



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES EN ECONOMÍA

“Valoración económica del servicio ecosistémico infiltración de agua en la  
Sierra Madre de Chiapas, México”

ENSAYO QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
Especialista en Economía Ambiental y Ecológica

PRESENTA:

Tatiana Hernández Reyes

TUTOR:

Dr. Alonso Aguilar Ibarra

Ciudad universitaria, México, mayo, 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice de contenido

Resumen .....	1
Abstract .....	2
Capitulo I. Introducción.....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación .....	6
1.3 Objetivos .....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo II. Marco Teórico .....	8
2.1 Servicios ecosistémicos (SE) .....	8
2.1.1 Servicios Hidrológicos .....	10
2.2 Valoración del medio ambiente .....	11
2.2.1 Método de Costo de Reemplazo .....	12
Capitulo III. Antecedentes .....	14
Capitulo IV. Metodología .....	16
4.1 Metodología de valoración Costo de reemplazo .....	17
1) Misma función (Sustitutos perfectos o muy cercanos).....	17
2) Menor costo.....	21
3) Factibilidad .....	23
Capitulo V. Discusión de resultados y conclusiones .....	29
Bibliografía .....	31
Anexos .....	39

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Estudios de Valoración Económica de Servicios Hidrológicos .....	14
Tabla 2. Tecnologías de infiltración.....	19
Tabla 3. Tecnologías propuestas para la valoración del servicio hidrológico (infiltración).....	21

## **Índice de figuras**

Figura 1. Valor Económico Total .....	11
Figura 2. Métodos de valoración económica.....	12
Figura 3. Metodología .....	16
Figura 4. Tipos de MAR .....	20
Figura 5. Ubicación de la Sierra Madre de Chiapas.....	25
Figura 6. Litología de la Sierra Madre de Chiapas.....	26
Figura 7. Tipo de suelo de la Sierra Madre de Chiapas.....	26
Figura 8. Climas en la Sierra Madre de Chiapas .....	27
Figura 9. Precipitación en la Sierra Madre de Chiapas.....	27
Figura 10. Hidrología en la Sierra Madre de Chiapas .....	28

## **Anexos**

ANEXO A. ESPECIFICACIONES DE LA NOM-015-CONAGUA-2007.....	39
ANEXO B. ESPECIFICACIONES DE LA NOM-003-CNA-1996 .....	40
ANEXO C. REGIÓN, CUENCA Y SUBCUENCA HIDROLOGICA DE LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS.....	42

## *Dedicatoria*

*A mis padres quienes siempre han creído en mí, en mi juicio y en mis decisiones...*

*A Enrique quien me alentó a seguir mis sueños y hacerlos realidad, demostrándome que todo lo que uno desea lo puede conseguir.*

*A mis hermanas Perla y Viridiana a quienes les digo que todo se puede lograr, solo hay que intentarlo.*

*A mí misma por tomar valor y seguir adelante...*

## *Agradecimientos*

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por las facilidades dadas para la realización de este trabajo y que fue financiado por el Proyecto PAPIIT IN301617: “Análisis económico-ecológico de los servicios ecosistémicos relevantes para la seguridad alimentaria en México”.

A mi tutor, el Dr. Alonso Aguilar Ibarra por el tiempo, los conocimientos compartidos, el esfuerzo y la motivación. Por siempre creer en mí y por apoyarme incondicionalmente.

A mis amigos de la especialidad, Quetzalma, Erik y Joshua con los que tuve muchos momentos agradables y con los que disfrute la aventura de seguir estudiando.

## Resumen

La valoración económica de servicios ecosistémicos a nivel mundial se ha convertido en una de las principales herramientas en cuanto a investigación científica se refiere, este tipo de documentos ha proporcionado información valiosa que ha permitido una mejor administración en el uso de los recursos naturales, buscando con ello transitar hacia bases más sostenibles. En cuanto a recursos naturales se refiere, México es considerado como un país mega diverso, y a nivel nacional, Chiapas es uno de los estados con mayor diversidad y riqueza de recursos naturales. Cuenta con siete de los nueve ecosistemas más representativos del país, representa alrededor del 30% de los recursos hídricos del país, y alberga a una de las regiones naturales más importantes, la Sierra Madre de Chiapas (SMCH), quien a lo largo de la cadena montañosa alberga una variedad de especies y ecosistemas, destacando para el desarrollo de este trabajo el servicio de infiltración de agua. El principal objetivo es realizar una revisión bibliográfica del método de costo de reemplazo (MCR) para la valoración monetaria del servicio de infiltración de agua, obteniendo como resultado una base de datos de tecnologías de infiltración de agua y una caracterización fisiográfica del sitio.

**Palabras clave:** Servicios ecosistémicos, Infiltración de agua, Método de costo de reemplazo, Valoración económica, Sierra Madre de Chiapas.

Clasificación JEL: Q5, Q57

## **Abstract**

The economic valuation of ecosystem services worldwide has become one of the main tools in terms of scientific research, this type of documents has provided valuable information that has allowed a better administration in the use of natural resources, in order to move towards a more sustainable development. As far as natural resources are concerned, Mexico is considered a mega diverse country, and at a national level, Chiapas is one of the states with the greatest diversity and richness of natural resources. It has seven out of nine most representative ecosystems in the country, it represents about 30% of the country's water resources, and it is home to one of the most important natural regions, the Sierra Madre de Chiapas (SMCH), which throughout the mountainous chain hosts a variety of species and ecosystems, highlighting the service of water infiltration for the development of this work. The main objective is to perform a literature review of the replacement cost method (MCR) for the monetary valuation of the water infiltration service, obtaining as a result a database of water infiltration technologies and a physiographic characterization of the site.

**Keywords:** Ecosystem services, Water infiltration, replacement cost method, Economic valuation, Sierra Madre de Chiapas.

JEL Classification: Q5, Q57



## Capítulo I. Introducción

### 1.1 Planteamiento del problema

Desde siempre el ser humano ha interactuado con la naturaleza en el afán de buscar sustento y abrigo (Ojeda & Sánchez, 1985). Sin embargo, esta relación ha sido contradictoria, por un lado destruye para sobrevivir y por el otro reproduce o garantiza mediante otros organismos su manutención, buscando con ello el progreso de su especie (Tommasino, Foladori, & Taks, 2001), interviniendo así sobre diversos fenómenos naturales y el desarrollo espontáneo de los mismos.

De acuerdo con Alcamo et al., (2003), un ecosistema puede definirse como una comunidad dinámica de microorganismos, plantas, animales y medio ambiente inorgánico, los cuales interactúan como una unidad funcional. A partir de esta interacción, la naturaleza ofrece diversos servicios ecosistémicos (SE), dentro de los cuales se encuentran los servicios de base, servicios de suministro, servicios de regulación y servicios culturales (Alcamo et al., 2003). Y aunque muchos de los autores concuerdan en gran medida con esta clasificación de servicios, autores como Carbal (2009); Ruiz y Camacho (2011); Joignant (2014); la clasifican de diferente manera.

Para el desarrollo de este trabajo, el servicio ecosistémico a utilizar será el de los servicios hidrológicos. El cual se clasifica en cuatro grandes grupos: 1) infiltración/purificación del agua, 2) regulación estacional de los flujos de agua, 3) control de erosión y sedimentos y 4) preservación del hábitat (Postel & Thompson, 2005).

La infiltración se define como el fenómeno que ocurre dentro del ciclo hidrológico, en donde el agua precipitada se abre paso hacia el interior del suelo hacia zonas saturadas y no saturadas. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior (DOF, 2009; Kramer & Tejada, 1974; Luque, Paoloni, & Luque, 1981)

En el proceso de la infiltración del agua, la vegetación, los suelos de bosques y humedales tienen una notable capacidad para filtrar contaminantes y atrapar sedimentos que de otro modo entrarían en ríos, lagos y arroyos (Postel & Thompson, 2005)

Los seres humanos han sido los más favorecidos de todos los servicios ofrecidos por los ecosistemas, sin embargo, estos no utilizan los recursos naturales aisladamente, sino que se apropian de ecosistemas (López, 1997)

Por lo que de acuerdo con Leff (2004), “la acumulación de capital, las tasas de explotación de los recursos y los patrones dominantes de consumo han llegado a sobrepasar la capacidad de carga y de dilución de los ecosistemas, llevando a formas y ritmos sin precedentes de degradación ecológica, de extinción biológica, de erosión de suelos y destrucción de biodiversidad”.

Todo lo anterior condujo a diferentes corrientes de pensamientos y grupos sociales a señalar las graves consecuencias suscitadas por el hombre y su relación con la naturaleza (enfaticando en el desarrollo de la actividad productiva-Londoño, 2006), por lo que a raíz de las diferentes discusiones medioambientales suscitadas en la década de los 70's, surgen dos grandes disciplinas, la economía ambiental (EA) y economía ecológica (EE), las cuales buscaban estudiar de raíz los problemas desde un punto de vista económico.

La economía ambiental es caracterizada por la asignación de un valor económico a los recursos naturales, y por consiguiente poder tratarlos como activos económicos. En el caso de la economía ecológica, ésta es caracterizada por un enfoque interdisciplinario, que permite analizar y explicar el impacto de las actividades humanas sobre el entorno natural (Castiblanco, 2007)

En el caso de la economía ambiental, una de sus contribuciones más importantes ha sido en el área de la medición de bienes que no provee el mercado (Kolstad, 2001), favoreciendo con ello la teoría de valoración de bienes no mercadeables<sup>1</sup>. La valoración económica del medio ambiente muestra información sobre el valor monetario que los miembros de una determinada

---

<sup>1</sup> De acuerdo con (Mendieta, 2005) los bienes no mercadeables son todos aquellos bienes caracterizados por la falta de un mercado convencional donde pueda determinarse libremente su precio a través de la interacción entre su curva de demanda y de oferta.

colectividad otorga a distintas alternativas medioambientales con las que es confrontado y sobre su disposición a pagar por obtener estos beneficios ambientales o en su caso por evitar los costos ambientales medidos en un mercado donde se revele esta información (Pearce, 1993).

Una parte importante dentro de la valoración económica es el análisis de las elecciones individuales de la gente hacia el medio ambiente, en donde ésta es considerada una herramienta útil para la sociedad y para los responsables de la toma de decisiones (Kengen, 1997)

La evaluación de las preferencias sociales por este tipo de bienes supone un reto de considerable magnitud, para el cual la economía ha dado respuesta en los últimos cuarenta años, a través del desarrollo de métodos de valoración económica de los bienes ambientales (Labandeira, León, & Vásquez, 2007), en donde se pretende obtener una medición monetaria de la ganancia o pérdida de bienestar que una persona o un determinado colectivo experimenta a causa de una mejora o daño de un activo ambiental accesible a dicha persona o colectivo (Linares & Romero, 2008)

A nivel mundial México pertenece al grupo de los países mega diversos (conformado por diecisiete países) considerado como uno de los países con mayor índice de biodiversidad en la tierra (CONABIO 2006; Martínez-Meyer, Sosa-Escalante, & Álvarez, 2014), convirtiéndose en un privilegio y un potencial para el desarrollo del país, llevando con ello una gran responsabilidad en cuanto a su manejo y conservación.

A nivel nacional, uno de los estados con mayor diversidad es Chiapas (Reyes & Sánchez, 2012), quien de acuerdo con su historia geológica y características fisiográficas mantiene una alta variedad de ecosistemas (dentro de los cuales se destacan flora y fauna endémicas), aportando con ello un amplio conjunto de servicios ambientales.

## 1.2 Justificación

El estado de Chiapas cuenta con una extensión territorial de 73,311 km<sup>2</sup>, representando un 3.74% del territorio nacional. Cuenta con una población de 5,217,908 habitantes y se encuentra dividido en quince regiones, con un total de 119 municipios (INEGI, 2017).

Más de la mitad del territorio (54%) presenta un clima cálido húmedo seguido por un clima Cálido subhúmedo (40%), el 3% templado húmedo y el 3% restante tiene clima templado subhúmedo. La precipitación total anual varía de acuerdo a la región, y va de 1200 a 4000 mm. Mayoritariamente el estado se formó por sierras constituidas por rocas sedimentarias, ígneas intrusivas y metamórficas (INEGI, 2018b).

Dentro de la región, los recursos hídricos<sup>2</sup> son abundantes, representando aproximadamente el 30% del total del país. En la entidad convergen dos de las más importantes regiones hidrológicas del país: la de la Costa y la del Grijalva-Usumacinta. Estas dos regiones comprenden 45 ríos, 5 lagunas y 4 presas (dentro de las cuales dos han sido consideradas como unas de las más grandes dentro del país y de Latinoamérica) (CONAGUA, 2018; INEGI, 2018a)

A nivel nacional y mundial, Chiapas ha sido reconocida como una de las entidades con mayor diversidad y riqueza de recursos naturales. Cuenta con siete de los nueve ecosistemas más representativos del país, y una extensa variedad de áreas naturales protegidas (ANP).

Instituciones oficiales como la CONANP, INEGI y la CONABIO, mencionan que existen alrededor de 42 a 46 ANP, mientras que autores como Reyes & Sánchez (2012) citan que existen aproximadamente 50 ANP equivalentes alrededor de 167,413.05 ha (CONANP, 2017; Gobierno el estado de Chiapas, 2010; INEGI, 2014; Secretaría de medio ambiente e historia natural, 2018).

---

<sup>2</sup> Dentro del bagaje científico existen diversas formas para hacer referencia al tema del agua como un recurso natural (recursos hídricos, hidrológicos entre otros), sin embargo para el desarrollo de este trabajo se usara el termino de recursos hídricos, no sin antes dejar en claro que los términos antes mencionados se usaran como sinónimos a menos que se señale lo contrario.

De acuerdo con la clasificación de Müllerried (1957), Chiapas está dividido en siete regiones naturales: 1) Llanura Costera del Pacífico; 2) Sierra Madre de Chiapas; 3) Depresión Central; 4) Bloque, Macizo o Altiplano Central; 5)Montañas del Norte; 6) Montañas de Oriente o lacandonia y 7) Llanura Costera del Golfo o Llanuras Aluviales del Norte.

Para el desarrollo de este trabajo se destacará entre todas las regiones un área de gran importancia ecológica, la Sierra Madre de Chiapas (SMCH), quien se encuentra en el lado sur del estado, y se caracteriza por ser una zona en donde se encuentran tres de las elevaciones más altas del estado: Cerro Mozotal, Cerro Tres Picos y el Volcán Tacana. Así mismo se encuentran dos sistemas hidrológicos importantes: Llanura Costera de Pacífico y Grijalva.

La región alberga importantes áreas naturales protegidas, en donde tres pertenecen a Reserva de la biosfera (El Triunfo, La Sepultura, Volcán Tacaná), una zona de protección forestal (La Frailescana), un área natural típica (La Concordia Zaragoza), una reserva estatal (La lluvia) y una zona sujeta a conservación ecológica (Cordón Pico El Loro-Paxtal).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar un análisis bibliográfico del método de costo de reemplazo para la valoración monetaria del servicio de infiltración de agua.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Caracterización de las metodologías de infiltración
- Generación de una base de datos sobre metodologías de infiltración.

## Capítulo II. Marco Teórico

### 2.1 Servicios ecosistémicos (SE)

Alrededor de los años setenta surge un especial interés en conocer los problemas de tipo ambiental, situación que conduce a estudiar y repensar las funciones ecológicas que benefician a la sociedad (Odum, 1972) y los daños que el ser humano ha causado a lo largo de la historia.

La primera definición relacionada con los servicios ecosistémicos fue la de “servicios de la naturaleza” utilizada por Holdren & Ehrlich en 1974, en donde el servicio más obvio prestado por la naturaleza tenía que ver con la producción de alimentos, sin embargo, no es hasta 1981 que Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich utilizan por primera vez “servicios ecosistémicos”.

Con el paso del tiempo las definiciones y clasificaciones de los SE se han incrementado de manera exponencial (Fisher, Turner, & Morling, 2009), sin embargo, la definición y clasificación mejor aceptada y que ha servido como referente en el tema, ha sido la de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) (Millennium Assessment, 2003), y es la que se utilizará para el desarrollo de este trabajo.

Autores como De Groot (1992), definen las funciones del ecosistema como "la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente".

Para la EM los servicios que prestan los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen de estos, advirtiendo servicios de suministro, servicios de regulación, servicios de base y servicios culturales.

En el 2008, Fisher & Turner, expresaron que los SE eran los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano. Tomando en cuenta tres características importantes de esta definición: 1) los servicios no son beneficios, 2) los servicios ecosistémicos son de naturaleza ecológica y 3) los servicios ecosistémicos no tienen que ser utilizados directamente.

En el 2009 [Sarukhán et al.](#), definen a los SE como fundamentales para el bienestar y la sobrevivencia del ser humano, ofrecidos de manera gratuita por los ecosistemas y haciéndolos comparables con el capital financiero y de infraestructura de un país, volviéndolos igual o más importantes que estos. Dentro de todos estos servicios destaca algunos como: la aportación de alimentos y diversos recursos, captación del agua de lluvia, captura de bióxido de carbono, así como sitios de recreación e inspiración entre otros.

Para [Camacho & Ruiz, \(2012\)](#), los SE son aquellos que integran beneficios tangibles e intangibles que se derivan de la naturaleza para ser aprovechados por el ser humano y que de acuerdo a ciertos criterios pueden ser valorados económicamente.

A continuación se muestran algunas clasificaciones de los servicios ecosistémicos:

Una de las primeras clasificaciones dentro del tema de servicios ecosistémicos es la proporcionada por [Costanza et al., \(1997\)](#), en la que clasifica diecisiete servicios ecosistémicos (Regulación de gas, Regulación del clima, Regulación de la perturbación, Regulación del agua, Suministro de agua, Control de la erosión y retención de sedimentos, Tratamiento de residuos, Formación de suelo, Ciclo de nutrientes, Polinización, Control biológico, Refugio, Recursos Genéticos, Producción de comida, Materias primas, Recreación, Cultural) para 16 biomas.

[Fisher & Turner \(2008\)](#) proponen un esquema de clasificación que divide a los SE en entradas abióticas, servicios intermedios y servicios finales de los cuales se obtienen beneficios.

La FAO (consultado 18 enero 2018) al igual que la EM clasifica cuatro tipos de servicios ecosistémicos: servicios de abastecimiento, servicios de regulación, servicios de apoyo y los servicios culturales, los que a su vez clasifica de la siguiente manera:

- Servicios de abastecimiento: Alimentos, materias primas, agua dulce y recursos medicinales.
- Servicios de regulación: Clima local y calidad del aire, secuestro y almacenamiento de carbono, moderación de fenómenos extremos,

tratamientos de aguas residuales, prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo, polinización, control biológico de plagas y regulación de los flujos de agua.

- Servicios de apoyo: Hábitat para especies y conservación de la diversidad genética.
- Servicios culturales: Actividades de recreo y salud mental y física, Turismo, Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño y Experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia.

### **2.1.1 Servicios Hidrológicos**

El tema de recursos hídricos ha sido uno de los elementos fundamentales para la vida en la Tierra debido a que ha sido uno de los procesos ecológicos básicos y un factor que regula el clima del planeta; así mismo ha creado y permitido la existencia de los ecosistemas en toda su plenitud (Carbajal & González, 2012).

Dentro de la literatura científica la clasificación de los servicios hidrológicos ha sido variada, en donde autores como Postel y Thompson (2005) clasifican los servicios hidrológicos en cuatro grandes grupos: 1) infiltración/purificación del agua, 2) regulación estacional de los flujos de agua, 3) control de erosión y sedimentos y 4) preservación del hábitat.

Autores como Brauman y otros, mencionan que los servicios hidrológicos abarcan los beneficios que obtienen las personas producidos por los efectos del ecosistema terrestre en el agua dulce y los clasifica en cinco categorías: 1) mejora del suministro de la extracción de agua, 2) mejoramiento del suministro de agua en el curso, 3) mitigación del daño del agua, 4) provisión de servicios culturales relacionados con el agua y 5) servicios de apoyo asociados al agua (Brauman, Daily, Duarte, & Mooney, 2007; Brauman, 2015).

Perevochtchikova & Vázquez (2011), agrupan los Servicios Ambientales Hidrológicos en cinco grupos: 1) mantenimiento de la capacidad de recarga de acuíferos, 2) mantenimiento de la calidad de agua, 3) reducción de sedimentos cuenca abajo, 4) conservación de manantiales, y 5) reducción del riesgo de inundaciones.



Es importante mencionar que cada uno de estos servicios tiene atributos de cantidad, calidad, localización y tiempo de flujo. Por lo que la importancia de los servicios hidrológicos es revelada a través de los beneficios en la modificación de cada uno de sus atributos (Avilés-Polanco et al., 2010)

Por lo que de acuerdo con Guswa, Brauman, Brown, Keeler, & Stratton, (2014), la incorporación de los servicios relacionados con el agua en la toma de decisiones requiere medios sólidos y flexibles para predecir los efectos del uso de la tierra y los cambios en la cobertura del suelo sobre los valiosos recursos hídricos.

## 2.2 Valoración del medio ambiente

En 1977 Westman plantea por primera vez la valuación monetaria de los servicios de la naturaleza. Intentando explicar la importancia de los beneficios de estos servicios, y reconociendo que las decisiones que maximizan este tipo de beneficios permiten que los coeficientes de costo optimicen la equidad y la utilidad social.

Para Gorfinkiel (1999), los bienes y servicios ambientales han sido vulnerables al sistema económico actual debido a que no ha existido un mercado que revele las preferencias de la sociedad ni su escasez relativa. Por tanto, partiendo de que los valores económicos son entidades que reflejan las preferencias de la personas, la ciencia económica ha tratado de evitar errores en la valoración del medio ambiente creando una serie de conceptos en relación a los diferentes tipos de valor (como se puede observar en la Figura 1)

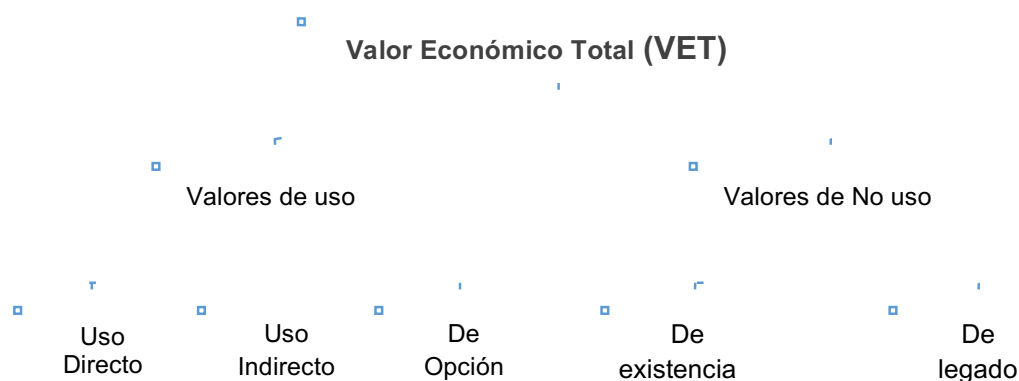
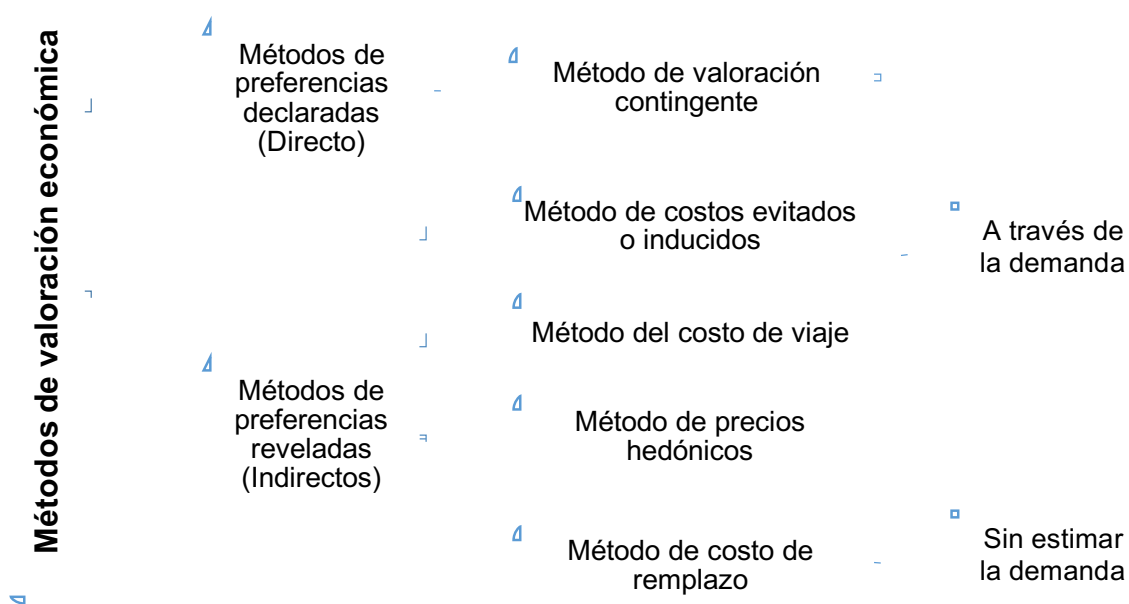


Figura 1. Valor Económico Total

Fuente: Elaboración propia a partir de Azqueta (1994) y Serna (2010)

Todos los métodos de valoración tiene una base en común, el supuesto fundamental de que el valor de todos los bienes se puede expresar en términos monetarios equivalentes y que ese valor se basa en la utilidad de los bienes para las personas (Aguilera & Alcántara, 2011).

Por lo que es importante tomar en cuenta que una parte fundamental de la valoración económica es el análisis de las elecciones individuales de las personas hacia el medio ambiente, esto a través de las diferentes estimaciones de demanda. Sin embargo también existen métodos de valoración que no utilizan dicha estimación como lo es el método de costo de reemplazo (MCR) como se puede observar en la siguiente **Figura 2**



**Figura 2.** Métodos de valoración económica  
Fuente: Elaboración propia a partir de Azqueta (1994)

### 2.2.1 Método de Costo de Reemplazo

El método de costo de reemplazo (MCR) originalmente surge como un concepto de costo alternativo, utilizado por Eckstein en 1958 para evaluar proyectos públicos de agua, el cual explicaba que cuando los beneficios no pueden estimarse mediante la observación (o la imputación) de los precios de mercado, pueden existir ciertas condiciones en las que "el beneficio equivale a un costo alternativo, el costo de proporcionar un producto comparable por la alternativa más barata" (Citado en Brown, 2017).

El MCR es particularmente útil para evaluar los costos asociados con el daño a los activos tangibles, cuyos costos de reparación y reemplazo son fácilmente medibles. Esta información se puede usar para decidir si es más eficiente permitir que ocurra el daño y pagar los costos de reemplazo, o invertir en la prevención del mismo (Dixon & Pagiola, 1998; Dixon et al., 1994).

Este tipo de método (que no refleja las preferencias) puede ser una alternativa válida para evaluar situaciones donde diferentes servicios desempeñan funciones clave de soporte vital en los ecosistemas, como por ejemplo: la dispersión de semillas, la polinización o la regulación de plagas, entre otros (Hougner, Colding, & Söderqvist, 2005). En donde una de las principales ventajas que tiene esta técnica de valoración es que se requieren menos datos y menos recursos que los métodos basados en las preferencias (Notaro & Paletto, 2012).

Jackson, Finn, & Scheepers (2014) consideran el MCR como el costo de reemplazar un activo dañado o perdido y utiliza este costo como sustituto parcial o medida de su valor. Y debido a que no es un enfoque basado en la demanda, no se puede esperar que genere medidas de bienestar válidas o "verdaderas" (es decir, medidas de cambio de bienestar Marshallianas o Hicksianas) de acuerdo con la teoría económica, y solo puede reflejar una parte del VET más grande.

### Capítulo III. Antecedentes

Dentro de la literatura científica se han encontrado diversos estudios sobre valoración económica de servicios ecosistémicos a través de diferentes métodos. Estudios que han clasificado diversos servicios y que han propuesto una serie de valores para los mismos. Uno de los estudios más reconocidos dentro de la academia fue realizado por [Costanza y colaboradores en 1997](#), estudio que clasificaba alrededor de diecisiete servicios ecosistémicos y estimaba el valor económico de estos servicios.

Con el paso del tiempo cada vez ha ido en aumento la elaboración de este tipo de documentos, en donde se puede observar distintos estudios de valoraciones económicas a través de diferentes metodologías (Ver [Tabla 1](#))

**Tabla 1.** Estudios de Valoración Económica de Servicios Hidrológicos

Referencia	MVE	Recurso a valorar	Objetivo del estudio
<b>Martínez &amp; Dimas (2007).</b> Valoración Económica de los Servicios Hidrológicos: Subcuenca del Río Teculután Guatemala	MVC	Servicios Hidrológicos	Valorar económicamente y socialmente los servicios hidrológicos que ofrece la subcuenca del río Teculután para determinar la viabilidad económica de implementar un esquema de Compensación por Servicios Hidrológicos (CSH) en dicha subcuenca.
<b>Del Ángel et al. (2008).</b> Valoración del servicio ambiental hidrológico en el sector doméstico de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México	MVC	Servicio ambiental hidrológico	Obtener la percepción del valor del bosque y paisajes alternativos de la zona del volcán de San Martín Tuxtla, para la población de San Andrés Tuxtla, Veracruz.
<b>Silva, Pérez &amp; Návar (2010).</b> Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango	MVC	Servicio ambiental hidrológico	Los objetivos específicos son: a) estimar la oferta de agua de la microcuenca La Rosilla, b) estimar la disponibilidad de pago por parte de los consumidores en la población de El Salto y c) estimar la disponibilidad de aceptar el pago por parte de los proveedores del servicio ambiental hidrológico.
<b>Monroy et al. (2011).</b> Valoración económica del servicio ambiental hidrológico en una Reserva de la Biósfera	MVC	Servicio ambiental hidrológico	Estimar el valor económico del Sah (pago por la recarga a los mantos freáticos que hacen los recursos naturales)

<b>Meyerhoff &amp; Dehnhardt (2007).</b> The European Water Framework Directive and Economic Valuation of Wetlands: the Restoration of Floodplains along the River Elbe	MCR, MVC	Servicios ecológicos de los humedales ribereños	
<b>Mashayekhi et al. (2010).</b> Economic valuation of water storage function of forest ecosystems (case study: Zagros Forests, Iran)	MCR	Servicios hidrológicos	Determinación y cuantificación de los servicios hidrológicos forestales en retención de agua mediante el uso de un modelo de escorrentía de lluvia y SIG, y la valoración económica de estos servicios utilizando técnicas de precio de mercado.
<b>Hein Lars (2011).</b> Economic Benefits Generated by Protected Areas: the Case of the Hoge Veluwe Forest, the Netherlands	MCR	Producción de madera, suministro de caza, infiltración de aguas subterráneas, captura de carbono, filtración de aire, recreación, caza recreativa y conservación de la naturaleza	Presentar una valoración económica de los servicios ecosistémicos suministrados por el bosque Hoge Veluwe en los Países Bajos.
<b>López-Morales (2012).</b> Valoración de servicios hidrológicos por costo de reemplazo: Análisis de escenarios para el Bosque de Agua	MCR	Servicios hidrológicos	Resaltar la importancia económica del manejo sustentable de los acuíferos que se recargan en el Bosque de Agua
<b>Notaro &amp; Paletto (2012).</b> The economic valuation of natural hazards in mountain forests: An approach based on the replacement cost method	MCR	Función protectora de los bosques a nivel de planificación forestal.	Estimar la función protectora de los bosques y presentar los resultados de su aplicación en un bosque alpino italiano.
<b>Jackson, Finn &amp; Scheepers (2014).</b> The use of replacement cost method to assess and manage the impacts of water resource development on Australian indigenous customary economies	MCR	Especies acuáticas	Cuantificar el valor de consumo directo de especies acuáticas y sitios para la subsistencia indígena en tres cuencas fluviales australianas.

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV. Metodología

El siguiente esquema metodológico describe las etapas del trabajo realizado (ver Figura 3)

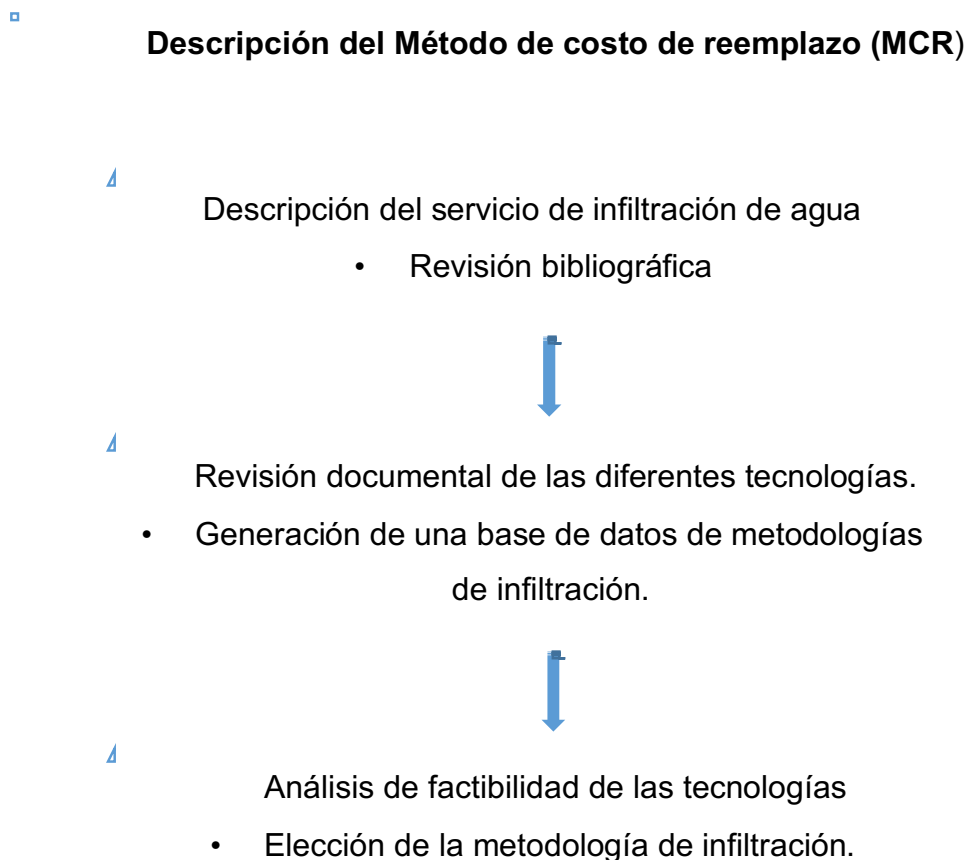


Figura 3. Metodología  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1 Metodología de valoración Costo de reemplazo

A continuación se procede con una explicación sobre el método de valoración de costo de reemplazo (MVCR).

De acuerdo con [Brown \(2017\)](#) el MCR iguala el valor del servicio que un proyecto propuesto proporcionaría con el costo de suministrar ese servicio por otros medios. Por tanto, para aceptar un costo como estimación del beneficio de un proyecto hay que tomar en cuenta lo siguiente:

Primero, las condiciones asumen que hay dos opciones para proporcionar el servicio: el proyecto público de interés (Opción 1) y la alternativa (Opción 2). Segundo,  $b_1$  y  $b_2$  serán los beneficios por unidad de las dos opciones y  $c_1$  y  $c_2$  sean sus costos por unidad. En donde la cantidad  $b_1$  es el valor desconocido de interés. Debido a todo lo anterior y para el desarrollo de este trabajo se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- 1) Misma función (Sustitutos perfectos o muy cercanos)
  - a) Recarga artificial/ infiltración de agua

Uno de los primeros pasos en el proceso de valoración económica del MCR es determinar si existe algún sustituto del servicio ecosistémico a valorar (en este caso la infiltración de agua), cómo se lleva a cabo este proceso, como se clasifica y bajo qué condiciones se presenta. Por lo que en el presente trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica determinando con ello que existen diferentes tecnologías que pueden ser un sustituto del servicio natural de infiltración de agua, las cuales se conceptualizan y se detallan a continuación:

La recarga artificial/ infiltración de agua es un tema que es entendido y clasificado de diferentes maneras por distintos autores. Por ejemplo, para [Wilson \(1979\)](#) la recarga artificial representa un conjunto de técnicas para emplazar agua superficial en depósitos de agua subterránea. Tomando en cuenta que el propósito de la recarga es coadyuvar con los siguientes aspectos: Conservación del agua, almacenamiento subterráneo de agua, para la operación conjunta de reservorios de agua superficial y subterránea, creación de barreras de agua de mar dentro de los acuíferos costeros, control de inundaciones, control de subsidencia, gestión de la calidad del agua y eliminación de desechos. Para ello

divide la recarga artificial en tres categorías: 1) extensión de la superficie (cuencas, pozos y modificación del canal); 2) pozos; y 3) pozos y ejes.

[Joseph \(1986\)](#), describe la recarga artificial como un conjunto de métodos usados para reponer los acuíferos. El cual incluye el almacenamiento estacional y de largo plazo, creación de barreras de agua salada, mitigación de inundaciones, control de hundimiento y eliminación de desechos líquidos.

[Kumar & Aiyagari \(1997\)](#), mencionan dos métodos de recarga artificial de agua: la recarga artificial directa y la recarga artificial indirecta. Dentro de los cuales se encuentran diferentes métodos de infiltración:

- Recarga artificial directa : Cuencas, Recarga de pozos y ejes, Zanjas y Pozos de recarga.
- Recarga artificial indirecta: Infiltración inducida y pozos conjuntos.

Mientras que para [Tuinhof & Piet \(2003\)](#), existen tres tipos de recargas de aguas subterráneas: recarga natural, recarga mejorada y uso controlado y recarga incidental.

Para [Dillon \(2005\)](#), el término de “recarga artificial” se ha vuelto obsoleto debido a las connotaciones adversas del termino artificial, todo esto a raíz de una participación de la comunidad cada vez más frecuente en la gestión de estos recursos. Por lo que el nuevo término para hacer referencia a este tipo de proceso, es la administración de la recarga del acuífero (MAR). Una expresión aplicada a todas las formas de mejora intencional de la recarga con fines de recuperación para uso o para beneficio ambiental.

De acuerdo con [Seiler & Gat \(2007\)](#), muchas actividades humanas propician la recarga artificial de aguas subterráneas. Y las clasifica en recargas artificiales incidentales y recargas forzadas, en donde las segundas ocurren a través de pozos de inyección, cuencas de infiltración, estancamiento de agua y extracciones de agua a través de pozos de agua subterránea.

Para [Bhattacharya, \(2010\)](#), la recarga artificial de aguas subterráneas es un proceso mediante el cual el depósito de aguas subterráneas se aumenta a una velocidad que supera la tasa de aumento en condiciones naturales de reposición. Clasifica los métodos de recarga artificial en dos grandes grupos: métodos directos y métodos indirectos. Y menciona que la elección de un método



particular se rige por las condiciones topográficas, geológicas y edáficas locales; la cantidad y calidad de agua disponible para recargar; y la viabilidad tecnológico-económica y la aceptabilidad social de tales esquemas.

Normalmente la tecnología de recarga artificial se aplica con diferentes objetivos, donde los más comunes son: la atenuación de los efectos de la sobreexplotación (abatimientos de niveles de agua, asentamientos del terreno o intrusión salina), tratamiento natural del agua en el subsuelo, manejo de los acuíferos como vasos de almacenamiento y regulación, y la utilización del subsuelo como una red natural de acueductos. Técnicamente, la factibilidad de la recarga artificial depende, entre otros factores, que exista agua disponible para tal fin y que sea de calidad (buscando con ello no deteriorar la calidad de agua nativa).

Por todo lo anterior es necesario tomar en cuenta las diferentes clasificaciones de recarga artificial y diferentes tecnologías de infiltración (ver [Tabla 2](#)).

Tabla 2. Tecnologías de infiltración

Tipo de tecnología	Descripción
Cuenca de infiltración	Es un embalse poco profundo que está diseñado para infiltrar aguas pluviales.
Pozos de Inyección/infiltración	Se usa para colocar el fluido bajo tierra en formaciones geológicas porosas. Estas formaciones subterráneas pueden variar desde arenisca profunda o piedra caliza hasta una capa de suelo poco profundo.
Pozos verticales (Karezes)	Los karezes (o pozos verticales) se encuentran entre los sistemas más antiguos de extracción de agua subterránea. En los karezes, el agua se canaliza hasta las tierras de cultivo mediante la gravedad, lo cual permite ahorrar mucha mano de obra en comparación con el riego de pozos perforados con mano de obra manual o ruedas persas.
Presas de arena	Las presas de arena incrementan la humedad que se penetra dentro del perfil del suelo incorporándose al agua subterránea, protegiendo el suelo y el agua.
Tajamar	Los tajamares son depresiones naturales, aunque también pueden construirse artificialmente. En estas depresiones se reúne la escorrentía de una vasta área, y se almacena en un depósito de superficie.
Tanques de percolación o embalses de recarga	Las presas construidas en arroyos efímeros retienen el agua que se filtra a través del lecho para mejorar el almacenamiento en los acuíferos no confinados.
Zanja/Trinchera de infiltración	Las zanjas de infiltración son excavaciones poco profundas (de 3 a 12 pies) que están revestidas con tela filtrante y se rellenan con piedra para crear depósitos subterráneos para la escorrentía de aguas pluviales.

Estanques de infiltración	Implican el desvío de agua superficial a cuencas fuera de la corriente y canales que permiten que el agua penetre a través de una zona no saturada al acuífero no confinado subyacente
Galerías de infiltración	Zanjas enterradas (que contienen células de polietileno o tubos ranurados) en suelos permeables que permiten la infiltración a través de la zona no saturada a un acuífero no confinado.
Liberaciones de recarga	Las presas en las corrientes efímeras se utilizan para retener el agua de la inundación y los usos pueden incluir la liberación lenta del agua en el arroyo aguas abajo para igualar la capacidad de infiltración en los acuíferos subyacentes, mejorando así significativamente la recarga
Banco de filtración	Consiste en la extracción de agua subterránea de un pozo o cajón cerca o debajo de un río o lago para inducir la infiltración del cuerpo de agua superficial, mejorando y haciendo más consistente la calidad del agua recuperada

Fuente: Elaboración propia a partir de Dillon et., al (2009); Tuinhof et al. (2012); Kumar, Patel, Ravindranath & Singh (2008); EPA (2018); Stormwater (2018)

En la Figura 4 se puede observar una representación gráfica de los diferentes tipos de administración de recarga de los acuíferos.

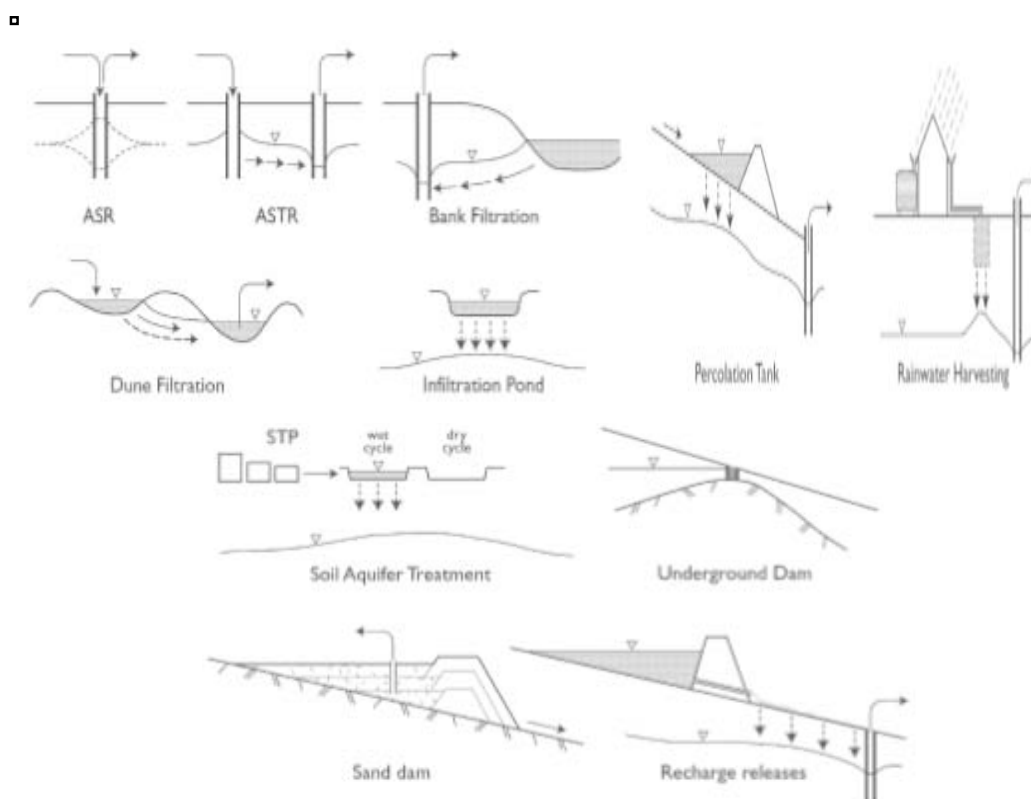


Figura 4. Tipos de MAR

Fuente: Dillon (2005)

2) Menor costo

a) Tecnologías para la valoración del servicio hidrológico.

En este punto se examinan las diferentes alternativas tecnológicas que existen para reemplazar la función antes mencionada. Para llevar a cabo dicho análisis es importante conocer los diferentes estudios realizados alrededor del mundo, conocer bajo que contexto se aplicaron dichas tecnologías y cuál de ellas es la de menor costo.

De la revisión bibliográfica antes mencionada se construyó la siguiente tabla (ver [Tabla 3](#)), en la que se detalla el tipo de tecnología a utilizar, el costo de dicho proyecto (el cual incluye el costo de capital, mantenimiento y supervisión), también se describe la vida del proyecto y la capacidad de infiltración de la tecnología.

**Tabla 3.** Tecnologías propuestas para la valoración del servicio hidrológico (infiltración).

Referencia	Tecnología	Vida (años)	Costo (\$)			Capacidad de infiltración
			Cap	Mant	Sup	
<b>EPA (1999).</b> Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench.	Trinchera de infiltración	5-15	8000-19000	700	0	68
			Todos los costos son en Dólares de 1989			m <sup>3</sup>
<b>Tuinhof &amp; Piet (2003).</b> Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage	Presas de arena	50	6000	NE	NE	2000
			Todos los costos son en Euros			m <sup>3</sup>
<b>Sakthivadivel (2007).</b> The Groundwater Recharge Movement in India. The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development	Pozo de inyección (área aluvial)	NE	551	21	NE	1000
	Pozo de inyección (área hard rock)	NE	2	5	NE	1000
	Canal de extensión	NE	8	20	NE	1000
	Pozo de recarga	NE	515	2	NE	1000
	Estanque de recarga o estanque de percolación	NE	1	1	NE	1000
	Tanque de percolación	NE	5	1	NE	1000
	Presas de contención (Check Dam)	NE	1	1	NE	1000
			Todos los costos son en Dólares. El costo de capital /1000 m <sup>3</sup> of recharge structure (\$)			m <sup>3</sup>
<b>GOI, (2007).</b> Manual on artificial recharge of groundwater	Tanque de percolación	15	1455600	NE	NE	0.13
			Todos los costos son en Rupias			mmc

<b>Government of India planning commission (2007).</b> Report of the expert group on ground water management and ownership.	Tanque de percolación	10	1.55-71	NE	NE	2000-225000
	Presa de contención (Check Dam)	NE	1.5-1050	NE	NE	1000-2100000
	Zanja/eje de infiltración	3	1-15	NE	NE	1000-1550000
	Dique	NE	7.3-17.7	NE	NE	2000-11500
				Todos los costos son en Rupias lakhs		m <sup>3</sup>
<b>Dillon (2005).</b> Future management of aquifer recharge.	MAR	NE	1-10	NE	NE	10 <sup>3</sup> -10 <sup>6</sup>
			Todos los costos son en dólares.			m <sup>3</sup> /year
<b>Khan, Mushtaq, &amp; Hanjra (2008).</b> Estimating potential costs and gains from an aquifer storage and recovery program in Australia	Cuenca de infiltración	NE	11200000	1075000	10000	90000
	Pozo de inyección	20	96500000	0	40000	60000
	Cuenca de infiltración	NE	42000000	1150000	10000	90000
	Pozo de inyección	20	99500000	0	40000	90000
	Pozo de inyección	20	99500000	0	40000	90000
				Todos los costos son en dólares australianos		ml/year
<b>National Academy of Sciences (2008).</b> Prospects for Managed Underground Storage of Recoverable Water	Recarga de Cuencas	>100	NE	NE	NE	1000-20000
	Pozos en zona vadosa	5-20	100000-250000	NE	NE	1000-3000
	Pozos de recarga	25-50	100000-1000000	NE	NE	2000-6000
			El costo es en dólares y por cada pozo.			m <sup>3</sup>
<b>Bouwer et al. (2008).</b> Design, Operation, and Maintenance for Sustainable Underground Storage Facilities	Acuífero relleno de grava, arena, limo y arcilla	NE	\$ 0.51 a \$ 0.72 / 1.000 galones	NE	NE	48
	Acuífero relleno de grava, arena, limo y arcilla (18 pozos de inyección)	NE	NE	NE	NE	350000
	Acuífero de roca basalto (2 pozos de inyección)	NE	\$ 1,26 / 1.000 galones	NE	NE	2
	ASR (78 Pozos de recarga: 46-ASR y 32: inyección)	18	NE	\$ 199.00 AF a \$ 218.00 AF	NE	160
	ASR (2 pozos)	NE	1953201	NE	NE	250
	ASR	NE	0.11-0.34* 1000 galones	NE	NE	NE
			El costo es en dólares			NE

<b>Tuinhof et al., (2011).</b> Profit from Storage. The costs and benefits of water buffering.	Represas de arena para almacenamiento <sup>1</sup>	20	14000	1400	NE	1500 -2000
	Represas de contención en bosques (básica con materiales locales) <sup>2</sup>	NE	17-34	NE	NE	NE
	Represas de contención en bosques (básica con materiales externos) <sup>3</sup>	NE	34-167	NE	NE	NE
	Represas de contención en bosques (semipermanentes y permanentes) <sup>4</sup>	NE	334	NE	NE	NE
	Pozos verticales (Karezes) <sup>5</sup>	NE	300000	NE	NE	70
	Recarga administrada de acuíferos <sup>6</sup>	NE	2	NE	NE	NE
	sistema combinado de infiltración de aguas de estanque y de precipitaciones <sup>7</sup>	NE	7500	NE	NE	750
	Tajamar <sup>8</sup>	15	24000	NE	NE	30000
		De acuerdo con el tipo de tecnología, el costo para cada una es la siguiente: 1. El costo es en dólares 2,3,4. Los costos son en Bahts 5 Todos los costos son en rupias paquistaníes 6. No especificado 7. Todos los costos son en Bangladeshi Taka. 8. Los costos son en euros.				m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

Notas:

NE: No especificado

Cap: Capital

Mant: Mantenimiento

Sup: Supervisión

### 3) Factibilidad

De acuerdo con [Bhattacharya \(2010\)](#), la elección de un método en particular se rige por condiciones topográficas, geológicas y edáficas locales; la cantidad y calidad de agua disponible para recargar; y la viabilidad tecnológico-económica y la aceptabilidad social de tales esquemas.

Por lo que en este apartado se hablara sobre la factibilidad de aplicación de las tecnologías de infiltración en el área de estudio, y para ello se identificaran dos puntos importantes: a) Identificación de la tecnología de menor costo y revisar cuales son los requerimientos de aplicación de este tipo de tecnología y b) Describir las características fisiográficas del área de estudio. Esperando con ello que las condiciones fisiográficas permitan que la tecnología a aplicar tenga un desempeño más eficiente y por tanto se logre suplir el servicio ecosistémico.

#### a) Tecnología de menor costo y requerimientos

A partir de la revisión de los estudios antes mencionados (ver [Tabla 3](#)), se dedujo que la tecnología de menor costo y facilidad de instalación es la de los **pozos de infiltración**<sup>3</sup>, y para ello es muy importante tomar en cuenta los siguientes aspectos: la capacidad de infiltración del suelo, la litología, la calidad del agua subterránea y escurrimiento, la precipitación ([Puerto, 2015](#); [CONAGUA & SEMARNAT, 2015](#))

Otro punto importante a tomar en cuenta, es la normatividad vigente. Es necesario tener presente que a nivel nacional existen ciertas normas indicando una serie de acciones y requisitos en relación al tema de agua. Las más importantes para el desarrollo de este trabajo se mencionan a continuación:

[NOM-015-CONAGUA-2007](#) (Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- características y especificaciones de las obras y del agua), quien tiene como objetivos proteger la calidad de agua de los acuíferos así como aprovechar el agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial. Se aplica en todo el territorio nacional a las personas que ejecuten obras o actividades para la infiltración mediante disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo en obras o conjunto de obras que tengan una capacidad mayor a 60 litros por segundo (lps). De manera más concreta, las especificaciones de la norma se pueden ver en el [ANEXO A](#).

---

<sup>3</sup> Un pozo de infiltración es una obra de ingeniería que tiene las paredes perforadas con el objetivo de infiltrar la escorrentía de las aguas pluviales hacia el subsuelo ([Puerto, 2015](#)). Normalmente este tipo de tecnología es atractiva para áreas donde no pueden construirse cuencas de infiltración por ejemplo ([Jokela & Kallio, 2015](#)).

NOM-003-CNA-1996 (Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos). Esta norma tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, tratando con ello de evitar la contaminación. De manera más concreta, las especificaciones de la norma se pueden ver en el ANEXO B.

b) Características fisiográficas

En conjunto con la elección de la tecnología es importante conocer las características fisiográficas, climáticas e hidrográficas dentro de la región. Para ello se realiza una descripción breve de cada sección.

o Ubicación

La SMCH se localiza al sur del estado de Chiapas, entre las 17°01 6´.8" y 14°53 2´ 1.6" de latitud norte, y 94°08 4´ 1.1" y 91°57 6´.8" de oeste, con una superficie aproximada de 16,680 KM2 (Morales et., al, Dentro de la región convergen municipios como: Cintalapa de Figueroa, Villaflores, Arriaga, Tonalá, Jaltenango de la Paz, Pijijiapan, entre otros (Figura 5)

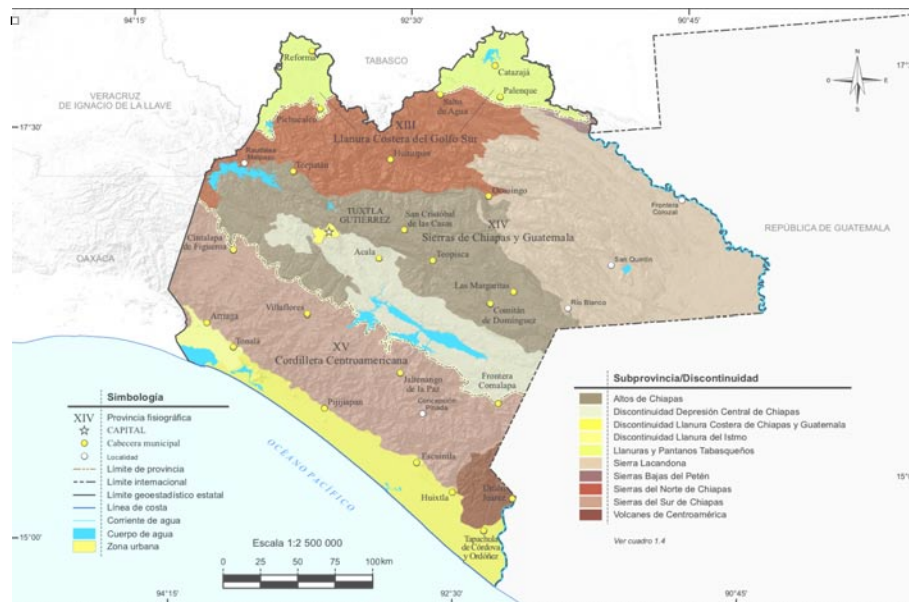


Figura 5. Ubicación de la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)



o Topoformas y tipo de suelo

La Sierra Madre está conformada por Sierra y Valle, en donde el tipo de rocas son de tipo ígnea intrusiva y sedimentaria (ver Figura 6). En cuanto al tipo de suelo, en su mayoría está conformado por leptosol, cambisol, regosol (Figura 7)

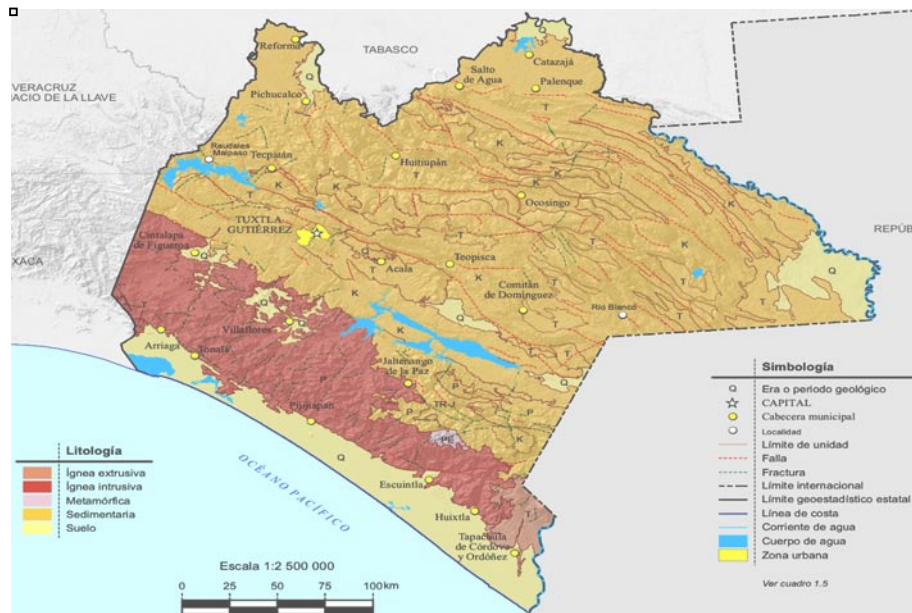


Figura 6. Litología de la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)

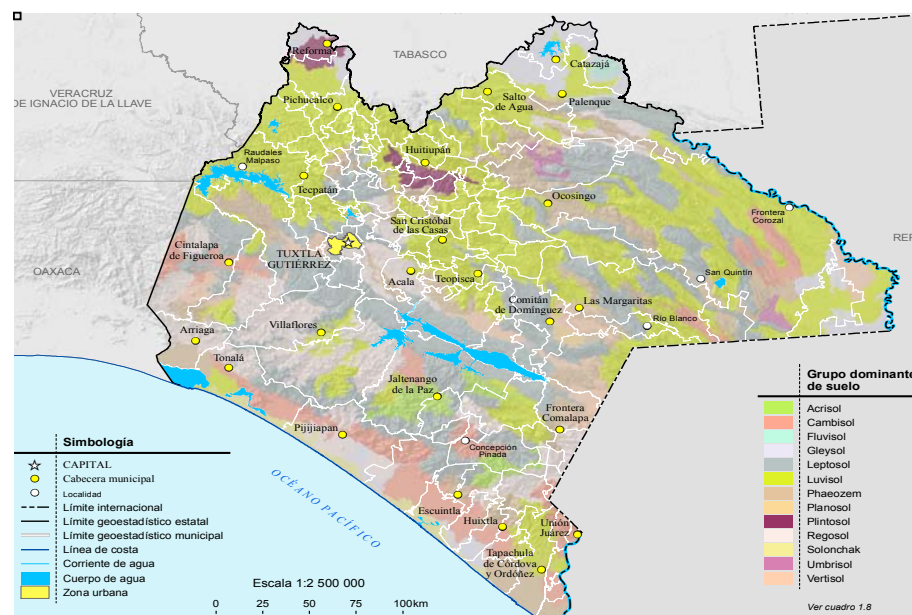


Figura 7. Tipo de suelo de la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)



o Clima, precipitación y temperatura

Los tipos de clima que se presentan dentro de la región son: Cálido subhúmedo con lluvia de verano, Semicálido húmedo con lluvia abundante de verano y Cálido húmedo con lluvia todo el año (ver Figura 8)

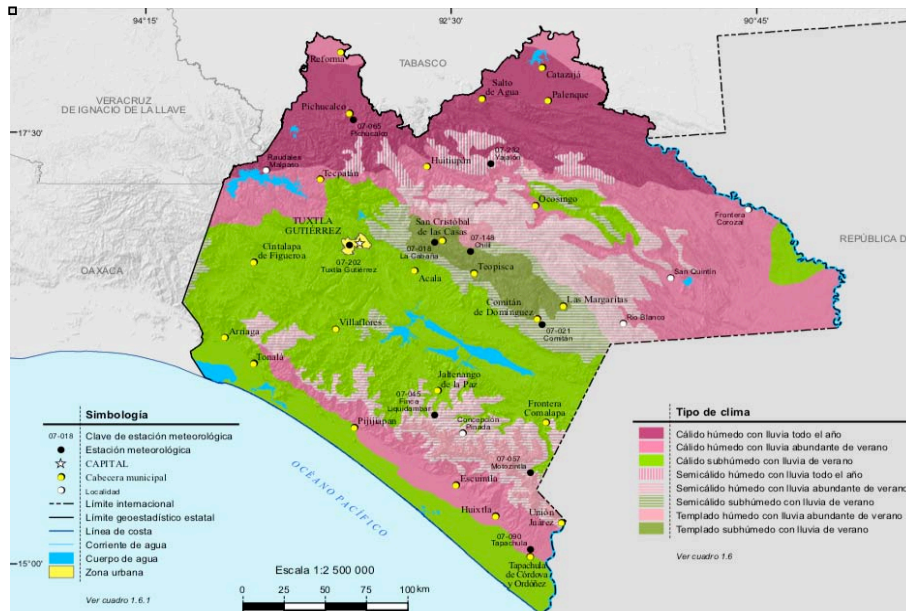


Figura 8. Climas en la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)

En cuanto a la precipitación, la región presenta precipitaciones de entre 1500 mm a 3000 mm por año, como se observa en la Figura 9, mientras que en cuestión de temperatura, esta va de 20°C a 26°C.

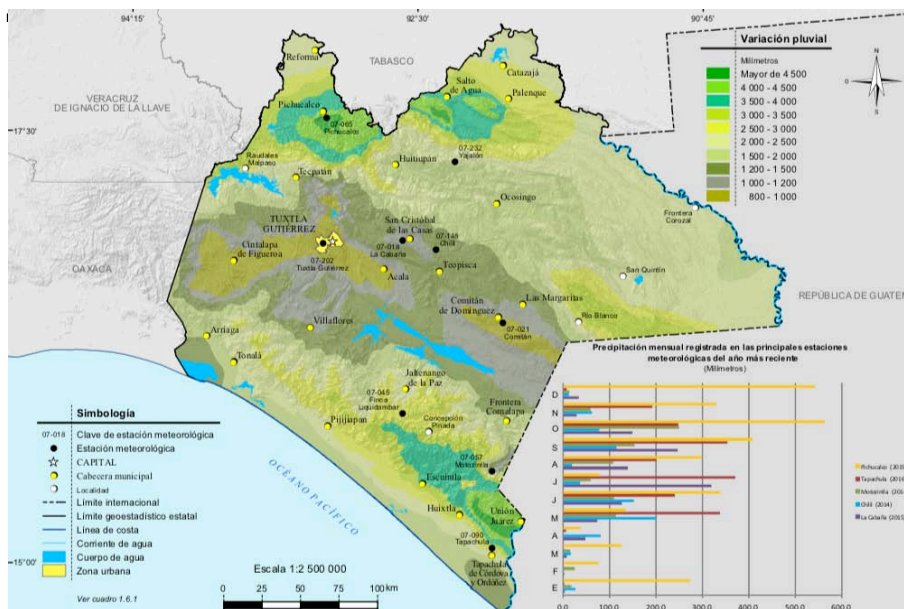


Figura 9. Precipitación en la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)

- Hidrografía

En cuestión de hidrografía, la región de la SMCH pertenece a dos regiones hidrológicas, a la RH30 y en menor proporción a la RH23. Dentro de la RH30 se encuentran las cuencas R. Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y la R. Grijalva-La Concordia; mientras que en la RH23 se encuentran las cuencas R. Huixtla y Otros, R. Pijijiapan y Otros, y Mar Muerto, cada una con sus respectivas subcuencas (Ver en ANEXO C)

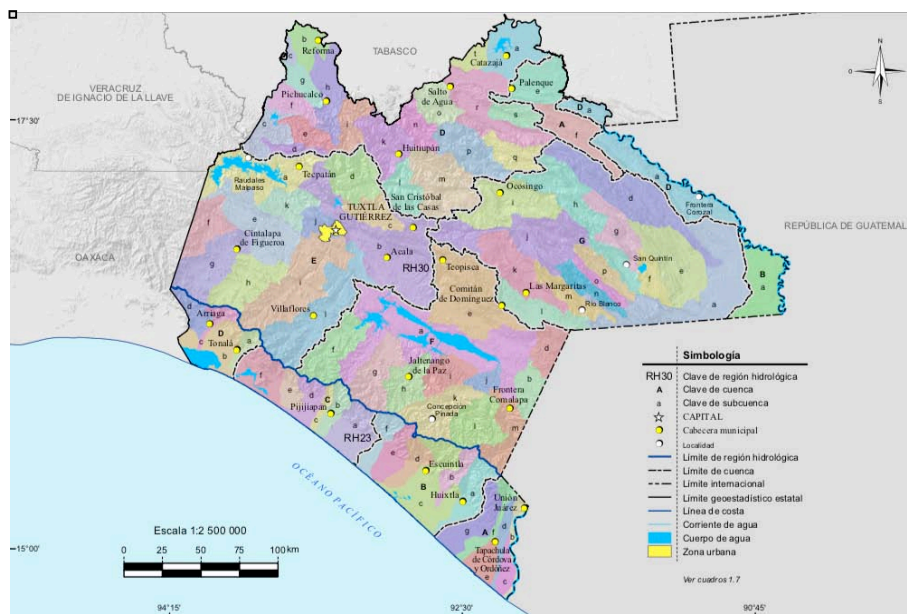


Figura 10. Hidrología en la Sierra Madre de Chiapas  
Fuente: INEGI (2017)

## Capítulo V. Discusión de resultados y conclusiones

La revisión bibliográfica sobre temas como servicios ecosistémicos, tecnologías de infiltración, metodologías de valoración económica y caracterización fisiográfica de la Sierra Madre de Chiapas fue de suma importancia para el desarrollo de este ensayo.

Los servicios ecosistémicos en general han sido fundamentales para el desarrollo de la vida en la Tierra, y de los cuales los seres humanos hemos obtenido grandes beneficios. Debido a ello es vital reflexionar como la pérdida de estos servicios pueden afectarnos a lo largo del tiempo, por tanto, es importante considerar alternativas factibles tecnológica y económicamente que en algún momento puedan sustituir (que no es lo más recomendable) estos servicios. Uno de los tantos servicios ecosistémicos que presta la naturaleza es el de infiltración de agua, un proceso natural que permite la entrada del agua hacia el subsuelo; a simple vista se cree un proceso fácil y sin complicación alguna, sin embargo esta labor necesita de ciertas características para llevarse a cabo.

Dentro de la literatura científica se han propuesto herramientas de valoración económica, con el objetivo de obtener un valor económico aproximado de los servicios ecosistémicos. Para el desarrollo de este trabajo se eligió en MCR, el cual contempla ciertas condiciones y bajo las cuales se desarrolló este trabajo.

De acuerdo con la investigación documental realizada, se encontró que existen diferentes tecnologías que permitirían en algún punto reemplazar este tipo de servicio ecosistémico, siempre tomando en cuenta que cada una tiene diferentes características y especificaciones.

El proceso de construcción de la base de datos (ver [Tabla 3](#)) requirió de una ardua investigación documental debido a que la mayoría de los estudios de tecnologías de infiltración revisados solo se basan en aspectos fisiográficos y son meramente técnicos y dejan totalmente de lado la parte económica, y de los pocos estudios que si anexan la parte económica (algunos de manera incompleta) se presenta información muy escueta y de manera muy

desordenada, muchos autores no muestran el año en que se realizó la aplicación de la tecnología, y por tanto resulta difícil determinar el tipo de cambio para dicho año, así mismo fueron pocos los estudios que mostraron información sobre la vida útil de las tecnologías y la capacidad de infiltración de las mismas, sin embargo a pesar de todos estos contratiempos se pudo construir dicha base de datos, la cual permitió reunir las diferentes tecnologías aplicadas en diversos países, el costo de inversión, mantenimiento y supervisión, misma que puede funcionar como un referente para futuras investigaciones en el tema.

Para el área de estudio, y de acuerdo con las características fisiográficas propias de la región, la tecnología de infiltración más adecuada económica y técnicamente son los pozos de infiltración.

Es importante resaltar que en cuanto al tema de valoración económica de servicios de infiltración de agua se refiere, en muchos de los estudios revisados no existe una complementariedad entre disciplinas, por un lado existen estudios que hablan sobre infiltración de agua desde una perspectiva técnica o ingenieril dejando de lado o restando importancia a la ciencia económica, y por el otro lado existen estudios que solo ahondan en cuestiones de valoración económica, sin tomar en cuenta cuestiones más técnicas y que son necesarias para la aplicación de las diferentes tecnologías, esperando con ello resultados óptimos de dichas aplicaciones.

Todo lo anterior se da en un ambiente donde la interdisciplinariedad juega un papel importante para el desarrollo de nuevo conocimiento, buscando con ello el afán de reafirmar el uso consciente de los recursos naturales así como la implementación de nuevas políticas públicas a favor de los mismos.

## Bibliografía

- Aguilera, K. F., & Alcántara, V. (2011). De la economía ambiental a la economía ecológica. Centro de Investigación de la Paz-ECOSOCIAL (Electrónica). Barcelona. Recuperado a partir de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=IDEA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000286>
- Alcamo, J., Ash, N., Baird, C. J., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Castilla, J. C., & Chambers, R. (2003). Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. Evaluación de Ecosistemas del Milenio.
- Avilés-Polanco, G., Huato, S. L., Troyo-Diéguez, E., Murillo, A. B., García, H. J. L., & Beltrán-Morales, L. F. (2010). Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de La Paz, B.C.S.: Una valoración contingente del uso de agua municipal. *Frontera Norte*, 22(43).
- Azqueta, O. D. (1994). Valoración económica de la calidad ambiental. (McGraw-Hill/Interamericana., Ed.). Madrid.
- Bhattacharya, A. K. (2010). Artificial ground water recharge with a special reference to India, 4(August), 214–221.
- Bouwer, H., Pyne, D., Brown, J., St Germain, D., Morris, T., Brown, C. J., ... Rycus, M. (2008). Design, operation and maintenance of recharge well systems. *Design, Operation, and Maintenance for Sustainable Underground Storage Facilities*.
- Brauman, K. A, G. C Daily, T K. Duarte, and H. A Mooney. 2007. "The Nature and Value of Ecosystem Services: an Overview Highlighting Hydrologic Services." *Annual Review of Environment and Resources* 32(1): 67–98.
- Brauman, K. A. 2015. "Hydrologic Ecosystem Services: Linking Ecohydrologic Processes to Human Well-Being in Water Research and Watershed Management." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 2(4): 345–58.
- Brown, T. C. (2017). Substitution Methods. En *A Primer on Nonmarket Valuation*. <http://doi.org/10.1007/978-94-007-7104-8>
- Camacho, V. F., & Ruiz, L. A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Biociencias*, 1(4), 3–15.
- Carbajal, A. A., & González, F. M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En *Agua para la salud. pasado, presente y futuro*. (pp. 33–45).

- Carbal, H.A. 2009. "La Valoración Económica De Bienes Y Servicios Ambientales Como Herramienta Estrategica Para La Conservación Y Uso Sostenible De Los Ecosistemas: 'Caso Ciénaga La Caimanera, Coveñas - Sucre, Colombia'." *Criterio Libre*: 71–89.
- Castiblanco, R. C. (2007). La Economía Ecológica: Una Disciplina En Busca De Autor. *Gestión y Ambiente*, 10(3), 07–22. Recuperado a partir de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/1424/2053>
- CONABIO, (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la biodiversidad). (2006). *Capital natural y bienestar social*.
- CONAGUA, (Comisión Nacional del Agua). (2018). CONAGUA/SIGA. Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <http://siga.conagua.gob.mx/presas/geopresas.html>
- CONAGUA, (Comisión Nacional del Agua), & SEMARNAT, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado a partir de [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- CONANP, (Comisión de áreas naturales protegidas). (2017). *Áreas Naturales Protegidas Decretadas*.
- Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farber, S., Hannon, B., Limburg, K., ... Neill, R. V. O. (1997). The Value of the World' s Ecosystem Services and Natural Capital, 387(May), 253–260. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)
- Del Ángel, P. A. L., Rebolledo, M. A., Villagómez, C. J. A., & Zetina, L. R. (2008). Valoración del servicio ambiental hidrológico en el sector doméstico de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. *Coordinación de Desarrollo Regional*, 17(33), 226–257. Recuperado a partir de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572009000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572009000100008&script=sci_arttext)
- De Groot, R. S. 1992. "Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making."
- Dillon, P. (2005). Future management of aquifer recharge, 313–316. <http://doi.org/10.1007/s10040-004-0413-6>
- Dillon, P., Pavelic, P., Page, D., Beringen, H., & Ward, J. (2009). *Managed aquifer recharge: An Introduction*.

- Dixon, J., Fallon, S., Carpenter, R., & Sherman, P. (1994). *Economic Analysis of Environmental Impacts*.
- Dixon, J., & Pagiola, S. (1998). *Economic Analysis and Environmental Assessment*. En *Environmental Assessment Sourcebook*.
- DOF, (Diario Oficial de la Federación). NOM-0033-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. (1997). México.
- DOF, (Diario Oficial de la Federación). NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua. (2009).
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1981). *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*.
- EPA, (Environmental Protection Agency). (1999). *Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench*. Washington, D.C.
- EPA, (United States Environmental Protection Agency). (2018). *General information about injection wells*. Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <https://www.epa.gov/uic/general-information-about-injection-wells>
- FAO, (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). *Ecosystem Services & Biodiversity (ESB)*. Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity>
- Fisher, B., & Turner, K. R. (2008). Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141(5), 1167–1169. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.019>
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643–653. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Gobierno el estado de Chiapas. (2010). *Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación “El Cabildo Amatal”*.
- GOI, (Ministry of water resources). (2007). *Manual on artificial recharge of groundwater*. New Dheli.
- Gorfinkiel, D. (1999). *La valoración económica de los bienes ambientales: una aproximación desde la teoría y la práctica*.
- Guswa, A. J., Brauman, K. A., Brown, C., Keeler, B. L., & Stratton, S. S. (2014). *Ecosystem Services: Challenges and Opportunities for Hydrologic Modeling*

- to Support Decision Making. *Water resources research*, 50(5), 4535–4544.
- Hein, L. (2011). Economic Benefits Generated by Protected Areas: the Case of the Hoge. *Ecology And Society*, 16(2), 13. Recuperado a partir de <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss2/art13/>
- Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human population and the global environment. *American scientist*, 62(3), 282–292. Recuperado a partir de [https://mahb.stanford.edu/wp-content/uploads/2011/12/1974\\_holdren\\_ehrlich\\_humanpopglobalEnviron.pdf](https://mahb.stanford.edu/wp-content/uploads/2011/12/1974_holdren_ehrlich_humanpopglobalEnviron.pdf)
- Hougnér, C., Colding, J., & Söderqvist, T. (2005). Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden. *Ecological Economics*, 59, 364–374.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). 5 de Junio , Día Mundial Del Medio Ambiente.
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017. México. Recuperado a partir de [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825092115.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092115.pdf)
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018a). Información por entidad (Agua). Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/territorio/agua.aspx?tema=me&e=07>
- INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018b). Información por entidad (Relieve). Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=07>
- Jackson, S., Finn, M., & Scheepers, K. (2014). The use of replacement cost method to assess and manage the impacts of water resource development on Australian indigenous customary economies. *Journal of Environmental Management*, 135, 100–109. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.018>
- Joignant, P. N. P. (2014). Valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales recreativos y etno-culturales del sistema de humedales altoandino



- ó laguna roja (comuna de Camarones, Chile): protegiendo un ecosistema sagrado a través del turismo sustentable. Universidad de Chile.
- Jokela, P., and E. Kallio. 2015. "Sprinkling and Well Infiltration in Managed Aquifer Recharge for Drinking Water Quality Improvement in Finland." *Journal of Hydrologic Engineering* 20(3): B4014002.
- Joseph, M. A. (1986). *Economic analysis of artificial recharge and recovery of water in Butler Valley, Arizona*.
- Kengen, S. (1997). *Forest Valuation for Decision-Making: Lessons of Experience and Proposals for Improvement*.
- Khan, S., Mushtaq, S., & Hanjra, M. A. (2008). Estimating potential costs and gains from an aquifer storage and recovery program in Australia, 95, 477–488. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.12.002>
- Kolstad, C. (2001). *Economía Ambiental*. (U. Iberoamericana, Ed.). México.
- Kumar, D., A. Patel, O.P. Singh, and R. Ravindranath. 2018. "Chasing a Mirage: Water Harvesting and Artificial Recharge in Naturally Water-Scarce Regions." *Economic Political*: 1–13.
- Kramer, P. J., & Tejada, L. (1974). *Relaciones hídricas de suelo y plantas : una síntesis moderna*.
- Labandeira, X., León, C. J., & Vásquez, M. X. (2007). *Economía Ambiental*. Madrid.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental*. México: Ed. Siglo XXI.
- Linares, L. P., & Romero, L. C. (2008). *Economía y Medio Ambiente: herramientas de valoración ambiental*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Londoño, C. L. (2006). Los recursos naturales y el medio ambiente en la economía de mercado. *Redalyc*, 4(1), 24–42. Recuperado a partir de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=105316847003>
- López, S. G. (1997). *La gestión del agua subterránea en la cuenca alta del río Guadiana: de la economía convencional a la economía ecológica*.
- López-Morales, C.A. 2012. *Valoración De Servicios Hidrológicos Por Costo De Reemplazo: Análisis De Escenarios Para El Bosque De Agua*. México.
- Luque, J. ., Paoloni, J. ., & Luque, J. . (1981). *Hidrología agrícola aplicada*.
- Mashayekhi, Z. et al. 2010. "Economic Valuation of Water Storage Function of Forest Ecosystems (Case Study: Zagros Forests, Iran)." *Journal of Forestry*

- Research 21(3): 293–300.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., & Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿Una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.). <http://doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Martínez, T. M., & Dimas, L. (2007). Valoración Económica de los Servicios Hidrológicos: Subcuenca del Río Teculután, Guatemala, 14–21.
- Mendieta, L. J. C. (2005). *Manual De Valoración Económica De Bienes No Mercadeables*. Bogotá.
- Meyerhoff, J., and A. Dehnhardt. 2007. “The European Water Framework Directive and Economic Valuation of Wetlands: the Restoration of Floodplains Along the River Elbe.” *European Environment* 17(1): 18–36.
- Millennium Assessment. (2003). *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington, D.C.
- Morales, M. G., Jones, L. C., De Melo, V., Mendoza, A. O., Tinoco, J. A., & Hills, T. (2011). Estrategia del sector cafetalero para la adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático en la Sierra Madre de Chiapas. Recuperado a partir de <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ORTON.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=089190>
- Monroy, H. R., Valdivia, A. R., Sandoval, V. M., & Rubiños, P. J. E. (2011). Valoración económica del servicio ambiental hidrológico en una reserva de la biósfera. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 315–323. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283010>
- Müllerried, F. K. . (1957). *La geología de Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Nanda, K N, and N Aiyagari. 2007. *Artificial Recharge of Groundwater*.
- Notaro, S., & Paletto, A. (2012). The economic valuation of natural hazards in mountain forests: An approach based on the replacement cost method. *Journal of Forest Economics*, 18(4), 318–328. <http://doi.org/10.1016/j.jfe.2012.06.002>
- Odum, E. P. (1972). *Fundamentals of Ecology*. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Third, Vol. 53). Mexico. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ojeda, O., & Sánchez, V. (1985). *La cuestión ambiental y la articulación*

- sociedad-naturaleza. *Estudios Sociológicos*, 25–46. Recuperado a partir de <http://www.jstor.org/stable/40419795>
- Pearce, D W. 1993. *Economic Valuation and the Natural World*.
- Perevochtchikova, M., & Vázquez, B. A. (2011). Los Servicios Ambientales Hidrológicos como instrumento alternativo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Distrito Federal.
- Postel, S. L., & Thompson, B. H. (2005). Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, 29(2), 98–108. <http://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2005.00119.x>
- Puerto, P. Z. Y. (2015). Diseño de un pozo de infiltración para captación de agua pluvial en San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes, B. M. C., & Sánchez, G. C. O. (2012). Red de Áreas Naturales Protegidas Comunitarias y Servicios Ambientales en Chiapas.
- Ruiz, L A, and V V Camacho. 2011. "Marco Conceptual Y Clasificación De Los Servicios Ecosistémicos." *Biociencias*: 1–13.
- Sakthivadivel, R. (2007). The Groundwater Recharge Movement in India. *The Agricultural Groundwater Revolution: Opportunities and Threats to Development*, 195–210. <http://doi.org/10.1079/9781845931728.0393>
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., ... De la Maza, J. (2009). *Capital Natural de México (Síntesis)*. México.
- Secretaría de medio ambiente e historia natural. (2018). Áreas Naturales Protegidas. Recuperado el 16 de enero de 2018, a partir de [http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/areas\\_naturalesprotegidas](http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/areas_naturalesprotegidas)
- Seiler, K. ., & Gat, J. . (2007). Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation.
- Serna, M. C. A. 2010. "Economía Y Medio Ambiente." *Revista Apuntes del CENES XXIX(50)*: 9–26.
- Silva-flores, R., Pérez-verdín, G., & Návar-cháidez, J. D. J. (2010). Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en El Salto , Pueblo Nuevo , Durango Economic valuation of the hydrological environmental services in El Salto , Pueblo Nuevo , Durango. *Madera y Bosques*, 16(119), 31–49.

- Stormwater. (2018). Infiltration Basin. Recuperado el 18 de enero de 2018, a partir de <http://www.stormwaterpartners.com/facilities/basin.html>
- Tommasino, H., Foladori, G., & Taks, J. (2001). Controversias sobre sustentabilidad. La crisis ambiental contemporánea. En *La coevolución sociedad-naturaleza* (pp. 9–26).
- Tuinhof, A., & Piet, H. J. (2003). Management of Aquifer Recharge and Subsurface Storage. (A. Tuinhof & J. P. Heederik, Eds.).
- Tuinhof, A, F Van Steenbergen, P Vos, and L Tolk. 2012. "Profit From Storage.": 1–122.
- Westman, W. E. (1977). How Much Are Nature's Services Worth? *Science*, 197(1969), 960–963. <http://doi.org/10.1126/science.197.4307.960>
- Wilson, L. (1979). Artificial Ground-Water Recharge - A Review of Methods and Problems.

## Anexos

### ANEXO A. ESPECIFICACIONES DE LA NOM-015-CONAGUA-2007

En el caso de obras y actividades para la infiltración de aguas pluviales o de escurrimiento superficial al suelo se atenderá a lo siguiente:

- Las obras y actividades a que se refiere esta Norma deberán en todo momento respetar lo dispuesto por las declaratorias de áreas naturales protegidas y sus programas de manejo.
- El suelo deberá ser caracterizado conforme a lo dispuesto por la Norma ISO 15175:2004, Calidad del suelo.- Caracterización del suelo en relación con la protección del agua subterránea; la que la sustituya, o la NMX correspondiente.
- En áreas propensas a deslaves o con pendientes abruptas e inestables, sólo podrán llevarse a cabo las obras y actividades a que se refiere la presente cuando se hayan realizado obras de ingeniería para estabilizar el terreno.
- En terrenos que hubieran sufrido algún evento de contaminación, quien realice la obra deberá asegurarse que no está inscrito como predio contaminado.
  - Se considerará que existió un evento contaminante y que éste ha sido remediado de conformidad con lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento y las normas oficiales mexicanas correspondientes.
  - La disposición de aguas al suelo y a la zona no saturada no debe afectar a captaciones de agua subterránea o a obras civiles de terceros.
  - No se podrá realizar la disposición al suelo o subsuelo de aguas residuales crudas, o la mezcla de éstas con aguas pluviales o de escurrimiento superficial.
  - Se podrá llevar a cabo la disposición de aguas a que se refiere la presente, previendo que se tenga una limpieza de basura de la zona.

En el caso de la disposición de aguas pluviales o de escurrimiento superficial a la zona no saturada, adicionalmente a las anteriores, se aplicarán las siguientes:

- Se deberán observar las especificaciones establecidas en el numeral 6.2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- La infiltración no deberá afectar la calidad del agua nativa. Para el muestreo del agua nativa se utilizará la Norma ISO/CD 5667-11-2006 Calidad del Agua.- Muestreo.- Parte 11.- Guía para el muestreo de aguas subterráneas, la que la sustituya o la Norma Mexicana correspondiente.
- Las obras de disposición de aguas al subsuelo mediante pozos de infiltración, deben contar con un sistema de tratamiento que garantice que el agua en el punto de infiltración tendrá los límites establecidos a continuación:

Contaminante	Unidad de medida	Limite	Método de prueba*	Método de muestreo
Grasas y Aceites	Mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	NMX-AA-003-1980
Materia Flotante	Unidad	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	
Sólidos Sedimentables	Mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	
Sólidos Suspendedos Totales	Mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2001	
Nitrógeno Total	Mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2001	
Fósforo Total	Mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	

\*En términos del artículo 49 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización se podrán utilizar otros métodos de prueba o los señalados en las Normas Mexicanas enunciadas.

- Las pruebas a que se refiere la tabla anterior se deberán aplicar al sistema de tratamiento antes de su operación.
  - Un laboratorio acreditado y aprobado deberá emitir los informes correspondientes.
  - Se deberá incorporar en el pozo un instrumento de muestreo y prueba que cumpla con la Norma ISO 15839:2003 Water quality-On-line sensors/analysing equipment for water-Specifications and performance tests, la que la sustituya o la Norma Mexicana correspondiente.
  - Los resultados de las pruebas realizadas con el instrumento señalado en el numeral anterior podrán ser requeridas por la autoridad en las visitas de inspección.
  - La distancia mínima entre el fondo del pozo y la superficie freática será de cinco metros.

Fuente: elaboración propia a partir del [DOF \(2007\)](#)

## ANEXO B. ESPECIFICACIONES DE LA NOM-003-CNA-1996

- Materiales usados en la construcción de pozos

Las piezas y sustancias utilizadas en la construcción de pozos deben ser de calidad comercial.

- Área restringida de emplazamiento del pozo

El área de protección entre el sitio seleccionado para construir un pozo y las fuentes potenciales de contaminación existentes que no pueden ser suprimidas, tendrá un radio mínimo de 30 m con respecto al pozo.

Las fuentes de contaminación son las siguientes (esta lista no es limitativa, sino que depende de lo que, para situaciones y condiciones particulares, la Comisión considere necesarias): Alcantarillado sanitario, Campos de percolación, Canales de aguas residuales, Cloacas, Depósitos de jales, Fosas sépticas, Gasolineras y depósitos de hidrocarburos, Lechos de absorción, Letrinas, Pozos abandonados no sellados, Pozos de absorción, Puntos de descarga de aguas residuales de uso industrial, Rellenos sanitarios, Ríos y cauces con aguas residuales provenientes de los usos definidos anteriormente y Rastros y establos.

El radio mínimo podrá ser modificado por la Comisión o por la autoridad local competente, a través de la disposición legal o reglamentaria aplicable, con base en un estudio específico del sitio que considere la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la extensión de su área de influencia, para diferentes tiempos. Cuando no sea posible cumplir el radio mínimo especificado en la presente Norma o en la disposición local reglamentaria, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño que propone, para evitar la contaminación del acuífero, basado en estudios hidrogeológicos.

- Desinfección de la herramienta en la etapa de perforación del pozo

La herramienta y la tubería de perforación se deben desinfectar antes de iniciar los trabajos de perforación. Previo a la desinfección, es necesario remover las grasas, aceites y otras sustancias adheridas a las herramientas.

- Preparación y disposición adecuada de los fluidos de perforación

En la perforación de pozos con fluidos, cuya base principal sea el agua y la bentonita, éstos no deben contener ninguna sustancia que degrade las características químicas del agua subterránea.

- Preparación de los fluidos

El agua utilizada en la preparación del fluido de perforación debe tener características físico-químicas tales que no inhiban las propiedades del fluido y no degraden al agua del subsuelo. Debe estar libre de organismos patógenos y poseer un pH entre 6 y 10. Bajo ninguna circunstancia se debe permitir el uso de aguas residuales.

- Protección de acuíferos por pérdida de circulación

No se deben añadir al fluido de perforación materiales que puedan contaminar o reducir las propiedades hidráulicas del acuífero.

- Disposición de los residuos

Concluidos los trabajos de construcción del pozo, el perforista debe retirar los residuos de lodo y materiales de construcción del área de trabajo, de acuerdo a la reglamentación federal o estatal. Los residuos se podrán esparcir en sitios cercanos, previa autorización de los propietarios de los terrenos. En todo caso se deberá realizar una limpieza del área de trabajo con el fin de restaurar el sitio a sus condiciones originales.

- Protección superficial e interna de la estructura del pozo

Todos los aprovechamientos hidráulicos subterráneos deben contar con protección sanitaria. De acuerdo con la estructura del pozo, el espacio anular entre las paredes de la formación y el ademe, así como la terminal superior del pozo, son las áreas que presentan mayor riesgo de contaminación.

- Ademe para protección del pozo
  - Sobreelevación del ademe por encima del nivel del suelo.
  - Cedazo o rejilla
  - Filtro granular
- Contra ademe
- Sobreelevación y protección del área de emplazamiento del pozo

- Tipo y dimensiones del brocal
- Plantilla
- Tipo y dimensiones de la protección del pozo
- Desinfección del pozo

La desinfección del pozo debe ser realizada durante la etapa de desarrollo del mismo, antes de que el equipo permanente haya sido instalado, el cual debe también ser desinfectado. Para ello, deberá aplicarse el desinfectante necesario para que la concentración de cloro en el agua contenida en el pozo sea de 200 mg/L como mínimo. El agua en el pozo deberá tratarse con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud. Después de que el desinfectante haya sido aplicado, se agitará el agua del pozo para lograr una buena mezcla y se inducirá el contacto de la mezcla agua-desinfectante con las paredes del ademe, rejilla, filtro y formación del acuífero. Posteriormente, se debe circular la mezcla dentro del ademe con la columna de bombeo, y luego extraerla mediante bombeo. Después de que el pozo haya sido desinfectado, debe ser bombeado hasta que no se detecten residuos del desinfectante utilizado.

- Dispositivos de medición y monitoreo
  - Medidor de volúmenes

Con el objeto de disponer de un medio seguro para conocer los caudales de extracción del pozo, es indispensable la instalación de un dispositivo de medición compatible con los volúmenes proyectados de extracción. Para uso público urbano, el medidor debe cumplir con los requisitos estipulados en la Norma Oficial Mexicana de medidores de agua NOM-012-SCFI o usar dispositivos similares que cumplan con las normas vigentes.

- Toma lateral

Se requiere instalar un dispositivo lateral en la tubería principal de descarga para el muestreo del agua.

- Medición de niveles

También se requiere la instalación de un dispositivo que permita medir la profundidad del nivel del agua en el pozo.

- Documentos requeridos para la aprobación de operación del pozo

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos:

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por:
  - Curvas de resistividad (normal corta, normal larga y lateral)
  - Curva de potencial espontáneo (S.P.)
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales.

Fuente: elaboración propia a partir del [DOF \(1996\)](#)

**ANEXO C. REGIÓN, CUENCA Y SUBCUENCA HIDROLOGICA DE LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS**

Región	Cuenca	Subcuenca
RH23	B-R. Huixtla y Otros	a-R. Huixtla b-R. Despoblado c-L. del Viejo y Tembladeras d-R. Cacaluta e-R. Sese capa f-R. Novillero
	C-R. Pijijapan y Otros	a-R. Margaritas y Coapa b-R. Pijijapan c-R. San Diego d-(El Porvenir) e-R. Jesús f-L. de la Joya
	D-Mar Muerto	a-R. Zanatenco b-Mar Muerto c-R. La Punta d-R. Las Arenas
RH30	E- R. Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	a-P . Netzahualcóyotl b-R. Alto Grijalva c-R. Hondo d-R. Chicoasén e-R. de la Venta f-R. Encajonado g-R. Cintalapa h-R. de Zoyatenco i-R. Suchiapa j-Tuxtla Gutiérrez k-El Chapopote l-R. Santo Domingo
	F-R. Grijalva-La Concordia	a-P . La Angostura b-R. Salegua d-R. Lagartero e-R. Aguacatenco f-R. San Pedro g-R. La Concordia h-R. Grande o Salinas i-R. Aguazurco j-R. San Miguel k-R. Yahuayita l-R. Zacualpa m-R. Tapizaca

Fuente: Elaboración propia a partir de [INEGI \(2017\)](#)