

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

Tesis

“MAPEO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA
SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO”

que para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias para el Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

presenta

Carolina Uscanga Tejeda

Ensenada, B.C. Agosto 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

“MAPEO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO”

Tesis

que para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias para el Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

presenta

Carolina Uscanga Tejeda

aprobada por

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Martha Ileana Espejel Carbajal".

Dra. Martha Ileana Espejel Carbajal (dirección)

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "María Concepción Arredondo".

Dra. María Concepción Arredondo
García (sinodal)

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "María Cristina Garza Lagler".

Dra. María Cristina Garza Lagler
(sinodal)

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de manutención otorgada durante la realización de esta Maestría.

A la Dra. Ileana Espejel por ser mi directora de tesis, mostrar paciencia y regalarme enseñanzas invaluable como mi profesora en el manejo de ecosistemas y tutora académica.

A mis sinodales: la Dra. Cristina Garza Lagler y la Dra. Concepción Arredondo, por unirse a mí en esta aventura que la pandemia no me dejó disfrutar para convivir e intercambiar argumentos como me hubiera gustado. Gracias por no perder la fe en mi trabajo, además de la gran paciencia ante mis retrasos en la entrega de avances.

A todos mis profesores de la Maestría en Manejo de Ecosistemas en Zonas Áridas y a mis compañeros de generación; gracias por todas las peleas que me demostraron que nunca tenemos la razón: sólo pensamos desde diferentes perspectivas.

Al Dr. Ricardo Eaton, por su paciencia en aulas para enseñarme todo lo que sé sobre sistemas de información geográfica y por darme su ejemplo de ética como profesionalista.

A la L.C.A. Carmen Angelica Miramontes, por su voluntariado en la captura y generación de bases de datos. Sin su colaboración, el análisis e identificación de servicios ecosistémicos no hubiera sido posible.

Al Ing. Francisco Javier Jiménez Nava, al Biól. José Luis Ornelas de Anda y al Biól. Amós Antonio López Pérez de la Dirección General Adjunta de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por la asesoría metodológica, disponibilidad de datos y facilidades brindadas durante la Estancia de Investigación realizada en los meses de junio-julio del 2019.

Esta investigación recibió apoyo de tres proyectos: i) 155. Evaluación de riesgos bioeconómicos debido a la sobreexplotación de acuíferos en regiones áridas y costeras, urbanas y agrícolas (Conacyt-BMBF-UNAM-UABC); ii) A-347. Formulación y adopción de un plan de manejo de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California; y iii) A-447. Adopción de un programa de co-gestión de la micro cuenca Guadalupe de la Fundación Río Arronte. Gracias a sus integrantes por considerarme parte del equipo.

DEDICATORIA

A la subcuenca Guadalupe, en Ensenada, Baja California.

Aunque parezca broma, después de tres años de aprendizaje de los mejores maestros, de conocer personas increíbles (y a las que no fueron tan increíbles como pensaba), de crecer como profesionista y más aún, después de ser consciente de mi crecimiento personal, todo se reduce a *la cuenca*.

Gracias cuenca, gracias por ser como eres.

Durante tres años he estudiado y aprendido los servicios ecosistémicos que brindas, pero hasta hace muy poco me volví consciente de los servicios que obtuve personalmente de ti. Gracias por dejarme aprender de ti el cómo ser una Especialista en Gestión Ambiental, una Manejadora de Ecosistemas de Zonas Áridas. Me hiciste salir de mi caja como economista haciéndome ir a acampar a tus sierras y a tus humedales; me llevaste a hablar con la gente que te habita, que te vive; me enviaste con los expertos nacionales para madurar y devolverles un poquito de lo mucho que me dieron como persona y profesionista; y hasta me llevaste con los expertos mundiales para exponer tus virtudes y retos al otro lado del mundo:

Danke, dankeschön.

Gracias por exigirme conocer de mapas, hidrología, comunidades y poblaciones biológicas; de enseñarme la importancia de saber cómo hacer pasteles, a adaptarme cuando no tienes dónde hornear y a callarme cuando mi idea es repetitiva de las demás. ¡Hasta de genética para la conservación me hiciste aprender!

Los recuerdos que formé en tus paisajes y los que tendré mientras construyo el proyecto de vida con el amor más grande que he conocido, son *invaluables*.

Sé que en otra cuenca -con otro ecosistema, otras formas y especies- la historia sería diferente. Gracias por ser el escenario de esta realidad.

RESUMEN

En el imaginario colectivo, se piensa que las zonas áridas, al no poseer agua de manera visible, no son productivas. En estos ecosistemas, los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento, por lo que el manejo hídrico integral entre los aspectos biofísicos, sociales y económicos es fundamental.

La subcuenca Guadalupe es un sistema hídrico semiárido de clima mediterráneo con una superficie de 2,400 km² ubicado en Ensenada, municipio del estado de Baja California, México. En ella se desarrollan actividades agrícolas, destacando los valles de Guadalupe y Ojos Negros con la producción de vid, olivo, hortalizas, algunos cítricos y cultivos para forraje; aprovechamiento de especies maderables en la Sierra Juárez, zona alta del sistema; así como actividades ecoturísticas que van desde el Parque Nacional Constitución de 1857 en la parte alta, hasta el humedal de La Misión, ubicado en la desembocadura del arroyo Guadalupe, conector natural del sistema, hacia el océano Pacífico.

A pesar de que la zona se encuentra bajo las directrices del Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California, el Programa de Ordenamiento Ecológico del corredor San Antonio de las Minas-valle de Guadalupe y el Programa Sectorial de Desarrollo Urbano -Turístico de los valles vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada, Baja California, estos instrumentos no atienden las implicaciones socio ecológicas y socioeconómicas de la cuenca como unidad funcional del ecosistema.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es identificar los servicios ecosistémicos de la subcuenca, así como cartografiar el servicio de provisión de agua subterránea y valorar económicamente la provisión de arena para la minería, recurso aprovechado en los cauces del arroyo Guadalupe y que afecta la provisión de agua en el sistema.

Para ello, se analizó 1) la bibliografía para un metaanálisis e identificación de servicios ecosistémicos; 2) el ciclo hidrológico para identificar las variables a cartografiar en mapas temáticos y 3) el precio de mercado de la arena como material pétreo utilizado en el ramo de la construcción.

Los principales resultados son 1) la subcuenca ofrece 24 servicios ecosistémicos, de los cuales la regulación de agua, suministro de agua, ciencia y educación, minería, estética, cultivo, recreación, vivienda, facilidades para el turismo y la función de refugio de especies, son prioritarios para el manejo de la subcuenca; 2) un sistema de información geográfica

sobre el proceso de infiltración hídrica, que identifica zonas prioritarias para la protección y conservación, además de estimar el aprovechamiento y uso de 81 millones de m³ de agua procedente de los acuíferos subyacentes; y 3) los 0.567 km³ estimados de arena son valorados económicamente entre los 162 y 227 millones de pesos, dependiendo si el material pétreo es aprovechado y colocado en el mercado local, nacional o internacional.

Palabras claves: Sistema socioecológico, cartografía, ciclo hidrológico, agua subterránea, arena, precios de mercado.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	9
II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	11
A. Definición e identificación de servicios ecosistémicos	13
B. Mapeo de servicios ecosistémicos	14
C. Valoración económica de servicios ecosistémicos	16
D. Caso de estudio: la subcuenca Guadalupe.....	19
E. Referencias	29
III. OBJETIVO GENERAL	33
A. Objetivos específicos.....	33
CAPÍTULO I. IDENTIFICACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	34
1.1. Introducción	34
1.2. Metodología	37
1.2.1. Análisis y selección de listado de servicios ecosistémicos	37
1.2.2. Identificación de servicios ecosistémicos.....	37
1.3. Resultados	38
1.3.1. Selección de listado de servicios ecosistémicos.....	38
1.3.2. Identificación de los servicios ecosistémicos.....	41
1.4. Discusión.....	47
1.5. Conclusiones	50
1.6. Referencias.....	53
CAPÍTULO II. MAPEO DE LA PROVISIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	56
2.1. Introducción	56
2.2. Metodología	58
2.2.1. Identificación del servicio ecosistémico.....	58
2.2.2. Mapeo del servicio ecosistémico.....	59
2.3. Resultados	62
2.3.1. Identificación del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea	62
2.3.2. Mapeo del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea.	63
2.4. Discusión.....	71
2.5. Conclusiones	76

2.6. Referencias	79
CAPÍTULO III. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROVISIÓN DE ARENA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	84
3.1. Introducción	84
3.2. Metodología	90
3.2.1. Cálculo de la cantidad de provisión de arena en la subcuenca Guadalupe.....	90
3.2.2. Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de arena.....	91
3.3. Resultados	93
3.3.1. Cálculo de la cantidad de arena en la subcuenca Guadalupe.	93
3.3.2. Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de arena.....	96
3.4. Discusión.....	97
3.5. Conclusiones	100
3.6. Referencias	102
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES PARA EL MANEJO BASADO EN MAPEO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.....	103
ANEXOS	106
Anexo 1. Mercados de competencia perfecta, excedentes del consumidor y del productor.	106
Anexo 2. Literatura consultada para la búsqueda de servicios ecosistémicos.....	109
Anexo 3. Diccionario de claves y descripción de capas temáticas.....	116
Anexo 4. Diccionario de datos de las Unidades de Repuesta Hídrica.....	119

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La subcuenca Guadalupe es un sistema hídrico de clima mediterráneo con características de zona semiárida que se ubica en el estado de Baja California, en el noroeste mexicano. Su cauce principal -el arroyo Guadalupe- inicia en el sistema montañoso de Sierra Juárez, donde se ubica el Parque Nacional Constitución de 1854, un área natural protegida. La subcuenca desciende entre lomeríos conectando el paisaje montañoso con las planicies de los valles a través de comunidades de la vegetación arbustiva de chaparral. Finalmente, desemboca en el Océano Pacífico a través de un humedal, hábitat y sitio de refugio para aves.

Sus paisajes característicos han sido habitados, aprovechados y transformados por grupos indígenas de la comunidad kumiai, rancheros, agricultores, empresarios dedicados al comercio y a la prestación de servicios turísticos, además de comunidades de extranjeros norteamericanos, rusos y connacionales que atraídos por el clima, la belleza de su naturaleza y las oportunidades de desarrollo socioeconómico, han convertido esta subcuenca en su hogar.

A lo largo de este documento se muestra el marco teórico-conceptual utilizado como base para abordar el sistema socio ecológico de la subcuenca Guadalupe, la cual es descrita como un caso de estudio. La organización de los resultados de la tesis se concentra en tres capítulos interconectados pero independientes: i) identificación de los servicios ecosistémicos de la subcuenca: se describen los 24 servicios reconocidos por la literatura académica, ii) mapeo del servicio de provisión de agua subterránea: plantea la propuesta para la descripción espacial del servicio de provisión de agua desde los acuíferos, y iii) valoración económica de la provisión de arena en la subcuenca: descripción espacial de un servicio ecosistémico y su valor en términos monetarios.

Es importante resaltar que en la elaboración de proyectos de investigación para el manejo de ecosistemas, el investigador se enfrenta al reto de analizar el entorno natural y sus dinámicas relaciones con las sociedades humanas las cuales, acopladas, forman un sistema social y ecológico complejo, por lo que una sola línea de trabajo nunca es suficiente. Los objetivos de esta tesis se crearon para brindar información desde una perspectiva económica en el uso de los recursos naturales de la subcuenca Guadalupe, investigación que forma parte de los resultados de los siguientes proyectos: 1) *Evaluación de riesgos bioeconómicos debido a la sobreexplotación de acuíferos en regiones áridas y costeras, urbanas y agrícolas*, liderado

por la Universidad Nacional Autónoma de México en conjunto con la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania) y la Universidad Autónoma de Baja California financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; 2) *Formulación y adopción de un plan de manejo de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California* y 3) *Adopción de un plan de co-gestión de la micro cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California*, ambos financiados por la Fundación Río Arronte en colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California y varias contrapartes (empresarios, vinícolas e instituciones locales).

Se trabajó con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en la Dirección General de Geografía y Medio Ambiente a través de una estancia de investigación durante el verano del 2019 con el nombre “Aplicación del Modelo Dinámico” bajo las actividades del proyecto *Contabilidad de Capital Natural y Valoración de los Servicios Ecosistémicos*.

Los resultados parciales de esta tesis se presentaron en el congreso *Ecosystem Services Partership 10th World Conference 2019* en Hannover, Alemania; en el *I Congreso Latinoamericano y V Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas 2019* en Ciudad de México y en el *Ecosystem Services Partership LatinAmerica 2020* en su modalidad virtual derivado de la pandemia causada por COVID-19.

II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

El manejo de los ecosistemas busca resaltar el valor de la biodiversidad y los factores abióticos para las sociedades, enfocándose en el cuidado y mantenimiento de su funcionamiento, todo con el fin de satisfacer las necesidades que puedan presentarse en el futuro mediante la gestión de los costos por su degradación y pérdida (PNUMA, online).

En esta disciplina, la delimitación de los ámbitos espacial y temporal en los que se llevará a cabo el manejo del ecosistema, es fundamental. Las cuencas hidrológicas se han constituido como una excelente unidad territorial de manejo ambiental ya que el agua es considerada como el elemento integrador en los procesos ecológicos; por lo que las cuencas permiten entender espacialmente los impactos acumulados de las actividades humanas a lo largo del sistema de corrientes que afectan la cantidad y calidad del agua, así como la capacidad de adaptación del ecosistema y la calidad de vida de sus habitantes (Maass y Cotler, 2007; SEMARNAT, 2013; Challenger et al., 2014; Laterra et al., 2015).

El concepto de cuenca hace referencia al espacio geográfico delimitado por un parteaguas (partes más altas de las montañas) donde se dividen todos los escurrimientos que fluyen y desembocan de manera exorreica o endorreica. La interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, y leyes) sufren alteraciones sujetas a una población creciente, la intensificación de las actividades productivas y la generación de desechos (SEMARNAT, 2013; 2017).

Los flujos de agua superficial y subterránea no siempre comparten los mismos límites, ya que responden a dinámicas espaciales y temporales distintas (Ilustración 1). La precipitación y los escurrimientos definen la cuenca hidrográfica al establecer el comportamiento del agua superficial, mientras que los flujos de agua subterránea, vinculados a los acuíferos y su recarga, identifican a las cuencas hidrológicas (SEMARNAT, 2013).

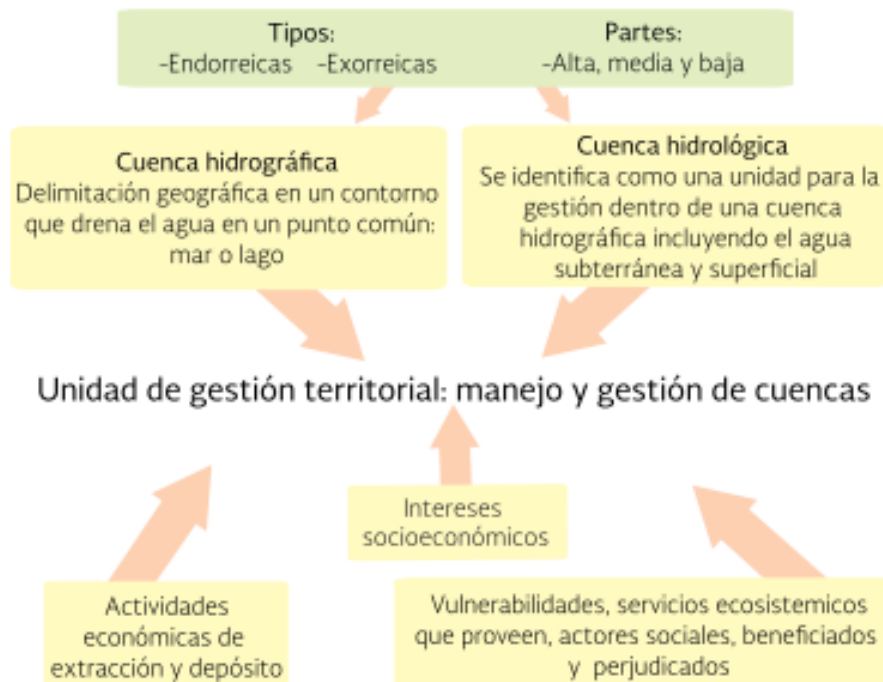


Ilustración 1. Tipos de cuencas. Fuente: Tomado de SEMARNAT (2017, p.14)

En zonas áridas y semiáridas, el agua es el recurso más importante para la continuidad de los procesos ecológicos y una limitante para el desarrollo cultural y socioeconómico de sus comunidades (Villagra, et al., 2013).

Dentro de las corrientes de pensamiento para abordar el manejo de ecosistemas se encuentra la perspectiva de sistema socio-ecológico (SSE), siendo su objetivo investigar el cómo la resiliencia (capacidad de adaptación ante perturbaciones) puede ser aplicada en los sistemas sociales y ecológicos acoplados mediante el estudio de las relaciones entre la ciencia ecológica, social y económica (Berkes y Folke, 1994; Binder et al., 2013).

Este marco teórico se basa en el análisis de las relaciones e interacciones entre las instituciones, los derechos de propiedad, el conocimiento local, la tecnología, la sociedad y el ecosistema (ver Ilustración 2). Esta perspectiva teórica permite identificar y focalizar objetivos de sustentabilidad territorial, es decir, que las acciones de los seres humanos sobre los territorios y sus recursos naturales no desafíen los umbrales ecológicos en ambas escalas temporal y espacial, ya que afectarían negativamente tanto a los servicios ecosistémicos como al bienestar humano. Bajo este esquema, la identificación de los servicios

ecosistémicos y de los actores sociales involucrados es clave para el entendimiento del Sistema Social y Ecológico (SSE) (Berkes y Folke, 1994; Liehr et al., 2017).

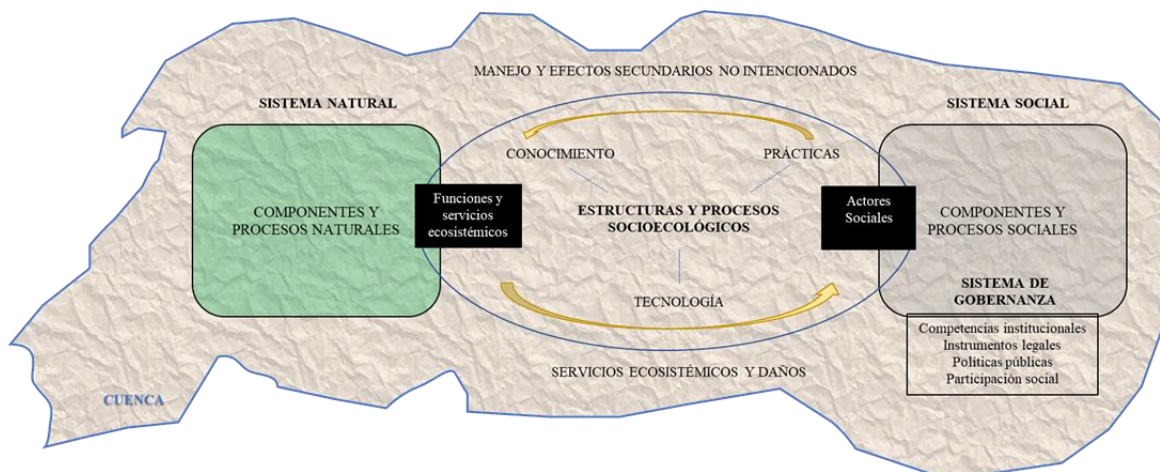


Ilustración 2. Elementos del marco teórico de sistema socio-ecológico.

Fuente: Elaboración propia con información de Liehr et al. (2017)

A. Definición e identificación de servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos (SE) son entendidos como los beneficios que los humanos obtienen de las interacciones con el ecosistema y los cuales no tendrían importancia si no fuera por el uso que le imprime la sociedad (Latterra et al., 2005; MEA, 2005).

Todos los ecosistemas proveen un abanico de servicios que han adquirido interés por parte de investigadores y tomadores de decisiones. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, ver Tabla 1) es un documento publicado en 2005 por 1,300 científicos con el fin de incluir los SE en la agenda de los hacedores de política pública. Desde su publicación se han desencadenado otras iniciativas para la identificación y clasificación de SE, como el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas llamada *Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad* (TEEB), la *Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas* (CICES), entre otras (Liquete, et al., 2011; Costanza et al., 2014; Jacobs et al., 2015).

De acuerdo con Haines-Young y Potschin (2018) categorizar y describir SE es la base para medir, mapear o valorarlos; clarificar sus metodologías, y promueve la comunicación de sus resultados y análisis. Liquete y colaboradores (2011) mencionan que para caracterizar y comunicar los SE es necesario la aplicación de multi-ciencia, es decir, la integración de las

ciencias físicas, químicas, geológicas, bioquímicas y socioeconómicas con un enfoque transdisciplinario. Las investigaciones disciplinarias -consideran los autores- limitan la comprensión de los procesos que afectan al ecosistema de interés.

Tabla 1. Descripción de los listados internacionales de servicios ecosistémicos (SE).

Listado de SE	Año de publicación	Descripción general
Millennium Ecosystem Assessment (MEA)	2005	Es la primera referencia para medir el cambio de los ecosistemas, sus causas y cómo estas variaciones afectan el bienestar humano. Clasifica los SE en cuatro funciones: provisión, regulación, soporte y cultura. Una de sus principales interrogantes es cómo estos cambios afectaran el bienestar de las generaciones futuras y cuáles son las opciones para enfrentar dichos efectos.
Rudolf De Groot	2006	Propone un marco integrado para el estudio de SE y los beneficios socio-ecológicos de los ecosistemas y el paisaje que puede ser aplicado a cualquier escala y ecosistema en tres etapas: (1) análisis de la complejidad ecológica traducida en bienes y servicios naturales; (2) proceso de valoración ecológica, sociocultural y económica; y (3) análisis de conflictos que integra a los tomadores de decisiones para la resolución de disyuntivas entre los SE y el aporte de sus beneficios. Presenta un listado de SE de los ecosistemas del mundo.
Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)	2009	Considera que debe haber un sistema estadístico comparativo que permita la homologación de los SE entre países, principalmente si dichos servicios tienen aplicación económica. Su desarrollo ha crecido para unificar métodos de cartografía y valoración económica de SE mediante una descripción ecológica y biológica de la naturaleza.
The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)	2010	En el 2007 los países miembros del G8+5 ¹ propusieron la iniciativa de analizar los beneficios económicos globales provenientes de la diversidad biológica, los costos de su pérdida y las diferencias económicas entre medidas proteccionistas comparados con los costos de la conservación.
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)	2017	Introducen el concepto de SE como “contribuciones de la naturaleza hacia las personas”; reconocen que un mismo SE puede ser considerado en dos o más de las cuatro funciones mencionadas por el MEA (2005).

Fuente: Elaboración propia con información de MEA (2005); De Groot (2006); TEEB (2010); IPBES, (2017);

Haines-Young y Potschin (2018).

B. Mapeo de servicios ecosistémicos

Los manejadores ambientales y los funcionarios públicos toman decisiones basadas en las distribuciones espaciales de los ecosistemas, las especies, los recursos naturales y culturales, así como en las características propias de las regiones paisajísticas a su cargo. Por

¹ También conocido como el G13, es el grupo de los líderes de las naciones del G8 (Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón, Reino Unido y Rusia) más los líderes de 5 de las principales potencias económicas emergentes, el G5 (Brasil, China, India, México y Sudáfrica).

lo tanto, la cartografía de SE es una herramienta fundamental para ellos. Los mapas de SE tienen las características y ventajas de 1) enfocarse en los procesos y funciones de los ecosistemas para reflejar su complejidad; 2) mostrar información clara y comprensible de los sistemas ecológicos y sociales para análisis relativamente rápidos; y 3) no requieren estructuras de gestión muy desarrolladas ni fondos financieros muy grandes (Liquete et al. 2011).

Desde la perspectiva de planeación del territorio, las actividades humanas se realizan en extensiones que adquieren complejidad cuando los usuarios compiten o colaboran para el mejor uso y la conservación de uno o varios recursos naturales (Sandoval, 2014).

De acuerdo a Grizzetti y colaboradores (2015) el mejor análisis espacial para la planeación territorial es el que se usa en los ecosistemas acuáticos, entendidos como aquellos que poseen cuerpos de agua dulce o salobre de manera superficial o subterránea. En su análisis sobre la Unión Europea, los autores determinaron nueve SE acuáticos (suministro de agua para actividades productivas, agua potable, provisión de alimento, purificación del agua, prevención de la erosión, protección contra inundaciones, hábitat para crianza y desarrollo de especies, secuestro de carbono y servicios recreativos) en tres escalas espaciales como se muestra en la Ilustración 3.

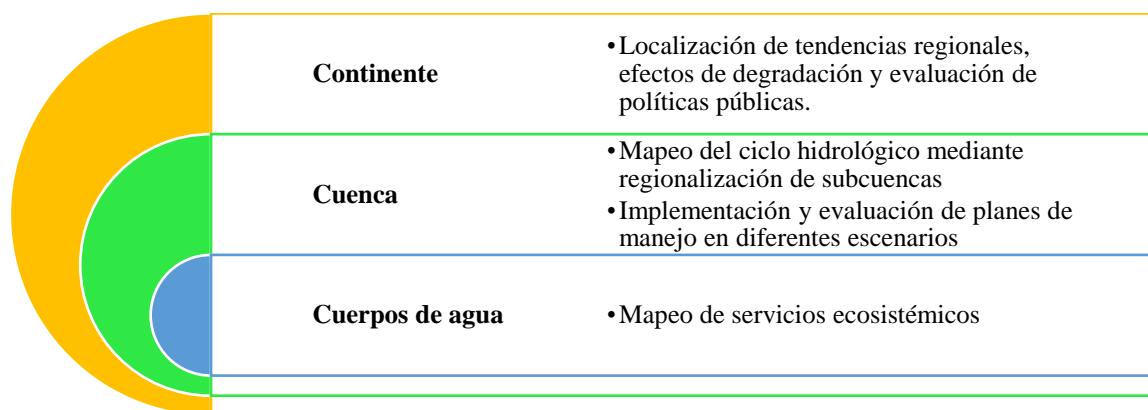


Ilustración 3. Propuesta de análisis espacial de los SE en la Unión Europea desde el enfoque de ecosistémica acuático. Fuente: Elaboración propia con base en Grizzetti et al. (2015).

De manera paralela, en otros países persisten iniciativas para identificar metodologías de análisis espacial con el fin de registrar y evaluar los cambios en los ecosistemas. El proyecto de *Contabilidad de Capital Natural y Valoración de los Servicios Ecosistémicos*

(aplicado en México, Brasil China, India y Sudáfrica) tiene el propósito de mejorar la medición de los ecosistemas y sus servicios en términos físicos y monetarios, incorpora la biodiversidad y los ecosistemas en la planificación y aplicación de políticas, así como el contribuir al desarrollo de una metodología acordada internacionalmente (SEEA, 2018).

En Rusia se trabaja la fase piloto del proyecto TEEB *Prototipo de Informe Nacional sobre Servicios Ecosistémicos de Rusia, Volumen 1, Servicios de los Ecosistemas Terrestres*. En este se desarrolló una metodología para la evaluación de los SE que considera las divisiones administrativas de la Federación Rusa, así como la cantidad de servicios de aprovisionamiento y regulación (Bukvareva et al., 2019).

Dichas metodologías internacionales tienen la ventaja de ser aplicables a diferentes criterios y escalas: administrativas (país, región, estados o municipalidades) o espaciales (regiones paisajísticas, ecosistemas, cuencas) y demuestran su utilidad y versatilidad para diferentes casos de estudio.

C. Valoración económica de servicios ecosistémicos

Muchas veces las características naturales de un territorio son consideradas como descriptores, y no se integran en el proceso de planeación territorial y desarrollo como variables económicas, resultando en el manejo inadecuado de los recursos naturales (De Groot et al., 2006; Leyva y Espejel, 2017).

En concreto, la valoración económica es el proceso de asignar un valor monetario a los bienes y servicios el cual es aplicable a los recursos naturales. Lo que se busca es determinar el valor económico total del ecosistema, el cual está conformado por varios tipos de valores como se muestra en la Ilustración 4.

La valoración económica de SE brinda información que permite identificar costos y beneficios monetarios relacionados con los impactos al ambiente durante la ejecución de planes, programas o proyectos en el territorio; además de que suministra evidencias y argumentos para convencer a los encargados de la toma de decisiones sobre la necesidad de enfocar los objetivos de planeación en el cuidado de los ecosistemas (Galán et al., 2012).

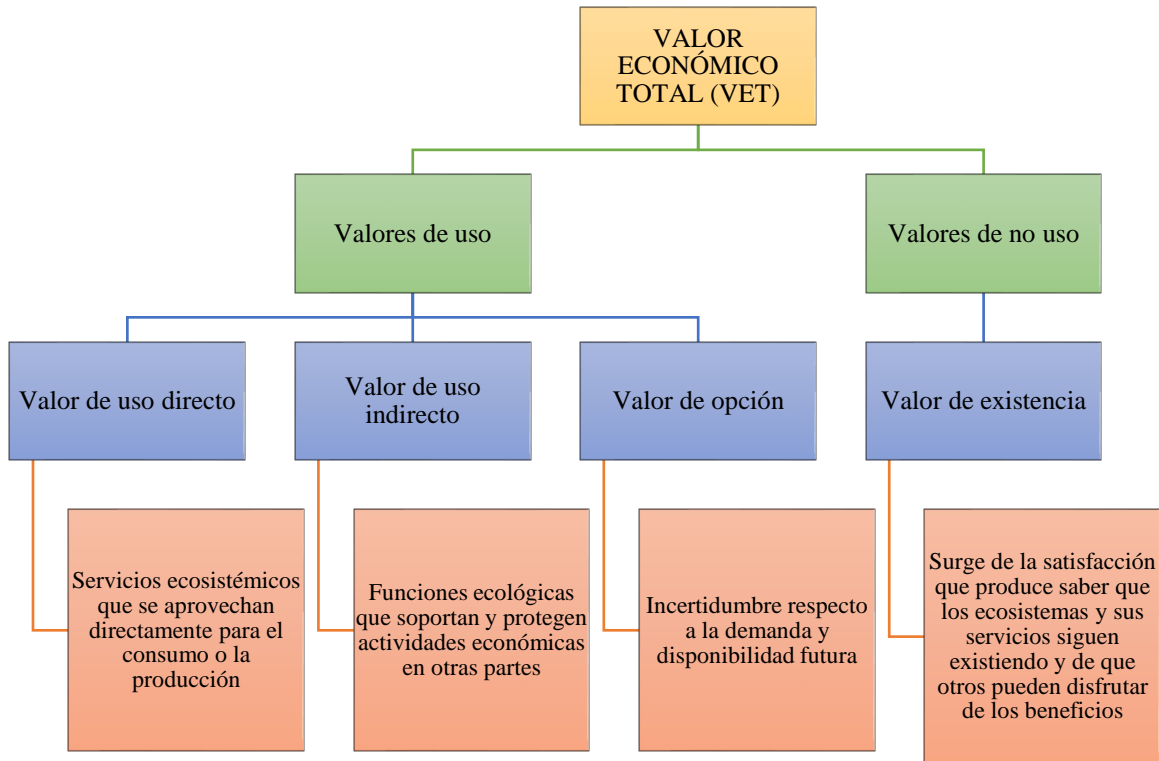


Ilustración 4. Valoración económica total de los ecosistemas. Fuente: Tomado de Galán et al., (2012, p.74).

Los resultados de estos procesos métricos son representados monetariamente, por lo que es común confundir si la información obtenida es un valor, o un precio (Lattera et al., 2015).

El precio y el valor son dos conceptos utilizados equivocadamente como sinónimos pero que, desde la perspectiva económica, son diferentes. Samuelson y Nordhaus (2006) rescatan la *paradoja del valor* planteada en 1766 por Adam Smith en *La Riqueza de las Naciones*:

“Nada es más útil que el agua, pero su valor es escaso para intercambiarlo por otros bienes. En cambio, el valor del diamante es casi nulo, pero una gran cantidad de bienes son intercambiados por ellos”.²

Siendo así, Samuelson y Nordhaus (2006) definen que el valor es un término utilizado para referirse a la importancia del uso de los bienes y servicios disponibles en el mercado, mientras que el concepto de precio lo precisan como su costo expresado en términos monetarios.

² Samuelson & Nordhaus (2006) p. 93

Farreras (2014) menciona que la identificación de los bienes y servicios que brinda un ecosistema afecta directamente el bienestar de la sociedad y, por consiguiente, dichos servicios tienen un valor que es conveniente cuantificar para su manejo.

Pero el reconocer que un servicio ecosistémico es importante por los beneficios que brinda a la sociedad y a la economía, es tan sólo el primer paso para su valoración económica (Costanza et al., 2017).

El segundo paso, sería obtener información sobre los costos y beneficios monetarios relacionados con los impactos negativos y positivos al ambiente, información útil para incorporarse en los planes, programas o proyectos de ordenamiento territorial y suministrar argumentos convincentes para que los tomadores de decisiones se enfoquen en el cuidado de los ecosistemas, y no solo en el desarrollo económico (Galán et al., 2012).

Muchas veces, en el manejo de ecosistemas, el concepto de servicios ambientales es utilizado como sinónimo de servicios ecosistémicos. Sin embargo, los SE existen en los ecosistemas naturales y no requieren de los factores de capital para proveer los beneficios de su funcionamiento, al no haber sido transformados. En cambio, los servicios ambientales necesitan inversión de capital para su existencia (como la creación de campos agrícolas, granjas pesqueras, áreas forestales) y el monto de mantenimiento del servicio ambiental deberá ser restado en los cálculos para valorizar la prestación del servicio como un costo (Burkhard et al., 2015; Jacobs et al., 2015; Espejel et al., 2016).

Costanza y colaboradores (2014) mencionan que los SE son la contribución relativa del capital natural al bienestar humano, aunque no fluyen de manera directa, sino sólo a través de la interacción con las otras formas de capital: como el capital social y el capital construido (entorno construido). Sin embargo, persiste el desafío para evaluar la contribución efectiva del capital natural en esta interacción, y equilibrar los activos para mejorar el bienestar humano sostenible.

Varios autores (Burkhard et al., 2014; Costanza et al., 2014; Jacobs et al., 2015; Rova et al., 2018; O'Higgins et al., 2019) asignan características económicas a los SE partiendo del concepto de mercado de competencia perfecta (ver Anexo 1) y los asemejan a bienes públicos o cuasi-públicos.

Los bienes públicos, se definen como todos aquellos bienes que no cumplen con los principios de exclusividad y rivalidad en el consumo. La exclusividad establece la posibilidad

de excluir o incluir a los consumidores en el aprovechamiento de un producto; mientras que la rivalidad implica que el consumo por parte de un individuo, restringe el consumo de otros (Miller y Meiners, 1990; Varian, 1999; Labandeira, León y Vázquez, 2007).

Los SE definen como bienes públicos ya que en su mayoría, no cumplen con ambos principios; de hacerlo, se considerarían bienes privados. Sin embargo, en ocasiones ocurre que en el contexto del sistema socioecológico, el SE cumple con sólo uno de estos principios, por lo que se considera como un bien cuasi-público (Labandeira, León y Vázquez, 2007; Enríquez, 2008).

Las funciones del medio ambiente en la economía tienen un carácter finito, por lo que su uso hace que las funciones ambientales sean más escasas, partiendo del supuesto que su precio relativo (valor) tendría que aumentar proporcionalmente (a menos recursos, mayor precio). Aunque esta analogía económica proviene del análisis de mercados, se considera que la valoración en unidades monetarias de los recursos naturales y los SE, con el fin de privatizarlos para el comercio, es una idea errónea. El análisis de mercados es útil para el entendimiento del ecosistema, y el comportamiento en la toma de decisiones de los usuarios que demandan sus servicios mediante la teoría de los excedentes de los consumidores, los productores y su influencia en los precios de mercado (Labandeira, León y Vázquez; 2007).

Pero en la realidad, la asignación de recursos falla en el mercado de competencia perfecta (ver anexo 1), ya sea porque no existen mercados o precios definidos para los recursos naturales, o su valor no queda reflejado en la demanda de las funciones ambientales (Miller y Meiners, 1990; Labandeira, León y Vázquez; 2007).

El entendimiento de estas fallas es crucial para que, de manera informada, los tomadores de decisiones formulen las medidas, políticas o esquemas de gestión que incorporen el funcionamiento de los ecosistemas y sus beneficios en el manejo de recursos naturales (SEEA, 2018).

Todos los conceptos explicados anteriormente son más claramente entendidos cuando se ejemplifican en un caso, como lo es en un sistema social y ecológico de una subcuenca en el noroeste semiárido de México.

D. Caso de estudio: la subcuenca Guadalupe

El estudio de las cuencas en climas áridos y semiáridos son temas especialmente importantes porque el imaginario colectivo considera a estos climas improductivos ya que el agua del sistema no es perceptible a simple vista. En estas zonas, el recurso puede encontrarse subterráneo; en forma de brisa, rocío y niebla; en las raíces y tallos de las plantas adaptadas a la aridez (Walker, 1979).

La administración de los recursos hídricos en México, tanto superficiales como subterráneos, se encuentra dirigido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) mediante regiones hidrológico administrativas, regiones hidrológicas, cuencas, subcuencas y acuíferos (Ilustración 5). Se considera que la gestión por cuencas representa el instrumento de gestión ambiental de México que satisface la mayor cantidad de atributos de los SSE (Ilustración 2).

El sistema jerárquico de la cuenca donde se ubica el área de estudio corresponde la Región Hidrológica 01 Tijuana-Maneadero, ubicada en el estado de Baja California, México (Ilustración 6). Esta cuenca de 8,904.57 km² pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, dividida en seis subcuencas que abarcan los municipios de Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y Ensenada.

La subcuenca Guadalupe se ubica en el medio de la Región Hidrológica, tiene una extensión aproximada de 2,400 km² y un perímetro de 360 km; el cauce principal es el arroyo Guadalupe que nace en la Sierra Juárez a una altura mayor a 1,700 msnm con una longitud aproximada de 172 km y con una dirección de escurrimientos -en general- de este a oeste. La corriente principal en su origen recibe el nombre El Sauz, cambiando de nombre a lo largo de la subcuenca (INEGI, 2016).

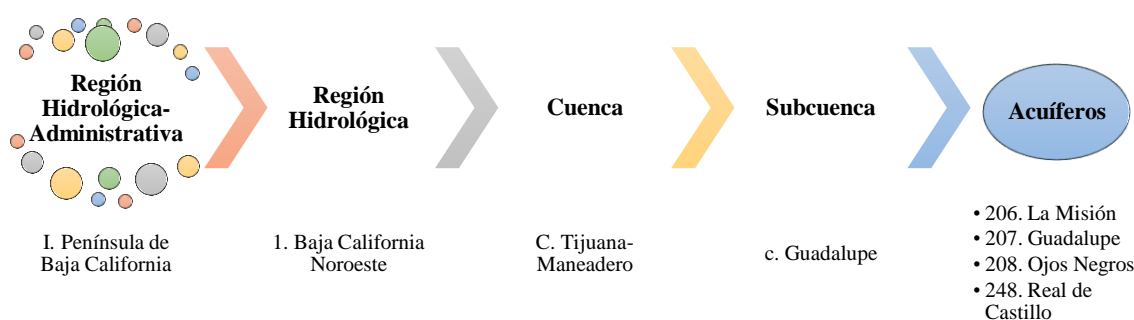


Ilustración 5. Esquema jerárquico de la administración de los recursos hídricos: subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA (2015).

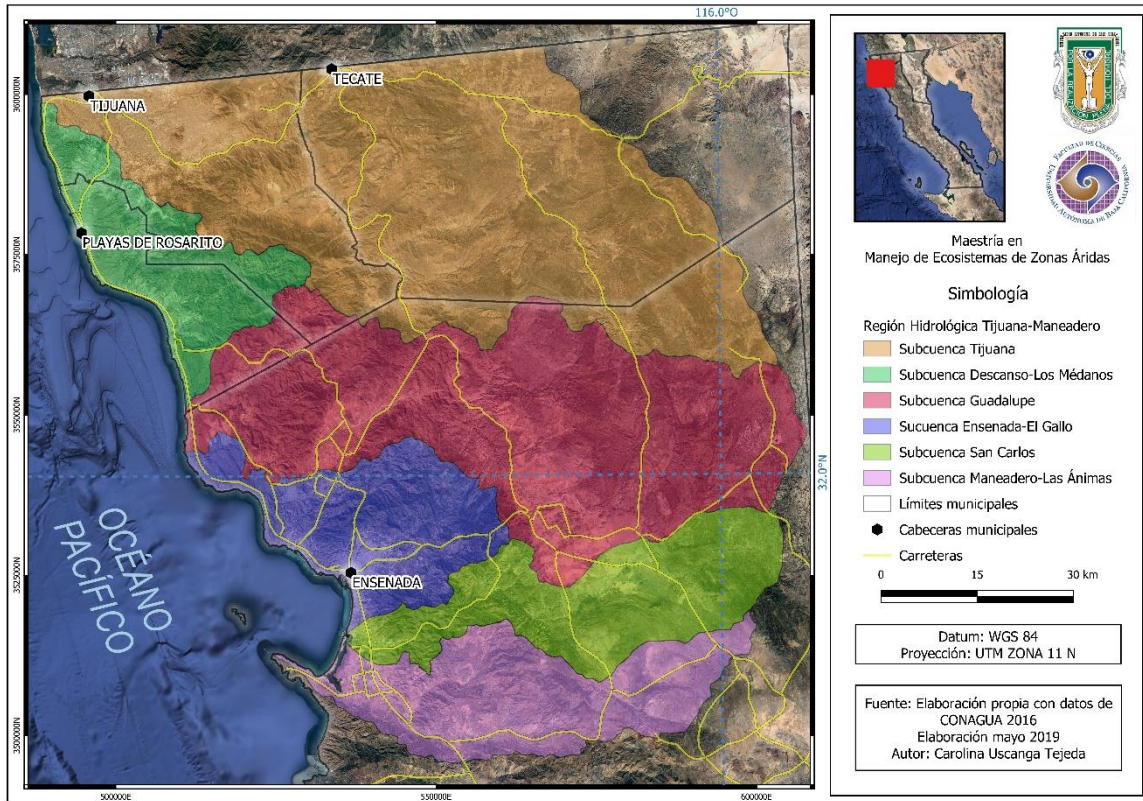


Ilustración 6. Región Hidrológica 01 Cuenca Tijuana-Maneadero.

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA 2016).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2016), las cuencas se dividen en zonas funcionales definidas por el origen de las escorrentías superficiales (zona alta); las áreas que al disminuir la pendiente permiten la recarga de acuíferos (zona media) y la zona baja, que generalmente se caracteriza por ser un área de descarga de agua.

En esta subcuenca (Ilustración 7), la zona funcional alta se caracteriza por una franja con dirección de norte a sur en el extremo este de la subcuenca en altitudes que van de 1,800 a 900 msnm y una superficie de 1,070 km² (aproximadamente el 46% de la subcuenca), donde predominan lomeríos escarpados, sierras, valles intermontanos, bajadas y mesetas; suelos poco profundos de tipo regosol y feozem. El clima es templado subhúmedo por lo que se desarrollan comunidades vegetales de chaparral y bosque de pino. El parque Nacional Constitución de 1857 protege una porción del área terrestre prioritaria de la Sierra de Juárez (RTP-12). En toda la zona funcional alta se realizan actividades eco-turísticas y de *off road*

con vehículos tipo “todo terreno”; así como silvicultura y manejo de fuego. Dentro de la sierra se localizan algunas rancherías, destaca el poblado de La Huerta, un asentamiento de la comunidad indígena Kumiai ubicado en el nacimiento de la cadena montañosa (Arriaga, 2009; Tapia-Landeros y Grijalva, 2012; Miguel, 2014; INEGI, 2016).

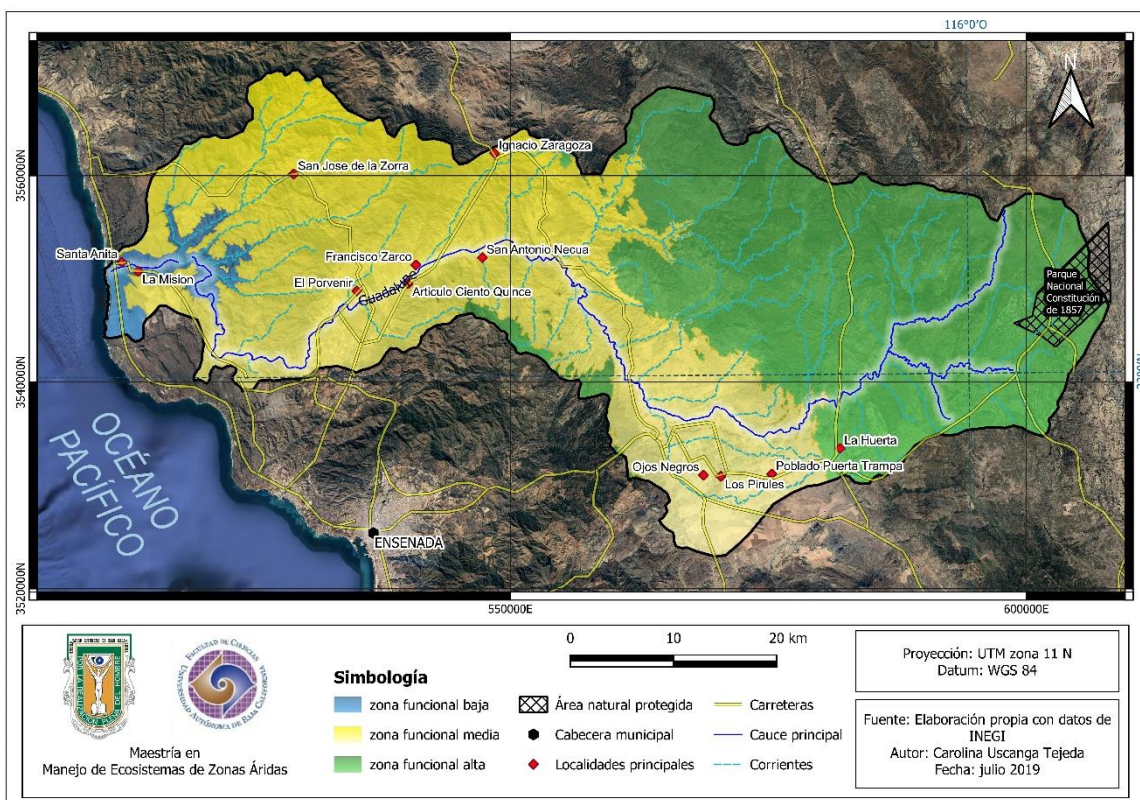


Ilustración 7. Zonas funcionales y localidades de la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2016).

La zona funcional media de la subcuenca Guadalupe comprende de los 900 a 200 msnm, tiene una superficie aproximada de 1,263 km², lo que representa el 53% de la subcuenca. Es una zona caracterizada con sierras altas y bajas, lomeríos escarpados, mesetas, valles y llanuras, depósitos aluviales y suelos poco profundos del tipo planosol y regosol principalmente. El clima es templado subhúmedo en las zonas más elevadas y cambia a mediterráneo mientras se acerca a la costa. La vegetación dominante es chaparral y pastizal inducido; la agricultura es de temporal y de riego anual. Se le considera una zona de

almacenamiento de agua subterránea en sus valles intermontanos: el valle de Ojos Negros y el valle de Guadalupe (INEGI, 2016).

El valle de Ojos Negros se localiza al pie de la Sierra de Juárez, a 700 msnm y su primer asentamiento, Real de Castillo, se originó con el descubrimiento de la minería del oro en 1870. En la actualidad, sus principales actividades económicas son la ganadería y la agricultura de cultivos de forraje, aunque también se producen algunas hortalizas con el uso de invernaderos. A pesar de su cercanía con el arroyo Guadalupe, conector de la subcuenca, este afluente corre únicamente en la época de lluvias invernales, por lo que se ha incurrido en el aprovechamiento del acuífero subyacente como principal fuente de abastecimiento de agua, alcanzando niveles de sobreexplotación (Ponce et al., 2003; 2001; 2000).

Cuenca abajo, a los 400 msnm, se encuentra el valle de Guadalupe conocido por sus actividades de vitivinicultura y turismo enológico como principales motores económicos, además de las actividades del sector comercial, de servicios y ganadería extensiva. Sus inicios como localidad datan a 1834, cuando se fundó la misión dominica de Guadalupe con la que se evangelizó a las comunidades nómadas del área. En la actualidad, los principales poblados son Francisco Zarco y El Porvenir que se encuentran en los litorales del arroyo Guadalupe. En esta zona, se realiza extracción de arena del cauce. Entre los lomeríos al Este que dividen el valle de Guadalupe del valle de Ojos Negros se encuentran las tierras ejidales (ver Ilustración 8) de la comunidad de indígenas Kumiai, San Antonio Nécua, mientras que al norte, ubicado en las serranías que descienden hacia la zona funcional baja de la subcuenca, se localiza la comunidad Kumiai de San José de la Zorra (IMIP, 2010; Leyva y Espejel, 2013; Armenta, 2015; Acosta, 2018; Uscanga, 2018).

La zona funcional baja es considerada desde los 200 msnm a la línea de costa. Cuenta con una superficie de 70 km² (3% de la superficie total de la subcuenca Guadalupe) en la que existen llanuras aluviales, valles y mesetas basálticas, los suelos son de tipo vertisol, fluvisol y feozem y la vegetación es chaparral, matorral rosetófilo costero y agricultura de temporal. En esta zona se ubica un pequeño humedal costero y una playa arenosa como sistema exorreico de la subcuenca Guadalupe hacia el Océano Pacífico. Los asentamientos humanos llegaron con el establecimiento de la misión de San Miguel de la Frontera en 1787, de la que aún existen vestigios en el poblado de La Misión. Actualmente, esta área se caracteriza por las actividades turísticas que atraen a visitantes nacionales y extranjeros para disfrutar del

administrativa en la zona, incluida la cabecera municipal. Como se observó en la Ilustración 8, gran parte del territorio es de propiedad común, con un total de 18 núcleos ejidales pertenecientes en su mayoría al municipio de Ensenada, a excepción del ejido Lázaro Cárdenas que pertenece a Playas de Rosarito y el ejido Carmen Cerdán, adscrito al municipio de Tecate.

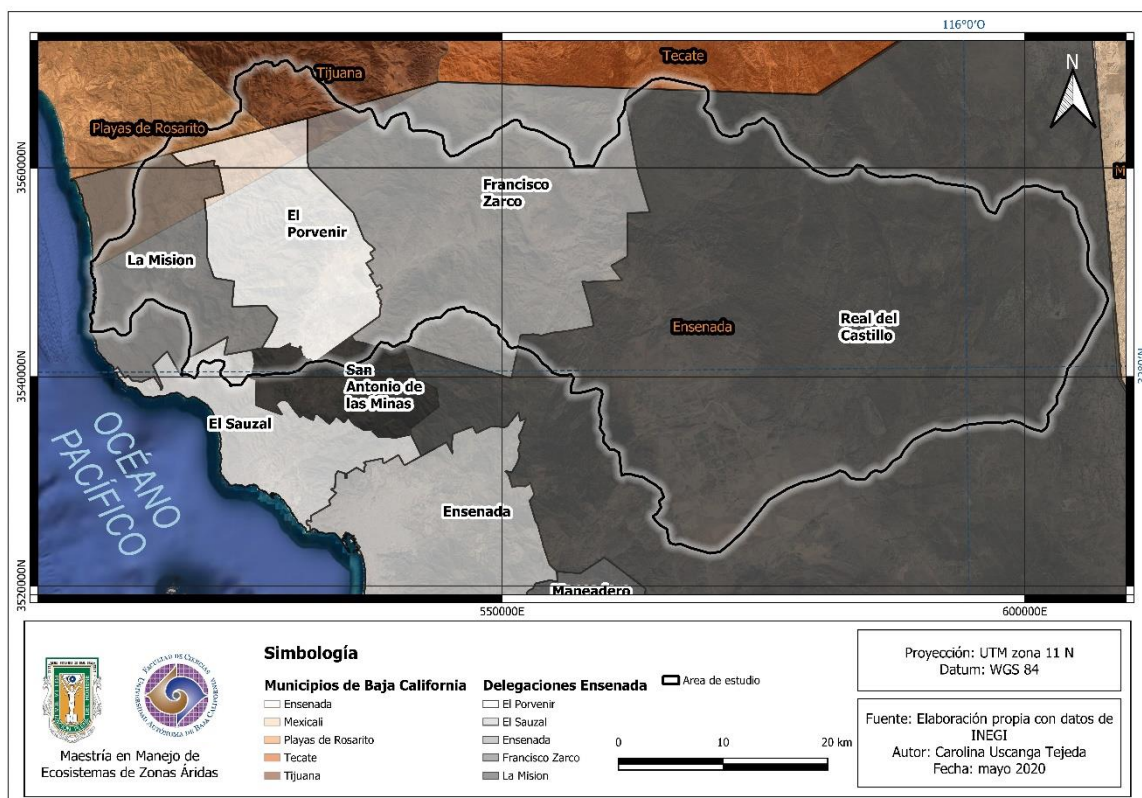


Ilustración 9. Límites municipales y delegacionales de la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.

Fuente: Elaboración propia con datos de IMIP (2010).

Finalmente, la administración de los recursos naturales, como el agua, también ha generado límites en el territorio. La CONAGUA ha regionalizado el territorio nacional para homologar la superficie que corresponde a cada acuífero subyacente. Sin embargo, los criterios para dicha delimitación no son claros. En la Ilustración 10 se muestran los límites para los acuíferos que integran la Subcuenca Guadalupe, y es notable como los polígonos que definen los acuíferos no coinciden con la delimitación de la subcuenca, resultado que era de esperarse ya que los límites de la subcuenca obedecen a criterios del comportamiento del

agua superficial, y los cuales pueden o no coincidir con precisión el comportamiento del agua subterránea (Ilustración 1). A pesar de estas diferencias, se observa que los acuíferos de Ojos Negros, valle de Guadalupe y, en una menor medida, la Misión, se encuentran compartidos con otras subcuencas.

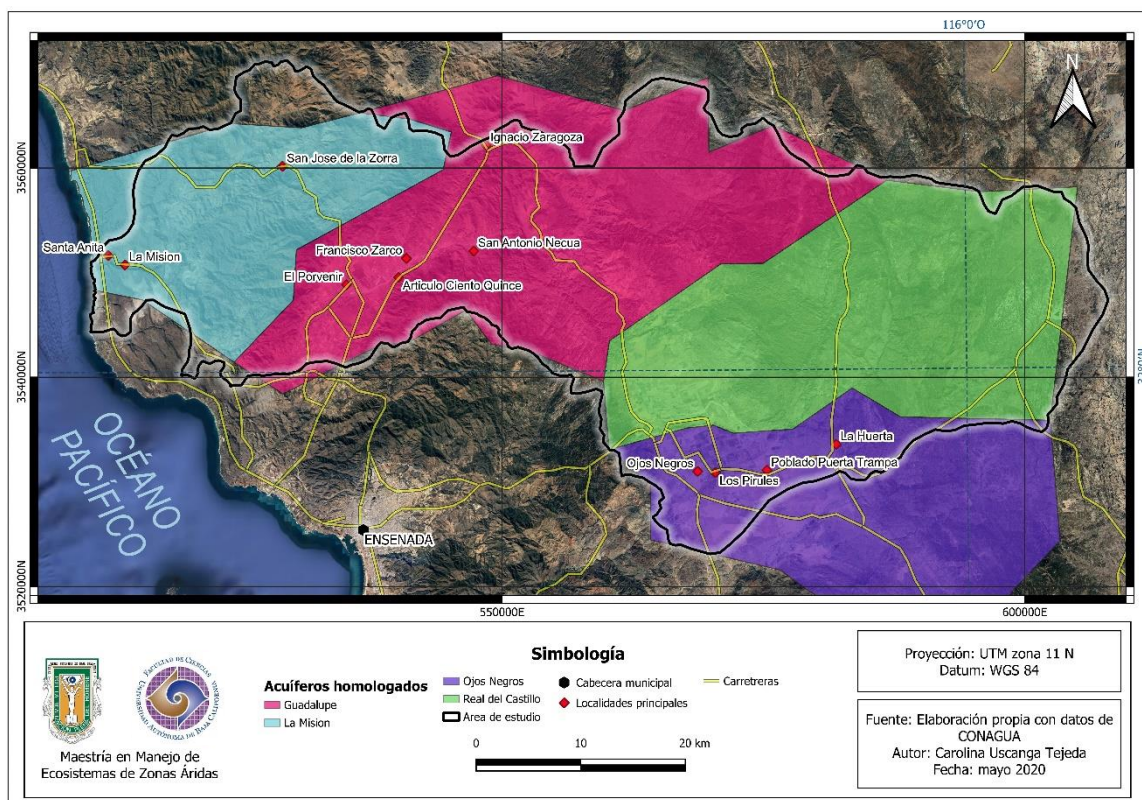


Ilustración 10. Acuíferos homologados subyacentes en la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2017).

En cuanto a planeación territorial, la subcuenca Guadalupe está sujeta a las políticas ecológicas establecidas en el Plan de Ordenamiento Ecológico del estado de Baja California (Ilustración 11, POE-BC; DOEBC, 1995; SPA, 2014); y de manera local (ver *Ilustración 12*) se ejerce el Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor San Antonio de las Minas valle de Guadalupe (POEC-VDG; DOEBC, 2006) y el Programa Sectorial de Desarrollo Urbano -Turístico de los valles vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada, Baja California (PSDUT-VDG; DOEBC, 2010; 2018).

Dichos instrumentos, están basados en la planeación normativa del desarrollo regional, utilizando modelos basados en unidades territoriales homogéneas y de usos potenciales (Sandoval, 2014).

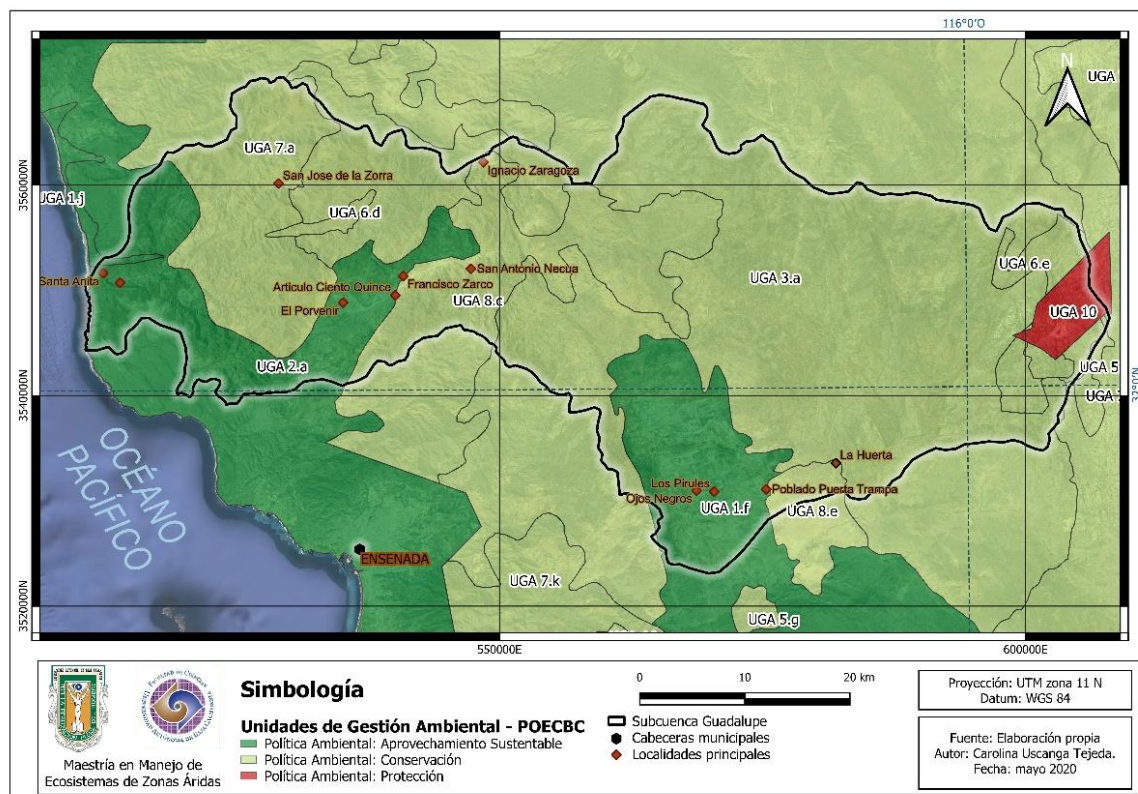


Ilustración 11. Unidades de Gestión Ambiental (UGA) del Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California aplicables en la subcuenca Guadalupe por tipo de política ambiental. Fuente: Elaboración propia con información del POEBC (SPA, 2014).

Dichas metodologías dividen y subdividen el territorio por zonas climáticas, geológicas, clases y tipos fisiológicos, unidades de paisaje, unidades socioeconómico-ambientales y unidades de gestión ambiental (Sandoval, 2014; Villegas, 2014), utilizando estas últimas para definir políticas ambientales de protección, conservación y aprovechamiento sustentable (POE-BC), así como intensidades de aprovechamiento (con impulso o control, de acuerdo al POEC-VDG y el PSDSUT-VDG). Sin embargo, la presión por el crecimiento de los asentamientos humanos es descontrolado, por lo que el deterioro ambiental es continuo (DOF, 2018). protege desde su creación. La integración de una delimitación socio-ecológica, a través de los límites de la subcuenca Guadalupe, busca el equilibrio entre la demanda de servicios ecosistémicos y la oferta que provee el sistema.

Todas estas divisiones político-administrativas dan un panorama sobre la compleja realidad para la toma de decisiones que resulte en el común acuerdo de los intereses que cada límite

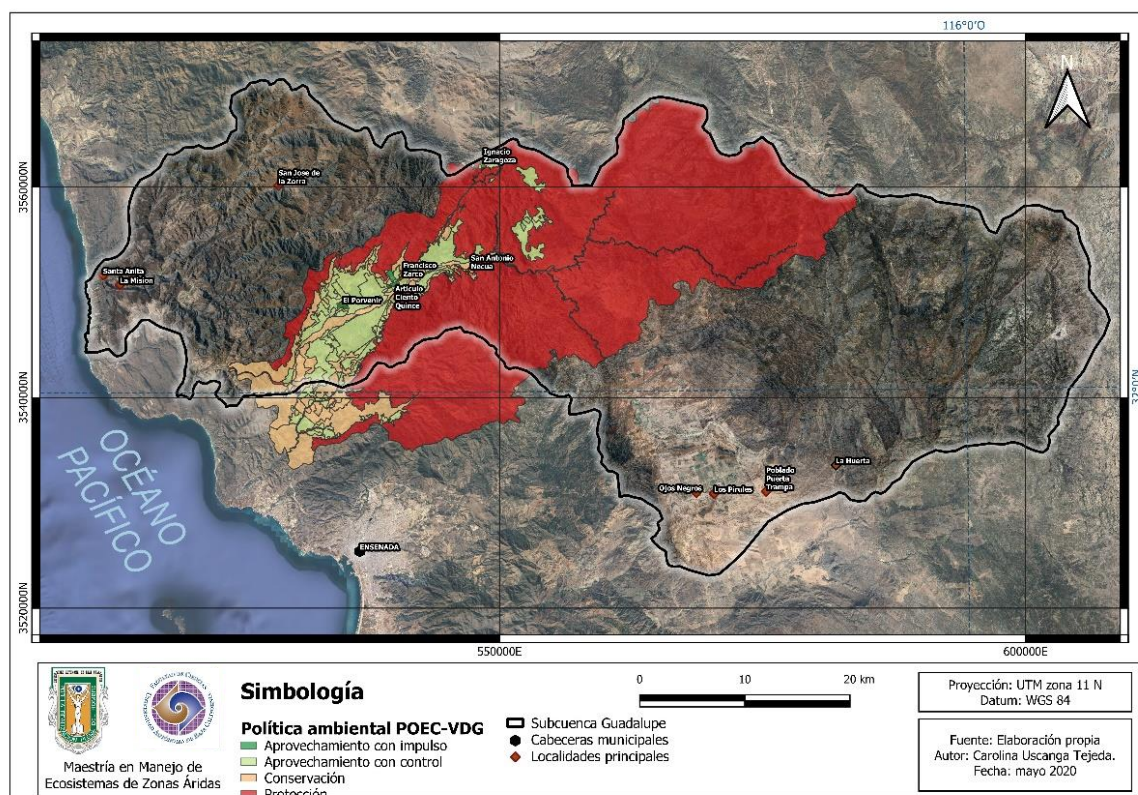


Ilustración 12. Polígono de aplicación del POEC San Antonio de las Minas - valle de Guadalupe de acuerdo a su política ambiental. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010) y IMIP (2010).

En este contexto, la presente investigación propone la identificación, localización y análisis de los SE en la subcuenca Guadalupe, destacando la importancia de los SE y su valor económico desde una perspectiva de sistema socio-ecológico en una zona semiárida. Asimismo se mapean los SE del agua y se ejemplifica el uso de la metodología propuesta en un recurso natural sumamente polémico que es la arena del arroyo para exportación. El estudio está dirigido a los tomadores de decisiones locales para apoyarlos en el mejor manejo de los recursos hídricos, principal limitante natural de la zona.

E. Referencias

- Acosta-Sánchez, M. (2018). Extracción de arena e impacto ambiental en el colector principal de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California. Tesina de Especialidad: Gestión Ambiental.
- Álvarez Morales, P. A. (2010). APROPIACIÓN SOCIAL DEL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO EN VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.
- Armenta, P, F. (2015). Diagnóstico integral del acuífero Guadalupe y recomendaciones para la implementación de reglas operativas de apropiación. Tesis de Especialidad, UABC.
- Arriaga Carrera, L. e. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO. 433-457
- Berkes, F., y Folke, C. (1994). Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. *Linking Social and Ecological Systems*, 1, 13–20.
- Binder, C. R., Hinkel, J., Bots, P. W. G., Pahl, C., Binder, C. R., Hinkel, J., ... Pahl-Wostl, C. (2013). Research, part of a Special Feature on A Framework for Analyzing, Comparing, and Diagnosing Social-Ecological Systems Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18(4), 26. Recuperado de: <https://doi.org/10.5751/ES-05551-180426>
- Bukvareva, E., Zamolodchikov, D., y Grunewald, K. (2019). National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems. *Science of the Total Environment*, 655, 1181–1196. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.286>
- Burkhard, B., Müller, A., Müller, F., Grescho, V., Anh, Q., Arida, G., Bong, S. (2015). Land cover-based ecosystem service assessment of irrigated rice cropping systems in Southeast Asia — an explorative study. *Ecosystem Services*, 14, 76–87. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.05.005>
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L., y Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 6(2), 1–21. Recuperado de: <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/227>
- Comisión Nacional del Agua (2016). Registro Público de Derechos de Agua. Base de datos consultada en abril 2018. Recuperado de : <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Comisión Nacional del Agua. (2015). Atlas del agua en México.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1), 152–158. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- De Groot, R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3–4), 175–186. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.016>

- Enríquez Andrade, R. R. (2008). Introducción al análisis económico de los recursos naturales y del ambiente
- Espejel, I., Díaz, de L. S., Moreno-Casassola, P., Vázquez-González, C. y Hernández, M.E. (2016). Servicios ecosistémicos de los bosques costeros. En P. Moreno-Cassasola (Ed.) Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz. INECOL, ITTO, CONAFOR. INECC. Recuperado de: http://www.inecol.mx/inecol/libros/Servicios_Ecosistémicos_de_las_Selvas_y_Bosques_Costeros_de_Veracruz.pdf
- Farreras, V. (2014). Valoración económica de los efectos de la presión antrópica sobre el pie de monte mendocino. Una aplicación de los experimentos de elección discreta. *Revista FCA UNCUIYO* 46(2) PP. 113-133.
- Galán, C., Balvanera, P., y Castellarini, F. (2012). Políticas públicas hacia la sustentabilidad: integrando la visión ecosistémica. CONABIO, México.
- Grizzetti, A. B., Lanzanova, D., Liqueste, C., y Reyunad, A. (2015). Cook-book for water ecosystem service assessment and valuation. European Commission. Recuperado de: <https://doi.org/10.2788/67661>
- Haines-young, R., y Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services Guidance on the Application.
- Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., Turkelboom, F. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, 9, 191–203. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>
- Instituto Metropolitano de Investigación y planeación de Ensenada (2010). Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor San Antonio de las Minas -valle de Guadalupe.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada. (2010). Programa Sectorial de Desarrollo Urbano-Turístico de los valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), Estado de Baja California. Gobierno Municipal de Ensenada, Gobierno Del Estado de Baja California, FONATUR, SECTUR, IMIP
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tijuana y otras. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). Principales resultados por localidades, ITER. Censo de Población y Vivienda 2020.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2017). Update on the classification of nature’s contributions to people by the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany,.: Fifth session.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., y Schneiders, A. (2015). “The Matrix Reloaded”: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21–30.
- Laterra, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., y Zamora, J. P. (2015). Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina. Recuperado de: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Leyva A., J. C., & Espejel C., M. I. (2013). El valle de Guadalupe: Conjugando Tiempos. Recuperado de: [http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El valle de Guadalupe.pdf](http://webfc.ens.uabc.mx/documentos/El_valle_de_Guadalupe.pdf)

- Leyva, C., y Espejel, I. (Eds.). (2017). Valle de Guadalupe: paisaje en tres tiempos. Universidad Autónoma de Baja California.
- Liehr, S., Röhrig, J., Mehring, M., y Kluge, T. (2017). How the social-ecological systems concept can guide transdisciplinary research and implementation: Addressing water challenges in central northern Namibia. *Sustainability*, 9(7), 1109.
- Liquete, C., Maes, J., Notte, A. La, y Bidoglio, G. (2012). Securing water as a resource for society: an ecosystem services perspective. *Ecohydrology y Hydrobiology*, 11(3–4), 247–259
- Maass, M., y Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. *El Manejo Integral de Cuencas En México: Estudios y Reflexiones Para Orientar La Política Ambiental*, 41–58.
- Miguel, B. A. (2014). Propuesta de Modelo de Indicador de Riesgo Espacial de Incendios a largo plazo: Caso de estudio Sierra de Juárez, 69.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis* Washington (DC) Island Press.
- Periódico Oficial del Estado de Baja California (1995) Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California (Versión Abreviada), Tomo CII, 8 de septiembre, Mexicali, BC
- Periódico Oficial del Estado de Baja California (2006) Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor San Antonio de Las Minas-valle de Guadalupe, Tomo CXIII, Mexicali, Baja California, 8 de septiembre
- Periódico Oficial del Estado de Baja California (2006). Programa de Ordenamiento Ecológico del corredor San Antonio de las Minas-valle de Guadalupe, Tomo CXIII, No.37, Sección II. Mexicali, Baja California, 08 de septiembre. Recuperado de: http://www.spabc.gob.mx/programas_oficiales/programas-ordenamiento-ecologicos/
- Ponce, V. et al. (2001). Manejo Sustentable del Agua en el valle de Ojos Negros, Baja California, México. Grupo de Investigación Ojos Negros, SDSU-UABC-INIFAP, Recuperado de: www.ponce.sdsu.edu/ojos_negros_report_final.html
- Ponce, V. et al. (2003). Tres Problemas de Desarrollo Sustentable en el valle de Ojos Negros, B.C., México. SDSU-UABC-INIFAP-CSIPA. Recuperado de: <http://tresproblemas.sdsu.edu>
- Ponce, V.M, W.R. Zúñiga, F.R. Venegas, T. Gaona, R.O. García, J.I. Sepúlveda y G. Arámburo (2000). Valle de Ojos Negros: Resumen Interdisciplinario. Versión impresa. San Diego State University (SDSU), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), e Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias (INIFAP). Recuperado de : www.ponce.sdsu.edu/resinter01.html y www.ponce.sdsu.edu/resinter02.html
- Proesteros (2013). Inventario de pequeños humedales costeros de la Península de Baja California. Recuperado de: <https://proesteros.org/inventarios/pequenos-humedales/>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (online) Supporting sound ecosystem management. Kenia. Recuperado de : <http://www.unep.org/regions/latin-america-and-caribbean/regional-initiatives/supporting-sound-ecosystem-management>
- Registro Agrario Nacional (2019). Perimetrales núcleos agrarios SHAPE Entidad Federativa Baja California. Recuperado de : <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado--formato-shape>.

- Samuelson, P., y Nordhaus, W. (2006). *Economía*. Decimoctava edición. México, DF.
- Sandoval Escudero, C. (2014). Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. *Serie Desarrollo Territorial de la cepal*, 17, 1-85.
- Secretaría de Protección al Ambiente (2014). **PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO VERSION EXTENSA**, 2014. Gobierno del Estado de Baja California.
- SEMARNAT. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*.
- SEMARNAT. (2017). *Economía y medio ambiente: Reflexión desde el Manejo de Cuencas*.
- System of Environmental Economic Accounting (2018). **NATURAL CAPITAL ACCOUNTING AND VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES PROJECT MEXICO – Country Assessment Report**. United Nations.
- Tapia Landeros, A., & Grijalva, A. (2012). El imaginario colectivo kumiai y sus recursos naturales. *Estudios fronterizos*, 13(25), 131-156.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (Mayo de 2019). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Obtenido de TEEB- Ecosystem Services. Recuperado de: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>
- Uscanga, C. (2018). *Valoración económica del agua en valle de Guadalupe. Tesina de Especialidad: Gestión Ambiental*.
- Villagra, P. E., Meglioli, P. A., Pugnaire, F. I., Vidal, B., Aranibar, J., y Jobbágy, E. (2013). La regulación de la partición del agua en zonas áridas y sus consecuencias en la productividad del ecosistema y disponibilidad de agua para los habitantes. *Servicios Ecosistémicos Hídricos: Estudios de Caso En América Latina y El Caribe*. Valdivia, Chile., 111–125.
- Villegas Rodríguez, E. (2014). Las unidades de planificación y gestión territorial como directriz para la zonificación urbana. *El Ágora USB*, 14(2), 551-581.
- Walker, B.H. (1979) *Management principles for semi-arid ecosystems*. En B.H. Walker . (ed.). *Management of semi-arid ecosystems* (pp. 3-5). Recuperado de: doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41759-6.50017-7>

III. OBJETIVO GENERAL

Mapear y valorar económicamente los servicios ecosistémicos en la subcuenca Guadalupe, Baja California, México.

A. Objetivos específicos.

- Analizar los listados de servicios ecosistémicos e identificar su presencia en la subcuenca Guadalupe.
- Mapear el servicio de provisión de agua subterránea en la subcuenca.
- Valorar económicamente la provisión de arenas como servicio ecosistémico de la subcuenca.

Los objetivos de esta tesis se presentan a manera de resultados en tres capítulos. En conjunto, este trabajo muestra las distintas formas de valorar los servicios ecosistémicos de una subcuenca semiárida. En el primero se identifican 24 servicios ecosistémicos en la subcuenca, posteriormente se cartografió el servicio más importante en zonas áridas: la provisión de agua subterránea y, finalmente se calculó el valor monetario de la arena en los arroyos, recurso natural que es aprovechado mediante minería y que su presencia es fundamental para la provisión de agua subterránea.

CAPÍTULO I. IDENTIFICACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

1.1. Introducción

Gretchen Daily desarrolló el concepto de servicios ecosistémicos (SE) en 1997 al identificar 13 beneficios generales que potencialmente proveen las funciones ambientales de los ecosistemas. Esta idea se utilizó en la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (MEA, 2005) para evaluar las consecuencias del cambio climático en el bienestar humano y establecer la base científica de las medidas necesarias para mejorar la conservación y la utilización sostenible de los ecosistemas.

A partir de la publicación de Daily (1997), otras iniciativas internacionales han generado sus propios listados y catálogos, como el proyecto *Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad* (TEEB, por sus siglas en inglés). Esta es una iniciativa global cuyo objetivo es integrar los valores de la biodiversidad y los SE en la toma de decisiones a nivel internacional, regional, local, público y/o privado. Para lograrlo, proponen un enfoque estructurado de valoración económica de 17 SE que ayude a los responsables de la toma de decisiones a reconocer la amplia gama de beneficios que proporcionan los ecosistemas y la biodiversidad.

Por otro lado, De Groot (2006), concilia la conservación del paisaje con las demandas de uso de los recursos naturales, al presentar un marco para la evaluación integrada de los paisajes naturales y seminaturales, sus SE y el beneficio socioeconómico que generan. Su aportación es un listado con 30 SE aplicables a diferentes escalas, ecosistemas o unidades de paisaje.

En 2009, se creó la *Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas* (CICES) en el contexto de trabajo sobre el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SEEA) con el objetivo de medir, contabilizar y evaluar los SE y el cual ha sido ampliamente utilizado en la investigación para el diseño de indicadores, su mapeo y valoración económica.

En esta clasificación, las categorías de servicios se dividen en los provistos por elementos bióticos y los generados a partir de elementos abióticos; separación que esclarece las funciones de cada componente y permite identificar los posibles servicios que cada especie puede proveer a la sociedad (Haines-Young y Potschin, 2018).

Entre los últimos esfuerzos internacionales por clasificar los SE, se encuentra la *Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas* (IPBES). En 2017, publicaron la lista actualizada de SE con descripciones detalladas para clarificar las características de cada SE.

En el caso de México, el *Proyecto de Contabilidad de Capital Natural y Valoración de los Servicios Ecosistémicos* (NCAVES por sus siglas en inglés) inició en el 2017 y es dirigido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Su fase piloto tuvo como objetivo identificar los estudios de SE en el país, para después proponer metodologías que homologaran su análisis.

En su reporte, presentado a finales del 2018, analizaron 150 estudios que valoraban cuantitativamente los SE en México, con aproximaciones estatales y, en su mayoría, realizados por instituciones académicas en colaboración con diferentes agencias gubernamentales. Los primeros estudios reportados fueron publicados en la década de 1990, pero su auge fue en el decenio del 2000 (ver Ilustración 13). Este fenómeno coincide con el lanzamiento del programa mexicano de *Pago por Servicios Ambientales* (PSA) en 2003 y, posteriormente, en el 2007, con el informe del MEA, por lo que se piensa que dichos estudios fueron investigaciones que tomaron estos eventos como referencia base.

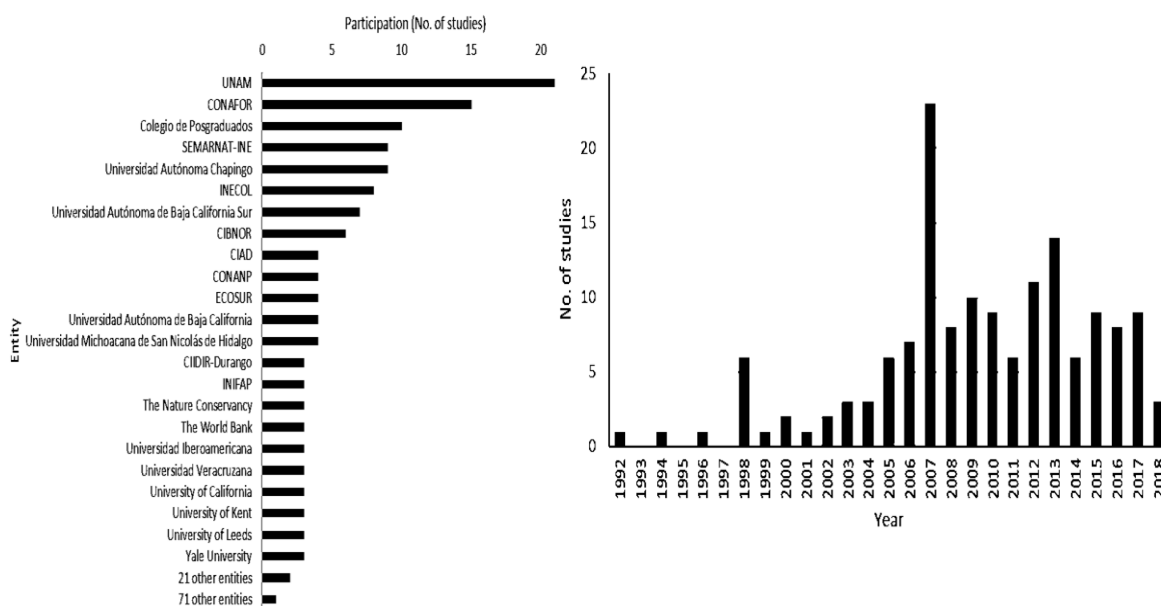


Ilustración 13. Análisis de publicaciones de servicios ecosistémicos en México.

Fuente: Tomado de SEEA, (2018, p.11)

A pesar de los numerosos estudios de SE realizados en México, los agroecosistemas, los matorrales y, en general, las cuencas hidrográficas de las zonas áridas y semiáridas han recibido poca atención en cuanto a los SE que proveen. Aunque el PSA fue creado en el 2003, las zonas áridas no eran consideradas viables para el programa debido a su baja densidad forestal; precepto que cambió en el 2015, cuando la vegetación de matorral se integró en el tabulador de precios para el PSA (Ayala-Niño et al., 2011; DOF, 2015).

Años después, en el 2020, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) publicó la *Revisión de los servicios ecosistémicos en México*, documento con el objetivo de analizar las metodologías utilizadas para la valoración económica de los ecosistemas y sus servicios. En los resultados de su informe, el INECC encontró 189 documentos publicados desde 1990 al 2019, siendo que los ecosistemas más estudiados en México son los bosques (54%), los ecosistemas marino-costeros (como arrecifes, islas, y pastos marinos, 14%) y los manglares (10%); mientras que los matorrales sólo representan el 4% de los documentos encontrados para este informe. En sus conclusiones, se destaca el área de oportunidad que representa el estudio de los ecosistemas áridos en el país, debido a su gran extensión territorial, así como por la ausencia de información sobre los SE que brindan.

De acuerdo con Costanza y colaboradores (2014) la mayor contribución de conocer los servicios de un ecosistema es el entendimiento de la relación entre el ser humano y el resto de la naturaleza, considerando a los individuos, la sociedad, el constructo económico y a los ecosistemas, como un todo.

Siendo así, la identificación de los SE en zonas áridas y semiáridas en México es prioridad para el manejo y conocimiento de sus ecosistemas. En este primer capítulo, se planteó como interrogante cuáles serían los SE en la subcuenca Guadalupe, (ver sección II.D Caso de Estudio: la subcuenca Guadalupe) mediante el uso de alguno de los diferentes listados que existen en la literatura especializada sobre los servicios de los ecosistemas.

El trabajo de Rodríguez-Revelo y colaboradores (2018) fue uno de las primeras investigaciones sobre SE en las playas y dunas costeras de la Península de Baja California, quienes a través de la revisión de la bibliografía disponible sobre el ecosistema identificaron 22 SE. Los autores concluyeron que el servicio de provisión de sedimentos es prioritario para la conservación, ya que se encuentra afectado por la extracción de la arena en los arroyos, lo que merma la formación de las playas y dunas costeras en la península. Por otro lado,

Uscanga (2018) identificó 19 servicios ecosistémicos en el valle de Guadalupe, región vitivinícola de la subcuenca, dándole prioridad a la provisión de agua subterránea, ya que es el SE que sustenta la actividad vitivinícola del valle, considerada como el motor económico de la región y el desarrollo de sus comunidades.

1.2. Metodología

1.2.1. Análisis y selección de listado de servicios ecosistémicos

Con el objetivo de seleccionar el listado de SE más adecuado para clasificar los servicios de una cuenca hidrológica de zona semiárida, se revisaron comparativamente los seis listados disponibles sobre SE, 1) Daily (1997), 2) MEA (2005), 3) De Groot (2006), 4) TEEB (2010), 5) CICES (Haines-Young y Potschin 2018), y 6) IPBES (2017).

Para ello, se analizó la compatibilidad entre los SE por nombre y descripción del beneficio que proveen, así como la ausencia y la presencia de los servicios en cada una de las listas, dando prioridad al listado con mayor compatibilidad y representatividad de los servicios reconocidos en los ecosistemas a nivel internacional.

1.2.2. Identificación de servicios ecosistémicos

Siguiendo a Rodríguez- Revelo et al. (2018), Uscanga (2018) y la propuesta metodológica de Fink (2014) para el análisis documental de la bibliografía, se buscaron todas las investigaciones referentes a la zona de estudio, tomando como palabras clave el nombre de las principales localidades en la subcuenca (Sierra Juárez, Ojos Negros, valle de Guadalupe, La Misión) bajo el supuesto de que las investigaciones de carácter ecológico, social y económico, así como los planes, programas y proyectos gubernamentales, tomarían como referencia la ubicación de las poblaciones cercanas. También se consideraron como palabras de búsqueda, los nombres de las comunidades indígenas de San Antonio Nécua y San José de la Zorra.

La pesquisa se realizó considerando las bases de datos EBSCO y Elsevier (ya que cuentan con una amplia cantidad de revistas multidisciplinarias); los catálogos bibliográficos de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), y del Colegio de la Frontera Norte (COLEF) consideradas instituciones regionales de investigación en la zona de estudio;

y finalmente, en el buscador GOOGLE Académico. Los años de referencia fueron de 1950 al 2018, considerando los años cincuenta como la década más lejana para encontrar documentos digitalizados y el 2018 por ser el año en el que se realizó la búsqueda documental.

Un primer resultado derivó en 172 publicaciones, por lo que, aplicando la metodología de Fink (2014), se analizaron solamente las que mencionaban como área de estudio una porción o el total de la subcuenca Guadalupe. El resultado son 103 documentos que conforman la base de datos documental de esta tesis (ver Anexo 2). Posteriormente, las 103 publicaciones se clasificaron en Excel 2019 de acuerdo a 1) año de publicación, 2) institución de procedencia del primer autor, 3) país, 4) localidades referidas y 5) tipo de servicio ecosistémico o concepto equivalente (recurso natural, beneficio, etc.) ya que el concepto SE aparece en 1997 y se encontraron publicaciones desde 1960, cuando el concepto era inexistente (Ortiz-Lozano, Olivera-Vázquez y Espejel; 2017). La tercera fase, consistió en identificar las interrelaciones entre los servicios ecosistémicos y las localidades principales. Para ello se utilizó un análisis de correlación con el software Excel 2019 en el que se establecieron relaciones de acuerdo al número de publicaciones que mencionaban dicha interacción de servicios ecosistémicos y localidades.

1.3. Resultados

1.3.1. Selección de listado de servicios ecosistémicos

La comparación de la ausencia, presencia o equivalencia de las funciones y los SE de los seis listados analizados, se encuentra en la Tabla 2. En color verde se muestran los servicios que están presentes en todos los listados; en amarillo los que aparecen en al menos tres de los catálogos; y finalmente, en naranja, los nombrados por uno o dos de ellos.

Los listados de Daly en 1997 y el de IPBES en 2016, no utilizan categorías para dividir grupos de SE (como pudieran ser provisión, regulación, información, entre otros) a diferencia del resto de los listados, que sí utilizan estas clasificaciones. Los SE de refugio para especies, la inspiración para el arte y la cultura, la conversión de energía y la provisión de instalaciones para el turismo, han sido reconocidos en iniciativas posteriores al MEA. Además, una particularidad de estos servicios es que una vez reconocidos, los nuevos listados propuestos después también los reconocen como SE.

Tabla 2. Análisis de reconocimiento de los servicios ecosistémicos (SE) por listado analizado.

TIPO SERVICIO ECOSISTÉMICO (SE)	LISTAS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS						
	Daily, 1997	MEA, 2005	De Groot, 2006	CICES, 2010	TEEB, 2010	IPBES, 2016	SUMA
Funciones de producción		X	X		X		3
Alimentos		X	X	X	X	X	5
Oferta de agua	X	X	X		X	X	5
Materias primas	X	X	X	X	X		5
Recursos genéticos	X	X	X				3
Recursos médicos	X	X	X		X	X	5
Recursos ornamentales			X				1
Funciones de regulación		X	X	X	X		4
Regulación de la calidad del aire	X		X	X	X	X	5
Regulación climática	X	X	X	X	X	X	6
Moderación de disturbios	X	X	X	X	X	X	6
Regulación del flujo de agua	X	X	X	X	X	X	6
Tratamiento de desechos	X	X	X	X	X	X	6
Prevención de la erosión		X	X	X	X	X	5
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	X	X	X	X	X	X	6
Polinización	X	X	X		X	X	5
Control biológico	X	X	X		X	X	5
Funciones de hábitat			X		X		2
Servicio de refugio			X	X	X	X	4
Protección del banco de germoplasma	X		X	X	X	X	5
Función de información y cultura		X	X	X	X		4
Información estética	X	X	X	X	X		5
Recreación		X	X	X	X	X	5
Inspiración para la cultura y el arte			X	X	X	X	4
Experiencia espiritual		X	X	X	X		4
Desarrollo cognitivo	X		X	X		X	4
Ciencia y educación		X	X	X		X	4
Funciones de aprovisionamiento			X	X			2
Vivienda	X		X				2
Cultivo	X		X				2
Conversión de energía			X	X		X	3
Minería			X				1
Eliminación de desechos			X				1
Transporte			X				1
Instalaciones turísticas			X		X		2
Otros						X	1
Mantenimiento de opciones						X	1
TOTAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	17	17	30	18	20	20	

Fuente: Elaboración propia con base en los diferentes listados de SE. Nota: Los espacios en blanco indican que el listado en cuestión no posee ese tipo/clase de servicio ecosistémico o su equivalente.

El listado propuesto por De Groot (2006) muestra una diferencia significativa en el número de funciones y clases en relación al resto de propuestas (Ilustración 14), con un total de 30 en comparación con un listado promedio de 18 SE. En general, todas las iniciativas reconocen principalmente cinco SE; el recuento con relación al listado de De Groot muestra que, el mayor número de clases enlistadas es para el SE de regulación (en promedio ocho de nueve), seguido de producción y el de información y cultura (cuatro de seis), las de aprovisionamiento de dos de siete) el SE de hábitat (poco más de uno) y finalmente sólo IPBES (2016) con el mantenimiento de opciones.

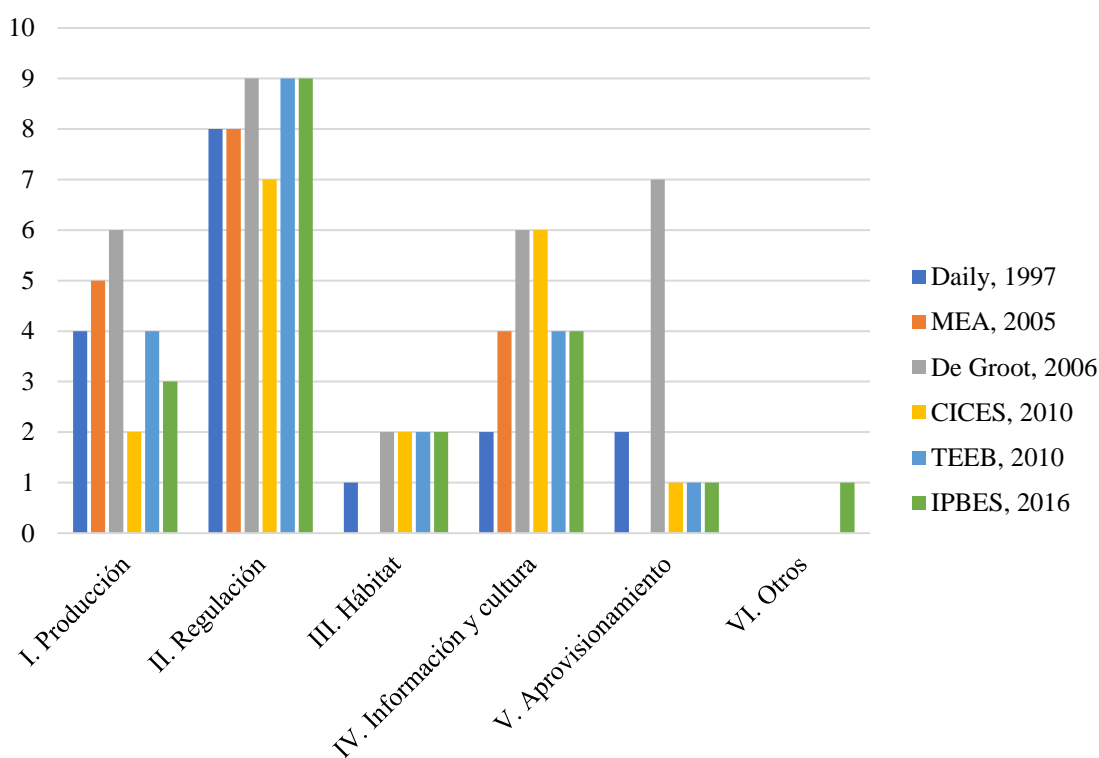


Ilustración 14. Número de servicios ecosistémicos por función y listado revisado.
Fuente: Elaboración propia.

Los SE de refugio para especies, la inspiración para el arte y la cultura, la conversión de energía y la provisión de instalaciones para el turismo, han sido reconocidos en iniciativas posteriores al MEA. Además, una particularidad de estos servicios es que una vez reconocidos, los nuevos listados propuestos después también los reconocen como SE.

Algunos servicios no cumplen con esta particularidad, como es el caso de la provisión de recursos ornamentales, minería, eliminación de desechos y el transporte, servicios que fueron reconocidos por De Groot (2006), y que no han sido validados por otras iniciativas; mientras que el catálogo de IPBES (2016), es el único que reconoce el mantener la opción de uso de la naturaleza como un SE.

Después de esta comparativa, el listado de De Groot (2006) es el más completo para cualquier ecosistema, incluidos los sistemas áridos y semiáridos, ya que cuenta con el mayor número de SE (30) agrupados en cinco tipos de funciones; es compatible en su totalidad con el resto de listados, es decir, cuenta con todos los SE reconocidos por las demás iniciativas, ventaja que reduce la diferencia entre conceptos para la identificación de servicios e integra otros que, aunque no han sido aceptados por las iniciativas internacionales, proponen un reto para demostrar su existencia en la subcuenca Guadalupe. Siendo así, este listado fue seleccionado para el análisis de SE en la subcuenca Guadalupe.

1.3.2. Identificación de los servicios ecosistémicos.

De los 103 documentos encontrados para la subcuenca Guadalupe, 84 de ellos (que representan el 81%), corresponden al sector académico; el 16% son trabajos de diferentes instancias de gobierno (federal, estatal y municipal), y el resto corresponden a reportes técnicos y manifestaciones de impacto ambiental elaboradas por consultorías privadas (ver

Ilustración 15).

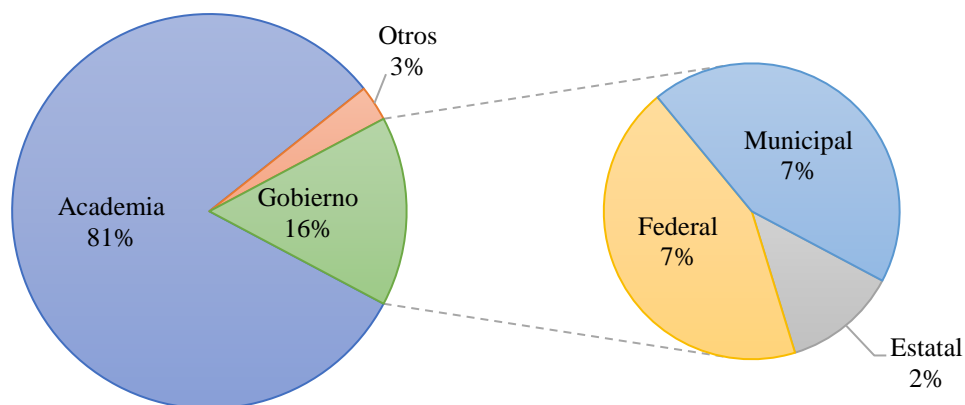


Ilustración 15. Distribución de publicaciones analizadas para la subcuenca Guadalupe por sector.

Fuente: Elaboración propia.

Además, como se muestra en la Ilustración 16, el 44.3% de los estudios publicados se concentran en el valle de Guadalupe, la zona económica más importante de la subcuenca. Para el manejo de datos, se agregó una variable llamada “cuenca”, la cual engloba aquellos trabajos que abarcan extensiones territoriales mayores y en las que el área de estudio quedó inmersa (por ejemplo, estudios sobre la *Región Florística Californiana*, el *clima mediterráneo*, entre otros) y los cuales representan el 18.6% de la literatura consultada.

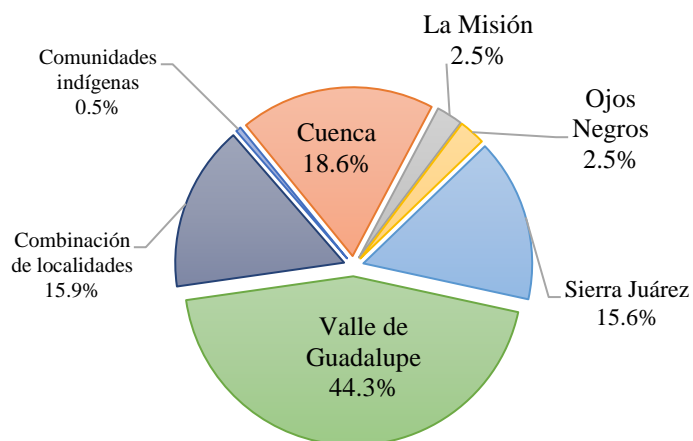


Ilustración 16. Porcentaje de documentos analizados en la subcuenca Guadalupe por localidades.

Fuente: Elaboración propia. Nota: La categoría de combinación de localidades hace referencia a aquellos documentos que establecieron relaciones de SE compartidos entre dos o más localidades de la subcuenca.

Se encontraron estudios publicados desde la década de 1960, (ver Ilustración 17), sin embargo, el área de estudio cobra importancia en materia bibliográfica a partir del 2006. Esto se debe al incremento constante de informes, libros, diagnósticos, entre otros, que buscaron el desarrollo de la industria vinícola, así como en los estudios sobre los beneficios del ecosistema para sustentar esta actividad económica (ver Anexo 2).

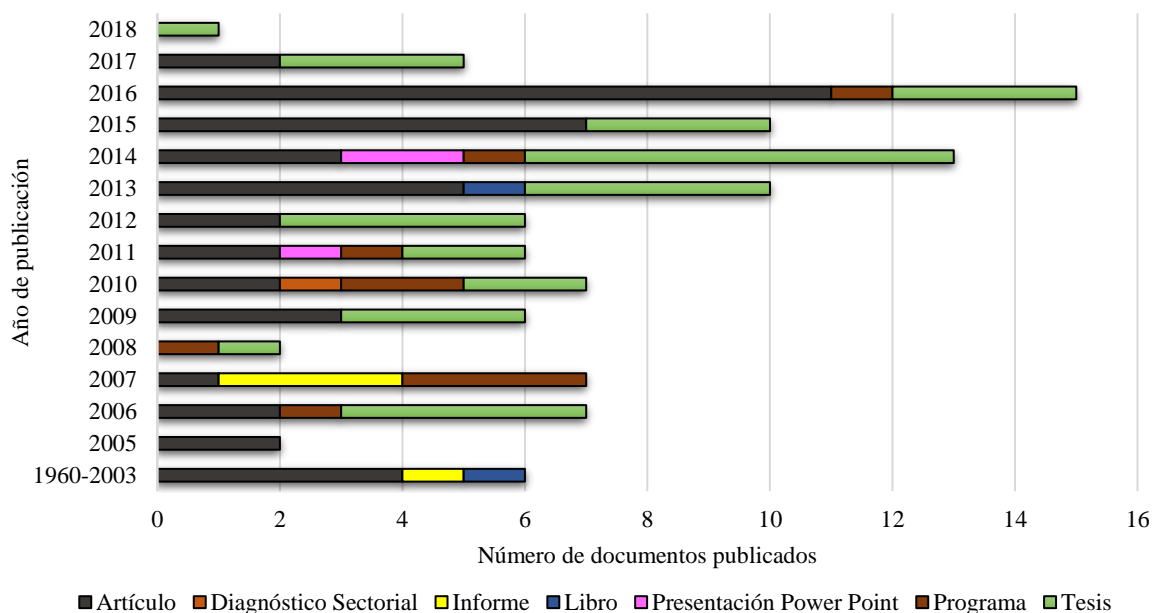


Ilustración 17. Número de publicaciones en la subcuenca Guadalupe por año y tipo de documento.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se describen los 24 SE encontrados en la literatura revisada. Los más relevantes, por el número de publicaciones que los mencionan o hacen referencia a ellos, son: i) aprovisionamiento de condiciones para el cultivo en los valles agrícolas; ii) regulación y suministro de agua por parte de los acuíferos, y iii) servicios culturales y de información por las facilidades que el entorno tiene para generar conocimiento, ciencia y promover la educación.

Entre los SE menos reconocidos en los documentos, se encuentran los servicios de las funciones de provisión, ya sea de recursos ornamentales, materias primas o recursos genéticos. Lo mismo sucede con los SE de regulación como el tratamiento de desechos y la formación de suelos.

Tabla 3. Servicios ecosistémicos reconocidos en la subcuenca Guadalupe.

	Nombre del servicio ecosistémico	Descripción	Número de publicaciones
Provisión	Recursos medicinales	Recolección de plantas para su uso medicinal por comunidades nativas.	5
	Alimento	Uso de plantas, frutos silvestres o semillas en como alimento de comunidades indígenas (encino, jojoba, salvia blanca).	2
	Recursos ornamentales	Uso de cañas, carrizos, juncos y otras especies para la generación de artesanías de ornato como cestas y joyería.	1
	Materias primas	Provisión de materiales para la construcción (madera, arenas) y materiales para la creación de artesanías.	1
	Recursos genéticos	ADN mitocondrial del borrego cimarrón en la Sierra de Juárez para el manejo y conservación para la especie.	1
Regulación	Suministro de agua	Acuíferos como principal fuente agua potable, estudios del ciclo hidrológico en la subcuenca, disponibilidad y volumen de extracción, fuentes artificiales de provisión de agua potable para uso humano y de algunas especies silvestres de fauna.	62
	Regulación de agua	Estudios de humedad relativa, escorrentías, infiltración, dinámica del agua subterránea y estudios hidrológicos.	29
	Moderación de disturbios	Uso de los acuíferos ante sequías extremas, capacidad del vaso principal de la subcuenca ante lluvias extraordinarias.	3
	Regulación de clima	Las partes de la subcuenca y su vegetación interaccionan con los vientos, brisas y neblinas marinas penetran al continente caracterizando el clima seco templado y variando a templado subhúmedo y semifrío subhúmedo en mayores elevaciones.	2
	Regulación de gases de efecto invernadero	Captura de carbono de diferentes especies vegetales.	2
	Regulación de nutrientes	Capacidad del proceso de infiltración para la reducción de agentes contaminantes y regulación de nutrientes de agua residual tratada; propiedades de plantas y bacterias para asimilación de amonio y generación de nitratos.	2
	Tratamiento de desechos	Presencia de hongos ectomicorricos los cuales mantienen y estimulan la absorción y retención de agua y fijación de CO2.	1
Formación de suelo	Referencia al proceso sedimentario y edafológico donde la granulometría favorece el almacenamiento de agua subterránea.	1	
Habitat	Función de refugio	Registro y estudio de diferentes especies de flora (encino, aliso, pino salado, hierba del manso, junco, robles, pino Jeffrey etc., y fauna (ardillas, liebres, mapaches, coyote, codorniz, cuervo, águila real, borrego cimarrón, serpientes, entre otras).	32
Información y cultura	Ciencia y educación	La cuenca como área de estudio para investigaciones académicas sobre el uso de aguas tratadas para riego agrícola, agricultura de precisión, ecología de comunidades, análisis hidrológicos, búsqueda de energía geotérmica, estudios biológicos de conservación, ecología de poblaciones, estudios de paisaje, investigaciones de dinámica fronteriza y desarrollo de comunidades indígenas.	45
	Estética	Los matorrales y chaparrales como elemento paisajístico único a nivel nacional, uso del capital natural y cultural como claves para la conservación del paisaje rural ante la presión de urbanización campestre en diferentes puntos de la subcuenca.	13
	Existencia espiritual o histórica	Estudios de grupos indígenas y migrantes extranjeros, evidencias arqueológicas, estudios históricos de los procesos sociodemográficos y lingüísticos, relación y uso entre el medio natural y las comunidades nativas.	11
	Recreación	Oferta de actividades recreativas como recorridos guiados, senderismo, camping, hoteles, restaurantes, balnearios, comunidades de indígenas nativos, museos, galerías de arte, elaboradores de queso entre otros.	11
	Información cultural y artística	Proceso de producción de vino industrial y artesanal, creación de talleres para el rescate de tradiciones indígenas, historia misional y de la migración rusa como elementos culturales para el desarrollo de la identidad regional.	5
Aprovisionamiento	Cultivo	Producción vitivinícola y su importancia económica; se relaciona también la presencia de cebada y trigo para la ganadería, técnicas de cultivo y riego, producción de hortalizas, cítricos, olivo y otros cultivos mediterráneos.	73
	Vivienda	Características naturales, administrativas, económicas, sociales y políticas de la ubicación de pueblos nativos, misiones, colonias de migrantes y localidades.	43
	Facilidades para el turismo	Se alude a las características naturales, culturales y económicas que permiten el desarrollo de actividades y programas de turismo recreativo, de aventura, cultural, enológico, gastronómico y ecoturismo.	33
	Minería	Extracción de material pétreo en los arroyos con fines comerciales, minería aurífera en la historia de la región.	13
	Conversión de energía	Obtención de leña de los bosques de Sierra Juárez y potencial de energía eólica por la fuerza de sus vientos.	5

Fuente: Elaboración propia.

Considerando que las palabras clave de búsqueda de literatura fueron los nombres de las principales localidades y las comunidades indígenas de la subcuenca (ver Tabla 4), se observa que gran parte se concentran en el estudio del valle de Guadalupe y su conexión con el resto de localidades.

Tabla 4. Número de servicios ecosistémicos compartidos por localidad en la subcuenca Guadalupe.

	La Misión	valle de Guadalupe	Ojos Negros	Sierra Juárez	Comunidades indígenas	Cuenca
La Misión	6					
valle de Guadalupe	10	19				
Ojos Negros	3	7	8			
Sierra Juárez		2	1	15		
Comunidades indígenas					2	
Cuenca						17

Fuente: Elaboración propia.

Además, se realizó un esquema de redes (ver Ilustración 18) para identificar la distribución de los SE. En el lado izquierdo de la ilustración se enlistan las funciones que categorizan -mediante las líneas- a los SE identificados en la subcuenca Guadalupe, ubicados en el centro del gráfico, los cuáles a su vez, se conectan con las localidades del lado derecho, donde fueron identificados en la literatura revisada.

De manera general, los SE provistos por la función de aprovisionamiento han sido los más estudiados en la subcuenca (facilidades para el cultivo, el turismo y la vivienda, marcados con un cuadro amarillo), seguido de los servicios de regulación (regulación y suministro de agua señalados con un cuadro verde oscuro), así como el servicio de hábitat de especies.

Observando el grosor de las líneas que relacionan los SE a las localidades, la región de valle de Guadalupe abarca la mayor cantidad de SE. Los 10 SE mayormente estudiados (regulación de agua, suministro de agua, ciencia y educación, minería, estética, cultivo, recreación, vivienda, facilidades para el turismo y la función de refugio de especies) conectan a las principales localidades de la subcuenca entre sí (a excepción de las comunidades indígenas), por lo que estos servicios conectores se consideran de importancia para el manejo de la subcuenca.

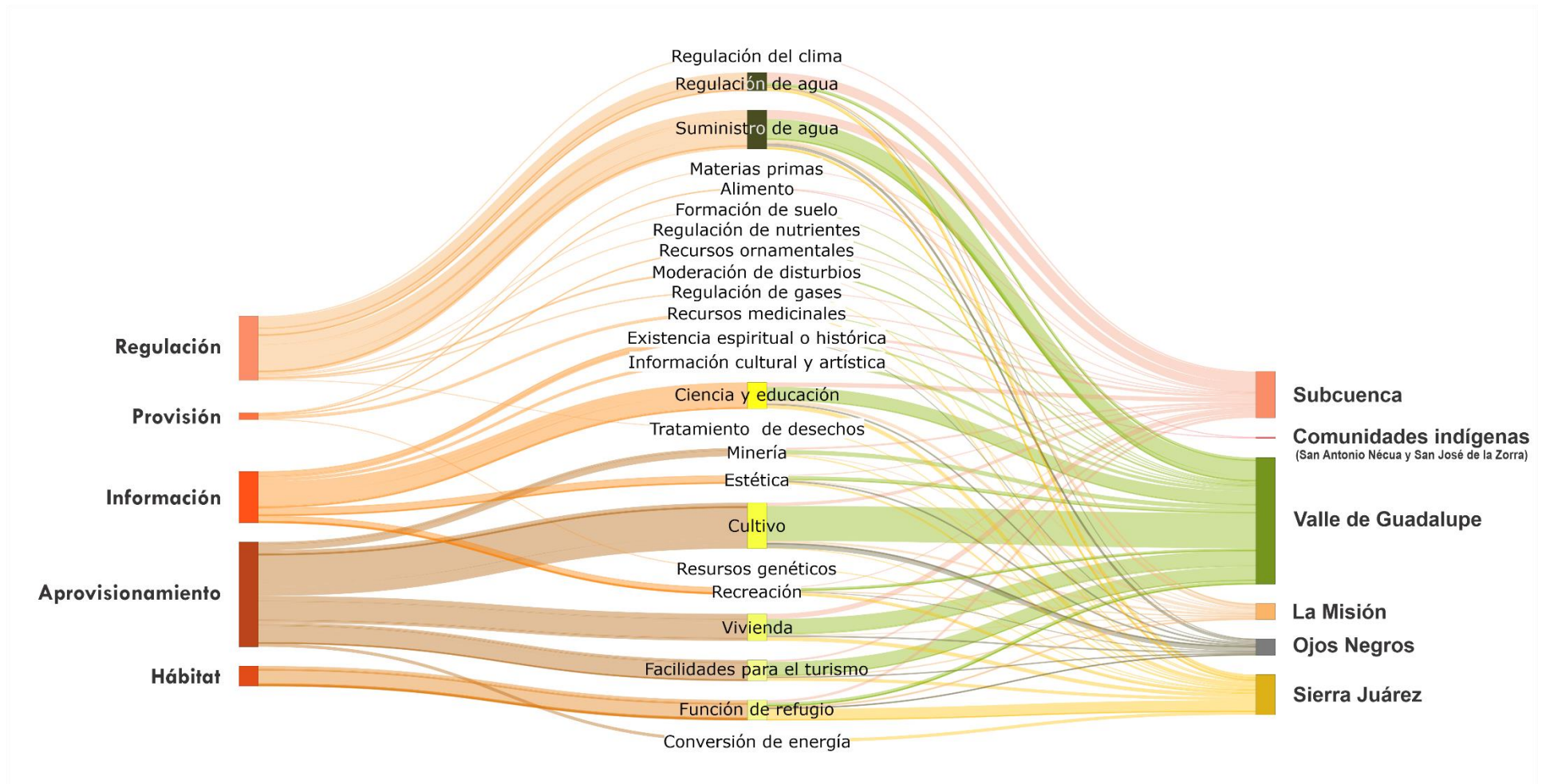


Ilustración 18. Relación de servicios ecosistémicos entre zonas de la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia. Nota: El grosor de las líneas hace referencia al número de documentos analizados para la identificación de los SE.

Los únicos SE identificados en las localidades que habitan las comunidades indígenas son el uso de los elementos naturales de la subcuenca como alimento, así como la conexión espiritual e histórica de las comunidades con el territorio a través de los años.

1.4. Discusión

El objetivo de este primer capítulo corresponde a la identificación de SE en la subcuenca Guadalupe utilizando un listado de servicios, el cual fue seleccionado comparando los listados internacionales más importantes.

En cuanto a la selección de un catálogo de SE, Haines-Young y Potschin (2018) indican los diferentes problemas para su comparabilidad, ya que cada listado de SE fue creado para cumplir con diferentes definiciones y escalas de aproximación, por lo que proponen que los esfuerzos deberían concentrarse en la creación de catálogos que definan los SE de acuerdo con el tipo de ecosistema que se analiza.

Dicha propuesta queda fuera de los objetivos de esta tesis, y al no encontrar listados de servicios ecosistémicos específicos para cuencas hidrográficas semiáridas de clima mediterráneo, se decidió que la lista de De Groot (2006) sería la más adecuada para identificar los servicios que provee la subcuenca Guadalupe. Su ventaja radica en que reconoce 30 SE agrupados en cinco tipos de funciones para cualquier ecosistema, incluyendo las zonas áridas y semiáridas, además de ser compatible en su totalidad con el resto de listados revisados en la literatura académica internacional.

Al realizar el análisis comparativo entre los listados de SE (Tabla 2) también se encontró que las diferencias entre el número y tipo de servicios que cada catálogo reconoce, impactan directamente en la visualización de la importancia y el valor de uso del ecosistema, ya sea porque tengan una perspectiva ecológica, social o económica, como bien mencionan Haines-Young y Potschin (2017). Pero, si estas diferencias se observaran como una oportunidad, el comparar los diferentes catálogos de SE brinda información complementaria que permite conocer de mejor manera las diferentes formas de abordar un SE, como lo mencionan Costanza y colaboradores (2014).

Por ejemplo, el servicio de provisión de agua potable (fresh water supply) es descrito por De Groot como “*provisión de agua para el uso consuntivo*”; para el MEA es “*...un servicio de aprovisionamiento, ya que los ecosistemas son la fuente de agua utilizada por las personas, necesaria para la vida en la Tierra y, por lo tanto, sirve de apoyo a todos los demás procesos de los ecosistemas*”; para el CICES el agua es un SE de aprovisionamiento abiótico superficial o subterráneo utilizado para la nutrición, las materias primas o para la energía; para la iniciativa TEEB el agua es parte de un ciclo, “*...los ecosistemas desempeñan*

un papel vital en el ciclo hidrológico mundial [...] la vegetación y los bosques influyen en la cantidad de agua disponible localmente”; y finalmente, para la iniciativa IPBES, el agua se entiende como un elemento del ecosistema que brinda numerosos SE: regulación de la cantidad del recurso, ubicación y oportunidad del flujo de agua superficial y subterránea utilizada para el consumo humano, el riego, el transporte, la energía hidroeléctrica, entre otros.

Con esta información, es importante la construcción de una definición propia del SE de provisión de agua para la subcuenca Guadalupe: *El agua es un elemento abiótico escaso en la región y con alta variabilidad anual e interanual; proviene del ciclo hidrológico propio de un ecosistema semiárido con influencia marina. El servicio pertenece a la función ecosistémica de provisión, clave para la sobrevivencia de todas las especies que habitan la subcuenca, así como para el consumo humano y la producción agrícola y ganadera. Puede encontrarse de manera superficial (como nieve en las montañas, o en los arroyos en época de lluvias) y atmosférica (neblina y brisa marina), aunque su principal aprovechamiento es de manera subterránea (con su extracción desde los acuíferos). El agua en la subcuenca puede ser dulce (en todo el cauce y acuíferos) o salobre (en la costa).*

La literatura analizada respalda la presencia de los 24 SE encontrados en la subcuenca Guadalupe. Los SE que menciona De Groot (2006) y que no se encontraron en la revisión bibliográfica son: i) prevención de la erosión, entendido como las facilidades que la vegetación y la biota proveen para retener el suelo; ii) polinización, beneficio de la biota para promover el movimiento de gametos florales; 3) control biológico, provisto por las redes tróficas para la regulación de poblaciones; 4) protección del banco de germoplasma, función del hábitat que promueve la reproducción de especies; 5) eliminación de residuos, entendido como la provisión de espacios para la eliminación de residuos sólidos y 6) transporte, que es la facilidad que el ecosistema brinda para conducir personas y cosas de un lugar a otro.

El hecho de que estos servicios ecosistémicos no hayan sido identificados, no significa que los servicios no existan en la subcuenca Guadalupe, ya que la metodología utilizada sólo considera las investigaciones científicas, publicadas en revistas multidisciplinarias, con las palabras claves expresadas anteriormente. Cualquier beneficio no publicado, pero que sea percibido por las personas que habitan la subcuenca, no fue integrado en estos resultados.

Como metodología alternativa, se encontró el estudio realizado por Berg y colaboradores (2017) quienes aplicaron entrevistas semi-estructuradas a los agricultores y productores de arroz del delta del río Makong, Vietnam, preguntando cuáles eran los SE que percibían en el delta, para después priorizar los servicios de acuerdo a los beneficios financieros que percibían en la producción de arroz. Aunque los objetivos y el ecosistema de Berg y colaboradores son diferentes a los de esta tesis, los resultados de este capítulo pudieran ser aún más enriquecedores si se contara con el reconocimiento de lo SE por parte de los habitantes en la subcuenca Guadalupe, así como de su retroalimentación.

En cuanto a las fuentes de consulta de la revisión bibliográfica, los resultados de este capítulo coinciden con los publicados por el SEEA (2018), donde la academia es la base para documentar los SE a través de las investigaciones sobre la relación sociedad-naturaleza.

Aunque los periodos de consulta para ambas revisiones bibliográfica son diferentes (30 años para el SEEA, 70 años para este capítulo), la literatura muestra que desde la publicación del MEA, las investigaciones en materia ambiental incrementaron. En la literatura nacional, el objetivo era brindar elementos sobre los SE para su integración en las políticas públicas. En la subcuenca Guadalupe, el detonador de su estudio fue el Programa de Ordenamiento Ecológico Estatal, publicado en 1995, el cual contempla a las subcuencas de Baja California como la unidad base de la gestión ambiental y territorial, seguido del Programa de Ordenamiento Ecológico del corredor San Antonio de las Minas-valle de Guadalupe, publicado en 2006 donde se reconocen los SE propios de esta región y los cuales fueron elementos determinantes de los usos de suelo de aprovechamiento, conservación y protección, políticas de interés para investigadores académicos, consultores y gobernantes.

Los 24 SE encontrados en la subcuenca Guadalupe están interconectados en todo el sistema; 19 de los mismos ya se habían reportado por Uscanga (2018) en el valle de Guadalupe, que forma parte de la zona funcional media.

Al expandir el área de estudio al resto de la subcuenca, se identificaron cinco servicios más en esta investigación: 1) provisión de recursos genéticos; 2) tratamiento de desechos; 3) regulación de gases de efecto invernadero; 4) estética y 5) conversión de energía. Dichos servicios existen de manera compartida entre las localidades y zonas funcionales de la subcuenca, por lo que se piensa que la investigación de Uscanga (2018) tuvo un corto alcance

para la identificación de SE, al enfocarse exclusivamente en las investigaciones referentes a la zona de valle de Guadalupe.

Como la subcuenca es de una zona semiárida con importante actividad agrícola concentrada en dos áreas, era de esperarse que los servicios con mayor reconocimiento en la literatura fueran los servicios de aprovisionamiento de cultivos y la provisión de agua de los acuíferos (73 y 62 menciones respectivamente).

Con este resultado se confirma el planteamiento de Khosravi y colaboradores (2019), quienes indican que los servicios de aprovisionamiento han sido priorizados en la literatura alrededor del mundo, ya que están positivamente relacionados con la reducción de los indicadores de pobreza, mientras que las acciones para promover el desarrollo en las sociedades rurales y urbanas se basan en la degradación y fragmentación de los ecosistemas, los cuales afectan los servicios de provisión y regulación. Khosravi y colaboradores proponen como estrategia de manejo el estudio y conservación de las áreas que proporcionan mayores niveles de aprovisionamiento y regulación, con el fin de preservar el funcionamiento de los ecosistemas a perpetuidad.

1.5. Conclusiones

El concepto de servicios ecosistémicos es un tema de investigación desde finales del siglo pasado, en el cual la academia internacional coincide en que su estudio aporta elementos para el manejo, conservación y protección del entorno natural en el que se desarrolla el hombre.

Los diferentes listados propuestos a lo largo de los años para su estudio responden a necesidades de investigación diferentes, partiendo desde los elementos bióticos y abióticos del sistema, hasta el estudio de las complejas funciones ecológicas del ecosistema en conjunto.

En este sentido, el análisis presentado en este capítulo muestra el claro enaltecimiento de las funciones de regulación como principal beneficio brindado por cualquier ecosistema, posiblemente debido a la dificultad de sustituir los beneficios de la naturaleza por tecnología

(¿Cómo regular el clima, proveer agua, o prevenir la erosión en las magnitudes y temporalidades en que la naturaleza lo hace, a partir de máquinas, teorías o cálculos?).

En México, el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), funciona como incentivo económico para la conservación de los ecosistemas que proveen altos índices de captura de carbono, regulación de disturbios y regulación del ciclo hidrológico, por mencionar algunos.

En sus inicios, los matorrales de zonas áridas no estaban contemplados en este programa por el “bajo” número de servicios que brindan, sin embargo, en fechas más recientes, se reconoció la importancia de estos ecosistemas en el país, integrándolos como ecosistemas elegibles para el PSA, acción que demuestra la importancia de estos ecosistemas en el territorio nacional.

El poner atención a los SE que proveen todos los ecosistemas, permite comprender de mejor manera las relaciones dinámicas entre los humanos y el medio ambiente, que por su naturaleza de sistema socioecológico, están en movimiento constante a través del tiempo. La identificación, descripción y análisis de los servicios que brinda la naturaleza es prioritario para el manejo de ecosistemas.

Por ello, se concluye que el listado de De Groot (2006) es el ideal para tomarlo como primera referencia en la búsqueda de servicios en un socioecosistema. Además, se recomienda que una vez identificados los servicios, se consulten otras listas con el fin de expandir definiciones, integrar elementos al análisis del socioecosistema y enriquecer el conocimiento del ecosistema en cuestión.

Particularmente en el caso de estudio de la subcuenca Guadalupe, se encontraron 24 servicios ecosistémicos, los cuales se relacionan de acuerdo a la integración de las zonas funcionales de la subcuenca. La zona funcional alta comparte una mayor cantidad de servicios con la zona funcional media; a diferencia de la zona funcional baja, la cual en definitiva se encuentra mayormente relacionada con los servicios y funciones que ocurren en la zona media de la subcuenca.

En la zona funcional media, el valle de Guadalupe es el nodo concentrador de servicios ecosistémicos por su ubicación geográfica, así como por los intereses económicos sobre sus recursos naturales, particularmente en las bondades climáticas y de suelos aptos para el cultivo de vid, así como la función de provisión de agua que sustenta dicha actividad.

Aunque la mayoría de los servicios identificados en toda la subcuenca se ubican espacialmente en la región de valle de Guadalupe, esto no significa que la región es

representativa del socioecosistema. Aunque el manejo de la subcuenca a partir del estudio de este valle es una estrategia tentativa por la riqueza de información con la que cuenta, también representa un gran reto, ya que el manejo de un SE identificado en las tres zonas funcionales puede ser que tenga variaciones en el contexto de su aprovechamiento y las condiciones ecosistémicas propias de cada zona funcional. Por ejemplo, si abordamos las facilidades para el turismo, en el valle de Guadalupe la actividad está centrada en el enoturismo, la cual es muy diferente de la realidad turística que ocurre en el sistema boscoso cuenca arriba, o en turismo del sistema costero donde desemboca la cuenca.

En general para el socioecosistema Guadalupe, los servicios ecosistémicos de facilidades para el cultivo, el turismo y la vivienda son los más estudiados por su importancia económica, y no por la conectividad que brindan en el uso de recursos a la subcuenca, cuyas posibles variaciones afectan a todo el socioecosistema.

Ya que la subcuenca es considerada como un sistema socioecológico (Ilustración 2) donde todos sus SE están interconectados entre sí (Ilustración 18), se considera que el manejo de los diez servicios prioritarios (regulación de agua, suministro de agua, ciencia y educación, minería, estética, cultivo, recreación, vivienda, facilidades para el turismo y la función de refugio de especies) impactaría positivamente al resto de los SE, por lo que promover su desarrollo (funciones de aprovisionamiento), así como su conservación (servicios culturales, de hábitat y de regulación) sería la estrategia propuesta para el manejo de los recursos naturales y los SE de la subcuenca Guadalupe.

Por ser una zona árida, el servicio más importante es el de provisión de agua, pero se encontró que otro servicio importante para la región, y poco estudiado sobre sus afectaciones al ambiente, es la provisión de materiales pétreos. Este servicio ha sido aprovechado mediante minería intensiva en toda la subcuenca afectando el ciclo hidrológico para la provisión de agua subterránea.

De los servicios no encontrados en esta tesis, se espera que como línea de investigación futura se busque información suficiente, ya sea publicada o con estudios de percepción social, que validen su presencia en la subcuenca y puedan ser considerados de importancia para el manejo del socioecosistema Guadalupe.

1.6. Referencias

- Ayala-Niño, F., Espejel, I., y Daesslé, R. E. W. Propuesta de evaluación rápida para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas. *Investigación ambiental. Política y Ciencia* 3(2):18-30.
- Berg, H., Söderholm, A. E., Söderström, A. S., & Tam, N. T. (2017). Recognizing wetland ecosystem services for sustainable rice farming in the Mekong Delta, Vietnam. *Sustainability Science*, 12(1), 137-154.
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1), 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Daily, G. C. (1997). Introduction: What are ecosystem services? En G. C. Daily, *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (pág. 392). Washington: Island Press.
- De Groot, R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 75(3–4), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.016>
- Diario Oficial de la Federación (2014). ACUERDO por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Nacional Forestal 2015. Publicado 28 diciembre 2014.
- Espejel, I., Fischer, D. W., Hinojosa, A., García, C., y Leyva, C. (1999). Land-use planning for the Guadalupe valley, Baja California, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 45(4), 219-232.
- Everard, M., Jones, L., y Watts, B. (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(4), 476–487. <https://doi.org/10.1002/aqc.1114>
- Everard, M., Jones, L., y Watts, B. (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(4), 476–487. <https://doi.org/10.1002/aqc.1114>
- Fink, A. (2014) *Conducting research literature reviews: from the internet to paper*. University of California at Los Angeles, the Langley Research Institute. - Fourth edition.

- Haines-Young, R., y Potschin, M. (2012). Common international classification of ecosystem services (CICES, Version 4.1). European Environment Agency, 33, 107.
- Haines-Young, R., y Potschin, M. (2018). Categorization system: The classification challenge en B. Burkhard y J. Maes (Eds.) Mapping ecosystem services. (pp. 44-47). Sofía, Bulgaria: Pensoft Publishers.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2020). Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2017). Update on the classification of nature's contributions to people by the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany.
- Khosravi Mashizi, A., Heshmati, G. A., Salman Mahini, A. R., y Escobedo, F. J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98(December 2018), 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.065>
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., y Zamora, J. P. (2015). Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC.: Island Press.
- Ortiz-Lozano, L., Olivera-Vázquez, L., y Espejel, I. (2017). Legal protection of ecosystem services provided by marine protected areas in Mexico. *Ocean y Coastal Management*, 138, 101-110.
- Rodríguez-Revelo, N., Espejel, I., García, C. A., Ojeda-Revah, L., & Vázquez, M. A. S. (2018). Environmental services of beaches and coastal sand dunes as a tool for their conservation. In *Beach Management Tools-Concepts, Methodologies and Case Studies* (pp. 75-100). Springer, Cham.
- Sandoval, C. (2014). Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. Santiago, CEPAL. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36967>

System of Environmental Economic Accounting (2018). Natural capital accounting and valuation of ecosystem services project Mexico – Country Assessment Report. United Nations.

The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (Mayo de 2019). The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Obtenido de TEEB- Ecosystem Services: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>

Uscanga, C. (2018). Valoración económica del agua en valle de Guadalupe. Tesis de Especialidad: Gestión Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California.

CAPÍTULO II. MAPEO DE LA PROVISIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

2.1. Introducción

En los procesos de toma de decisiones en materia ambiental, las autoridades y partes interesadas identifican la necesidad de conocer la distribución espacial de las unidades administrativas, los ecosistemas, paisajes, plantas y animales; aunque no todos posean los conocimientos técnicos para cartografiar la información de interés. Debido a esto, pueden recurrir a consultores, estudiantes, e investigadores de otras áreas, para que les ayuden en el análisis de datos espaciales y lograr describir integradamente los territorios marinos y terrestres (Burkhard y Maes, 2017).

Una de las herramientas para hacer lo anterior, son los mapas generados por análisis geoestadístico, que integran información de diversa índole y han sido ampliamente utilizados para los fines de manejo de ecosistemas y diseño de políticas públicas ambientales (Jacobs, Verheyden y Dendoncker, 2017).

Los biomas y ecosistemas proporcionan diversos servicios ecosistémicos (SE), los cuales existen de manera simultánea en el territorio y pueden consumirse dentro o fuera del ecosistema. Al delimitar el espacio geográfico para el manejo de ecosistemas, las fronteras entre SE pueden ser muy difusas, por lo que la aplicación de técnicas en cartografía para el mapeo de SE, adquiere mucho sentido (Maes, 2017).

Desde su experiencia en África, Ghazi y colaboradores (2018) mencionan que la cartografía de los SE ha sido una herramienta importante para estudiar espacialmente los beneficios de la naturaleza hacia las personas, y es útil para gestionar los ecosistemas de forma sostenible, aunque reconocen que hay pocos estudios para las zonas áridas.

Se sabe que la disponibilidad de agua es uno de los factores más importantes de los ecosistemas, ya que a través del ciclo hidrológico, determina su capacidad de proveer SE (UN, 2012; Maass, 2005).

Las regiones áridas y semiáridas, se caracterizan por tener una menor capacidad de respuesta ante la presión sobre los SE, comparándose con las zonas húmedas, debido a la escasez de agua. Aunque la demanda del servicio de provisión de agua sea igual para los socioecosistemas tropicales y áridos, los problemas de abastecimiento se recrudecen en las

zonas áridas, ya que la oferta del recurso hídrico es menor, situación que empeora con las proyecciones de cambio climático, por lo que se busca innovar en la investigación de tecnologías eficientes para el manejo del agua (Khosravi et al., 2019; Walker, 1979).

Al utilizar cuencas hidrográficas como unidad para el manejo del ecosistema, implica que, de manera directa o indirecta, se trabajará con el ciclo hidrológico. En este sentido, existen diferentes enfoques para el manejo hídrico, dependiendo si el manejo está basado en la cantidad y calidad de agua como centro de planeación y manejo (manejo de cuenca); o enfocado en los recursos naturales utilizando el agua como elemento integrador (manejo integrado de cuenca); o centrándose en el ambiente como un todo (manejo sostenible de cuenca), donde el agua se convierte en un elemento estratégico (World Vision, 2004).

Las cuencas hidrográficas están integradas por los siguientes subsistemas: a) biológico, que integra la flora, fauna y cultivos; b) físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima; c) económico, que en términos simples son todas las actividades productivas que realiza el hombre; y d) social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, etcétera. No existe ningún punto de la Tierra que no pertenezca a una cuenca (World Vision, 2004).

En el manejo hídrico, y de cualquier otro recurso natural, es fundamental hacer uso de las herramientas cartográficas para conocer a detalle las interacciones de los Sistemas Sociales y Ecológicos (SSE) que integran a los subsistemas mencionados con anterioridad (Burkhard y Maes, 2017; Maass, 2005; World Vision, 2004; Walker, 1979).

La cartografía de los SE relacionados con el recurso hídrico, como regulación hidrológica o la provisión de agua, es un reto; aunque ya ha sido abordada por varios autores, por ejemplo Ma et al., 2019; Gong et al., 2019; Kim y Arnhold, 2018; Rova et al., 2018; Karabulut et al., 2016).

Para lograrlo, las metodologías utilizadas comúnmente son InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*), SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), entre otras, con resultados para cuencas con flujos de agua superficial, y que son expresados a través de mapas. Dichas metodologías requieren detalles precisos sobre la cantidad de agua que circula en el ecosistema, indicadores de precipitación, evaporación, profundidad del suelo, índices de erosionabilidad, modelos

2.2.2. Mapeo del servicio ecosistémico

Unidades de Respuesta Hidrológica (URH)

La metodología utilizada para cartografiar el servicio de provisión de agua, se basa en la determinación de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH). De acuerdo con Kalcic, Chaubey y Frankenberger (2015), las URH están definidas por todas las combinaciones que existan entre los tipos de vegetación, suelos, geología y pendientes dentro de una cuenca, y las cuales determinan el comportamiento del recurso hídrico (infiltración, escurrimiento, erosión, evapotranspiración, entre otros). Siguiendo a estos autores, se generó un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se sobrepusieron las capas con información temática, shapefiles (ver Ilustración 20 y Tabla 5), disponibles para la subcuenca Guadalupe, provenientes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1987, 2017 y 2018), así como de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017 y 2018).

Modificando la metodología de Kalcic, Chaubey y Frankenberger (2015), se integró la información sobre el tipo de hidrología subterránea y, para simplificar el modelo, se omitieron los datos de pendiente en la generación de las URH, debido a que el gradiente altitudinal de la subcuenca Guadalupe, posee importantes variaciones de pendiente, en una distancia lineal muy corta, lo cual atomizaba la información.

Para subsanar esta falta, se procesó el modelo de sombras (hillshade) a partir del modelo digital de elevaciones, logrando visualizar en los mapas las URH con los accidentes geográficos en el terreno.

Por otro lado, se obtuvieron los reportes de disponibilidad media anual de agua en los cuatro acuíferos subyacentes, provenientes del portal de la CONAGUA, en los que se consultó la recarga total media anual, la descarga natural comprometida, el volumen de extracción de agua subterránea y la disponibilidad media anual de agua del subsuelo.

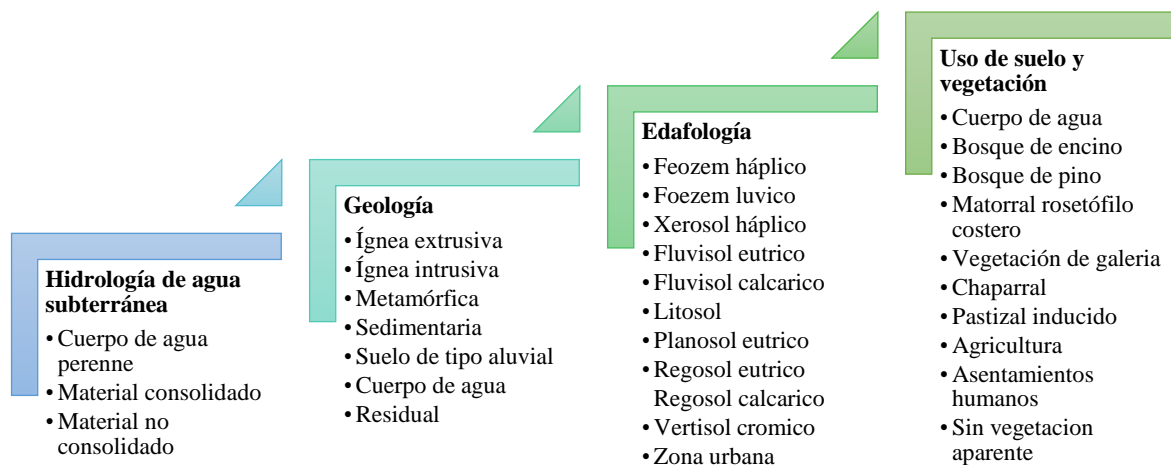


Ilustración 20. Estructura de las capas temáticas en el SIG para la generación de Unidades de Respuesta Hídrica de la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C. Fuente: Elaboración propia con base en los atributos de las capas temáticas seleccionadas INEGI (1987, 2017, 2018).

Tabla 5. Capas de información vectorial y ráster para la cartografía del servicio de provisión de agua subterránea de la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C

INFORMACIÓN VECTORIAL						
Capa	Cartas	Escala	Fuente	Año	Datum	Proyección
Disponibilidad de cuencas hidrológicas	KML Nacional	ND	CONAGUA	2017	WGS84	ND
Disponibilidad de acuíferos	KML Nacional	ND	CONAGUA	2018	WGS84	ND
Hidrología de aguas subterráneas	H11-2. Ensenada	1:250,000	INEGI	1987	NAD 27	UTM
	H11-3. San Felipe					
	I11-11. Tijuana					
	I11-12. Mexicali					
Geología	Continuo Nacional	1:250,000	INEGI	ND	ITRF92	North_America_Albers_Equivalente
Edafología	Continuo Nacional	1:250,000	INEGI	ND	ITRF92	North_America_Albers_Equivalente
Uso de suelo y vegetación	Continuo Nacional serie 6	1:250,000	INEGI	2017	ITRF92	Cónica conforme de Lambert
Aprovechamiento de aguas subterráneas	KML Baja California	ND	REPDA	2017	WGS84	ND
INFORMACIÓN RASTER						
Capa	Estructura	Escala	Fuente	Año	Datum	Proyección
Continuo de elevaciones mexicano	1. grey	15 x 15 m	INEGI	2013	ND	ND

Fuente: Elaboración propia con base en los metadatos de los archivos cartográficos (CONAGUA 2017, 2018) e INEGI (1987, 2017, 2018).

Para el diseño del SIG, se utilizó la proyección UTM zona 11 Norte, con el Datum WGS 84, en el software de licencia libre QuantumGIS en sus versiones 2.18 y 3.4. Además, como los resultados de este capítulo fueron realizados en una Estancia de Investigación en el verano del 2019 en las oficinas centrales del INEGI, también se utilizó la licencia del INEGI en ArcGIS versión 10.7 en el equipo de cómputo de sus instalaciones.

Con el SIG armado, y conociendo el proceso del ciclo hidrológico en la subcuenca Guadalupe (Ilustración 19), se decidió cartografiar las zonas potenciales de infiltración, describir mediante un mapa las características de los acuíferos donde se concentra el recurso hídrico (sitios de provisión), así como ubicar los sitios de extracción de agua subterránea mediante pozos (sitios de demanda hídrica).

Zonas de infiltración

Para definir las zonas potenciales de infiltración, se eligieron aquellas URH que, debido a los valores de permeabilidad presentes en los shapefiles de vegetación, geología y edafología, no eran propicias para acumular agua subterránea, pero sí para transportarla hacia los acuíferos.

Ya que los valores estaban categorizados en intervalos diferentes en cada shapefile, los datos de permeabilidad tuvieron que ser reclasificados en tres categorías de permeabilidad (baja, media y alta), como se muestra en la Ilustración 21, para después proceder a su integración mediante álgebra de mapas. La sumatoria de los campos en este proceso, generó un nuevo dato de permeabilidad, con valores entre cuatro y doce, los cuales, fueron reclasificados nuevamente en valores de permeabilidad potencial.

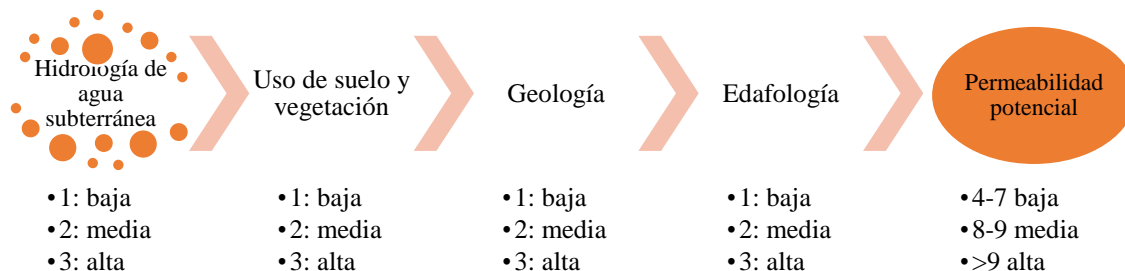


Ilustración 21. Proceso de reclasificación de unidades de respuesta hídrica de acuerdo con su potencial de permeabilidad en la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C. Fuente: Elaboración propia.

Zonas de provisión de agua subterránea

Para determinar zonas potenciales de provisión de agua subterránea, fueron seleccionadas todas aquellas URH con la característica de *material consolidado con posibilidades altas y medias*, en el atributo de hidrología de agua subterránea, ya que esto indica dónde se ubican los acuíferos, por lo que se describieron sus características de suelo, geología y tipo de vegetación en la superficie.

Zonas de demanda hídrica

Finalmente, para cartografiar las zonas de demanda hídrica, se obtuvieron los datos espaciales de los puntos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) y se clasificaron por el tipo de uso concesionado en, 1) agrícola, 2) pecuario, 3) servicios, 4) industrial, 5) doméstico, 6) público-urbano y 7) usos múltiples (CONAGUA, 2015).

2.3. Resultados

2.3.1. Identificación del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea

El ciclo hidrológico de la subcuenca Guadalupe se describe a continuación:

FLUJOS DE ENTRADA

Evaporación. El ciclo hidrológico de la subcuenca Guadalupe inicia con 1) la evaporación y brisa marina que ocurre en la costa del Océano Pacífico Norte y 2) la evapotranspiración de la vegetación nativa (chaparral, pequeños parches de matorral rosetófilo costero, bosque de pino y bosque de encino) sujetos a un coeficiente de evaporación desconocido para el océano y la totalidad de la vegetación.

Precipitación. El clima de la Región Hidrológica 01 Tijuana-Maneadero es de tipo mediterráneo seco con lluvias en invierno. En la subcuenca, el subgrupo climático es de tipo templado con temperatura media anual oscilante entre los 10°C y los 18°C, lo que suele provocar que el agua contenida en la atmósfera se precipite durante todo el año, en forma de niebla y rocío, además de las lluvias ocurridas en invierno.

Infiltración. La precipitación tiene diferentes destinos definidos por la permeabilidad del terreno. Si la permeabilidad es muy alta, existe infiltración. Una parte del agua la

absorbe la vegetación y otra alimenta los mantos freáticos. Si la permeabilidad es relativamente baja, o la precipitación es muy abundante, el agua escurre hacia los cauces de los arroyos finalizando en la salida de la cuenca (que en este caso es el mar por ser una subcuenca exorreica). La infiltración se encuentra definida por la cobertura vegetal, la edafología, la geología y la pendiente del terreno, así como un coeficiente de infiltración que también es desconocido para el área de estudio.

STOCKS

Acuíferos. En la subcuenca Guadalupe se tienen identificados cuatro sitios de almacenamiento de agua subterránea, los acuíferos 1) La Misión, 2) Guadalupe, 3) Ojos Negros y 4) Real de Castillo. Aunque estos dos últimos se han registrado de manera independiente, la realidad es que son uno solo. Esto se debe a que el acuífero posee dos fosas, que con anterioridad, fueron confundidas como cuerpos de agua confinados por separado.

FLUJOS DE SALIDA

Descarga natural comprometida. Hace referencia a los flujos de agua que el ecosistema mantiene en el caudal de manantiales, descargas a otros acuíferos y funcionamiento del sistema hídrico superficial y subterráneo.

Demanda de agua. En la subcuenca Guadalupe el agua subterránea se extrae mediante pozos con diversos usos y los cuales se encuentran identificados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la CONAGUA.

2.3.2. Mapeo del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea.

Unidades de Respuesta Hídrica (URH)

Se obtuvieron 381 polígonos clasificados en 149 clases de URH, las cuales se pueden consultar a detalle en el Anexo 3.

La hidrología subterránea de la subcuenca es, en el 88% de la superficie, de material consolidado con posibilidades bajas, mientras que el material no consolidado con posibilidades altas y medias (es decir, donde se puede encontrar agua), abarca el 11% de la superficie total de la subcuenca Guadalupe (Tabla 6).

Respecto al uso de suelo y vegetación, es clara la dominancia de vegetación tipo chaparral, con el 77% de la superficie de la subcuenca. Las sumatoria de las variantes del uso de suelo agrícola (temporal y de riego), aunado a las zonas de pastizal inducido, abarcan aproximadamente un 15% de la superficie. El resto se encuentra cubierta por pequeños parches de bosque de pino, bosque de encino y vegetación de galería.

Tabla 6. Tipos de categoría de hidrología subterránea, uso de suelo y vegetación, por superficie y porcentaje en la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.

Categorías de hidrología subterránea	Área en km ² *	Porcentaje (%)**
Material consolidado con posibilidades bajas	2,114	88
Material no consolidado con posibilidades altas	263	11
Material no consolidado con posibilidades bajas	3	0.2
Material no consolidado con posibilidades medias	20	0.8
Tipos de uso de suelo y vegetación		
Agricultura de riego	170	7
Agricultura de temporal	138	6
Pastizal inducido	59	2
Asentamientos humanos	13	0.5
Bosque de pino	125	5
Bosque de encino	6	0.3
Chaparral	1864	78
Matorral rosetófilo costero	12	0.5
Vegetación de galería	10	0.6
Cuerpo de agua	3	0.1

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Notas: *Valores aproximados. ** porcentajes calculados sobre la superficie total de la subcuenca Guadalupe (2400 km²).

La geología del área de estudio está dominada por rocas ígneas intrusivas de tipo granodiorita con tonalita (36%), seguido de las rocas ígneas extrusivas y metamórficas, que abarcan porcentajes similares al 16% cada una. Las zonas aluviales abarcan el 11% de la superficie total de la subcuenca y las rocas sedimentarias sólo se encuentran en el 0.6% del área de estudio. Los tipos de suelo, muestran diferentes combinaciones de feozem, xerosol, fluvisol, litosol, planosol, regosol y vertisol (Anexo 3). La combinación de suelo más abundante es el regosol crómico, regosol eútrico y litosol, que cubren el 11.7% de la superficie, seguido de la combinación de feozem háplico, regosol eútrico y litosol con 11.3%.

Zonas de infiltración

Después de la reclasificación de las URH de acuerdo a su permeabilidad, se determinó que cerca del 89% de la subcuenca Guadalupe tiene potencial de infiltración. Estas áreas se encuentran descritas por 110 clases de las 149 URH, por lo que sus características son

heterogéneas en cuanto a su geología y edafología (ver Anexo 4). En la Tabla 7 se describen las superficies de la vegetación y uso de suelo que tienen interacción directa con la precipitación, y se muestra que la permeabilidad está distribuida por toda la superficie en porciones similares a tercias, es decir, que el 31% de la superficie del terreno se caracteriza por una permeabilidad baja; mientras la permeabilidad media y alta corresponde al 28% y 29% de la superficie, respectivamente.

Tabla 7. Tipo de uso de suelo y vegetación asociado con la permeabilidad de zonas de infiltración en la subcuenca Guadalupe.

Permeabilidad	Tipo de uso de suelo y vegetación	Área en km ² *	Porcentaje**	Área en km ² *	Porcentaje**
Potencial de permeabilidad alta	Agricultura de riego	2	0.1	689	29
	Agricultura de temporal	18	0.9		
	Pastizal inducido	18	0.9		
	Bosque de pino	7	0.4		
	Bosque de encino	3	0.2		
	Chaparral	630	26		
	Matorral rosetófilo costero	11	0.5		
Potencial de permeabilidad media	Agricultura de riego	10	0.4	681	29
	Agricultura de temporal	26	1.		
	Pastizal inducido	8	0.4		
	Asentamientos humanos	7	0.4		
	Bosque de pino	6	0.4		
	Bosque de encino	3	0.1		
	Chaparral	614	25		
	Matorral rosetófilo costero	2	0.1		
Vegetación de galería	5	0.2			
Potencial de permeabilidad baja	Agricultura de riego	2	0.1	747	31
	Agricultura de temporal	15	0.5		
	Pastizal Inducido	10	0.4		
	Bosque de pino	105	4		
	Chaparral	615	26		
Total general				2117	89

Fuente: Elaboración propia. Notas: *Valores aproximados. ** porcentajes calculados sobre la superficie total de la subcuenca Guadalupe (2400 km²).

Zonas de provisión de agua subterránea

La provisión de agua subterránea ocurre en las URH con material no consolidado en la carta de hidrología subterránea. Estas áreas abarcan una superficie cercana al 11% de la subcuenca Guadalupe descritas en 39 clases de URH.

El 10.9% corresponde a la geología de tipo aluvial, mientras que el 0.1% restante, es caracterizado por rocas ígneas extrusivas de tipo basalto, metamórficas de tipo esquisto, rocas sedimentarias y residuos.

Referente a la edafología, existen 19 tipos de combinaciones de suelo, de las cuales destaca la composición de regosol eútrico, feozem háplico y fluvisol eútrico.

Ya que las zonas de provisión del SE de agua subterránea no son identificables a la vista en la superficie *in situ*, se procedió a describir sus características de uso de suelo y vegetación (ver Tabla 8). Del 11% de la superficie identificada como zona potencial de provisión; 9.5% se encuentra cubierto por diferentes tipos de cultivos agrícolas y asentamientos humanos, mientras que el 1.5% restante está cubierto por vegetación natural.

Tabla 8. Categorías de uso de suelo y vegetación en las zonas de provisión de agua subterránea de la subcuenca Guadalupe.

Categorías de uso de suelo y vegetación	Área en km ² *	Porcentaje**
Agricultura de riego	155	5
Agricultura de temporal	79	3
Pastizal inducido	23	1
Asentamientos humanos	6	0.3
Bosque de pino	6	0.3
Chaparral	6	0.3
Vegetación de galería	5	0.2
Cuerpos de agua	2	0.1
Total	282	11

Fuente: Elaboración propia. Notas: *Valores aproximados. ** porcentajes calculados sobre la superficie total de la subcuenca Guadalupe (2400 km²).

En la Ilustración 22, se muestran las 149 URH representadas en un mapa de acuerdo a su potencial de infiltración y provisión de agua subterránea.

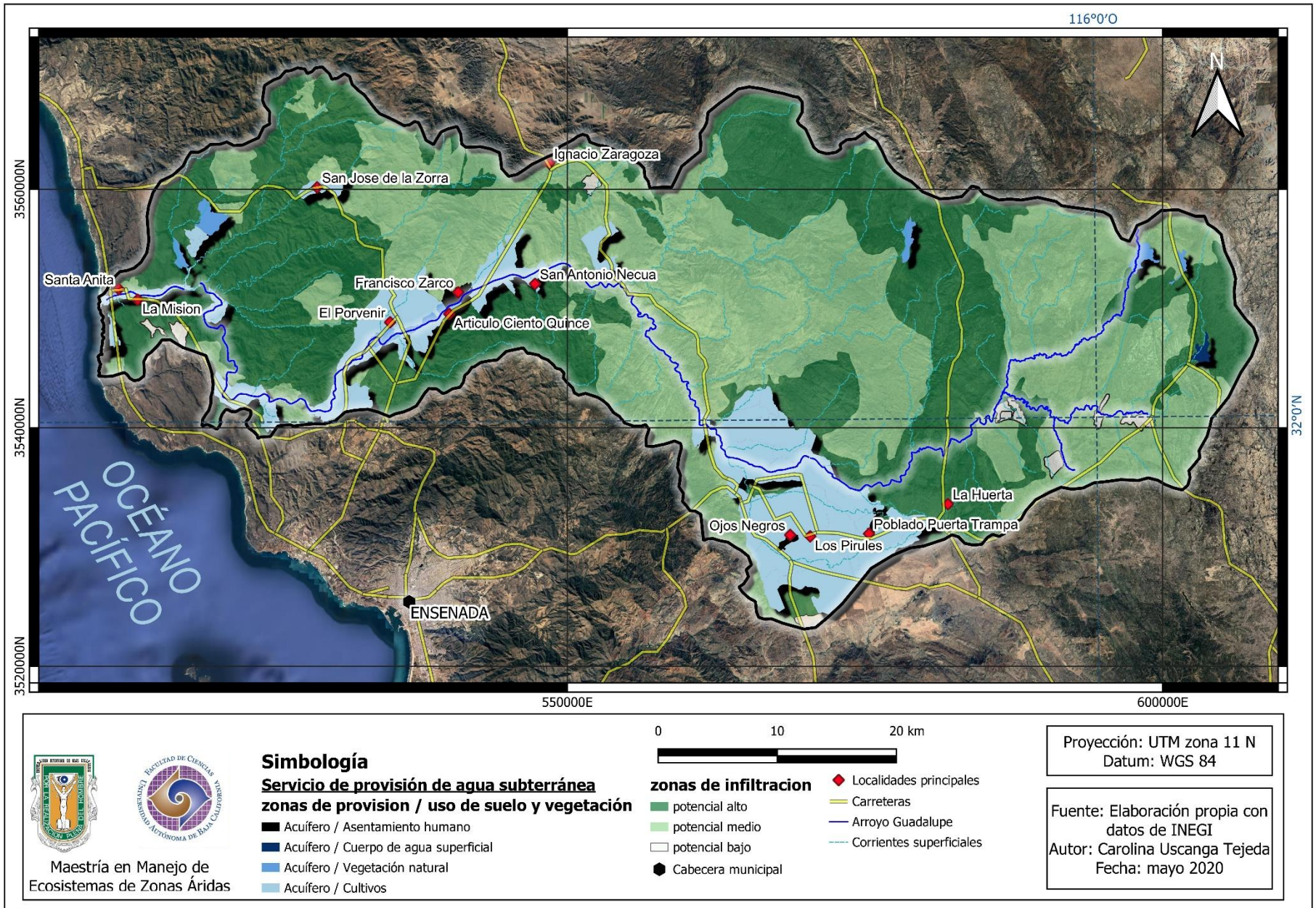


Ilustración 22. Zonas de infiltración y provisión de agua subterránea en la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia las zonas funcionales (Ilustración 7), la parte alta de la subcuenca muestra ser la de mayor superficie de infiltración, ya que el 99% de su área es considerada con potencial alto y medio de permeabilidad. Por otro lado, la zona funcional media se destaca por ser la mayor proveedora de agua subterránea para el socioecosistema de la subcuenca Guadalupe. En esta parte de la subcuenca se ubican los dos acuíferos³ más grandes del socioecosistema, que abarcan el 20% de esta zona funcional (250 km², aproximadamente), mientras que el 80% restante se divide en características de permeabilidad media y alta. Finalmente, la zona funcional baja cuenta con 10 km² (15% de esta zona) considerados como zonas de provisión, 78% de infiltración con potencial alto y 7% con permeabilidad media.

Zonas de demanda hídrica

En la Tabla 9 se observan los datos referentes a la disponibilidad hídrica de los acuíferos subyacentes de la subcuenca Guadalupe.

Los acuíferos con mayor capacidad de recarga media anual por las características de las URH son los acuíferos de Guadalupe y el binomio conformado por los acuíferos (fosas) de Ojos Negros y Real del Castillo. El acuífero Guadalupe presenta una capacidad de recarga de 18.8 millones de metros cúbicos (Mm³) de agua al año, mientras que los registros para las fosas de Ojos Negros y Real del Castillo indican una captura de 34 Mm³ en conjunto.

El acuífero de La Misión es el más pequeño, el cual se caracteriza por ser no confinado, es decir, que una parte del acuífero se encuentra expuesta a cielo abierto, a través del humedal que existe al final del Arroyo Guadalupe.

La presión por la extracción hídrica es notable en todos los acuíferos, ya que el volumen concesionado a través de pozo permite la extracción de 81.7 Mm³, es decir, que se extraen 23.9 Mm³ más de lo que la subcuenca puede captar de las precipitaciones de manera anual.

En la Tabla 10 se muestra la información referente a los derechos de extracción de agua subterránea mediante pozos. Para el 2017, la subcuenca Guadalupe contaba con el registro de 1,087 pozos, los cuales amparan la extracción de 81.7 Mm³. De estos, el acuífero de Guadalupe concentra el 61.5% de los títulos concesionarios para extracción (669 pozos)

³ Recordar que los acuíferos de Ojos Negros y Real del Castillo pertenecen al mismo cuerpo de agua en el subsuelo.

con los cuales se extrae el 41% del agua concesionada o, en comparativa, el 62% del agua que es captada en los 2400 km² de la subcuenca Guadalupe.

Tabla 9. Disponibilidad hídrica de los acuíferos subyacentes en la subcuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.

Región hidrológico-administrativa	Entidad federativa	Clave	Acuífero	Millones de metros cúbicos al año			
				Recarga total media anual	Descarga natural comprometida	Volumen concesionado aguas subterráneas	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo
I Península de Baja California	Baja California	0206	La Misión	6.5	1	7.6	-2.1
		0207	Guadalupe	18.8	0.1	36.9	-18
		0208	Ojos Negros	22.3	ND	26.9	-4.6
		0248	Real de Castillo	11.7	0.6	10.3	0.8
TOTALES				59.3	1.7	81.7	-23.9

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA. Nota: ND = Información no disponible.

Considerando los tipos de uso permitidos por los títulos concesionarios, el agua extraída tiene, principalmente, un destino agrícola. Este tipo de uso representa el 77% de los pozos autorizados, lo que se traduce en que el 85% del agua concesionada es utilizada para cultivos, o lo que es lo mismo, la agricultura consume el 117% del agua que la subcuenca puede captar mediante el ciclo hidrológico.

Tabla 10. Volumen de agua concesionada en metros cúbicos y número de pozos por acuífero subyacente en la subcuenca Guadalupe.

Tipos de uso	La Misión		Guadalupe		Ojos negros		Real del castillo		Total	
	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos	Volumen	Pozos
Agrícola	2,416,954	100	30,198,085	516	26,531,981	143	10,375,879	79	69,522,899	838
Domestico	4,022	20	46,744	98	6,497	16	3,951	6	61,214	140
Industrial			196,000	5					196,000	5
Múltiples	53,705	3							53,705	3
Pecuario	14,263	11	31,131	30	16,831	14	49,892	13	112,117	68
Público urbano	4,785,880	5	6,325,555	13	164,250	2	21,900	1	11,297,585	21
Servicios	302,049	5	30,905	5					332,954	10
ND			60,184	2					60,184	2
Total	7,576,873	144	36,888,604	669	26,719,559	175	10,451,622	99	81,636,658	1087

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2017). ND = el campo se encontraba sin información

La gran mayoría de los pozos para la extracción de agua subterránea se ubican sobre las URH consideradas como zonas de provisión de agua en la subcuenca Guadalupe (ver Ilustración 23). Existen algunas excepciones, en las que se pueden encontrar pozos en las URH consideradas como zonas de alta infiltración, particularmente en la parte media del sistema.

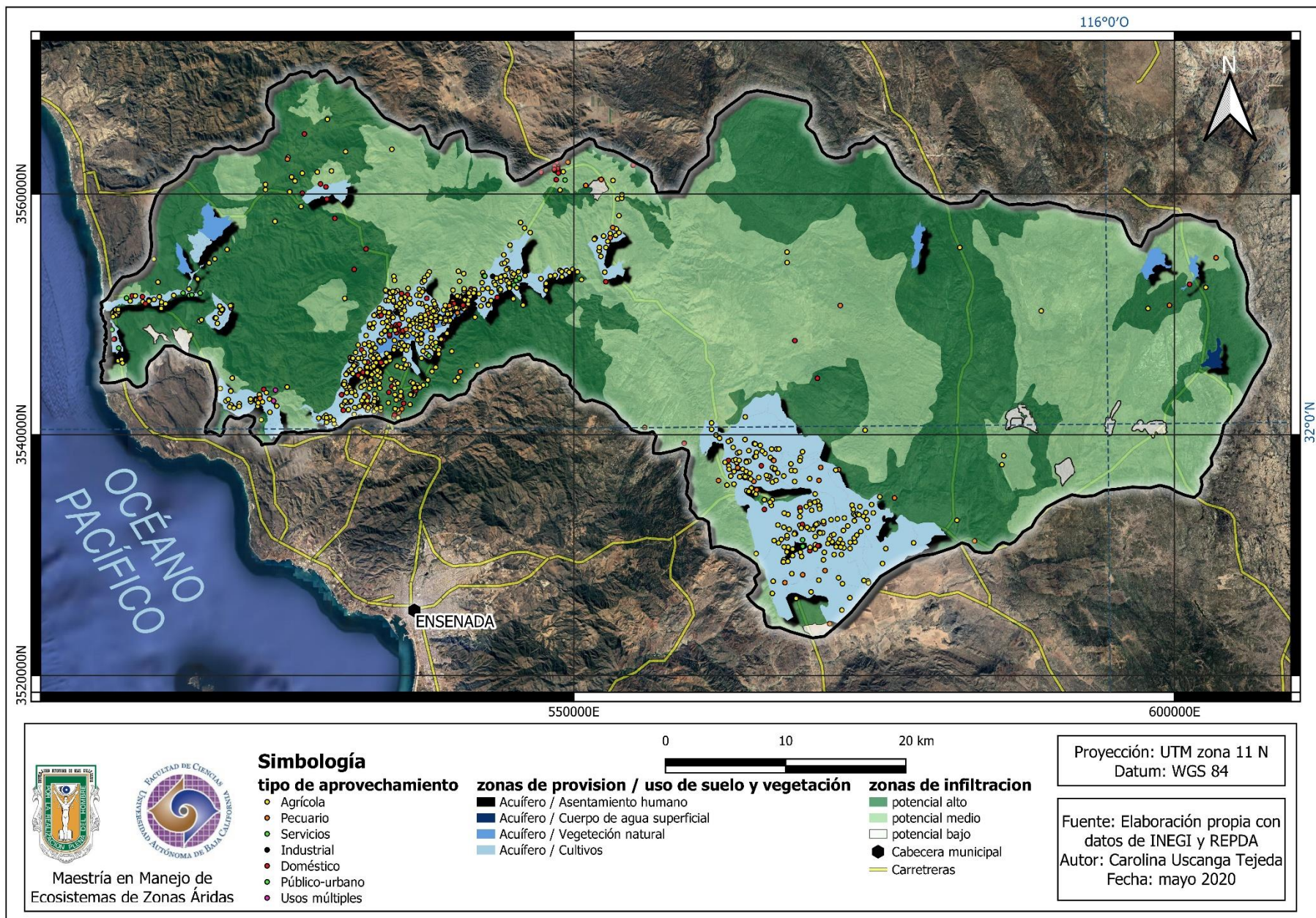


Ilustración 23. Sitios de aprovechamiento de agua en la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA e INEGI.

2.4. Discusión

El propósito de este capítulo fue mapear el servicio de provisión de agua subterránea en la subcuenca Guadalupe. A pesar de existir diversas metodologías preestablecidas para alcanzar este fin (Ma et al., 2019; Gong et al., 2019; Kim y Arnhold, 2018; Rova et al., 2018; Karabulut et al., 2016), ante la falta de datos hidrológicos e hidrográficos, como suele ocurrir en las zonas áridas, replicar estos métodos resulta particularmente desafiante (Ghazi et al., 2018).

A pesar de ello, se analizó el ciclo hidrológico para entender el funcionamiento de la subcuenca, partiendo del modelo general descrito por Maass (2005), y se adecuó a las particularidades de la subcuenca Guadalupe (Navarro 2004; ver Ilustración 19).

Entre las ventajas de usar este método, se encontró que el proceso y sus resultados, son educativos para las partes interesadas que no tienen los conocimientos sobre cómo es que se llevan a cabo las funciones ecológicas.

Entre las desventajas, no se encontraron estudios similares que pudieran tomarse como referencia para validar los resultados; sin embargo, estos fueron expuestos ante expertos en el mapeo de SE a nivel nacional en el INEGI durante la estancia de investigación realizada en el verano del 2019, quienes aprobaron este método como solución alternativa ante la falta de expertise en el cálculo de datos hidrológicos para esta tesis, así como la escasez de información necesaria para utilizar los modelos ya establecidos en la literatura, como lo son los coeficientes de evaporación e infiltración en la subcuenca Guadalupe.

Referente a la obtención de las URH, se consideró implementar la metodología propuesta por Sandoval (2014) para la elaboración de Unidades de Gestión Ambiental, pero se descartó como metodología ya que dichas unidades tienen propósitos de planeación, ordenamiento y desarrollo del territorio, objetivos fuera del alcance de esta tesis; además de ser unidades ya creadas para ser aplicadas en el Programas de Ordenamiento Ecológico local (POEC-VDG) y en el estatal (POE-BC), como se abordó en la sección II.D. Caso de estudio: la subcuenca Guadalupe.

El modelo de URH propuesto por Kalcic y colaboradores (2015) fue modificado al no incluir la pendiente como variable, pero aun así, las 149 URH obtenidas permiten describir a la subcuenca. El 78% de la cobertura vegetal es chaparral, el suelo más abundante es el regosol combinado con otros seis tipos de suelos, las rocas preponderantes son las ígneas

intrusivas, con representatividad del 36%, y los acuíferos abarcan el 11% del total de la superficie de la subcuenca.

Ya que las zonas de infiltración fueron consideradas como aquellas que no tienen la capacidad para retener agua de manera subterránea, sólo se analizaron 110 URH, las cuales representan el 89% de la superficie de la subcuenca Guadalupe y son heterogéneas en su composición geológica y edafológica. A pesar de que toda el área infiltra en diferentes intensidades (Ilustración 22, Tabla 7), la mayor superficie se encuentra cubierta de vegetación natural (particularmente chaparral en un 77%), que es el primer elemento en contacto con la precipitación y permite la continuidad del ciclo hidrológico a través de la humedad edáfica (Ilustración 19).

Evidentemente, la pérdida de vegetación natural en estas áreas impactará negativamente la capacidad de infiltración de la subcuenca. La importancia de conservar esta biota, radica en que el agua retenida en el suelo por la vegetación natural, promueve que el escurrimiento del agua sea lento, permitiendo la infiltración y concentración del agua de manera subterránea en aquellas zonas donde la geología lo permite (Mass, 2005).

En el área de estudio, existen tres acuíferos que son las zonas de provisión de agua subterránea, y están descritos por 39 URH situados en los valles de la zona funcional media y la zona funcional baja de la subcuenca (Ilustración 22).

Su geología se caracteriza por ser de tipo aluvial (arena) con hidrología de material no consolidado, lo que permite que la cantidad de agua infiltrada se acumule de manera subterránea en cuatro fosas (El Porvenir y Calafia, para el acuífero Guadalupe; Real del Castillo y Ojos Negros, para el acuífero Ojos Negros).

Aunque la heterogeneidad de las URH está en las 19 diferentes combinaciones de tipos de suelo, principalmente regozol eútrico, feozem háplico y fluvisol eútrico; estas mismas combinaciones son las que permiten que el uso de suelo de los valles sea agrícola, ya que son suelos ricos en materia orgánica y nutrientes (Anexo 3), por lo que la vegetación más abundante son los cultivos de vid en el valle de Guadalupe y los pastizales para ganadería en Ojos Negros.

En la Ilustración 22 se muestran las zonas de infiltración y provisión de agua subterránea. Considerando las zonas funcionales de la subcuenca Guadalupe (ver Ilustración 7), es claro que la zona funcional alta es la de mayor importancia para el proceso de

infiltración, particularmente porque alimenta de manera directa al acuífero de Ojos Negros. La zona funcional media se caracteriza por albergar los dos acuíferos con mayor capacidad, conectados (al igual que las localidades más importantes) por el corredor natural que representa el arroyo Guadalupe. A pesar de que la zona funcional baja muestra alto potencial para infiltración, el acuífero no confinado de La Misión reduce su capacidad de almacenamiento. Como el agua queda expuesta en el humedal, y al encontrarse en el punto exorreico de la subcuenca, esta zona destaca por la provisión de otros servicios ecosistémicos (Ilustración 18), como el aporte de sedimentos a la playa y el refugio de diferentes especies.

Al comparar la Ilustración 22 con la Ilustración 11 donde se aprecian las UGAs del POE-BC (único instrumento de ordenamiento y planeación que cubre en su totalidad la superficie de la subcuenca), es notable el cómo las zonas de infiltración de agua subterránea se encuentran bajo la política ambiental de conservación, ya que cuentan con la presencia de especies endémicas, en riesgo y prioritarias para la conservación. En estas unidades se pueden llevar a cabo actividades económicas tradicionales sustentables, que representen una fuente de ingresos de interés para sus habitantes y que sean compatibles con la conservación (SPA, 2014).

Los acuíferos se ubican en zonas donde la política ambiental es de aprovechamiento sustentable, donde las UGAs representan zonas muy dinámicas, alcanzando un nivel de desarrollo económico aceptable y existe concentración de la población y desarrollo urbano. El objetivo de esta política es mantener la integridad funcional del territorio, proporcionando criterios de regulación ecológica para que el uso de los recursos naturales genere el menor impacto, evitando poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas, que pueda provocar un deterioro ambiental (SPA, 2014).

Por otro lado, el Parque Nacional Constitución de 1857 es la única área que está prevista con la política ambiental de protección en la subcuenca. Esto es debido a su creación como Área Natural Protegida, y en ella se permite el uso y manejo sustentable de los recursos naturales bajo las restricciones del Plan de Manejo del Parque (SPA, 2014).

La demanda hídrica de la región se expresa a través del número de pozos de extracción y el volumen del recurso concesionado. Con más de mil pozos, y la concesión de 81 Mm³, los tres acuíferos de la subcuenca están sobre explotados (Tabla 9) ya que el servicio

ecosistémico tiene la capacidad de captar aproximadamente 54 Mm³ de agua subterránea al año.

Ya que el principal motivo de extracción de agua subterránea en la subcuenca es para su uso agrícola (Tabla 10), no es de sorprender que los valles, que enmarcan a los acuíferos en el paisaje, concentren los cultivos y la mayor cantidad de pozos con este fin (Ilustración 23).

Sin embargo, al comparar la Ilustración 23 con la Ilustración 11, la concentración de pozos recae en las UGAs consideradas con política ambiental de aprovechamiento sustentable, por lo que la sobreexplotación de los acuíferos provoca el incumplimiento de dicha política, lo que se traduce en deterioro ambiental que a su vez, es una amenaza para el equilibrio del ecosistema.

A pesar del incumplimiento del POE-BC, la concentración de pozos surge de la relación espacial entre la actividad agrícola y los puntos de extracción hídrica, ya que de esta manera se reducen los costos de producción (como pudieran ser infraestructura para bombeo y distribución de agua), maximizando el recurso con prácticas de agricultura tecnificada, como el uso de invernaderos, riego por goteo, entre otros, lo que a su vez, reduce la evaporación del recurso. Este tipo de prácticas permite que el agua obtenida por extracción subterránea sea una opción viable para la región (Acosta-Zamorano, 2014; González, 2015; Leyva y Espejel, 2013; Camacho, 2016; Meraz, Valderrama y Maldonado, 2012).

Sin embargo, la demanda hídrica por el consumo agrícola ha generado una presión insostenible en el socioecosistema de la subcuenca, ya que i) la cantidad demandada sobrepasa el volumen de agua captado en los acuíferos de la subcuenca (Tabla 9), y ii) la productividad del suelo promueve el incremento de la superficie agrícola, lo que motiva a la remoción de cobertura vegetal en zonas con potencial de infiltración. La sinergia de estas acciones eventualmente reducirá la cantidad de agua captada en los mantos freáticos, modificando el servicio de provisión de agua.

La comparación cartográfica del servicio ecosistémico de provisión de agua subterránea (Ilustración 22 e Ilustración 23) con los mapas político-administrativos del área de estudio (Ilustración 8 a Ilustración 12), nos permite identificar cuales pudieran ser las problemáticas de gestión presentes en el manejo del recurso hídrico y del manejo integrado de cuenca:

- La propiedad de los terrenos en dominio de las zonas ejidales representa en sí mismo un conflicto de intereses debido a que son tierras comunales. Los ejidatarios no siempre tienen la misma visión sobre el desarrollo y aprovechamiento de sus tierras, por lo que la presión para parcelar es constante (Ilustración 8).
- La cabecera municipal y la capital estatal se encuentran fuera de la zona de estudio (Ilustración 9), por lo que la gran mayoría de los trámites administrativos son resueltos por funcionarios que no están familiarizados con la zona de estudio. Los límites delegacionales dividen a la subcuenca en seis delegaciones, donde los delegados son designados por el presidente municipal durante su administración, por lo que las decisiones políticas están sujetas a las voluntades de los regentes por trienio.
- La administración del recurso hídrico por parte de CONAGUA se encuentra delimitada por los acuíferos homologados (Ilustración 10), los cuales suscriben los Comités Técnicos de Agua Subterránea (COTAS) y el catálogo de claves para el REPDA, división que no corresponde con los límites físicos de los acuíferos (Ilustración 22). Esta disparidad afecta directamente en el manejo del recurso hídrico de la subcuenca, donde los COTAS administran y dan seguimiento a recursos hídricos compartidos como si fueran independientes entre sí. Los límites de los acuíferos homologados no siguen una forma orgánica con el funcionamiento del ecosistema, particularmente con las zonas de infiltración y, en el caso del acuífero de Ojos Negros, es administrado por dos entidades: El COTAS Real del Castillo y el COTAS Ojos Negros, quienes de manera independiente realizan los cálculos de la descarga media anual del mismo cuerpo de agua (Tabla 9 y Tabla 10).
- El empalme entre los instrumentos de planeación (local y estatal, Ilustración 11 e Ilustración 12) indica que la región de valle de Guadalupe incrementa la tensión política y de aprovechamiento al tener que cumplir con tres programas de planeación (POE-BC, POEC-VDG y el PSDUT-VDG) los cuales subdividen la política de aprovechamiento sustentable y de conservación en políticas con intensidades analizadas a una escala diferente.

2.5. Conclusiones

Para conocer y valorar el capital natural de cualquier socioecosistema, es necesario conocer los límites físicos del ecosistema, la distribución espacial de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que aporta a la sociedad.

El uso de herramientas como los sistemas de información geográfica y la cartografía de servicios ecosistémicos permiten a los tomadores de decisiones, técnicos y manejadores conocer a detalle el territorio que desean trabajar, así como vislumbrar los posibles impactos y escenarios derivados de sus acciones y decisiones en materia ambiental.

Si se trabaja desde el manejo de cuencas, el conocimiento del ciclo hidrológico es indispensable. Las cuencas, subcuencas y zonas funcionales son los límites naturales de un socioecosistema. Las relaciones hídricas entre los subsistemas biológico, físico, económico y social son fundamentales para entender el socioecosistema de interés.

Dependiendo del enfoque que se quiera tomar, el agua puede ser el elemento central (manejo de cuenca), conector (manejo integrado de cuenca) o como un elemento más que describe el ecosistema (manejo sustentable de cuencas). De cualquier manera, su estudio brindará elementos para abordar las problemáticas en el manejo del socioecosistema y sus servicios ecosistémicos.

En el caso particular de zonas áridas, el estudio del agua es un reto por la falta de datos y actualizaciones necesarias para replicar los estudios hídricos, por lo que es necesario innovar.

Las metodologías más comunes para el estudio hídrico están diseñadas para mediciones de hidrología superficial, sin embargo, el entendimiento del ciclo hidrológico en las zonas áridas permite analizar cuál es la información disponible para el sitio de interés, como pudieran ser la geología, edafología, y el tipo de vegetación en el área; el uso de suelo, la ubicación de los acuíferos, los sitios de extracción y los usos del agua, por lo que es posible estudiar las relaciones que dichos elementos integran en el socioecosistema árido.

Esta metodología se considera como una primera aproximación para el manejo integrado del recurso hídrico en las zonas áridas para la toma de decisiones ante problemas emergentes; mientras se consiguen datos más precisos y técnicos sobre la hidrología superficial y subterránea que se puedan aplicar en modelos ya establecidos, con el fin de corroborar o descartar los escenarios propuestos ante la falta de datos inicial.

En este capítulo, la cartografía del SE de provisión de agua subterránea de la subcuenca Guadalupe se realizó analizando las interacciones entre la precipitación y los elementos físicos cartografiables que describen a la subcuenca mediante las URH.

Aunque las URH utilizan datos muy similares a las UGAs del POE-BC, ambas unidades son creadas con metodologías y propósitos diferentes. Aun así, su comparación es válida para el análisis del cumplimiento de la política ambiental dictada en el POE-BC, versus las unidades físicas que describen el funcionamiento hidrológico de la subcuenca.

Para la subcuenca Guadalupe, las zonas de infiltración son las más importantes para el servicio de provisión de agua (89% de la superficie), ya que en estas áreas se capta de manera anual la precipitación que se podrá extraer posteriormente en los acuíferos. La variable clave para definir las áreas potenciales de infiltración fue la permeabilidad de la vegetación, el suelo y las rocas, en la que la permeabilidad más baja (o en otras palabras, la mayor infiltración) es asociada principalmente a las zonas con vegetación natural.

Por lo anterior, se considera prioridad proteger la totalidad de la zona funcional alta, y no sólo el polígono del Área Natural Protegida del Parque Nacional Constitución de 1857, como lo indica el POE-BC. Además, también debe cumplirse la política de conservación de este mismo tipo de vegetación en la zona funcional media y baja.

Todas las acciones encaminadas al cumplimiento de estas políticas, promoverá la óptima infiltración edáfica que, cumpliendo con el ciclo hidrológico, mantendrá la provisión de agua en los acuíferos al captar la mayor cantidad de precipitación posible.

Para el caso de las zonas de provisión de agua (acuíferos), la variable más importante es la hidrología subterránea donde, el material no consolidado con posibilidades medias y altas -de tener agua-, indican donde se encuentran los mantos freáticos. Los acuíferos abarcan 11% de la superficie de la subcuenca Guadalupe, caracterizada por rocas de tipo aluvial (arenas) las cuales son idóneas para la infiltración de agua. Como se mencionó en el capítulo I, la extracción de materiales pétreos a través de la minería extensiva, es un problema que deteriora la capacidad de infiltración de agua en esta zona.

Además de la presión ambiental de extracción de arenas, el que los suelos que cubren a los acuíferos sean de tipo regosol, feozem y fluvisol, que son muy fértiles con la agricultura de riego, provocan que el 95% de esta superficie se destine para cultivos.

De esta manera, se explica la concentración de pozos para la extracción de agua subterránea de uso agrícola. Posiblemente, si el tipo de suelo fuera menos fértil, la realidad de la demanda hídrica sería diferente en cuanto a los volúmenes de extracción y usos del recurso.

Para la zona funcional baja, donde se ubica el acuífero no confinado de La Misión y el cual se encuentra sobre explotado, es necesario destacar que al estar expuesto a través del humedal en el punto exorreico de la subcuenca, brinda otros servicios ecosistémicos, por lo que la función del acuífero no es sólo proveer agua para su consumo en actividades humanas, sino que también es refugio para especies, y en él se llevan a cabo actividades recreativas, como se mencionó en el capítulo I.

Las relaciones entre los subsistemas biológicos (vegetación), físicos (geología, edafología) y económicos (pozos de extracción por tipo de uso) son particularmente dinámicas en la zona funcional media, que comprende el valle de Ojos Negros y el valle de Guadalupe.

En estos valles ocurren la principal actividad económica demandante de agua, la agricultura; también en ellos se concentran las principales localidades en las que habitan alrededor de 13 mil personas, de los 18 mil que habitan el socioecosistema.

Sin embargo, además de ser la zona con mayor presión sobre el recurso hídrico, la zona funcional media es el área con el mayor número de SE identificados, por lo que es prioritario la investigación sobre las maneras de reducir el número de pozos, ya sea de manera voluntaria (no renovar títulos concesionarios de extracción), idear un mecanismo legal (como la pérdida de títulos concesionarios por rebasar los límites de extracción, así como reducir volúmenes de agua ya concesionados), eficientizar el uso hídrico en los cultivos (innovación en técnicas de cultivo y riego) ya que son el uso mayormente demandado, hasta alcanzar un balance positivo en cada acuífero, es decir, que no se encuentren sobreexplotados.

Si estas acciones se aplican en toda la subcuenca Guadalupe, se podrían prevenir escenarios tan alarmantes como los de valle de Guadalupe y Ojos Negros y, en el largo plazo, la demanda hídrica se podría mantener por debajo del umbral que provee el SE de provisión de agua en la subcuenca, es decir, menos de 54 Mm³.

Aunque se han considerado los datos de la disponibilidad hídrica brindada por cada COTAS en la subcuenca, la realidad es que no existen mediciones precisas y actualizadas de

manera anual sobre los flujos subterráneos y superficiales de agua que ingresan en la subcuenca Guadalupe. Lo mismo ocurre con los datos obtenidos en el REPDA, basados en la actualización de los registros administrativos de los títulos concesionarios, y no de mediciones *in situ* de los volúmenes de extracción.

Por lo anterior, se recomienda utilizar a discreción la información brindada en este capítulo como una primera estimación a ser corroborada en investigaciones posteriores con metodologías que utilicen datos comprobados *in situ*.

2.6. Referencias

Acosta Zamorano, D. (2014). EVALUACIÓN FISIOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA LA IRRIGACIÓN DE VID EN EL VALLE DE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

Bukvareva, E., Zamolodchikov, D., y Grunewald, K. (2019). National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems. *Science of the Total Environment*, 655, 1181–1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.286>

Burkhard B, Maes J (Eds.) (2017) Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Burkhard, B., y Hou, Y. (2014). Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localization, Indication and Quantification, (June). <https://doi.org/10.3097/LO.201434>

Camacho Garza, A. (2016). Análisis de las estrategias de adaptación de las estrategias de adaptación a la escasez hídrica de las empresas vitivinícolas del valle de Guadalupe, BC.

Comisión Nacional del Agua (2018). Registro Público de Derechos de Agua. Base de datos consultada en abril 2018. Disponible en <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>

Comisión Nacional del Agua. (2015). Atlas del agua en México.

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26(1), 152–158.

<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>

- Espejel, I., Díaz, de L. S., Moreno-Casassola, P., Vázquez-González, C. y Hernández, M.E. (2016). Servicios ecosistémicos de los bosques costeros. En P. Moreno-Casassola (Ed.) *Servicios Ecosistémicos de las Selvas y Bosques Costeros de Veracruz*. INECOL, ITTO, CONAFOR. INECC. Disponible en: Ghazi, H., Messouli, M., Yacoubi Khebiza, M., & Egho, B. N. (2018). Mapping regulating services in Marrakesh Safi region - Morocco. *Journal of Arid Environments*, 159(February 2017), 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.03.005>
- Gong, J., Liu, D., Zhang, J., Xie, Y., Cao, E., & Li, H. (2019). Tradeoffs/synergies of multiple ecosystem services based on land use simulation in a mountain-basin area, western China. *Ecological Indicators*, 99(December 2018), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.027>
- Gonzalez Barrera, J. E. (2014). **PRESERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y PROVISIÓN DE SERVICIOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL ARROYO GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA.**
- Grizzetti, A. B., Lanzasova, D., Liqueste, C., y Reynaud, A. (2015). Cookbook for water ecosystem service assessment and valuation. European Commission Disponible en <https://doi.org/10.2788/67661>
- Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., ... Turkelboom, F. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, 9, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tijuana y otras. México: INEGI.
- Jacobs, S., Burkhard, B., Van Daele, T., Staes, J., y Schneiders, A. (2015). “The Matrix Reloaded”: A review of expert knowledge use for mapping ecosystem services. *Ecological Modelling*, 295, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.024>
- Kalcic, M. M., Chaubey, I., y Frankenberger, J. (2015). Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(3), 69-80
- Karabulut, A., Egho, B. N., Lanzasova, D., Grizzetti, B., Bidoglio, G., Pagliero, L., Mubareka, S. (2016). Mapping water provisioning services to support the ecosystem-

- water-food-energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem Services*, 17(2016), 278–292. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.002>
- Khosravi Mashizi, A., Heshmati, G. A., Salman Mahini, A. R., y Escobedo, F. J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98(December 2018), 794–803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.065>
- Kim, I., & Arnhold, S. (2018). Mapping environmental land use conflict potentials and ecosystem services in agricultural watersheds. *Science of the Total Environment*, 630(November 2017), 827–838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.176>
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., Abdo, M., Achinelli, M. L., Alcaraz-Segura, D., y Zamora, J. P. (2015). Valoración de servicios ecosistémicos en Argentina <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Leyva, C. y Espejel, I. (2013), *El valle de Guadalupe Conjugando tiempos*, México, Departamento de Editorial Universitaria.
- Ma, L., Bicking, S., y Müller, F. (2019). Mapping and comparing ecosystem service indicators of global climate regulation in Schleswig-Holstein, Northern Germany. *Science of the Total Environment*, 648, 1582–1597. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.274>
- Maas, M. (2005) *Principios Generales sobre Manejo de Ecosistemas*. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- Maes, J. (2017). Specific challenges of mapping ecosystem services. En Burkhard B, Maes J (Eds.) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.
- Martínez-Harms, M. J., y Balvanera, P. (2012). Methods for mapping ecosystem service supply: a review, 3732. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.663792>
- Meraz, L., Valderrama, J., & Maldonado, S. (2012). La Ruta del Vino en el valle de Guadalupe, Baja California, México. Perspectiva frente al cambio climático: Una primera aproximación Lino Meraz Ruiz Jorge Antonio Valderrama Martínez. *Globalización y Agricultura. Nuevas Perspectivas de La Sociología Rural*, (Mayo 2012), 25. <https://doi.org/10.13140/2.1.3324.1923>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being. Ecosystems* (Vol. 5). <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>

- Naciones Unidas (2012). Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para el agua (SCAE-Agua). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Estadística. Disponible en http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/seea_w_spa.pdf
- Navarro Palacios, R. A. (2004). Aportación desde la hidrología a la gestión ambiental de la extracción de arena en el arroyo Guadalupe, B.C.
- O'Higgins, T., Nogueira, A. A., y Lillebø, A. I. (2019). A simple spatial typology for assessment of complex coastal ecosystem services across multiple scales. *Science of the Total Environment*, 649, 1452–1466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.420>
- Palomo, I., Bagstad, K., Nedkov, S., Klug, H., Adamescu, M. & Cazacu, C. (2017). Tools for mapping ecosystem services .En Burkhard B, Maes J (Eds.) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp
- Rova, S., Pastres, R., Zucchetta, M., y Pranovi, F. (2018). Ecosystem services' mapping in data-poor coastal areas: Which are the monitoring priorities? *Ocean and Coastal Management*, 153(March 2017), 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.021>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Cuadernos de divulgación ambiental. Disponible en línea,
- Secretaría de Protección al Ambiente (2014). PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO VERSION EXTENSA, 2014. Gobierno del Estado de Baja California
- System of Environmental Economic Accounting (2018). NATURAL CAPITAL ACCOUNTING AND VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES PROJECT MEXICO – Country Assessment Report. United Nations.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (Mayo de 2019). The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Obtenido de TEEB- Ecosystem Services: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>

- Turpie, J. K., Forsythe, K. J., Knowles, A., Blignaut, J., y Letley, G. (2017). Mapping and valuation of South Africa's ecosystem services: A local perspective. *Ecosystem Services*, 27(May), 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.008>
- Walker, B.H. (1979) Management principles for semi-arid ecosystems. En B.H. Walker (Ed.). *Management of semi-arid ecosystems* (pp. 3-5). Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41759-6.50017-7>
- World Vision. (2004). *Manual de Manejo de Cuencas*. El Salvador. 154 p.

CAPÍTULO III. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROVISIÓN DE ARENA COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

3.1. Introducción

Durante la llegada de los españoles a México, las zonas áridas marcaron los límites de los asentamientos coloniales, quienes se adentraron en el territorio al descubrir las minas productoras de oro y plata en San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Chihuahua (Medellín-Leal y Gómez-González, 1979).

La extracción de recursos naturales mediante la actividad minera también ha impactado en la Subcuenca Guadalupe a lo largo de la historia. La fiebre del oro ocurrida en el territorio de California en los Estados Unidos a finales del siglo XIX permeó en la región de Baja California, México, ya que en 1870 se encontraron pepitas de oro en las serranías del valle ganadero de San Rafael (y que ahora se le conoce como el valle de Ojos Negros, Ilustración 7). Esta noticia se esparció rápidamente, provocando la migración masiva desde San Diego de los norteamericanos buscadores de oro, y mexicanos de otras zonas de la península de Baja California. En tan sólo un año, el plano ganadero de San Rafael se convirtió en el pueblo de Real de Castillo con 1,500 habitantes y en 1872 se designó como la nueva capital del Partido del Norte de Baja California⁴. Conforme el oro se fue acabando, en 1880 se descubrieron otros yacimientos auríferos hacia el sur de la península, lo que generó un nuevo movimiento migratorio en el que, para el año de 1905, el pueblo contaba con tan solo 200 habitantes. A partir de 1950, la actividad ganadera y agrícola se fue consolidando en valle de Ojos Negros y en la actualidad su población varía de 1,500 a 2,000 habitantes a consecuencia de la población flotante que acude a trabajar en los ranchos de la región (Ponce, 2013).

Aunque la minería en la península de Baja California comenzó con la búsqueda y explotación de los yacimientos de oro, con el pasar de los años también se aprovecharon otros recursos naturales como la plata, el cobre, el ónix y, durante un breve periodo, el petróleo (Ponce, 2013).

⁴En 1849 el territorio de Baja California se dividió en *el Partido del Norte* y *el Partido del Sur*. La cabecera del primero fue establecida en El Rosario, luego pasó a San Vicente, Santo Tomás y Real de Castillo. En 1882 dicha capital fue movida hacia el puerto de Ensenada, hasta que 33 años después se instaló en Mexicali de manera permanente (Ponce, 2013).

Como resultado del CAPITULO II de esta tesis, se encontró que las zonas de provisión del SE de agua subterránea abarcan una superficie caracterizada por una geología de tipo aluvial, es decir, gravas y arenas, las cuáles también han sido un recurso aprovechado por la actividad minera en toda la subcuenca (ver Tabla 3 e Ilustración 18). El manejo de este recurso abiótico en un ecosistema árido es crucial desde la perspectiva de manejo integrado de cuenca y, en la zona de estudio, su presencia determina la provisión o no de agua subterránea.

Desde 1991, la extracción de arena del arroyo Guadalupe, principal colector de la subcuenca, tiene fines de exportación. La demanda del material pétreo ocurrió por el desarrollo de la industria de la construcción en San Diego, California, Estados Unidos (Gorman, 2003).

La extracción de arenas en Baja California tomó importancia a partir del año 2000 con el boom de la extracción pétreo, evento que comenzó a ser señalado por los habitantes cercanos a los puntos de extracción (principalmente en el valle de Guadalupe y en el valle de la Trinidad) refiriéndose a su desmedida minería como “saqueo de arena” (Navarro, 2004).

De acuerdo con Navarro (2004) el manejo tradicional de la arena en los arroyos se realiza con el fin de prevenir inundaciones, desbordamientos y permitir el libre flujo de las lluvias en eventos de tormenta (servicio de regulación por moderación de disturbios) o como recurso natural para la industria de la construcción o del vidrio (servicio de producción de materiales). Sin embargo, como elemento natural, su existencia en el ecosistema permite filtrar el agua durante el cauce hídrico (servicio de regulación del flujo de agua), reteniendo partículas indeseables hacia los acuíferos, además de que el flujo de sedimentos en cuencas exorreicas permite el aporte de nutrientes hacia los cuerpos hídricos de mayor orden como los océanos (servicio de regulación de nutrientes), así como la formación de playas que permiten el desarrollo de actividades recreativas y turísticas (servicios culturales de recreación y servicios de aprovisionamiento para instalaciones turísticas).

A pesar de los SE que proveen los bancos de arena en los arroyos, su extracción para uso comercial e industrial sigue latente por su valor económico en el mercado. Para el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2017) la concentración de un mineral, elemento o roca es considerado con suficiente valor económico para sostener su explotación cuando cumple la siguiente expresión:

Valor de la producción = Costos de explotación + beneficio industrial

Los costos de explotación del recurso están directamente relacionados con el método de extracción que se adapte de manera física, económica y ambiental para la recuperación del mineral comercialmente valioso. Desde el punto de vista económico, el mejor método de explotación deberá ser aquel que proporcione la mayor tasa de retorno en la inversión, satisfaga las condiciones de máximas seguridad y permita un ritmo óptimo de extracción. El beneficio industrial indica el refinamiento del material en greña para su uso mediante la remoción de impurezas para su comercialización y uso en la industria (SGM, 2017).

Para el caso concreto de materiales pétreos, la Dirección General de Desarrollo Minero (DGDM, 2015) indica que el método de extracción dependerá del origen y composición del material (Tabla 11) mediante el uso de palas o retroexcavadoras, pero de llegar a requerirse métodos de fragmentación, esto se realizará principalmente mediante barrenación y voladura usando explosivos para la fragmentación del material *in-situ*.

Tabla 11. Clasificación de materiales pétreos por su origen y composición.

Tipos de materiales pétreos por su origen	naturales	Yacimientos naturales que sólo necesitan ser elegidos para su explotación.
	artificiales	Localizados en macizos rocosos que para su obtención es necesario el uso de explosivos y trituradoras.
	industriales	Son aquellos que han pasado por diferentes procesos, como pudieran ser materiales de desecho, calcinados o procedentes de demoliciones.
Tipos de materiales pétreos por su composición	a base de cal	Producen efervescencia al contacto con ácidos y no producen chispas. Este grupo se subdivide en calcáreas y yesosas
	a base de sílice	Son muy resistentes, rayan el vidrio y no producen efervescencia al contacto con ácidos y no se descomponen por la acción del fuego. Por ejemplo: el cuarzo, pedernal, areniscas, piedaras molares, gneis, pórfido, basalto y lavas.
	a base de alúmina	Están compuestas de alúmina, sílice y óxido de hierro. No producen efervescencia a la acción de ácidos. A esta variedad pertenecen las pizarras.

Fuente: Elaboración propia con base en DGDM (2015).

Los productores de materiales pétreos reducen sus costos al extraer el material ya pulverizado -como la arena en los arroyos- en lugar de triturar las rocas más grandes que generan gran cantidad de arcillas disminuyendo su calidad. La arena del arroyo Guadalupe adquiere importancia económica por el tamaño de sus partículas así como su calidad mineralógica con alto contenido de cuarzo, ideal para la construcción (Navarro, 2004).

De acuerdo con el Anuario Estadístico para la Minería Mexicana (SE, 2019) en el 2017 la producción minera no metalúrgica representó el 19.7% de la minería total en México, es decir \$114,318,854,350.88 de pesos a precios corrientes. Esta actividad se compone del aprovechamiento de los agregados pétreos (rocas de gran magnitud), arenas y gravas (ver Tabla 12). En perspectiva, los agregados pétreos representan el 14.30%, la extracción de arenas el 3.72% y el aprovechamiento de grava 1.67% del total de la actividad minera en México.

Tabla 12. Valor de la producción minera no metalúrgica en México en el año 2017.

Material	Toneladas	Valor de la producción (pesos a precios corrientes)	\$/ton
Agregados pétreos	624,163,202.70	83,019,763,281.92	133.01
Arena	210,285,676.32	21,618,264,442.33	102.80
Grava	112,546,412.73	9,680,826,626.62	86.02
Total	946,995,291.76	114,318,854,350.88	120.72

Fuente: Elaboración propia con información de Secretaría de Economía (2019).

En comparativa a los precios nacionales, el precio por tonelada de arena en el 2016 en Estados Unidos era de 8.80 dólares, es decir \$181.46 MXN a precios corrientes (USGS, 2017).

En la Tabla 13 se muestra la cantidad extraída de los principales minerales no metálicos en Baja California, donde se puede observar que desde el 2014, los agregados pétreos son el material mayormente explotado, seguido de las arenas y las gravas. También es notable observar el comportamiento de los precios, que siguen el mismo orden de magnitud, y los agregados pétreos los mayor valorados monetariamente; sin embargo, el precio por tonelada de la arena estimado en Baja California (\$103.22 MXN en promedio, \$106.29 MXN para el año 2017) es mayor que el promedio nacional en el año 2017 (\$102.80 MXN), siendo que para las gravas y agregados pétreos ocurre lo contrario.

Al considerar los precios de mercado en México, es importante resaltar que los pétreos extraídos a cielo abierto, así como todas las rocas o los productos de su descomposición se exceptúan en la Ley Minera⁵, por lo que no están sujetos a las disposiciones de esta ley, incluido el pago de derechos y sanciones.

Tabla 13. Valores de producción y promedio de los principales materiales no minerales extraídos en Baja California, México, periodo 2014-2017.

Producto	Unidad de medida	Año de producción				Promedio
		2014	2015	2016	2017	
Agregados pétreos	Toneladas	95,361,829.64	84,991,405.38	93,712,015.91	92,220,554.25	91,571,451.30
	\$	11,253,894,226.9	10,243,693,995.39	11,674,260,151.66	12,266,228,688.95	11,359,519,265.75
	precio/ton	118.01	120.52	124.58	133.01	124.03
Arena	Toneladas ⁽¹⁾	21,803,259.88	1,469,695.36	1,581,941.86	12,201,490.00	9,264,096.78
	\$	2,597,252,645.59	129,226,078.86	157,479,760.64	1,296,869,685.85	1,045,207,042.74
	precio/ton	119.12	87.93	99.55	106.29	103.22
Grava	Toneladas ⁽²⁾	3,594,000.00	2,779,200.00	481,728.00	811,215.05	1,916,535.76
	\$	341,246,167.96	202,139,966.72	28,004,544.15	69,777,721.58	160,292,100.10
	precio/ton	94.95	72.73	58.13	86.02	77.96
Promedio	precio/ton	110.69	93.73	94.08	108.44	

Notas: (1) Cifras estimadas con base al consumo de cemento y cal en la construcción. (2) Cifras estimadas con base al consumo de cemento. Fuente: Secretaría de Economía (2019).

Aunque el material pétreo se excluya de la Ley Minera, la extracción en los márgenes y cauces de cuerpos de agua está sujeta a la Ley Federal de Derechos en Materia de Aguas Nacionales, ya que la extracción de materiales en la zona federal administrada por la Comisión Nacional del Agua requiere de un permiso o concesión especial emitido por ésta y que tiene un costo de \$1,779.00 pesos (DGDM, 2015, DOF, 2016).

Estos trámites, junto con la aprobación de las normas fiscales, laborales, medio ambientales y de seguridad social pertenecen a la primera etapa de la cadena productiva de extracción de materiales pétreos que indica la DGDM (ver *Ilustración 24*). Dicha etapa también contempla el despalme y preparación del terreno para una adecuada extracción, que es la segunda etapa.

⁵ Art. 5. Fraccc. IV y V (DOF, 2014).



Ilustración 24. Cadena productiva general de la extracción de materiales pétreos en México.

Fuente: DGMD (2015)

En la subcuenca Guadalupe, el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) cuenta con siete títulos concesionarios vigentes durante el 2021 (ver Tabla 14) para la extracción de 925,830 m³ de arena en el arroyo o en alguno de sus afluentes secundarios.

Tabla 14. Títulos concesionarios para la extracción de materiales pétreos por fecha de registro y ubicación en las zonas funcionales de la subcuenca Guadalupe.

Título	Corriente o vaso	Fecha de registro	Tipo de material	Zona funcional	Volumen de extracción anual (m ³)
01BCA200603/01EAGR06	Arroyo Guadalupe	31/08/2006	Arena	Media	112,500.00
01BCA200635/01EDOC10	Arroyo Guadalupe	30/08/2010	Arena	Baja	248,000.00
01BCA200642/01EDOC10	Arroyo Guadalupe y el Zorrillo	26/11/2010	Arena	Baja	257,600.00
01BCA200646/01EDOC11	Arroyo Guadalupe	11/07/2011	Arena	Media	30,470.00
01BCA200658/01EDOC12	Arroyo Guadalupe	07/01/2013	Arena	Baja	64,260.00
01BCA200667/01EDDA13	Arroyo la Zorra	04/11/2013	Material en greña	Baja	78,000.00
01BCA200668/01EDDA14	Arroyo Guadalupe	14/08/2014	Material en greña	Media	135,000.00
Total					925,830

Fuente: Elaboración propia con información de REPDA (2021).

Una de las propiedades físicas de la arena para la construcción es que su peso volumétrico promedio es 1.65 ton/m³ (CEMEX, s/f), y por ello, los títulos concesionarios del REPDA permiten la extracción de 1,527,620 toneladas de arena al año.

El objetivo de este capítulo es valorar económicamente la provisión de arena como servicio ecosistémico en la subcuenca Guadalupe. Para lograrlo, es necesario determinar la cantidad de arena que se produce en los límites de la subcuenca y definir cuál es su valor económico considerando el análisis de su precio en diferentes mercados.

3.2. Metodología

3.2.1. Cálculo de la cantidad de provisión de arena en la subcuenca Guadalupe.

Para determinar la cantidad de arena a valorar económicamente, es necesario saber que la arena es un material pétreo generado en el proceso de erosión hídrica (ver Ilustración 25). De acuerdo a lo descrito por Porta, López-Acevedo y Roquero (2003) así como Navarro (2004), el intemperismo desgasta la roca y el suelo desnudo (propiciado por la remoción de la cobertura vegetal ya sea por desmonte, incendios, cambios de uso de suelo, caminos, entre otros). El material segregado es arrastrado a través del escurrimiento hídrico por las laderas hasta los afluentes conectados con el vaso principal en el que las partículas sedimentan por su tamaño de las más gruesas (gravas) a las más finas (arcillas).

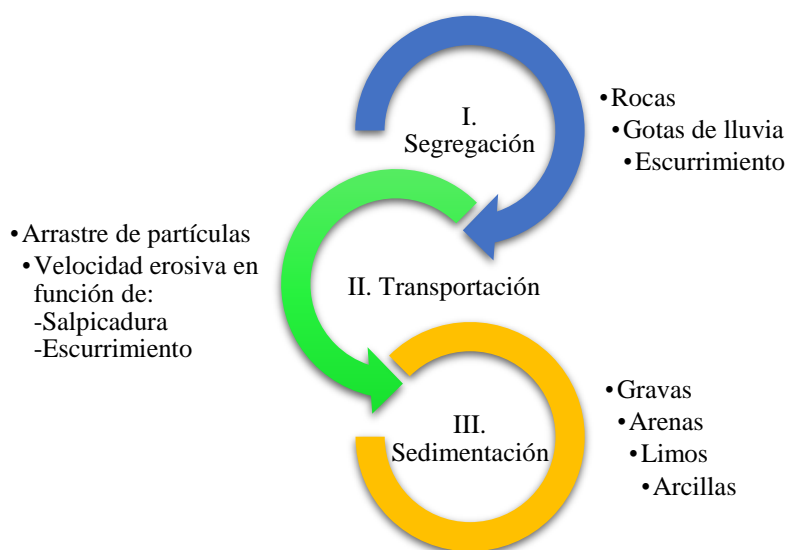


Ilustración 25. Elementos que componen el proceso de erosión hídrica para la generación de materiales pétreos. Fuente: Elaboración propia con base en Porta, López-Acevedo y Roquero (2003); Navarro (2004).

Entendido el proceso de erosión hídrica, se elaboró un Sistema de Información Geográfica (SIG) que identifica la superficie potencial de cúmulos de arena, basados en la topografía, geología, edafología y tipo de suelo que caracterizan a la subcuenca Guadalupe siguiendo el esquema del Modelo Espacio que se muestra en la *Ilustración 26* y teniendo como insumos 1) los límites de la subcuenca; 2) el Continuo de Elevaciones Mexicano en retícula de 15 metros; 3) tipos de uso de suelo y vegetación; 4) tipos de edafología y 5) la geología de la subcuenca. Posteriormente se generaron los mapas de pendientes y

orientaciones que juntos indican los sitios de acumulación, aporte y transporte de sedimentos. Por otro lado, se consideran las permeabilidades del suelo, la geología del terreno y su cobertura vegetal que en conjunto indican las áreas de erosión y flujo de sedimentos. Con ambos resultados se integró el mapa final del proceso de erosión hídrica y con el cual posteriormente se calculó la superficie con potencial de extracción de material pétreo. Para el diseño del SIG se utilizó la proyección UTM zona 11 Norte con el Datum WGS 84 en el software de licencia libre QuantumGIS en sus versiones 2.18 y 3.4.

3.2.2. Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de arena

Dado que la arena para la construcción ya posee precios de mercado, se procedió a realizar un análisis de mercados siguiendo la metodología de Labandeira, León y Vázquez (2007), a partir de los precios por tonelada de arena en Estados Unidos, en México y Baja California y los volúmenes calculados mediante el uso del SIG y los obtenidos en el REPGA (CONAGUA, 2021).

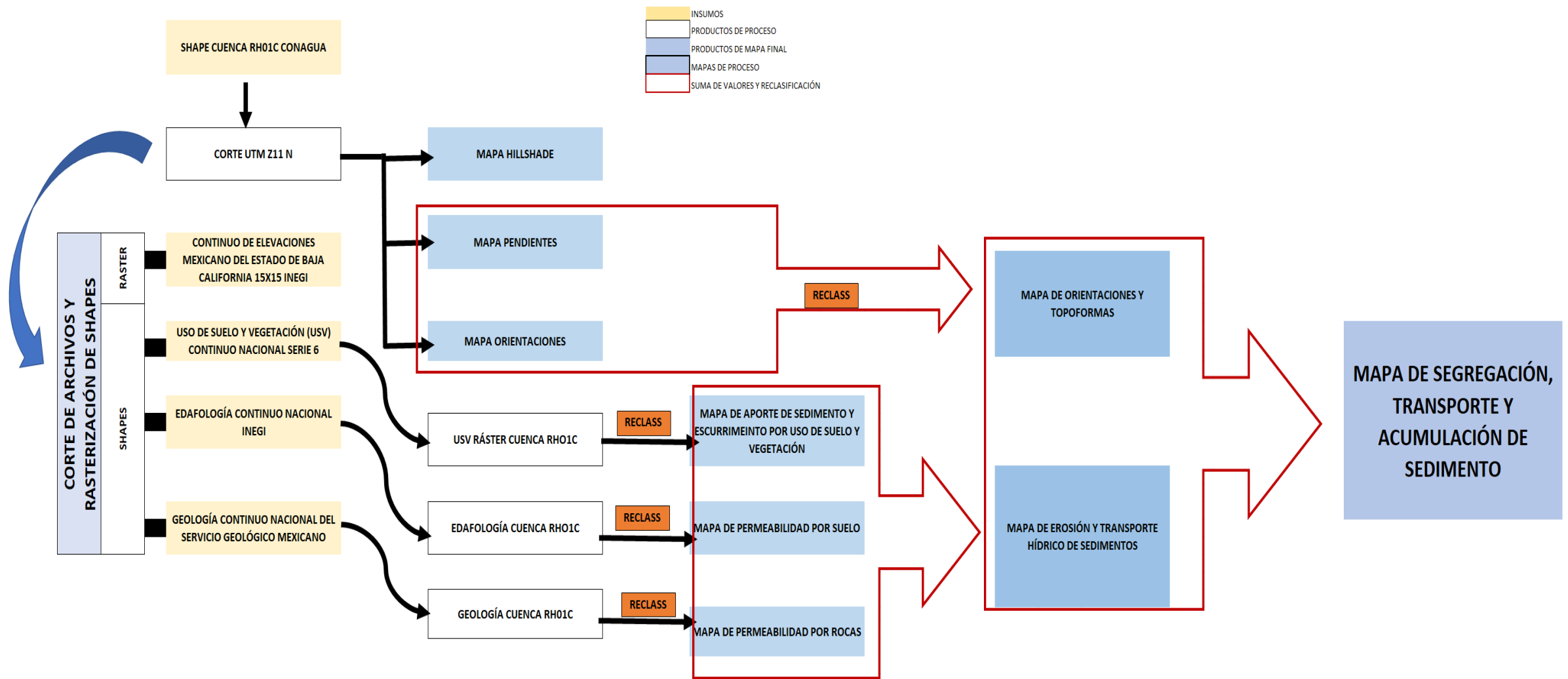


Ilustración 26. Modelo espacio para el proceso de erosión hídrica en la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Resultados

3.3.1. Cálculo de la cantidad de arena en la subcuenca Guadalupe.

Topoformas y orientaciones

En la *Tabla 15* y en la *Ilustración 27* se muestran los resultados de las topoformas y orientaciones de la subcuenca Guadalupe. El 44.28% de la superficie de la subcuenca se caracteriza por una pendiente hacia el oeste (NW, W, SW), correspondiente con el sentido exorreico hacia el Océano Pacífico, mientras que el 59.88% de la superficie posee la forma de llano, es decir, planicies con pendientes menores a 10 grados. Cabe destacar que se consideró como lomeríos el terreno con pendientes mayores a 20 grados.

Con este resultado, se determinaron que aquellas topoformas con orientación hacia el este (NE, E, SE) serían propicias para la segregación de material y la acumulación de sedimentos al detener el flujo natural de la corriente hídrica que desemboca en el oeste; las topoformas correspondientes al sentido exorreico (NW, W, SW) propiciarían la segregación y el transporte de material pétreo a través de la subcuenca; finalmente, las topoformas con pendientes exclusivas hacia el N y hacia el S se consideraron como benéficas para la segregación de sedimentos.

Tabla 15. Porcentaje de superficie de la subcuenca Guadalupe por tipo de orientación y topoforma.

Orientación	Topoforma			Total	
	Llano	Pie de monte	Lomerío		
N	6.10	2.67	2.24	11.01	
NE	4.54	2.02	1.29	7.85	30.14
E	6.72	3.11	2.57	12.40	
SE	6.18	2.36	1.34	9.89	
S	8.69	3.38	2.50	14.57	
SW	9.11	3.14	1.67	13.92	44.28
W	11.53	4.43	3.24	19.20	
NW	7.00	2.65	1.51	11.16	
Total	59.88	23.76	16.36	100	

Fuente: Elaboración propia.

Erosionabilidad y transporte

Como resultado del análisis de erosión y permeabilidad de la subcuenca se determinó que, al contrario del mapa de infiltración mostrado en el CAPITULO II donde las zonas de infiltración están sujetas a la presencia de vegetación natural y la baja permeabilidad del suelo que permite la absorción edafológica del agua (ver *Tabla 11* y *Tabla 7*), las zonas de alta y media permeabilidad serán mayormente erosionables ante el impacto meteórico de la lluvia. De esta manera, el 79.31% de la superficie de la subcuenca es altamente erosionable (ver *Tabla 16* e *Ilustración 28*).

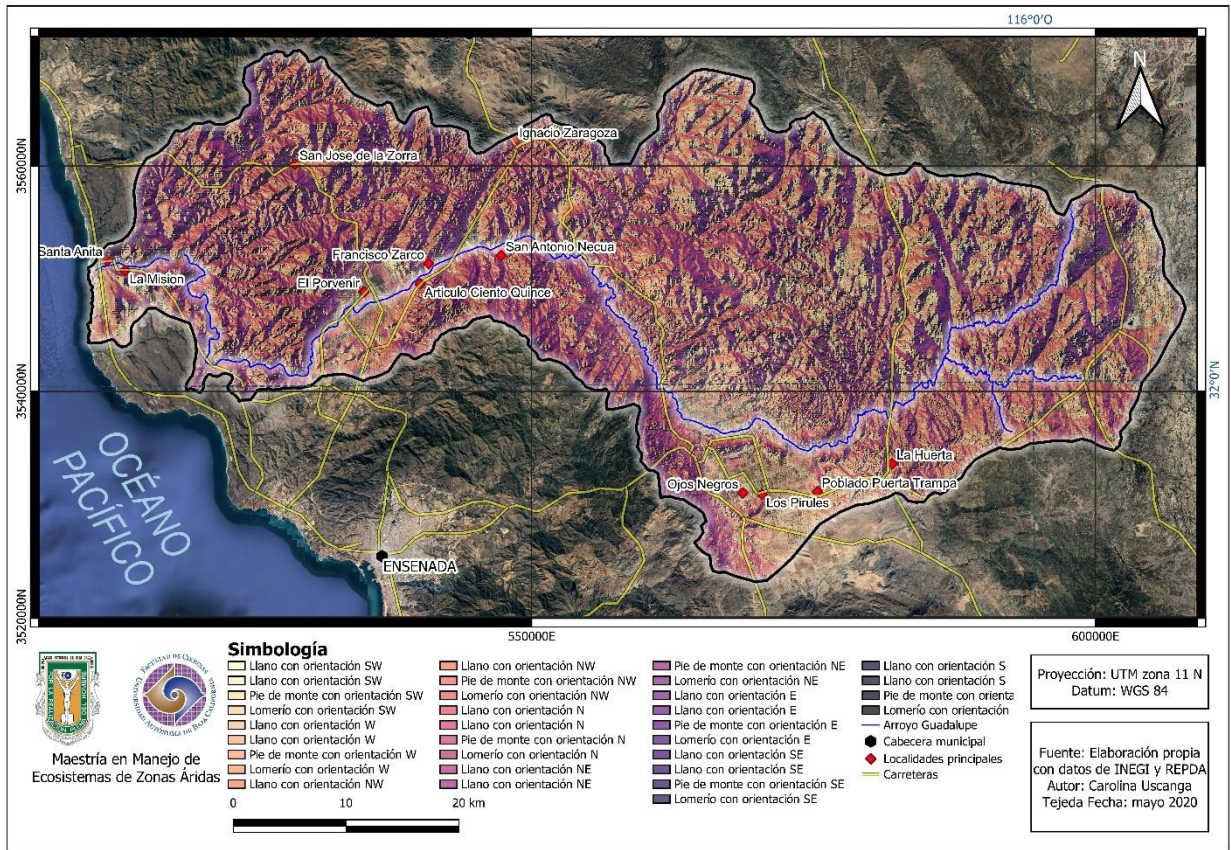


Ilustración 27. Mapa de topoformas y orientaciones de la subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Porcentaje de la superficie de la subcuenca Guadalupe de acuerdo con su condición de erosionabilidad y transporte hídrico.

Condición de erosión y transporte hídrico de sedimentos	Porcentaje
Suelo altamente erosionable	79.31
Suelo erosionable y de poco transporte hídrico	3.25
Suelo con medio transporte hídrico y poco erosionable	1.28
Suelo con transporte hídrico y no erosionable	13.22
Suelo con alto transporte hídrico y no erosionable	2.94
Total	100

Fuente: Elaboración propia.

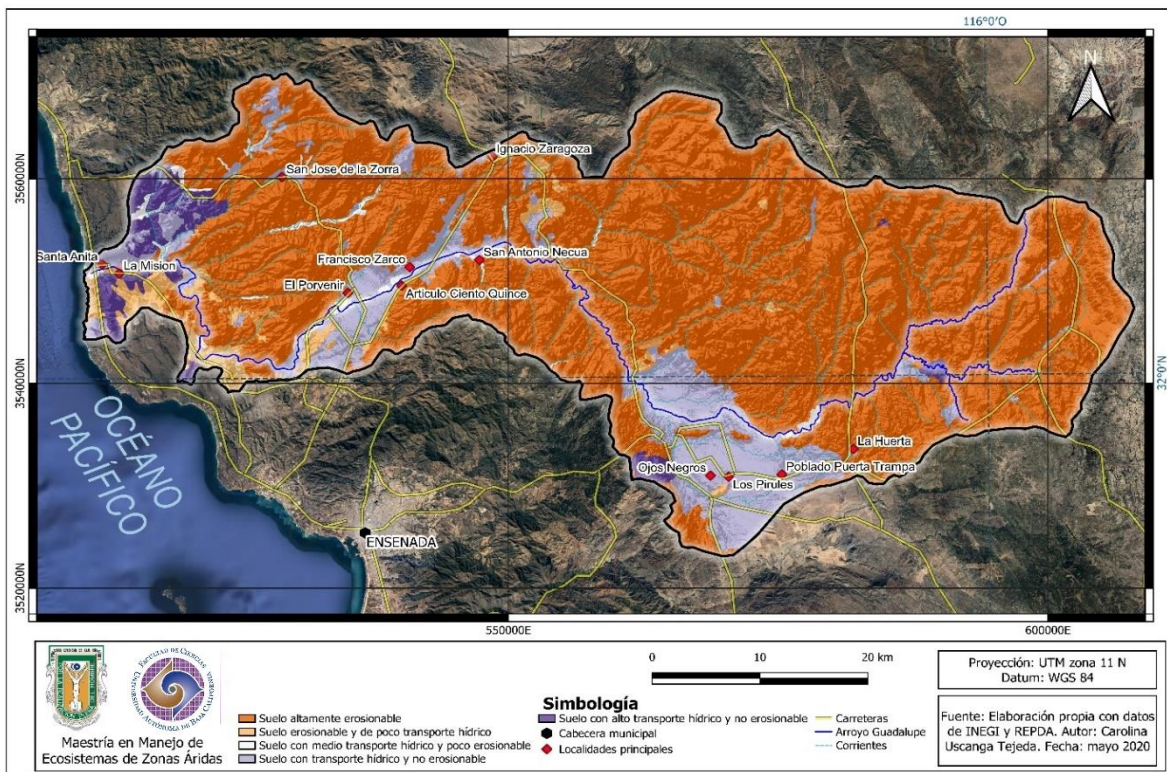


Ilustración 28. Mapa del proceso de erosión y transporte hídrico en la Subcuenca Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia

Segregación, Transporte y Sedimento

Al integrar el análisis de topoformas y orientaciones con el análisis de erosionabilidad y transporte hídrico, se reclasificó la información ráster para asignar las áreas potenciales de segregación de sedimentos, zonas de transporte y superficies con potencial de acumulación como se muestra en la Ilustración 29.

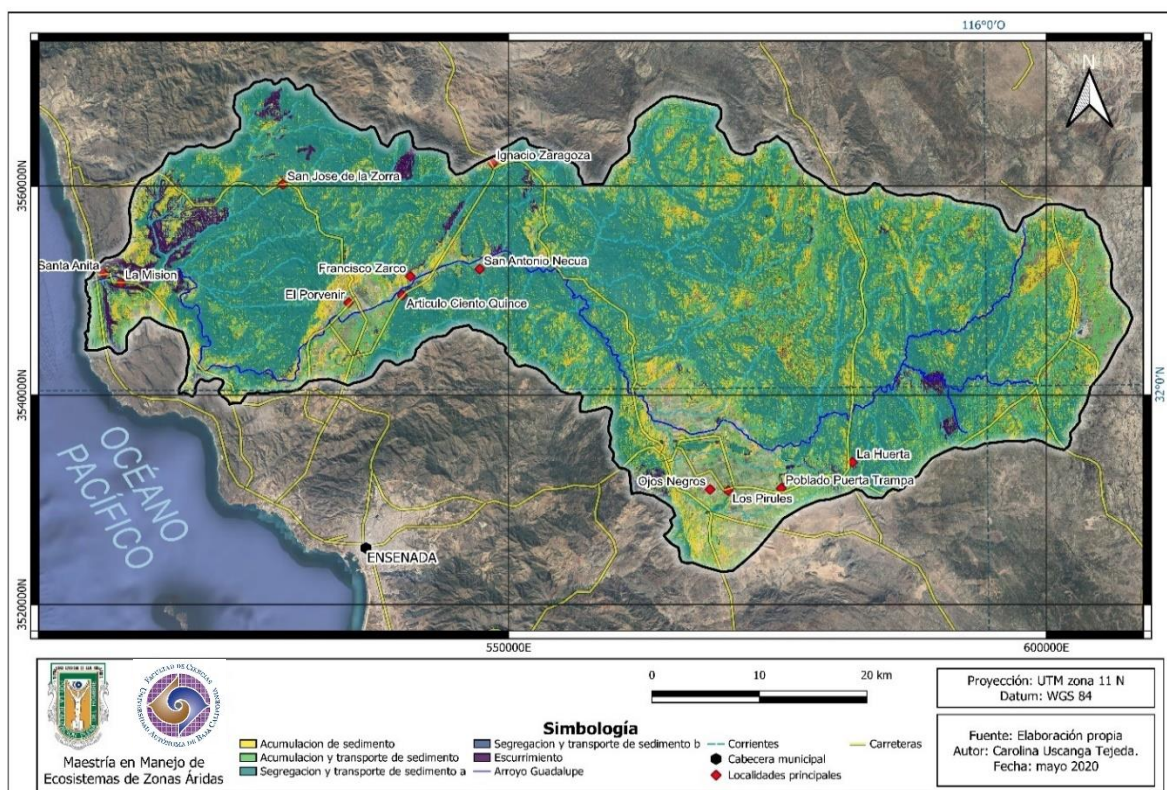


Ilustración 29. Mapa de sitios potenciales de segregación, transporte y acumulación de sedimentos en la subcuenca Guadalupe. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de conocer la aportación de materiales de toda la subcuenca, se calculó la superficie para cada una de las categorías obteniendo el área en kilómetros cuadrados (ver Tabla 17); sin embargo lo que se busca es calcular el volumen potencial de aportación, por lo que bajo los supuestos de que la superficie de acumulación tiene la profundidad de 1 metro para aprovechamiento y considerando sólo un periodo de tiempo en el que no se incrementa el cumulo de sedimentos si se extrae el volumen concesionado, se determinó que la aportación de materiales pétreos de la subcuenca Guadalupe es de 0.567 km³, lo que es equivalente a 935.451 millones de toneladas, considerando su peso volumétrico.

Tabla 17. Área de la superficie de la subcuenca Guadalupe de acuerdo con su condición de segregación, transporte y acumulación de sedimento.

Condición erosiva	área (km ²)	Porcentaje de la superficie
Acumulación de sedimento	566.94	23.62
Acumulación y transporte de sedimento	612.02	25.50
Segregación y transporte de sedimento a	1,133.43	47.23
Segregación y transporte de sedimento b	41.69	1.74
Escurrimiento	45.91	1.91
Total	2,400	100

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de arena

Bajo el supuesto de que los 935.451 millones de toneladas de sedimento acumulado son de interés comercial como arena para su uso en la construcción, se consideraron los precios de mercado en México, Baja California y Estados Unidos como se muestra en la Tabla 18. A nivel nacional, que el precio por tonelada de arena en Baja California sea mayor que el promedio nacional, representa un incremento en el valor económico del recurso en \$3,254.724 millones de pesos (MDP); mientras que la diferencia entre el valor nacional de la arena comparado con el precio estadounidense muestra una brecha de \$73,582.575 MDP.

Tabla 18. Valor económico de los sedimentos acumulados (arena) en la subcuenca Guadalupe a nivel local, nacional e internacional en precios corrientes.

Provisión de material pétreo (millones de toneladas)	Precio promedio de material pétreo				Total (MDP)*
	Lugar	Año	Tipo de material	precio/tonelada	
935.451	Estados Unidos	2016	Arena	181.46	169,746.938
	México	2017	Arena	102.8	96,164.363
	Baja California	2017	Arena	106.29	99,429.087

Fuente: Elaboración propia.*Millones de pesos, valores aproximados por efectos de redondeo.

Considerando que las toneladas permitidas para la extracción de materiales pétreos mediante los títulos concesionarios representan el 0.16% del volumen estimado de acumulación de sedimentos en la subcuenca, su valoración económica como servicio de provisión es mínimo (ver Tabla 19). Aun así, los precios de mercado por tonelada muestran grandes diferencias entre el ingreso que se pudiera obtener en el mercado local (162.371 MDP), nacional (157.039 MDP) y el internacional (277.202 MDP).

Tabla 19. Valor económico de los sedimentos concesionados por el REPDA en la subcuenca Guadalupe de acuerdo a su precio de mercado a nivel local, nacional e internacional en precios corrientes.

Provisión de material pétreo (millones de toneladas)	Precio promedio de material pétreo				Total (MDP)*
	Lugar	Año	Tipo de material	precio/tonelada	
1.528	Estados Unidos	2016	Arena	181.46	277.202
	México	2017	Arena	102.8	157.039
	Baja California	2017	Arena	106.29	162.371

Fuente: Elaboración propia. *Millones de pesos, valores aproximados por efectos de redondeo.

3.4. Discusión

El cálculo de la cantidad de materiales pétreos en un territorio determinado siempre ha sido una tarea complicada. Las estimaciones de la Secretaría de Economía (2019) en cuanto a los volúmenes de material pétreo comercializado en México y Baja California están basadas en los registros administrativos del consumo de cemento y cal en el ramo de la construcción, por lo que su cálculo no es preciso ya que existe la posibilidad de que el origen de extracción sea en sitios fuera de los límites administrativos de la contabilidad nacional y estatal.

En el 2004, Navarro estudió la cuenca hidrográfica Guadalupe estimando por hidrología superficial un área de 1,823 km² (alrededor de 600 km² menos que la cuenca hidrológica de esta investigación) determinando que la tasa de renovación de arenas en los cauces está en función de la ocurrencia de precipitaciones extremas. Estimó que los 376,000 m³ extraídos hasta ese momento mediante títulos concesionarios del REPDA, serían restituidos en cuatro avenidas (precipitaciones extremas con duración de 24 horas equivalentes a 110 mm) dentro de los siguientes 50 años. El déficit de esta investigación es que no considera ni ofrece estimaciones para el volumen de arena que se pudo extraer fuera de los arroyos.

Por otro lado, Acosta-Sánchez (2018) determinó que si se extrajera el total de arena permitida en las seis concesiones existentes en el 2017 (equivalente a 847,830 m³), la subcuenca tardaría en generar ese sedimento mediante erosión hídrica alrededor de 325 años, a partir del supuesto de un acumulamiento constante de 2,609 m³ de arena al año. Al contrario de Navarro (2004), Acosta-Sánchez no considera la variabilidad de las precipitaciones que derivan en el incremento o disminución del proceso erosivo, de transportación y acumulación de sedimentos, por lo que su estimación no es correcta; además de que tampoco considera la extracción en predios particulares.

Los resultados de la presente investigación ofrecen la aplicación de una metodología rápida para la identificación de zonas de acumulación de materiales pétreos a partir de los datos oficiales provenientes del INEGI en los límites de la subcuenca definidos por CONAGUA y los cuales se utilizaron para realizar una estimación de su valor económico bajo el supuesto de que la superficie de acumulación presenta un metro de profundidad aprovechable.

Esta metodología permite tener un escenario más realista sobre la cantidad y ubicación de la arena que puede estar siendo aprovechada no sólo por los títulos concesionarios registrados ante el REPDA, sino también servir de comparativo con los valores propuestos por el consumo de cemento y cal que realiza la Secretaría de Economía y utilizar los datos como insumo para identificar los predios particulares sujetos a la extracción fuera del cauce arroyo Guadalupe.

Además, esta investigación ilustra cuál es el ciclo erosivo de la subcuenca en condiciones específicas, como las lluvias extraordinarias mencionadas por Navarro (2004), clarificando que las estimaciones realizadas por Acosta-Sánchez (2018) de un promedio de acumulación anual no es la medida más precisa de definir la cantidad de material pétreo que puede ser extraído en la zona de estudio.

Por otro lado, los 0.5567 km^3 estimados como sedimentos acumulados mediante el uso de SIG tampoco pueden ser considerados para la toma de decisiones favorables en la extracción minera ya que no se cuenta con los estudios geológicos e hidrológicos *in situ* actualizados que respalden el aprovechamiento de arena o prevengan los daños ocasionados en el ecosistema por explotar tales cantidades de sedimento; sin embargo, son útiles para estimar la magnitud del servicio ecosistémico que la cuenca puede llegar a ofrecer y entender mejor el comportamiento del mercado en cuanto a la oferta y demanda del recurso natural.

Respecto a la valoración económica y desde el punto de vista teórico, los beneficios de los bienes de mercado (es decir, con precios definidos) se miden a partir de los excedentes de los consumidores (ver Anexo 1; Labandeira, León y Vázquez; 2007; Varian, 1999; Miller y Meiners, 1990). Para realizar el cálculo exacto en la subcuenca Guadalupe es necesario conocer el monto de arena extraído y su destino final con el objetivo de establecer los beneficios que se obtienen en el mercado nacional y en el extranjero, pero son datos con los que no se cuentan ni persiguen el objetivo de esta investigación.

Por otro lado, se puede desarrollar un ejercicio teórico para discutir el manejo de la arena en la subcuenca. En la Ilustración 30 se observa el modelo hipotético de mercado de arena en la subcuenca Guadalupe donde la curva de demanda representa la demanda de materiales pétreos en Estados Unidos y se toma como supuesto que el consumidor está dispuesto a pagar un precio máximo (P_{max}) por tonelada de arena. Por otro lado, la curva de oferta representa el precio mínimo necesario (P_{min}) al cual los productores mineros de la subcuenca Guadalupe pueden ofrecer las toneladas de arena extraídas y que cubra los costos de operación para satisfacer la demanda, alcanzando el punto de equilibrio (E), estableciendo un precio de equilibrio (PE) por una cantidad de toneladas (T). Siendo así, el modelo gráfico representa el excedente del consumidor en el área sombreada A, mientras que el excedente del productor es representado por la sombra B en el periodo de tiempo (1).

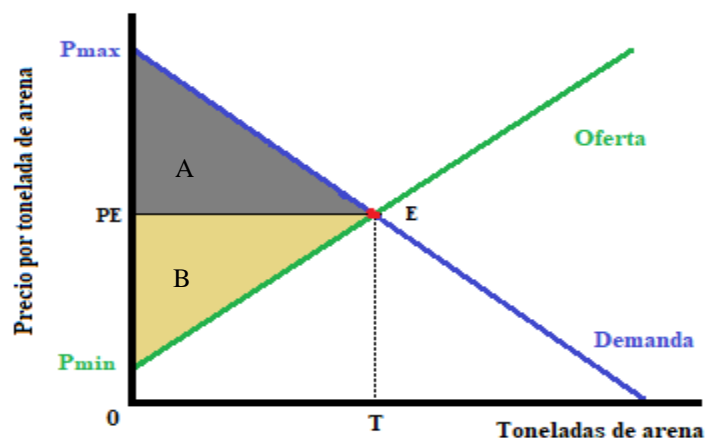


Ilustración 30. Excedente de los productores y consumidores de arena en la subcuenca Guadalupe en el primer periodo. Fuente: Elaboración propia

Si por alguna razón, la demanda de arena incrementara y la curva de oferta mantuviera su comportamiento constante, la curva de demanda se desplazaría hacia la derecha (ver Ilustración 31), provocando un incremento en el precio de mercado (PE') el cual estimularía la extracción de arena (incluyendo sus costos) hasta alcanzar el tonelaje necesario para satisfacer la demanda (T') en un nuevo punto de equilibrio (E') para el segundo periodo de tiempo. Este modelo de mercado explica el cómo la demanda de un recurso natural puede elevar su precio en el mercado y por ende, su extracción para satisfacer la necesidad de los consumidores, pero además, se ilustra de una manera muy clara que el excedente de ambas partes incrementa ($A+a$ para el consumidor; $B+b$ para los productores).

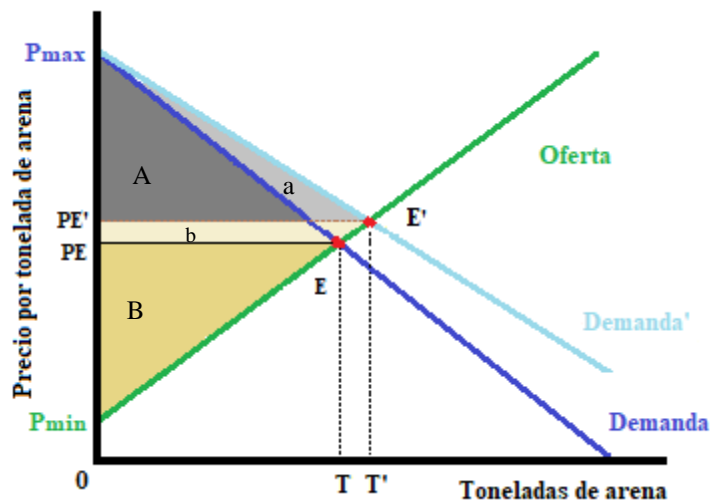


Ilustración 31. Excedente de los productores y consumidores de arena en la subcuenca Guadalupe dado un desplazamiento en la curva de demanda. Fuente: Elaboración propia.

¿Este excedente es algo positivo para el manejo de la arena como recurso natural? No necesariamente. Si la extracción de material pétreo se comporta en función de la demanda de materiales para la construcción (por poner un ejemplo), no se está considerando la capacidad de carga del ecosistema. Con capacidad de carga nos referimos a la cantidad de rocas que puede aprovecharse mediante minería de arena, así como el periodo en el cual el recurso se agote, ya que las rocas no son consideradas un recurso renovable. Al no contar la información exacta sobre la cantidad de material pétreo existente en el ecosistema, es muy complicado saber cuál es el límite extracción y el tiempo de recuperación necesario para que los yacimientos recarguen sedimento después de ser explotados.

Pero, si limitáramos la cantidad de extracción modificando la curva de oferta ¿qué sucedería?

Partamos del supuesto de que por algún tipo de regulación, la cantidad máxima de arena que puede ser explotada en el ecosistema es establecida en (T'') y que la demanda del recurso no se modifica. Esta regulación obliga que el recurso sea escaso en el mercado, por lo que la curva de oferta se contrae hacia el origen tomando la forma de escuadra (ver Ilustración 32), tratando de mantener los costos de producción al mínimo y de incrementar su excedente. El nuevo punto de equilibrio en este periodo (E'') se logra cuando el precio del recurso escaso alcanza otro precio que la curva de demanda establece que los consumidores están dispuestos a pagar (PE''). En este

modelo, la reducción de la arena disponible en el mercado incrementa su precio, aumenta el excedente de los productores ($B+b'$) y reduce el excedente de los consumidores (A) y los motivaría a satisfacer su demanda en otro mercado.

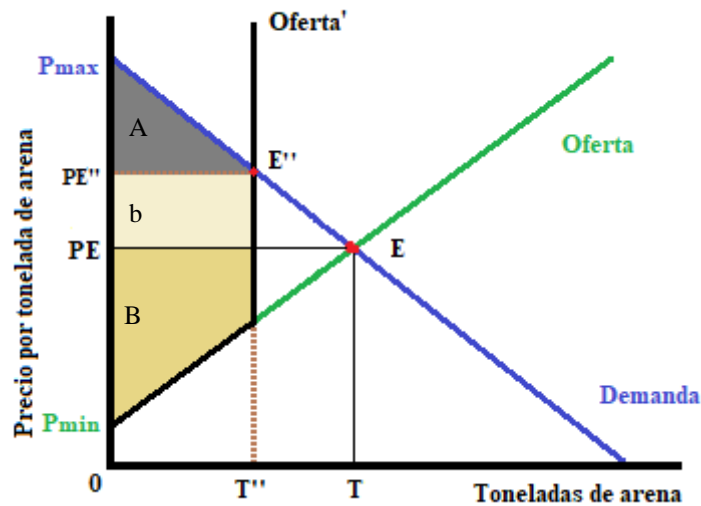


Ilustración 32. Excedente de los productores y consumidores de arena en la subcuenca Guadalupe dado un desplazamiento en la curva de oferta. Fuente: Elaboración propia.

3.5. Conclusiones

La minería es una actividad extractiva con historia en la península de Baja California.

El crecimiento económico de Real del Castillo, basado en la extracción de recursos naturales metálicos (oro) designó al pueblo como la capital del Partido Norte de Baja California, hasta que el recurso se agotó, dejando al pueblo casi en el abandono por 70 años. Al terminarse la minería aurífera, la vocación de este territorio se volvió agropecuaria, con movimientos migratorios de población flotante acorde a las temporadas agrícolas.

El servicio ecosistémico de minería en la subcuenca Guadalupe ha provisto de materiales al socioecosistema para su explotación. En los últimos años, la extracción de arena en el cauce de los arroyos ha sido intensiva, por lo que la actividad minera ha generado historia y crecimiento económico en la región.

La arena en la subcuenca Guadalupe provee varios servicios ecosistémicos (regulación por moderación de disturbios, producción de materiales, regulación del flujo de agua, regulación de nutrientes, servicios culturales de recreación, servicios de aprovisionamiento para instalaciones turísticas); pero es su valor de mercado como material para la construcción lo que le da el reconocimiento como recurso aprovechable en el socioecosistema Guadalupe.

La arena de la subcuenca es aprovechada bajo el esquema de minería a cielo abierto, en los cúmulos que se forman en el cauce del Arroyo Guadalupe. Por ser material ya pulverizado, los costos de extracción se mantienen al mínimo, además de que su precio de venta está definido en el mercado extranjero, el cual es mayor al que se puede ofertar en el mercado nacional.

Para definir el valor económico de este recurso natural, fue necesario estimar el volumen de arena que existe en la subcuenca Guadalupe, aunque dicha tarea no fue sencilla. Las estimaciones existentes presentan diferencias ente los límites administrativos que son considerados

para la medición, ya que se definen por los límites estatales o sobre el cauce del arroyo Guadalupe, sin considerar los cauces de segundo orden.

Las magnitudes para la medición de arena son puntos de atención al estimar su volumen y peso. Los datos de la subcuenca Guadalupe fueron calculados en kilómetros cuadrados para facilitar el manejo de números, los títulos concesionarios son otorgados en metros cúbicos de extracción, pero los precios de mercado están definidos en toneladas. Con esta información se concluye que es importante para el tomador de decisiones conocer las características físicas del recurso natural a manejar, para no cometer errores al interpretar las medidas calculadas.

Los métodos de cálculo para el volumen también difieren, ya que las mediciones estatales se basan en registros administrativos calculando las cantidades de arena utilizada en el ramo de la construcción, sin especificar de donde provienen los insumos pétreos; mientras que otras estimaciones realizan mediciones *in situ* con el uso de cálculos por hidrología superficial para determinar coeficientes de erosión y volumen de acumulación.

Para este capítulo, se propuso el análisis de un sistema de información geográfica que describe el proceso de erosión de las rocas en los límites de la subcuenca Guadalupe, estimando que existen 0.567 km³ de arena aprovechable, lo equivalente a 936 millones de toneladas para el aprovechamiento de arena en diferentes sitios potenciales de acumulación, de los cuales, se permite la extracción de 1.6 millones de toneladas al año mediante títulos concesionarios.

El valor económico de la arena estimada para aprovechamiento es considerado entre los 162.371 MDP y los 277.202 MDP, dependiendo de si el material pétreo se coloca en el mercado local, nacional o internacional.

El análisis teórico de los precios de mercado, desarrollado en las discusiones de este capítulo, explica que la extracción de arenas para su exportación se encuentra en función de satisfacer la demanda de los consumidores. Aunque las estimaciones para permitir la extracción de arena son favorables, estos números no consideran la capacidad de recarga de la subcuenca, es decir, el tiempo que el propio ecosistema tiene para recuperar cada tonelada de arena a través del lento proceso de erosión, por lo que se considera un recurso no renovable. Estos datos, tampoco especifican los umbrales máximos de extracción de material pétreo, ya que al aprovecharlo, se impacta negativamente en las funciones y servicios que la arena brinda para el funcionamiento ecosistémico de la subcuenca.

En cuanto a la utilidad de estos datos para el manejo de la subcuenca, se ha determinado que la arena no sólo se acumula en el arroyo principal de la subcuenca y que los permisos concesionarios de extracción permiten el aprovechamiento de un porcentaje mínimo del recurso (0.16% de manera anual). Sin embargo, estos datos no son suficientes para promover la minería a cielo abierto de materiales pétreos, así como tampoco son suficientes para frenar la extracción.

Siendo así, se propone que las futuras líneas de investigación, sea la búsqueda de métodos con mediciones *in situ* y con seguimiento a lo largo del tiempo que corroboren o complementen esta investigación, con el fin de brindar elementos suficientes para establecer umbrales de extracción que permitan el aprovechamiento del recurso sin poner en riesgo el funcionamiento del ecosistema, así como establecer límites a la exportación con el fin de regular el mercado

internacional, promoviendo el incremento de los beneficios para los productores (mineros de la subcuenca) sin que la actividad dañe de manera irreversible al ecosistema.

3.6. Referencias

- Acosta-Sánchez, M. (2018). Extracción de arena e impacto ambiental en el colector principal de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California. Tesina de Especialidad: Gestión Ambiental. CEMEX. Concreto. (s/f). México. [Consulta: enero, 2021]. Disponible en <http://www.cemexmexico.com/Concreto.aspx>
- Comisión Nacional del Agua (2018). Registro Público de Derechos de Agua. Base de datos consultada en junio 2021. Disponible en <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Diario Oficial de la Federación (2016). Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. Consultado en febrero 2021. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105138/Ley_Federal_de_Derechos.pdf
- Dirección General, de Desarrollo Minero (2015). Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos: Documento de Análisis. Subdirección de Cadenas Productivas. Dirección de Fomento y Organización. Dirección General de Desarrollo Minero. Coordinación General de Minería. Secretaría de Economía. México
- Gorman, A. (2003) Mexican Officials Dig In Their Heels Over Mining of Baja Sand. Periódico Los Angeles Times (25 marzo 2003).
- Labandeira, X., León, C., & Vázquez, M. X. (2007). Economía Ambiental. Pearson Educación.
- Medellín-Leal, F. & Gómez-González, A. (1979) Management of natural vegetation in the semi-arid ecosystems of Mexico (ed.). Management of semi-arid ecosystems (pp. 379-388). doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41759-6.50017->
- Miller, R. L., Meiners, R. E., Arango Congote, C. F., & Mayorga Torrado, V. (1990). Microeconomía.
- Navarro Palacios, R. A. (2004). Aportación desde la hidrología a la gestión ambiental de la extracción de arena en el arroyo Guadalupe, B.C.
- Ponce A., (2013) Historia de Baja California. De Cueva Pintada a la Modernidad.
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente (No. 631.4 333.73 551.305). Mundi-Prensa.
- Secretaría de Economía (2019). Panorama Minero del Estado de Baja California. Servicio Geológico Mexicano.
- Servicio Geológico Mexicano (2017). ESTUDIO DE LA CADENA PRODUCTIVA DE LOS MATERIALES PÉTREOS.
- United States Geological Survey (2017). Mineral Commodity Summaries, January 2017
- Varian H. R. (1999). Microeconomía Intermedia, un enfoque actual. Antoni Bosch.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES PARA EL MANEJO BASADO EN MAPEO Y VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SUBCUENCA GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

Para el manejador de ecosistemas, es indispensable conocer los límites físicos del ecosistema, la distribución espacial de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que aporta a la sociedad.

Los servicios ecosistémicos son un concepto que resulta útil para explicar las complejas maneras en los que la sociedad aprovecha los recursos naturales que le rodean, ya sea que se haga uso de las funciones que mantienen los procesos ecológicos, o que un solo recurso brinde varios beneficios.

No existe un listado único de servicios ecosistémicos que pueda conceptualizar la particularidad de un ecosistema. Es importante conocer cuáles son las diferentes visiones y objetivos que cada listado integra para poder describir las relaciones hombre-naturaleza en el contexto de cada socioecosistema que se estudie.

El manejo integral de cuenca como guía para el manejo de ecosistemas es útil debido a que el ciclo hidrológico regula muchos de las funciones y recursos naturales. En las zonas áridas, el agua y los datos relacionados a ella son el recurso más escaso, por lo que las actividades humanas y el desarrollo de la sociedad están condicionados a su cantidad y calidad.

Aunque algunas decisiones que impactan el desarrollo de la sociedad pueden tomarse sin el conocimiento de la naturaleza en la que esta se desarrolla, muchos de los impactos repercuten en el ambiente. Conocer los procesos ecológicos, así como los límites naturales del ecosistema es útil para la toma de decisiones, ya que brinda la información necesaria para conocer los efectos positivos y negativos en el territorio, el cual no siempre es visible en números.

La cartografía para el manejo es indispensable. El proceso para el diseño y la consulta de los sistemas de información geográfica genera valiosa información tanto para los especialistas en cartografía como para los usuarios que consultan los mapas finales.

En esta investigación, se describió a la subcuenca Guadalupe como un socioecosistema de zona árida con clima mediterráneo que utiliza 24 servicios ecosistémicos esparcidos en sus zonas funcionales.

De estos 24 servicios ecosistémicos, se identificaron a 10 de ellos como prioritarios ya que las acciones que se implementen para su manejo inciden en toda la subcuenca:

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Regulación de agua | 6. Cultivo |
| 2. Suministro de agua | 7. Recreación |
| 3. Ciencia y educación | 8. Vivienda |
| 4. Minería | 9. Facilidades para el turismo |
| 5. Estética | 10. Refugio de especies |

Por ser una zona árida, el servicio más importante es el de provisión de agua, pero se encontró que otro servicio importante para la región, y poco estudiado sobre sus afectaciones al

ambiente, es la provisión de materiales pétreos. Este servicio ha sido aprovechado mediante minería intensiva en toda la subcuenca afectando el ciclo hidrológico para la provisión de agua subterránea. Ambos servicios fueron abordados en esta tesis.

La zona funcional media es el nodo concentrador de servicios ecosistémicos por su ubicación geográfica ya que conecta a la sierra de Juárez con el Océano Pacífico a través del Arroyo Guadalupe, sin embargo, esta es la zona que enfrenta un complicado panorama en cuanto al manejo del recurso hídrico.

Esto se debe a que en esta zona existe el valle de Guadalupe y el valle de Ojos Negros, los cuales son conocidos por sus actividades agrícolas, actividad económica demandante de agua, además de ser donde se ubican las principales localidades rurales e indígenas de la subcuenca.

Para la subcuenca Guadalupe, las zonas de infiltración son las más importantes para el servicio de provisión de agua, ya que en estas áreas se capta de manera anual la precipitación que se podrá extraer posteriormente en los acuíferos, y las cuales están bajo la política de protección y conservación en el Programa de Ordenamiento del Estado de Baja California, sin embargo, dichos lineamientos no se han cumplido y la sobreexplotación mediante pozos es insostenible.

Se propone la reducción en el número de pozos, ya sea de manera voluntaria (no renovar títulos concesionarios de extracción), la investigación y propuesta de algún mecanismo legal (como la pérdida de títulos concesionarios por rebasar los límites de extracción, así como reducir volúmenes de agua ya concesionados), eficientizar el uso hídrico en los cultivos (innovación en técnicas de cultivo y riego) que logren un balance positivo en cada acuífero, es decir, que no se encuentren sobreexplotados.

Referente al servicio de minería, fue necesario la cartografía del proceso de erosión derivado del ciclo hidrológico para determinar las zonas potenciales de acumulación y extracción de arena.

En el proceso, se determinó que la minería es una actividad recurrente a través de los años en la región, manteniendo la actividad aún y cuando las vetas de minerales se agotan (como pasó a principios del siglo pasado con el oro).

Al estimar la cantidad de arena explotable de la subcuenca y valorizarla a precios del mercado local, nacional e internacional, se demostró que las cantidades extraídas responden a la demanda extranjera del material pétreo sin considerar las afectaciones que su explotación tiene para el ciclo hidrológico de la subcuenca.

De esta manera, se realizó un ejercicio teórico de análisis de precios de mercado en el que se demostró que el modificar la oferta del recurso puede incidir en el comportamiento del mercado, beneficiando a los productores mineros y salvaguardando el recurso para que continúe cumpliendo con su función ecosistémica de infiltrar agua al subsuelo.

Aunque no se lograron determinar volúmenes exactos de extracción, se demostró que aún no se cuenta con la información necesaria para motivar o detener la actividad minera de materiales pétreos, por lo que se proponen futuras líneas de investigación enfocadas en la búsqueda de metodologías que generen datos exactos a partir de mediciones periódicas *in situ* para establecer umbrales de extracción y exportación que beneficien el mercado local.

Por supuesto, quedan abiertas las líneas de investigación para estudiar -por lo menos- el resto de servicios ecosistémicos prioritarios definidos en esta tesis los cuales consideren los límites de las zonas funcionales y la subcuenca para dar continuidad a las complejas relaciones del socioecosistema Guadalupe.

ANEXOS

Anexo 1. Mercados de competencia perfecta, excedentes del consumidor y del productor.

Requisitos de un mercado de competencia perfecta (Enríquez, 2008):

1. Bienes privados (exclusivos y rivales).
2. Certidumbre
3. Racionalidad
4. Existe un precio óptimo para los productos y factores de importancia económica
5. Información completa y simétrica
6. Costos de transacción nulos
7. Sin distorsiones por parte del gobierno
8. Maleabilidad y reversibilidad
9. No hay poder de mercado (muchos compradores y vendedores, inexistencia de monopolios u oligopolios)

De acuerdo con Miller y Meiners (1990), un mercado caracterizado por la competencia perfecta es aquel en el cual ningún comprador o vendedor individual puede ejercer influencia alguna sobre el precio mediante sus compras ventas individuales. En teoría, existen cuatro condiciones bajo las cuales surge un mercado perfectamente competitivo, en el cual es indispensable la presencia de todas ellas simultáneamente. Dichas condiciones son las siguientes:

1. Homogeneidad del producto. En competencia perfecta nos referimos a un producto homogéneo; existe un gran número de vendedores, cada uno de los cuales vende un producto idéntico. El aspecto que vale la pena resaltar acerca de la homogeneidad es que los compradores están en capacidad de escoger entre un gran número de vendedores, quienes ofrecen para la venta un producto que todos los compradores consideran exactamente el mismo.
2. Movilidad de recursos sin restricciones. Las empresas deben estar en capacidad de entrar o salir de cualquier industria, los recursos deben poder movilizarse sin ningún problema entre usos alternativos y los bienes y servicios deben ser vendibles donde quiera que el precio sea más alto.
3. Gran número de compradores y vendedores. Para que ningún agente económico pueda ejercer influencia alguna sobre el precio, debe existir un gran número de ellos y cada uno debe actuar de manera independiente. Además, el mayor comprador o el mayor vendedor debe proporcionar sólo una pequeña parte de las cantidades totales compradas y vendidas. Estrictamente hablando, la competencia perfecta no requiere de un gran número de vendedores si existe libre entrada dentro de la industria y si todas las empresas reales o potenciales se enfrentan a costos constantes (funciones de producción lineales u homogéneas).
4. Información perfecta. Todos los compradores y vendedores deben tener perfecta información acerca de sus curvas de demanda y de costos y acerca de la oferta y la demanda del mercado. De esta manera, existe información perfecta acerca de los precios a los cuales

pueden comprarse y venderse los diferentes bienes. Lo anterior garantiza que el precio por unidad de calidad constante, incluso el costo del transporte, sea uniforme.

Competencia perfecta y rivalidad.

A la definición de competencia perfecta se le hubiera podido agregar la cualidad adicional de una carencia total de rivalidad en el mercado, puesto que una vez que suponemos que existe perfecta información y que la participación de cada agente económico en el mercado es realmente insignificante, en realidad no existe rivalidad en el mercado y, por lo tanto, no existe ningún proceso para analizar. En realidad, en un mercado perfectamente competitivo sucederá que todas las señales de rivalidad estarán ausentes y no habrá incentivo para comprometerse en campañas de publicidad ni para realizar investigación de mercados, e indudablemente, no habrá diferenciación en el producto porque éste es homogéneo. Por el lado de los compradores, ningún comprador tendrá necesidad de buscar un negocio más ventajoso, ninguno se arrepentirá de haber hecho determinada compra e indudablemente ninguno se preocupará por mirar las marcas de los productos. En resumen, en un marco perfectamente competitivo, ninguna actividad realizada por parte de los individuos puede considerarse como un acto de rivalidad.

Realismo de los modelos teóricos.

El punto que vale la pena resaltar aquí no es que el modelo de competencia perfecta carezca de valor. En realidad, encontramos que este modelo nos permite entender las consecuencias de un determinado número de restricciones comunes sobre el comportamiento económico. Más bien, debemos tener en cuenta que cuando trabajamos con un modelo de competencia perfecta, tendremos que eliminar en alguna extensión los supuestos correspondientes, con el objeto de poder aplicar dicho modelo a los fenómenos de la vida real.

Las afirmaciones según las cuales el modelo de competencia perfecta debería de ser abandonado porque los supuestos en los cuales se basa lo convierten en un modelo inaplicable para la vida real son incorrectas desde todo punto de vista. En efecto, el modelo es útil como una primera aproximación para lograr entender la manera como los mercados operan y para predecir los resultados de políticas microeconómicas predeterminadas. En la medida en que se reconozcan tanto sus limitaciones como sus cualidades, el modelo de competencia perfecta se constituye en una invaluable herramienta para el análisis económico.

Excedentes del consumidor y del productor.

El excedente del consumidor (ver la Ilustración 33) es definido como la diferencia entre el precio máximo que el consumidor estaría dispuesto a pagar por un bien y el precio que realmente ha de pagar (sombreado A). En el caso del productor, el valor de mercados corresponde a la superficie B+C, donde B son los costos que debe cubrir el productor para generar la cantidad de equilibrio y C representa las ganancias o el excedente del productor.

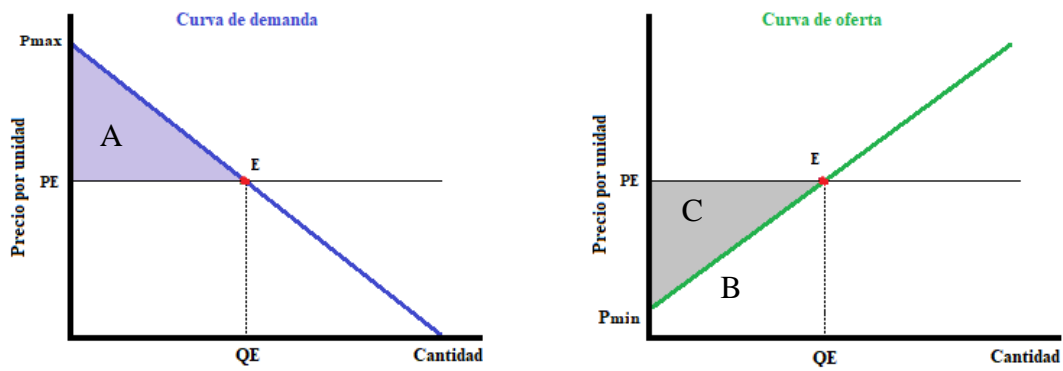


Ilustración 33. Excedente del productor y el consumidor a partir de las curvas de oferta y demanda.

Fuente: Miller y Meiners (1990).

Cuando se considera estos conceptos de manera conjunta (ver *Ilustración 34*), se establece que en cualquier punto de equilibrio (y bajo el supuesto de mercados de competencia perfecta) se percibirán ambos tipos de excedentes en el mercado (Miller y Meiners, 1990).

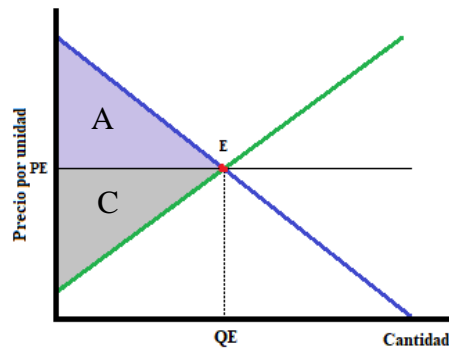


Ilustración 34. Excedente del consumidor y del productor en competencia perfecta.

Fuente: Miller y Meiners (1990).

Anexo 2. Literatura consultada para la búsqueda de servicios ecosistémicos

- Acosta, D. (2014). Evaluación fisiológica y socioeconómica el uso de agua residual tratada para la irrigación de vid en el valle de Guadalupe, Baja California, México (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Baja California, México
- Acosta, D., Macías, V., Mendoza L., y Cabello, L. (2013). Efecto del agua residual tratada sobre la composición química de uva tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. *Agrociencia*, 47(8), 767-779
- Acosta, D., Macías, V., Mendoza L., y Cabello, L. (2013). Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. *Agrociencia*, 47(8), 753-766
- Adams, T. (1987). Los molokanos rusos de Baja California, *Estudios Fronterizos*, 5 (14) 125–135.
- Aguilar, S., González, D., y Grimaldi, O (2011). Ectomicorrizas asociadas a *Pinus jeffreyi* en el Parque Nacional “Constitución De 1857” en Baja California, México, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17 (3) 325–332.
- Álvarez, P. (2010). Apropiación social del ordenamiento ecológico en valle de Guadalupe, Baja California, México (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California, México
- Anderson, J. (2003). The U.S.-Mexico border: a half century of change. Doi: 10.1016/S0362-3319(03)00067-3
- Aragon, C., Prol, R., y Torres, M. (2015). Geothermal prospects in the Baja California Peninsula. Elsevier, 55 (2015), 39-57.
- Armenta, F. (2015) Diagnóstico integral del acuífero Guadalupe y recomendaciones para la implementación de reglas operativas de apropiación. (Tesis de especialidad), Universidad Autónoma de Baja California, México.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.74
- Barrera, A. (2014). Propuesta de Modelo de Indicador de Riesgo Espacial de Incendios a largo plazo: Caso de estudio Sierra de Juárez. (Tesis de Especialidad) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Bringas, N., Quiñónez, J. y Barrios, C. (24-27 septiembre de 2014). Reinventando caminos para el desarrollo comunitario a través del turismo: La Ruta del Vino en Baja California. Congreso de Investigación Turística Aplicada 2014, Zapopan, Jalisco
- Buendía, A. y Del valle, M. (2016). Productividad en la Industria de la Uva y la eficiencia de los recursos disponibles en el valle de Guadalupe, Baja California, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17 (3) 325–332.
- Cabello-Pasini, A., y Macias-Carranza, V., y Mejía-Trejo, A. (2017). Efecto del Mesoclima en la Maduración de la uva Nebbiolo (*Vitis vinifera*) en el valle de Guadalupe, Baja California, México. *Agrociencia*, 51 (6), 617-633.
- California Peninsula, Mexico, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 216-234,"

- Camacho, A. (2016), Análisis de las estrategias de adaptación a la escasez hídrica de las empresas vitivinícolas del valle de Guadalupe, B.C. (Tesis de Maestría), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México.
- Campos, G., Contreras, S., Andreu, A., Varela, A., y Campos, E. (2005). An annotated distributional checklist of exotic freshwater fishes from the Baja
- Campos, G., Palacios, E., Guerrero, J., Guzmán, S., y Bathe, E. (2005). Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México, *Ciencias Marinas*, 31 (3) 553 – 576.
- Campos, J. (2014). Future groundwater extraction scenarios for an aquifer in a semiarid environment: case study of Guadalupe valley Aquifer, Baja California, Northwest Mexico. Doi: 10.1007/s10661-014-3980-6
- Campos, J. y Kretzschmar, T. (2006). Numerical understanding of regional scale water table behavior in the Guadalupe valley aquifer, Baja California, Mexico, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 3, 707-730, <https://doi.org/10.5194/hessd-3-707-2006>.
- Campos, J. (2008). Simulación del flujo de agua subterránea en el acuífero del valle de Guadalupe, Baja California México. (Tesis de Doctorado). Centro de Investigación Científicas y de Educación Superior de Ensenada, México
- Campos, M. (2018). “Propuesta de monitoreo participativo en el manejo y conservación del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), en el ejido Cordillera Molina de la Sierra Juárez, Baja California, México”. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Celaya, D. (2014). El desarrollo del sector vitivinícola en Baja California (2000-2013): Un análisis desde la perspectiva del desarrollo endógeno. (Tesis de Doctorado). Colegio de la Frontera Norte, México
- CESPE (2010). Programa Integral del Agua del municipio de Ensenada, B.C. (PIAME). México
- CONAGUA (2007) Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California, Tomo I
- CONAGUA (2007) Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California, Tomo II
- CONAGUA (2007) Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California, Tomo III
- Covarrubias, J., y Thach, L.(2015). Wines of Baja Mexico: A qualitative study examining viticulture, enology, and marketing practices. Elsevier, 4 (2015) ,110–115.
- Daessle, L., Mendoza, L., Camacho, V., Rozier, W., Morton, O., Van, L., Lugo, K., Quintanilla, A., y Rodríguez, A. (2006). The hydrogeochemistry of a heavily used aquifer in the Mexican wine-producing Guadalupe valley, Baja California. Doi: 10.1007/s00254-006-0318-x
- De León, G., Rodríguez, R. y Ruiz, G. (2016). Current distribution status of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Northwestern Baja California, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87 (2016) 1328–1335.
- De León, G., Rodríguez, R., y Ruiz, G. (2016). Current distribution status of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Northwestern Baja California, Mexico, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87 (2016) 1328 –1335.

- Del Toro Guerrero , F., Kretzschmar, T. (2016). Identificación de periodos de sequía histórica en una región de clima tipo semiárido mediterráneo, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(6),1311-1320
- Del Toro Guerrero , F., Kretzschmar, T., y Hinojosa, A.(2014). Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México, *Tecnología y Ciencias del Agua*,5(6), 69-81
- Delgado, M.,y Delgadillo, M. (2016). Primer registro de bajapalos pecho canela (*Sitta canadensis*) en el bosque de Los Attenuatas, Baja California, RHuitzil, *Revista Mexicana de Ornitología*, 18 (1) 7 – 10.
- Esoinoza, I.(2012). EOMYSTICETIDAE Y PELOCETIDAE (CETACEA: MISTICETI), NUEVOS REGISTROS EN LA FAUNA LA MISIÓN, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.. (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Espejel, I., Fischer, D., Hinojosa, A., García, C., y Leyva, C. (1999). Land-use planning for the Guadalupe valley, Baja California, Mexico, *Elsevier*. 45 (1999), 219-232
- Esquivel, D.(2015). Evaluación de la diversidad genética en poblaciones de Borrego Cimarron (*Ovis canadensis cremnobates*) al norte de Sierra Juárez, Baja California, con marcadores moleculares. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Fernández, Z.(2012). Composición y diversidad espacio-temporal de la avifauna de Laguna Hanson e inmediaciones, en el Parque Nacional Constitución de 1857, Sierra de Juárez, Baja California, México. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Figuroa, A.(2013). “Conducción de agua tratada de el Sauzal hasta el valle de Guadalupe”. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California, México
- Figuroa, Y.(2012). Afectación por aves y mamíferos en viñedos del valle de Guadalupe, Ensenada, Baja California, México. (Tesis de Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
- Flores, G.(2006). Composición de la quiropterofauna de Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Gaeta, A.(2006). Productividad de la vid en función del aprovechamiento de agua subterránea en el valle de Guadalupe 1994 -2004. (Tesis de Maestría). Colegio de la Frontera Norte, México
- Garduño, E. (2009) Los grupos Yumanos de Baja California: ¿indios de paz o indios de guerra? una aproximación desde la teoría de la resistencia pasiva. Universidad Autónoma de Baja California
- Góngora, M.(2006). Propuestas de prácticas sustentables en la industria vitivinícola de Baja California, México. (Tesis de Maestría). Colegio de la Frontera Norte, México
- González, J.(2013). Monitoreo y modelado de la respuesta del nivel freático ante eventos de precipitación en el acuífero de valle de Guadalupe, B.C. (Tesis de Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
- González, J.(2014). Preservación de la Biodiversidad y Provisión de Servicios Hidrológicos en la Cuenca del Arroyo Guadalupe, Baja California. (Tesis de Maestría). Colegio de la Frontera Norte, México

- González, M., Gallardo, C., Martín, A., Munguia, L. y Suárez, F. (2016). Subsurface constraints of an active detachment fault in Laguna Salada Basin, Baja California, México, from interpretation of seismic-reflection profiles, *Geosphere*, 12 (4) 1283 –1299
- González, S. (2016). Cadena de valor económico del vino de Baja California, México. México, *Estudios Fronterizos, nueva época*, 16 (32), 163-193
- González, S., y Fuentes, N. (2013). Matriz de Insumo-Producto Vitivinícola de Baja California, México, *ResearchGate*, 30 (81), 57-88
- González, S., y Fuentes, N. (2013). Matriz de Insumo-Producto Vitivinícola de Baja California, México, *ResearchGate*, 30 (81), 57-88
- Hallack, M. (2011). SENSO-conditioned rainfall drought frequency analysis in northwest Baja California, Mexico, *Royal Meteorological Society*, DOI: 10.1002/joc.2310
- Hallack, M.(2011). Análisis de frecuencias de precipitación por la metodología de L-momentos y sus efectos en la cuenca del arroyo de Guadalupe, Baja California, México. (Tesis de doctorado) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Henderson, D. (1960). Geography of: Sierras Juárez and San Pedro Martir, Baja California, México, *California Geographer*, 1() 21 –28
- IMIP (2008). Programa Integral del Agua de Ensenada. México. IMIP
- IMIP (2010). Programa Sectorial de desarrollo Urbano-Turístico de los valles Vitivinícolas de la zona norte del municipio de Ensenada (Región del vino) B.C. México
- IMIP (2011). Plan Estratégico de Desarrollo Económico del Municipio de Ensenada (PEDEME). México
- IMIP (2014). Programa Municipal Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable de Ensenada. México
- IMIP. (julio 2014). Programa Integral del Agua del Municipio de Ensenada (PIAME). Baja California
- Kretschmar, T., y Frommen, T. (2013). Stable isotope composition of surface and groundwater in Baja California, Mexico, Alemania, Elsevier. 7 (2013), 451-454.
- Kurczyn, J., Kretschmar, T. y Hinojosa, A. (2007). Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24 (1), 1-14
- Leyva, C. y Espejel, I. (2013), *El valle de Guadalupe Conjugando tiempos*, México, Departamento de Editorial Universitaria..
- López, A.(2009). Caracterización Eléctrica del Lecho del Arroyo Guadalupe, Baja California. (Tesis de Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada ENTRO, México
- López, A.(2009). Caracterización Eléctrica del Lecho del Arroyo Guadalupe, Baja California. (Tesis de maestría) Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
- López, F.(2009). Propuesta de Zonificación en una Unidad de Manejo Forestal: Caso de Estudio Ejido Sierra de Juárez, Baja California, México. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- Macías, M.(2006). Evaluación paisajística con fines de aprovechamiento agroturístico Caso: valle de Ojos Negros, Ensenada, B.C.. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Baja , México

- Maldonado, D.(2016). “Rango casero del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en la zona norte de Sierra Juárez, Baja California. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma de Baja , México
- MarketLine. (2017). Wine in Mexico, MarketLine Industry Profile, p.29
- Medellín, J., Mendoza, L., Lund, J., Harou, J. y Howitt, R. (2009). Virtues of simple hydro-economic optimization: Baja California, Mexico, *Journal of Environmental Management*, 90 (2009) 3470–3478.
- Méndez, D. (2009). Entre intenciones y limitantes: la industria vitivinícola en Baja California (1935-1943)*, *Signos Históricos*, 18 (2016) 148-179.
- Mendoza, L., y Cabello, A. (2015). Public acceptance of the use of reclaimed water for the irrigation of vineyards: a case study in Guadalupe valley, Mexico, *WIT Transactions on Ecology and The Environment*,, 190 (2015) 221-231.
- Mendoza, L., Cabello, A., Daessle, L. y Quintanilla, A. (2015). The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines, *Water Science y Technology—WST*, 57.9 (2008) 1445-1450.
- Meraz, L.(2014). Estrategias De Competitividad De Las Micro, Pequeñas Y Medianas Empresas Vinícolas De La Ruta Del Vino Del valle De Guadalupe, En Baja California, México. (Tesis de Maestria) Universidad Autónoma de Baja California, México
- Meraz, L., Valderrama, J. y Maldonado, S. (2012). La Ruta del Vino en el valle de Guadalupe, Baja California, México. Perspectiva frente al cambio climático: Una primera aproximación, Globalización y agricultura. Nuevas perspectivas en la sociología rural, DOI: 10.13140/2.1.3324.1923
- Molina, E., Hallack, M., Martínez, S., Ramírez, J., Munguray, A. y Sastre, A. (2016). Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico, *Agricultural Water Management*,175 (2016) 29–42.
- Montiel, J.(2013). Distribución de flora rara y endémica de charcas vnales en relación a las propiedades fisicoquímicas del suelo. (Tesis de maestría) Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada , México
- Morgan, J., Cuamea, O. y Minaverry, C. (2016). El enoturismo en México: Comportamiento de viaje y patrones de consumo en la Ruta del Vino, Baja California., *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, 3 (6) 73 –98
- Muñoz, V. (2011). Sierra de Juárez Patrimonio natural e histórico de Baja California.
- Najera, L.(2006). Un Estudio Geofísico De La Cuenca Sedimentaria El Porvenir, Municipio De Ensenada, Baja California, México. (Tesis de Maestria) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
- Orta, M., Olague, J., Lobo, M., y Cruz, I. (2016). Importancia y Valoración de los Componentes de Satisfacción en la Experiencia Enológica en valle de Guadalupe Ensenada, Baja California: Contribuciones al Proceso de Gestión Sustentable, *Revista De Análisis Turístico*,22 (2) 39–55.
- Paolinelli, M., Serrano, C. y Hernandez, R. (2015). Occurrence of *Eutypella microtheca* in grapevine cankers in Mexico., *RPhytopathologia Mediterraneas*, 54 (1) 86 –93
- Pells, C.(2014). Water into Wine: Power and participation in local groundwater governance in Guadalupe valley, México. (Tesis de doctorado) University of California, USA

- Peralta, A., Hollingsworth, B., Richmond J., Valdez, J., Ruiz, G., Fisher, R., Cruz, P. y Galina, P. (2014). OStatus of the California Red-Legged Frog (*Rana Draytonii*) in the state of Baja California, México., *Herpetological Conservation and Biology*, 11 (1) 168 –180.
- Pérez, M.(2017). “Análisis espacial de la presión antropogénica sobre las funciones y los servicios ambientales del valle de Guadalupe”. (Tesis de especialidad) Universidad Autónoma de Baja , México
- Ramírez, E.(2010). Diagnósis de las formas biológicas y de vida de la flora vascular de Sierra de Juárez, Baja California. (Tesis de especialidad) Universidad Autónoma de Baja California, México
- Ramírez-Hernández J., C. Carreón D., H. Campbell R., R. Palacios B., O. Leyva C., L. Ruiz M., R. Vázquez G., P. Rousseau F., R. Campos G., L. Mendoza E. y J. A. Reyes L. (2007) Informe Final. Plan de Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas en el Acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California. Tomo I. Reporte Interno. Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Dirección Técnica. Convenio: SGT-OCPBC-BC-07-GAS-001.
- Ramírez-Hernández J., C. Carreón D., H. Campbell R., R. Palacios B., O. Leyva C., L. Ruiz M., R. Vázquez G., P. Rousseau F., R. Campos G., L. Mendoza E. y J. A. Reyes L. (2007) Informe Final. Plan de Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas en el Acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California. Tomo II. Reporte Interno. Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Dirección Técnica. Convenio: SGT-OCPBC-BC-07-GAS-001.
- Ramírez-Hernández J., C. Carreón D., H. Campbell R., R. Palacios B., O. Leyva C., L. Ruiz M., R. Vázquez G., P. Rousseau F., R. Campos G., L. Mendoza E. y J. A. Reyes L. (2007) Informe Final. Plan de Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas en el Acuífero de Guadalupe, Estado de Baja California. Tomo III. Reporte Interno. Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California, Dirección Técnica. Convenio: SGT-OCPBC-BC-07-GAS-001.
- Romero, Y.(2017). Variación de la edafología y estrés hídrico en *Vitis vinifera* L. con relación al relieve en un viñedo del valle de Guadalupe, B.C., México. (Tesis de Maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, México
- Ruiz, J.(2017). “Una propuesta de manejo para el hábitat del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), en Sierra Juárez, Baja California, México”. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Baja California, México
- SAGARPA (2010) Estudio estadístico sobre la producción de cítricos en Baja California, México
- Salgado, J., Palacios, O., Galvis, A. Gavi, F.y Mejía, E. (2012). Efecto de la calidad de agua del acuífero valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas*, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,3 (1) –.
- Salinas, F.(2011). *Kentriodontidae* (Cetacea: Delphinoidea) de la fauna La Misión, Mioceno Medio. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Baja California, México

- Salinas, F., Flores, J., Helenes, J., Téllez, M., y Aranda, F. (2016).Paleoecología y cronoestratigrafía de las diatomeas del Miembro Los Indios en la Mesa La Misión, del Mioceno de Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 68 (3) 537-552
- Sánchez, L, y Mungaray, A. (2010). Vino de calidad: Base de desarrollo endógeno en el valle de Guadalupe, Baja California, Frontera Norte, 22(44) 109–132.
- Santos, R.(2015). Descripción de las comunidades vegetales en el norte de Sierra Juárez, Baja California, zona de distribución de borrego cimarrón (*Ovis canadensis cremnobates*). (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma de Baja California, México
- SEDESOL (2006). Programa de Desarrollo Regional, Region del Vino . México
- SEFOA (2015) Panorama General de valle de Guadalupe Baja California, 2015
- Silva, S.(2012). Efecto de bacteriófagos expresando moléculas en contra de *Xylella fastidiosa* en dos variedades de vid: Cabernet Sauvignon y Red Globe. (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de Baja California, México
- Solis, E.(2013). Análisis de la factibilidad del uso de las aguas tratadas: caso de estudio ciudad de Ensenada, agua con fines de riego al valle de Guadalupe. (Tesis de Especialidad) Universidad Autónoma del Estado de Baja California, México
- SPA (2016) Programa ambiental estratégico de la Región vitivinícola del valle de Guadalupe, Municipio de Ensenada, B.C., México
- Uribe, M.(2014). Propuesta para la Evaluación y Mitigación del impacto de los Parques Eólicos sobre la Quiropterofauna: caso de estudio Sierra de Juárez, Baja California.. (Tesis de especialidad) Universidad Autónoma de Baja California, México
- Vargas, F. (1997). Aspectos físicos, sociales, legales, administrativos, recreativos, biológicos, culturales, situación actual y propuestas en torno a los parques nacionales de México. Ciudad de México, México, Instituto Nacional de Ecología.
- Waller, C, y Mendoza, L. (2009). Optimización económico-ingenieril del suministro agrícola y urbano: una aplicación de reúso del agua en Ensenada, Baja California, México, *Ingeniería hidráulica en México*, 24 (4) 87–103.

Anexo 3. Diccionario de claves y descripción de capas temáticas

Capa temática	Código	Atributo	Descripción
Agua subterránea (NXXXXXX)	1	Material consolidado con posibilidades bajas	Roca masiva, coherente y continua con baja permeabilidad o espesores y áreas reducidas por lo que no son susceptibles de contener agua económicamente explotable.
	2	Cuerpo de agua perenne	Extensión de agua con limitada principalmente por tierra con presencia permanente. En el área de estudio se refiere a la zona de playa
	3	Material no consolidado con posibilidades altas	Material disgregable, suelto y no cementado con alto rendimiento para extraer agua del subsuelo.
	4	Material no consolidado con posibilidades medias	Material disgregable, suelto y no cementado con condiciones de permeabilidad y transmisibilidad favorables que permiten inferir la posible existencia de agua.
	5	Material no consolidado con posibilidades bajas	Material disgregable, suelto y no cementado con baja permeabilidad o espesores y áreas reducidas por lo que no son susceptibles de contener agua económicamente explotable.
	6	Material consolidado con posibilidades medias	Roca masiva, coherente y continua con condiciones de permeabilidad y transmisibilidad favorables que permiten inferir la posible existencia de agua.
Uso de suelo y vegetación (XNNXXXX)	10	Agricultura de riego anual	
	11	Cuerpo de agua	Extensión de agua con limitada principalmente por tierra
	12	Chaparral	
	13	Pastizal inducido	
	14	Matorral rosetófilo costero	
	15	Sin vegetación aparente	Considera las áreas en dónde no es visible o detectable alguna comunidad vegetal. Se incluyen los eriales, depósitos litorales, bancos de ríos y aquellas áreas dónde algún factor ecológico no permite o limita el desarrollo de la cubierta vegetal como falta de suelo, elevado nivel de salinidad o sodicidad y climas extremos (muy fríos o áridos).
	16	Vegetación de galería	
	17	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	
	18	Vegetación secundaria arbustiva de chaparral	
	19	Vegetación secundaria arbustiva de matorral rosetófilo costero	
	20	Agricultura de riego anual y permanente	
	30	Agricultura de riego anual y semipermanente	
	40	Agricultura de riego permanente	
	50	Agricultura de temporal anual	
	60	Agricultura de temporal anual y permanente	
70	Asentamientos humanos		
80	Bosque de encino		
90	Bosque de pino		
Geología (XXXNXX)	10	Ígnea extrusiva de tipo andesita	
	11	Ígnea intrusiva de tipo granodiorita	

	12	Ígnea intrusiva de tipo granodiorita-tonalita	
	13	Ígnea intrusiva de tipo tonalita	
	14	Metamórfica de tipo cuarcita	
	15	Metamórfica de tipo pizarra	
	16	Metamórfica de tipo esquisto	
	17	Metamórfica de tipo gneis	
	18	Metamórfica de tipo complejo metamórfico	
	19	Sedimentaria de tipo conglomerado	
	20	Ígnea extrusiva de tipo basalto	
	21	Sedimentaria de tipo arenisca	
	22	Suelo de tipo aluvial	
	23	Residual	
	30	Ígnea extrusiva de tipo toba ácida	
	40	Ígnea extrusiva de tipo andesita- toba intermedia	
	50	Ígnea extrusiva de tipo riolita	
	60	Cuerpo de agua	
	70	Ígnea intrusiva de tipo gabro	
	80	Ígnea intrusiva de tipo diorita	
	90	Ígnea intrusiva de tipo granito	
Edafología (XXXXXNN)	DESC	feozem háplico	Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes; sin ninguna otra propiedad especial.
	RIPTO	feozem lúvico	Suelo con una capa superficial oscura, algo gruesa, rica en materia orgánica y nutrientes; con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad.
	R	Xerosol háplico	Suelos de regiones secas. Tienen generalmente una capa superficial clara y delgada, con cantidades muy variables de materia orgánica según el tipo de textura que tengan; sin ninguna otra característica especial.
		fluvisol eútrico	Suelos aluviales recientes, generados por influencia de ríos; rico en nutrientes y bases (Ca, Mg, K, Na), dentro de 50 cm de profundidad.
		fluvisol calcarico	Suelos aluviales recientes, generados por influencia de ríos; con enriquecimiento secundario de carbonatos (cal), menor de 15%, al menos en alguna parte a 50 cm de profundidad.
		Litosol	Suelo con menos de 10 cm de espesor.
		Planosol eutricto	Suelos situados generalmente en depresiones topográficas, tienen un subsuelo arcilloso que disminuye el drenaje considerablemente; con subsuelo rico o muy rico en nutrientes.
		regosol eutricto	Suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre; con un subsuelo rico o muy rico en nutrientes.
		regosol calcarico	Suelos sin estructura y de textura variable, muy parecidos a la roca madre; con algo de cal a menos de 50 cm de profundidad
		Vertisol crómico	Suelos muy arcillosos en cualquier capa a menos de 50 cm de profundidad. En época de secas tienen grietas muy visibles a menos de 500 cm de profundidad, siempre y cuando no haya un riego artificial. Estos suelos se agrietan en la superficie cuando están muy mojados; suelo oscuro pero no tanto como el vertisol pélico.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Capa temática	Código	Suelo 1	Subsuelo 1	Suelo 2	Subsuelo 2	Suelo 3	Subsuelo 3
Edafología	10	H2O					
	11	Litosol		regosol	'ḡ éutrico		
	12	Litosol		feozem	h'ḡ éplico		
	13	Litosol		regosol	'ḡ éutrico		
	14	Litosol					
	15	fluvisol	'ḡ éutrico				
	16	regosol	calc'ḡ érico	regosol	'ḡ éutrico	fluvisol	calc'ḡ éric
	17	regosol	'ḡ éutrico	feozem	h'ḡ éplico	fluvisol	'ḡ éutrico
	18	regosol	'ḡ éutrico	feozem	h'ḡ éplico		
	19	regosol	'ḡ éutrico	Litosol		feozem	h'ḡ éplico
	20	feozem	h'ḡ éplico	Litosol		regosol	'ḡ éutrico
	21	regosol	'ḡ éutrico	Litosol			
	22	regosol	'ḡ éutrico				
	23	Vertisol	cr'ḡ émico	regosol	'ḡ éutrico		Litosol
	24	Vertisol	cr'ḡ émico				
	25	Planosol	'ḡ éutrico	regosol	'ḡ éutrico		
	26	Planosol	'ḡ éutrico				
	28	Litosol		regosol	'ḡ éutrico		feozem
	29	regosol	'ḡ éutrico	Litosol		Vertisol	cr'ḡ émico
	30	feozem	h'ḡ éplico	Litosol			
	40	feozem	h'ḡ éplico	regosol	'ḡ éutrico		Litosol
50	feozem	h'ḡ éplico	regosol	'ḡ éutrico			
60	feozem	h'ḡ éplico	regosol	'ḡ éutrico			
70	feozem	h'ḡ éplico	Xerosol	h'ḡ éplico		Litosol	
80	feozem	l'ḡ évico					
90	Litosol		feozem	h'ḡ éplico			

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Anexo 4. Diccionario de datos de las Unidades de Repuesta Hídrica

HIDROLOGÍA DE AGUA SUBTERRÁNEA		USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	GEOLOGÍA			EDAFOLOGÍA							Area_k m	Area_rel_tot
Clave Urh	Atributos	Atributos	Clave servicio geológico mexicano	Roca	Tipo	Clave	Suelo 1	Subsuelo 1	Suelo 2	Subsuelo 2	Suelo 3	Subsuelo 3		
1103020	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de riego anual	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	hh+i+re/2/1	feozem	háptico	litosol		regoso 1	eutrico	2.586	0.108
1121020	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	ts(a)	ignea extrusiva	andesita	hh+i+re/2/1	feozem	háptico	litosol		regoso 1	eutrico	15.056	0.627
1121111	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			55.154	2.298
1121120	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	hh+i+re/2/1	feozem	háptico	litosol		regoso 1	eutrico	22.120	0.922
1121128	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	14.645	0.610
1121130	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	hh+i/2/1	feozem	háptico	litosol				12.514	0.521
1121170	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	hh+xh+i/2/1	feozem	háptico	xerosol	háptico	litosol		49.780	2.074
1121214	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	i/1	litosol						21.432	0.893
1121216	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso 1	eutrico	fluviso 1	calcarico	214.604	8.941
1121219	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re+i+hh/1/1	regosol	eutrico	litosol		feozem	háptico	97.679	4.070
1121221	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re+i/1/1	regosol	eutrico	litosol				38.780	1.616
1121222	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re/1	regosol	eutrico					1.295	0.054
1121228	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	295.583	12.315
1121240	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	hh+re+i/2/1	feozem	háptico	regosol	eutrico	litosol		80.956	3.373
1121260	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	hh+re/2/1	feozem	háptico	regosol	eutrico			1.398	0.058
1121311	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(tn)	ignea intrusiva	tonalita	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			55.978	2.332
1121312	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(tn)	ignea intrusiva	tonalita	i+hh/2	litosol		feozem	háptico			3.874	0.161

1121320	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(tn)	ígneas intrusivas	tonalita	hh+i+re/2/l	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico	7.274	0.303
1121340	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(tn)	ígneas intrusivas	tonalita	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		3.860	0.161
1121428	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(c)	metamórficas	cuarcita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	2.143	0.089
1121440	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(c)	metamórficas	cuarcita	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		3.672	0.153
1121470	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(c)	metamórficas	cuarcita	hh+xh+i/2/l	feozem	háplico	xerosol	háplico	litosol		1.130	0.047
1121511	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(pz)	metamórficas	pizarra	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			15.669	0.653
1121540	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(pz)	metamórficas	pizarra	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		41.196	1.716
1121560	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(pz)	metamórficas	pizarra	hh+re/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico			2.916	0.121
1121570	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(pz)	metamórficas	pizarra	hh+xh+i/2/l	feozem	háplico	xerosol	háplico	litosol		3.196	0.133
1121611	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			22.108	0.921
1121616	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluvisol	calcarico	25.283	1.053
1121628	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	2.393	0.100
1121630	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				52.038	2.168
1121640	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		52.745	2.198
1121660	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	hh+re/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico			40.195	1.675
1121690	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(e)	metamórficas	esquisto	i+hh/2	litosol		feozem	háplico			2.667	0.111
1121716	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(gn)	metamórficas	gneis	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluvisol	calcarico	11.698	0.487
1121721	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(gn)	metamórficas	gneis	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				2.876	0.120
1121728	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(gn)	metamórficas	gneis	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	41.932	1.747
1121740	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	m(gn)	metamórficas	gneis	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		48.361	2.015
1122029	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	ts(b)	ígneas extrusivas	basalto	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	3.514	0.146
1122030	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	ts(b)	ígneas extrusivas	basalto	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				2.140	0.089

112222	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re/1	regosol	eutrico							2.143	0.089
1123011	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re/1	litosol		regosol	eutrico					27.867	1.161
1123013	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re/2	litosol		regosol	eutrico					2.809	0.117
1123014	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i/1	litosol								4.933	0.206
1123020	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	hh+i+re/2/1	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico			146.450	6.102
1123028	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico			59.493	2.479
1125011	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(r)	ignea extrusiva	riolita	i+re/1	litosol		regosol	eutrico					6.541	0.272
1125028	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(r)	ignea extrusiva	riolita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico			2.088	0.087
1125040	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(r)	ignea extrusiva	riolita	hh+re+i/2/1	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol				11.931	0.497
1125060	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(r)	ignea extrusiva	riolita	hh+re/2/1	feozem	háplico	regosol	eutrico					7.843	0.327
1128016	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluvisol	calcarico			14.032	0.585
1128028	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico			5.845	0.244
1128030	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	hh+i/2/1	feozem	háplico	litosol						5.838	0.243
1128040	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	hh+re+i/2/1	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol				18.907	0.788
1128060	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	hh+re/2/1	feozem	háplico	regosol	eutrico					5.471	0.228
1128070	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(d)	ignea intrusiva	diorita	hh+xh+i/2/1	feozem	háplico	xerosol	háplico	litosol				7.772	0.324
1129011	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	i+re/1	litosol		regosol	eutrico					66.860	2.786
1129013	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	i+re/2	litosol		regosol	eutrico					5.065	0.211
1129017	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	re+hh+je/1	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico			2.664	0.111
1129020	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	hh+i+re/2/1	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico			5.701	0.238
1129028	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico			1.318	0.055
1129030	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	hh+i/2/1	feozem	háplico	litosol						2.024	0.084

1129070	material consolidado con posibilidades bajas	chaparral	k(gr)	ignea intrusiva	granito	hh+xh+i/2/l	feozem	háptico	xerosol	háptico	litosol		21.053	0.877
1131015	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	ts(a)	ignea extrusiva	andesita	je/1	fluvisol	eutrico					1.900	0.079
1131121	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				1.781	0.074
1131128	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	1.891	0.079
1131228	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	3.961	0.165
1131621	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	m(e)	metamorfica	esquisto	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				1.767	0.074
1131660	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	m(e)	metamorfica	esquisto	hh+re/2/l	feozem	háptico	regosol	eutrico			3.932	0.164
1132020	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	hh+i+re/2/l	feozem	háptico	litosol		regosol	eutrico	3.657	0.152
1132029	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	10.315	0.430
1132221	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				1.816	0.076
1133028	material consolidado con posibilidades bajas	pastizal inducido	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	4.992	0.208
1161216	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n de galer? a	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregosol	eutrico	fluvisol	calcarico	5.047	0.210
1171228	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arb? rea de bosque de pino	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	3.942	0.164
1181020	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	ts(a)	ignea extrusiva	andesita	hh+i+re/2/l	feozem	háptico	litosol		regosol	eutrico	2.673	0.111
1181130	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	hh+i/2/l	feozem	háptico	litosol				8.152	0.340
1181721	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	m(gn)	metamorfica	gneis	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				4.070	0.170
1182029	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	21.752	0.906
1182030	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	hh+i/2/l	feozem	háptico	litosol				10.827	0.451

1183020	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	hh+i+re/2/l	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico	3.316	0.138
1183028	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	3.343	0.139
1191030	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de matorral rosetófilo costero	ts(a)	ignea extrusiva	andesita	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				1.131	0.047
1192030	material consolidado con posibilidades bajas	vegetación? n secundaria arbustiva de matorral rosetófilo costero	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				11.070	0.461
1301630	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de riego anual y semipermanente	m(e)	metamorfica	esquisto	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				2.410	0.100
1302225	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	we+re/2	Planoso l	eutrico	regosol	eutrico			2.220	0.092
1401117	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de riego permanente	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+hh+je/l	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico	1.885	0.079
1401122	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de riego permanente	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+i/l	regosol	eutrico	litosol				5.944	0.248
1501111	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	i+re/l	litosol		regosol	eutrico			2.413	0.101
1501117	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+hh+je/l	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico	5.152	0.215
1501120	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	hh+i+re/2/l	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico	3.326	0.139
1501121	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				5.121	0.213
1501122	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+i/l	regosol	eutrico	litosol				6.661	0.278
1501222	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re/l	regosol	eutrico					5.054	0.211
1501311	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(tn)	ignea intrusiva	tonalita	i+re/l	litosol		regosol	eutrico			1.991	0.083
1501540	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	m(pz)	metamorfica	pizarra	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		4.468	0.186
1502029	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	2.495	0.104
1502030	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	hh+i/2/l	feozem	háplico	litosol				12.727	0.530

1502226	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	we/1	planoso l	eutrico					2.469	0.103
1503020	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	hh+i+re/2/l	feozem	háplico	litosol	regoso l	eutrico		1.291	0.054
1601117	material consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual y permanente	k(gd)	ignea intrusiva	granodiorita	re+hh+je/l	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluviso l	eutrico	2.618	0.109
1701029	material consolidado con posibilidades bajas	asentamientos humanos	ts(a)	ignea extrusiva	andesita	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertiso l	cromico	2.746	0.114
1702011	material consolidado con posibilidades bajas	asentamientos humanos	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			3.930	0.164
1802029	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de encino	ts(b)	ignea extrusiva	basalto	re+i+vc/2/l	regosol	eutrico	litosol		vertiso l	cromico	2.614	0.109
1803028	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de encino	k(a-ti)	ignea extrusiva	andesita-toba intermedia	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	3.045	0.127
1901216	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de pino	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluviso l	calcarico	7.477	0.312
1901218	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de pino	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	re+hh/1	regosol	eutrico	feozem	háplico			22.253	0.927
1901228	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de pino	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háplico	79.212	3.300
1901240	material consolidado con posibilidades bajas	bosque de pino	k(gd-tn)	ignea intrusiva	granodiorita-tonalita	hh+re+i/2/l	feozem	háplico	regosol	eutrico	litosol		6.209	0.259
3102215	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual	q(al)	n/a	aluvial	je/1	fluvisol	eutrico					4.835	0.201
3102217	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual	q(al)	n/a	aluvial	re+hh+je/l	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluviso l	eutrico	14.132	0.589
3116010	material no consolidado con posibilidades altas	cuerpo de agua	h2o	n/a	n/a	h2o	h2o						2.081	0.087
3132216	material no consolidado con posibilidades altas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluviso l	calcarico	2.199	0.092
3132221	material no consolidado con posibilidades altas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	re+i/1/l	regosol	eutrico	litosol				3.062	0.128
3132222	material no consolidado con posibilidades altas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	re/1	regosol	eutrico					5.636	0.235
3132225	material no consolidado con posibilidades altas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	we+re/1	planoso l	eutrico	regosol	eutrico			3.913	0.163
3132226	material no consolidado con posibilidades altas	pastizal inducido	q(al)	n/a	aluvial	we/1	planoso l	eutrico					2.301	0.096
3162217	material no consolidado con posibilidades altas	vegetación? n de galer? a	q(al)	n/a	aluvial	re+hh+je/l	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluviso l	eutrico	5.370	0.224
3302215	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	je/1	fluvisol	eutrico					15.825	0.659

3302216	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	rc+re+jc/1	regosol	calcarico	oregoso l	eutrico	fluvisol	calcarico	1.399	0.058
3302222	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	re/1	regosol	eutrico					15.607	0.650
3302225	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	we+re/2	planoso l	eutrico	regosol	eutrico			55.257	2.302
3302226	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y semipermanente	q(al)	n/a	aluvial	we/1	planoso l	eutrico					17.615	0.734
3402217	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego permanente	q(al)	n/a	aluvial	re+hh+je/1	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico	2.882	0.120
3502211	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			3.541	0.148
3502215	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	je/1	fluvisol	eutrico					3.486	0.145
3502217	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	re+hh+je/1	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico	11.012	0.459
3502218	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	re+hh/1	regosol	eutrico	feozem	háplico			4.304	0.179
3502220	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	hh+i+re/2/1	feozem	háplico	litosol		regoso l	eutrico	2.842	0.118
3502222	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	re/1	regosol	eutrico					3.532	0.147
3502224	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	vc/3	vertisol	cromico					5.203	0.217
3502225	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	we+re/1	planoso l	eutrico	regosol	eutrico			17.471	0.728
3502226	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	we/1	planoso l	eutrico					15.076	0.628
3502280	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de temporal anual	q(al)	n/a	aluvial	hl/2	feozem	luvico					6.254	0.261
3602211	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y permanente	q(al)	n/a	aluvial	i+re/1	litosol		regosol	eutrico			2.112	0.088
3602217	material no consolidado con posibilidades altas	agricultura de riego anual y permanente	q(al)	n/a	aluvial	re+hh+je/1	regosol	eutrico	feozem	háplico	fluvisol	eutrico	24.967	1.040
3702225	material no consolidado con posibilidades altas	asentamientos humanos	q(al)	n/a	aluvial	we+re/1	planoso l	eutrico	regosol	eutrico			1.140	0.048
3702227	material no consolidado con posibilidades altas	asentamientos humanos	q(al)	n/a	aluvial	zu	zu						3.080	0.128
3901621	material no consolidado con posibilidades altas	bosque de pino	m(e)	metamorfica	esquistoso	re+i/1/1	regosol	eutrico	litosol				2.253	0.094

390228	material no consolidado con posibilidades altas	bosque de pino	q(al)	n/a	aluvial	i+re+hh/1	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	4.178	0.174
413120	material no consolidado con posibilidades medias	pastizal inducido	q(cg)	sedimentaria	conglomerado	re/1	regosol	eutrico					2.733	0.114
4132120	material no consolidado con posibilidades medias	pastizal inducido	ks(ar)	sedimentaria	arenisca	hh+i+re/2/1	feozem	háptico	litosol		regosol	eutrico	3.630	0.151
4181928	material no consolidado con posibilidades medias	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	q(cg)	sedimentaria	conglomerado	i+re+hh/2	litosol		regosol	eutrico	feozem	háptico	4.375	0.182
4182129	material no consolidado con posibilidades medias	vegetación? n secundaria arbustiva de chaparral	ks(ar)	sedimentaria	arenisca	re+i+vc/2/1	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	1.532	0.064
4501929	material no consolidado con posibilidades medias	agricultura de temporal anual	q(cg)	sedimentaria	conglomerado	re+i+vc/2/1	regosol	eutrico	litosol		vertisol	cromico	2.782	0.116
4502024	material no consolidado con posibilidades medias	agricultura de temporal anual	ts(b)	igena extrusiva	basalto	vc/3	vertisol	cromico					2.015	0.084
4502330	material no consolidado con posibilidades medias	agricultura de temporal anual	q(re)	n/a	residual	hh+i/2/1	feozem	háptico	litosol				1.410	0.059
4702330	material no consolidado con posibilidades medias	asentamientos humanos	q(re)	n/a	residual	hh+i/2/1	feozem	háptico	litosol				1.744	0.073
5502324	material no consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	q(re)	n/a	residual	vc/3	vertisol	cromico					2.159	0.090
5502330	material no consolidado con posibilidades bajas	agricultura de temporal anual	q(re)	n/a	residual	hh+i/2/1	feozem	háptico	litosol				1.109	0.046