it}) * VPMA_w$$

Donde  $\text{ENMST}_{it}$  es el escurrimiento natural medio superficial total,  $\text{CA}_{it}$  es el monto consuntivo de agua por las actividades económicas y humanas asociado en este caso al consumo residencial o municipal,  $VPMA_w$  corresponde al precio unitario de la renta del recurso agua y  $\min$  indica que se considera el valor mínimo entre los dos lados de la ecuación.

Así, el valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas se ajusta a la oferta de los ecosistemas por tipo de suelo y vegetación con base en la carta de uso de suelo y vegetación serie VI que publica el INEGI (INEGI, 2020). Para aproximar el rendimiento hídrico en México, se utiliza la plataforma InVEST, disponible en: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/>. El modelo de rendimiento hídrico de InVEST estima la contribución relativa de diferentes usos de suelo. El resultado de dichas estimaciones se presenta en la figura 6.1, es decir, el rendimiento hídrico (mm) por 1km en todo el territorio de México. La figura 6.2 muestra la carta de uso de suelo y vegetación serie VI, mientras que la figura 6.3 muestra el valor monetario del servicio hídrico de los diferentes usos de suelo y vegetación.<sup>26</sup>

<sup>23</sup> Por ejemplo, puede hacerse el supuesto de que el valor del agua potable subterránea es cero (Horlinins, *et al.* 2019, pp. 37).

<sup>24</sup> Agua subterránea tiende a ser más limpia.

<sup>25</sup> En este sentido, la valoración monetaria de los recursos hídricos sólo considera el agua utilizada en las actividades económicas y humanas.

<sup>26</sup> Para las simulaciones en la plataforma InVEST se utiliza: el ráster de precipitación y el ráster de evapotranspiración publicado en Fick y Hijmans (2017) disponible en: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>. Para la profundidad de la capa de restricción la raíz se utiliza la base de datos global de suelos disponible en la *Soil and Terrain Database (SOTER) Programme* (<https://data.isric.org:443/geonetwork/srv/eng/catalog.search>). Para el contenido de agua disponible de la planta se utiliza información publicada por la Universidad de Minnesota, disponible en: <https://extension.umn.edu/irrigation/basics-irrigation-scheduling#sources-1846810>. Para el ráster de tipos de vegetación se utiliza la carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VI de INEGI. Para los mapas de cuencas y subcuencas, se utilizan los archivos shape publicados por la CONAGUA. Se utiliza un parámetro  $Z = 13.99$  para simular la distribución estacional de la precipitación.

De este modo, el valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas al consumo de agua de los hogares se sintetiza en el Cuadro 10 y en forma geo-referenciada en la Figura 6.

**Cuadro 10. Valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas por tipo de suelo y vegetación del consumo de agua residencial.**

TIPO DE VEGETACIÓN	RENDIMIENTO HÍDRICO (hm3)	VALOR (millones de \$-\$1.95)	VALOR (% del PIB)
ACUÍCOLA	1.16	2.27	0.000010
AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL	7.36	14.35	0.000065
AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y PERMANENTE	0.68	1.33	0.000006
AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y SEMIPERMANENTE	2.21	4.31	0.000020
AGRICULTURA DE HUMEDAD PERMANENTE	0.18	0.35	0.000002
AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE	0.53	1.03	0.000005
AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	0.63	1.22	0.000006
AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	62.59	122.05	0.000556
AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE	16.40	31.97	0.000146
AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE	27.50	53.62	0.000244
AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE	8.08	15.75	0.000072
AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE	14.22	27.72	0.000126
AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	3.75	7.31	0.000033
AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	442.75	863.37	0.003936
AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	81.38	158.70	0.000724
AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE	45.19	88.13	0.000402
AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	108.22	211.04	0.000962
AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE	56.38	109.93	0.000501
AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	21.98	42.86	0.000195
ASENTAMIENTOS HUMANOS	20.74	40.45	0.000184
BOSQUE CULTIVADO	4.97	9.70	0.000044
BOSQUE DE AYARÍN	0.74	1.44	0.000007
BOSQUE DE CEDRO	0.06	0.12	0.000001
BOSQUE DE ENCINO	185.92	362.55	0.001653
BOSQUE DE ENCINO-PINO	78.77	153.59	0.000700
BOSQUE DE GALERÍA	0.21	0.42	0.000002
BOSQUE DE MEZQUITE	2.35	4.58	0.000021
BOSQUE DE OYAMEL	4.64	9.05	0.000041
BOSQUE DE PINO	152.83	298.02	0.001359
BOSQUE DE PINO-ENCINO	186.59	363.85	0.001659
BOSQUE DE TÁSCATE	2.48	4.83	0.000022
BOSQUE INDUCIDO	0.06	0.11	0.000001

<b>BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA</b>	64.58	125.93	0.000574
<b>CHAPARRAL</b>	17.22	33.58	0.000153
<b>CUERPO DE AGUA</b>	44.05	85.90	0.000392
<b>DESPROVISTO DE VEGETACIÓN</b>	0.74	1.43	0.000007
<b>MANGLAR</b>	41.00	79.95	0.000365
<b>MATORRAL CRASICAULE</b>	14.78	28.83	0.000131
<b>MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO</b>	119.61	233.23	0.001063
<b>MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO</b>	79.48	154.99	0.000707
<b>MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO</b>	27.06	52.77	0.000241
<b>MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO</b>	1.25	2.43	0.000011
<b>MATORRAL SARCO-CRASICAULE</b>	6.80	13.26	0.000060
<b>MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLINA</b>	0.37	0.72	0.000003
<b>MATORRAL SARCOCAULE</b>	18.46	36.00	0.000164
<b>MATORRAL SUBMONTANO</b>	38.22	74.52	0.000340
<b>MATORRAL SUBTROPICAL</b>	14.21	27.71	0.000126
<b>MEZQUITAL TROPICAL</b>	1.75	3.41	0.000016
<b>MEZQUITAL XERÓFILO</b>	13.96	27.22	0.000124
<b>PALMAR INDUCIDO</b>	3.18	6.20	0.000028
<b>PALMAR NATURAL</b>	0.97	1.90	0.000009
<b>PASTIZAL CULTIVADO</b>	739.01	1441.07	0.006570
<b>PASTIZAL GIPSÓFILO</b>	0.58	1.13	0.000005
<b>PASTIZAL HALÓFILO</b>	8.68	16.92	0.000077
<b>PASTIZAL INDUCIDO</b>	165.17	322.09	0.001468
<b>PASTIZAL NATURAL</b>	54.52	106.32	0.000485
<b>POPAL</b>	11.07	21.59	0.000098
<b>PRADERA DE ALTA MONTAÑA</b>	0.99	1.93	0.000009
<b>SABANA</b>	9.86	19.24	0.000088
<b>SABANOIDE</b>	7.94	15.49	0.000071
<b>SELVA ALTA PERENNIFOLIA</b>	155.82	303.84	0.001385
<b>SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA</b>	3.89	7.59	0.000035
<b>SELVA BAJA CADUCIFOLIA</b>	181.23	353.40	0.001611
<b>SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA</b>	3.22	6.28	0.000029
<b>SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLIA</b>	22.34	43.57	0.000199
<b>SELVA BAJA PERENNIFOLIA</b>	2.62	5.11	0.000023
<b>SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA</b>	1.64	3.20	0.000015
<b>SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA</b>	6.06	11.83	0.000054
<b>SELVA DE GALERÍA</b>	0.27	0.52	0.000002
<b>SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA</b>	5.11	9.96	0.000045
<b>SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA</b>	0.02	0.03	0.000000
<b>SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA</b>	18.53	36.14	0.000165
<b>SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA</b>	85.39	166.50	0.000759

SIN VEGETACIÓN APARENTE	7.44	14.51	0.000066
TULAR	62.15	121.18	0.000552
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	0.50	0.98	0.000004
VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	3.27	6.39	0.000029
VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	0.66	1.28	0.000006
VEGETACIÓN DE GALERÍA	1.03	2.00	0.000009
VEGETACIÓN DE PETÉN	1.76	3.43	0.000016
VEGETACIÓN GIPSÓFILA	0.13	0.26	0.000001
VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA	3.24	6.32	0.000029
VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	5.05	9.84	0.000045
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE AYARÍN	0.32	0.62	0.000003
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE CEDRO	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	118.12	230.33	0.001050
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	30.40	59.28	0.000270
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE GALERÍA	0.00	0.01	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE MEZQUITE	0.70	1.36	0.000006
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	55.16	107.56	0.000490
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	84.08	163.95	0.000747
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TÁSCATE	4.47	8.72	0.000040
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	42.99	83.83	0.000382
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE CHAPARRAL	1.26	2.45	0.000011
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MANGLAR	2.71	5.28	0.000024
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	6.38	12.45	0.000057
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DE CONIFERAS	0.01	0.01	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	15.86	30.94	0.000141
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	3.50	6.83	0.000031
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	10.96	21.38	0.000097
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	0.12	0.23	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE	0.02	0.04	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLI	0.01	0.03	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCOCAULE	0.58	1.12	0.000005
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO	7.40	14.43	0.000066
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBTROPICAL	5.35	10.43	0.000048

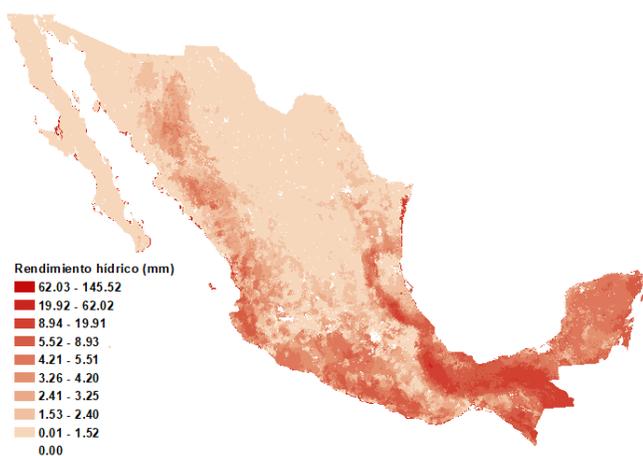
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL TROPICAL	0.01	0.02	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL XERÓFILO	2.92	5.70	0.000026
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PALMAR NATURAL	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL GIPSÓFILO	0.02	0.04	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL HALÓFILO	0.38	0.74	0.000003
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL NATURAL	37.41	72.95	0.000333
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	99.93	194.87	0.000888
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	0.30	0.59	0.000003
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	224.37	437.52	0.001995
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	4.65	9.07	0.000041
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLIA	12.71	24.79	0.000113
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	0.68	1.33	0.000006
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	0.24	0.47	0.000002
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	0.20	0.39	0.000002
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	9.03	17.60	0.000080
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA	0.02	0.04	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	59.82	116.64	0.000532
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	37.46	73.04	0.000333
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	0.02	0.03	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	0.01	0.01	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE GALERÍA	0.02	0.03	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILO HIDRÓFILO	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILO XERÓFILO	0.48	0.94	0.000004
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE AYARÍN	0.02	0.05	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE CEDRO	0.02	0.04	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO	30.20	58.88	0.000268
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	16.35	31.88	0.000145
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE GALERÍA	0.04	0.07	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE MEZQUITE	0.06	0.11	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL	0.46	0.90	0.000004

VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO	34.60	67.47	0.000308
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	67.31	131.26	0.000598
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE TÁSCATE	1.01	1.96	0.000009
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	41.26	80.47	0.000367
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE MANGLAR	0.60	1.17	0.000005
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE PALMAR NATURAL	0.00	0.01	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	119.91	233.82	0.001066
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	4.33	8.45	0.000039
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	75.21	146.67	0.000669
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	3.78	7.36	0.000034
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLIA	19.01	37.07	0.000169
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	0.07	0.13	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	0.59	1.14	0.000005
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	1.09	2.12	0.000010
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA DE GALERÍA	0.05	0.10	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	32.95	64.26	0.000293
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	116.49	227.15	0.001036
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	176.63	344.44	0.001570
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE VEGETACIÓN DE PETÉN	0.14	0.27	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO	1.20	2.34	0.000011
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	0.28	0.55	0.000003
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO	0.09	0.17	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	0.47	0.92	0.000004
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE TÁSCATE	0.05	0.10	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	0.57	1.11	0.000005
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MANGLAR	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL CRASICAULE	0.06	0.12	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	0.00	0.01	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	0.02	0.04	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	0.01	0.01	0.000000

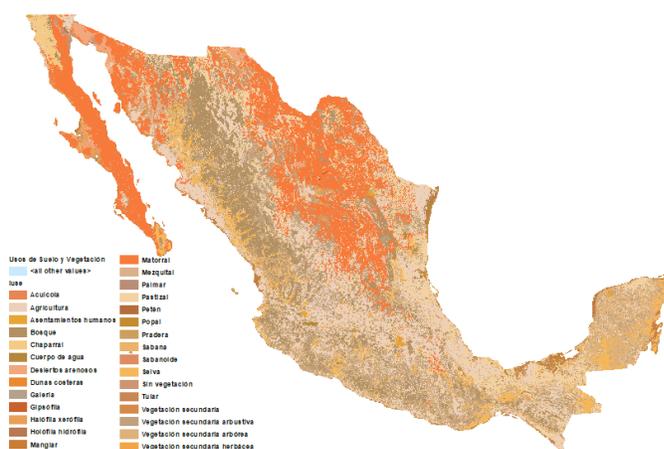
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLI	0.00	0.00	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PALMAR NATURAL	0.16	0.31	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PASTIZAL NATURAL	0.04	0.07	0.000000
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	4.13	8.06	0.000037
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	0.09	0.17	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	1.21	2.36	0.000011
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLI	0.12	0.23	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	0.18	0.34	0.000002
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	0.16	0.31	0.000001
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	0.64	1.26	0.000006
VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	0.00	0.00	0.000000
<b>TOTAL</b>	<b>5,251.18</b>	<b>10,239.81</b>	<b>0.046684</b>

Fuente: elaboración propia con información de InVEST y carta de uso de suelo y vegetación serie VI (INEGI, 2020)

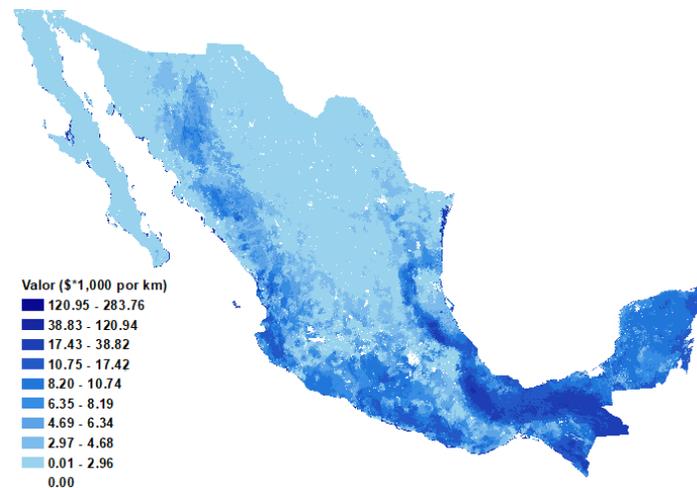
**Figura 6. Valor monetario del servicio hídrico de los ecosistemas por tipo de suelo y vegetación del consumo de agua residencial y abastecimiento municipal georeferenciado.**



**Figura 6.1. Rendimiento hídrico ~1 km<sup>2</sup> de resolución (mm)**



**Figura 6.2. Carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VI**



**Figura 6.3. Valor monetario del servicio hídrico por tipo de vegetación (miles de \$ por km<sup>2</sup>)**

Fuente: elaboración propia con información de InVEST disponible en: <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/reservoirhydropowerproduction.html>, carta de uso de suelo y vegetación serie VI (INEGI, 2020), datos de clima de Fick y Hijmans (2017) disponible en: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>. Para calcular el valor del servicio hídrico se utiliza un precio por m<sup>3</sup> de \$1.95 pesos.

## 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS GENERALES.

Los servicios de provisión, regulación y culturales de los recursos hídricos de los ecosistemas contribuyen, a través de diversos canales, a las actividades económicas y al bienestar de la población. Sin embargo, la diversidad de canales de transmisión, los múltiples efectos y los procesos de retroalimentación de los servicios de los recursos hídricos y la presencia de una economía política en extremo compleja dificultan la valoración monetaria de los servicios que proporcionan los recursos hídricos. Así, estas estimaciones deben de considerarse como preliminares y con un alto nivel de incertidumbre.

Las estimaciones realizadas del valor monetario de los servicios de los recursos hídricos de los ecosistemas con base en el método del residual para el consumo de los hogares y el suministro municipal y por el método de costo de remplazo para el suministro municipal indican que (Cuadro 11):

- El valor monetario de la contribución los recursos hídricos para el consumo de los hogares, corresponde al 0.044 % y al 0.033% del PIB del 2018 considerando las dos fuentes de información disponibles (SCN y CE).
- El valor monetario de la contribución los recursos hídricos para el suministro municipal, corresponde al 0.010% y al 0.012% del PIB del 2018 considerando las dos fuentes de información disponibles.
- Las estimaciones geo-referenciadas por el método de la renta del residual del valor monetario del consumo de los hogares indican que la mayor cantidad y valor de agua

proviene de vegetación primaria con \$5,155 millones de pesos, lo cual representa el 0.024% del PIB nacional. En total, vegetación primaria, vegetación secundaria y otros tipos de uso de suelo generan un valor de \$10,240 millones de pesos lo que representa el 0.047% del PIB nacional.

- Los costos anuales de remplazo de aguas residuales municipales al 2030 e industriales corresponden a 0.25% y 0.49% del PIB de 2017, respectivamente.
- Los costos de remplazo geo-referenciados muestran que la mayor contribución monetaria de los servicios de los recursos hídricos de los ecosistemas a las actividades económicas y humanas se ubica en occidente y centro del país.

Este conjunto de resultados muestra la relevancia de los servicios hídricos de los ecosistemas para el consumo de agua en los hogares y el suministro municipal.

**Cuadro 11. Valoración monetaria de los servicios hídricos de los ecosistemas para consumo de los hogares y suministro municipal: 2017 o 2018.**

Valor	Porcentaje del PIB con aguas totales
Valor monetario de los SE hídricos para consumo de los hogares (SCN):	0.044
Valor monetario de los SE hídricos para consumo de los hogares(CE):	0.033
Valor monetario de los SE hídricos para suministro municipal (SCN):	0.010
Valor monetario de los SE hídricos para suministro municipal (CE):	0.12
Valor monetario de remplazo de aguas residuales municipales	0.25
Valor monetario de remplazo de aguas residuales industriales	0.49

Fuente: Elaboración propia.

## REFERENCIAS.

Barton, D.N., A. Caparrós, N. Conner, B. Edens, M. Piaggio y J. Turpie (2019), Discussion paper 5.1: Defining exchange and welfare values, articulating institutional arrangements and establishing the valuation context for ecosystem accounts, paper Drafted as input into the revision of the system on environmental-economic accounting 2012-Experimental Ecosystem Accounts, version 25 de julio.

Birol, E., Karousakis, K. and Koundouri, P., 2006. Using economic valuation techniques to inform water resources management: A survey and critical appraisal of available techniques and an application. *Science of the total environment*, 365(1-3), pp.105-122.

Brauman, K. A. et al. 2007. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annual Review of Environment Resources*, 32: 67–98.

Bravo, H., J. Castro y M. Gutiérrez (2005), el banco de agua: una propuesta para salvar el lago de Chapala, gestión y política pública, CIDE, México.

Champ, P., K. Bolye y T. Brown (2017), “*A Primer on Nonmarket Valuation*”. Springer.

Comisión Nacional del Agua (2012), Programa Hídrico Regional. Visión 2030 por regiones Hidrológicas Administrativas (RHA) (CONAGUA, 2012).

Comisión Nacional del Agua (2018), Estadísticas del agua en México, edición 2018, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua.

Dasgupta, P. (2010), The place of nature in economic development, *Handbook of development economics*, vol. 5, pp. 4977-5046.

Dasgupta, P. y K. Maler (2000), net national product, wealth and social wellbeing, *Environment and Development economics*, vol. 5, Issue 1, pp. 69-93.

Edens, B., & Graveland, C. (2014). Experimental valuation of Dutch water resources according to SNA and SEEA. *Water Resources and Economics*, 7, 66-81.

Horlinings, E., S. Schenau, L. Hein, M. Lof, L. de Jongh y M. Polder (2019), Experimental monetary valuation of ecosystem services and assets in the Netherlands, University of Wageningen.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2016k), Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2016 preliminar. año base 2013.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018), Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2018), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018), Sistema de Cuentas Nacionales de México. Sectores Institucionales.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2019), Censos Económicos, varios años.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020), Memoria de cálculo del agotamiento del agua subterránea, 2018, Departamento de Consolidación de cuentas ambientales, subdirección de Contabilidad Ambiental, Dirección de Cuentas Satélite, enero, documento interno.

López-Morales, C., & Duchin, F. (2011). Policies and technologies for a sustainable use of water in Mexico: A scenario analysis. *Economic Systems Research*, 23(4), 387-407.

Mantilla M. G., Servín J. C. A., Sánchez Castañeda L. F., Montesillo J.L., Ruiz López A. J., Hansen Rodríguez Ivette Rennée (2002), Costos índice de sistemas de tratamiento de aguas residuales en México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, documento de trabajo.

Markandya, A. (2020), Guideline on valuation of ecosystem services in the context of the SEEA-EEA, Drafted version.

Monteith, J. L. 1965. Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*. 19, pp. 205-234.

Montesillo-Cedillo, J.L. y Palacio-Muñoz, V.H. (2006), Precio del agua para riego en México en un contexto de eficiencia social, Ingeniería hidráulica en México, vol. XXI, núm. 4, pp. 125-133, octubre-diciembre de 2006

Muller, Nicholas Z., Robert Mendelsohn, and William Nordhaus. 2011. "Environmental Accounting for Pollution in the United States Economy." *American Economic Review*, 101 (5): 1649-75.

Naciones Unidas (ONU) (2012), System of Environmental-Economic Accounting, Central Framework (SEEA-CF).

Naciones Unidas (ONU) (2021), System of Environmental Economic Accounting-Ecosystem, Department of Economic and Social Affairs, Statistical Division, United Nations, version 2021..

Remme, R.P., B. Edens, M. Schroter y L. Hein (2015), Monetary Accounting of Ecosystem services: a test for Limburg province, The Netherlands, Ecological Economics, vol. 112, abril, pp. 116-128.

Reynaud, A. and Lanzanova, D., 2015. A global meta-Analysis of ecosystem services values provided by lakes. Presented at the 2nd Annual Conference of the French Association of Environmental and Resource Economists, 10–11 September in Toulouse.

Sánchez-Colón, S. (2020), Natural Capital Accounting and Valuation of Ecosystem Services in Mexico Project Pilot testing the SEEA-EEA framework in Mexico, documento de Proyecto.

SEEA-WATER, (2012), System of Environmental Economic Accounting for water (2012), United Nations.

Sistema de Cuentas Nacionales de México de INEGI, varios años

System of Environmental-Economic Accounting: Experimental Ecosystem Accounting: 2012 (SEEA-EEA) (2014), United Nations (UN), European Commission (EC), Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE), World Bank Group (WB).

United Nations (UN) (2014), Technical Recommendations in Support of the System of Environmental-Economic Accounting, 2012, (2014), United Nations (UN), New York.

Yedra, H., M. Azahara Mesa Jurado, C.A: López-Morales y M.M Castillo (2016), Economic valuation of irrigation water in South-eastern Mexico, International Journal of Water Resources Development, vol. 32, No. 6, pp. 931-943.

## APÉNDICE:

### 1. Método del rendimiento del agua (*water yield*) por precipitación y escurrimiento.

El método del rendimiento del agua por precipitación y escurrimiento indica que los procesos de interacción entre los ecosistemas y la oferta y la calidad del agua pueden sintetizarse en la ecuación (1.A) donde la oferta de agua de los ecosistemas o rendimiento del agua de los ecosistemas (*water yields*) equivale al agua que proviene de la precipitación ajustada por un parámetro que identifica la fracción del agua que provienen de la precipitación que no regresa a la atmósfera por evaporización o transpiración y que fue entonces capturada por los ecosistemas. Ello permite establecer una relación entre la precipitación, la evo-transpiración y la oferta hídrica de los ecosistemas (Sánchez-Colon, 2020):

$$(1.A) \quad WR_t = \left(1 - \frac{ET_t}{PRE_t}\right) * PRE_t$$

Donde  $WR_t$  es el agua retenida en los ecosistemas o el rendimiento del agua que equivale al agua que proviene de la precipitación ajustada por un parámetro que identifica la fracción del agua que provienen de la precipitación que no regresa a la atmósfera,  $ET_t$  es proporción del agua que se pierde por la evo-transpiración<sup>27</sup> y  $PRE_t$  es la precipitación anual. El subíndice  $t$  representa la temporalidad. Este método no distingue entre agua superficial y agua subterránea.

### 2. Método indirecto de estimaciones del rendimiento del agua (*water yield*).

El método indirecto estima exclusivamente la oferta de agua de superficie con la información de precipitación, evo transpiración e infiltración; ello basado en la información de la Norma Mexicana NOM-011-CNA-2015 sobre Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (NOM-011-CONAGUA-2015).

---

<sup>27</sup> La evo-transpiración puede obtenerse del MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration product (NASA MOD16A2) desarrollado por la Universidad de Montana. Las variables son estimadas con base en el algoritmo dado por la ecuación de Penman-Monteith (Monteith, 1965), utilizando datos adicionales como tipo de cobertura índice de hojas albedo, fotosíntesis, radiación activa, presión y temperatura del aire, humedad y radiación (Sánchez-Colón, 2020, Mu *et al.*, 2013). Para algunos puntos la evo transpiración es superior a la precipitación y por tanto el rendimiento del agua de los ecosistemas se supone cero (Sánchez-Colón, 2020, pp. 35).

El método considera que el balance de los recursos hídricos en un área específica corresponde al agua que proviene de la precipitación y que equivale al agua que se pierde por evotranspiración y aquellos recursos hídricos que escurren por la superficie a los cuerpos de agua y la que infiltra el suelo<sup>28</sup> y llega a los acuíferos por cuenca se puede determinar de acuerdo a la ecuación (2.A) (Sánchez-Colón, 2020, pp. 36):

$$(2.A) \quad PRE_t = ET_t + AS_t + IN_t$$

Donde  $PRE_t$  es la precipitación media anual,  $ET$  es la evotranspiración,  $AS_t$  corresponde a la fracción del agua derivada de la precipitación que escurre por la superficie y llega a los cuerpos de agua e  $IN$  representa la fracción que infiltra el suelo y llega a los acuíferos.

Así, la NORMA-011 (NOM-011-CONAGUA-2015) estima a la fracción del agua derivada de la precipitación que escurre por la superficie para un área determinada considerando que el volumen medio de agua capturado por los cuerpos de agua corresponde a la precipitación media anual ajustado por el coeficiente del escurrimiento a los cuerpos de agua y por la extensión del área geográfica (ecuación (3.A)) (Sánchez-Colon, 2020,

$$(3.A) \quad ASG_{it} = PRE_{it} * CAS_{it} * CUEN_{it}$$

Donde  $ASG_{it}$  es el volumen medio al agua de superficie que es capturado por los cuerpos de agua en un área específica, esto es, corresponde al agua que no se fuga por evotranspiración o se infiltra al subsuelo y que depende de las características y tipo de cobertura del suelo. Por su parte,  $CAS_{it}$  es el coeficiente de escurrimiento o de pérdida del agua en el suelo a los cuerpos de agua por área específica y  $CUEN_{it}$  es el área considerada (por ejemplo, por pixeles en cada cuenca). El subíndice  $i$  representa la región (pixel por cuenca). La NOM-011-2015 ofrece estimaciones de coeficientes de escurrimiento ( $CAS_{it}$ ) basados en los niveles de permeabilidad y cobertura del suelo.

De este modo, bajo el supuesto de que la precipitación se mantiene constante entre 1960-2000, lo que excluye los efectos de cambio climático, entonces las diferencias en el escurrimiento se asocian cambios en la extensión o condición del ecosistema (Sánchez-Colon, 2020, pp. 37). Ello permite tener una primera aproximación a la relación entre ecosistemas, recursos hídricos y valoración monetaria de estos recursos. Sin embargo, la evidencia regional disponible muestra que existen diferencias substanciales entre la precipitación y escurrimiento de agua lo que sugiere importantes diferencias entre el agua de

---

<sup>28</sup> Ello depende a la permeabilidad de suelos y la cobertura de suelos (Sánchez-Colon, 2020).

superficie y subterránea (Sánchez-Colon, 2020, pp. 37). Por ejemplo, este método muestra substanciales inconsistencias en las estimaciones para Yucatán (Sánchez-Colon, 2020, pp. 41). Ello sugiere que este método puede usarse solo en términos relativos (cambios en el tiempo en la oferta del agua superficial con respecto a cambios en la extensión y condición del ecosistema) más que absolutos y donde una mejor regionalización de la valoración monetaria requiere de más información (Sánchez-Colón (2020), pp. 44 y pp. 45).

Fuente: Sánchez-Colón, (2020).