

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“Extracción de arena e impacto ambiental en el colector principal de la cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California”

Trabajo terminal
que para obtener el diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta:
Manuel Misael Acosta Sánchez

Director:
Dr. Carlos Francisco Peynador Sánchez

Ensenada, B.C.

Octubre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

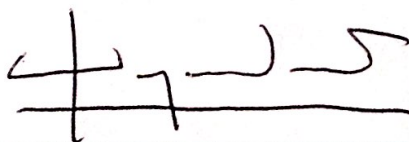
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**“Extracción de arena e impacto ambiental en el colector principal
de la Cuenca Guadalupe, Ensenada, Baja California”**

Trabajo terminal
que para obtener el diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta:
Manuel Misael Acosta Sánchez

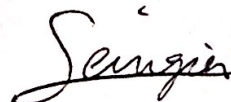
Aprobado por:



Dr. Carlos Francisco Peynador Sánchez
Director



Dr. Hiram Rivera Huerta
Sinodal



Dr. Georges Seingier
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo económico, mediante el programa de becas nacionales.

A la Universidad Autónoma de Baja California y a la Especialidad en Gestión Ambiental, por permitirme formar parte de ellas y darme el conocimiento para mi formación profesional.

Al apoyo del proyecto “*Evaluación de Riesgos Bioeconómicos debidos a la Sobreexplotación de Acuíferos en Regiones Áridas y Costeras urbanas y agrícolas*”, del CONACYT con la UABC, la UNAM y la Universidad Técnica de Brunswick; dentro del cual se desarrolló este trabajo.

A la Dra. Ileana Espejel, al Dr. Carlos Peynador, al Dr. Hiram Rivera y al Dr. Georges Seinger, por su apoyo en la realización de este trabajo y su notable dedicación en la revisión de este trabajo.

A mis padres, a mi hermana y a todos los miembros de mi familia, sería imposible no sentirme agradecido por todo el amor y apoyo que me brindan, pues a pesar de la distancia siempre están conmigo de una u otra manera.

A todas y cada una de las personas que conocí durante la especialidad que con su paso dejaron en mi una enseñanza, así como por su invaluable apoyo dentro y fuera de la Universidad.

RESUMEN

La disponibilidad hídrica es una de las principales funciones ecosistémicas, ya que ofrece numerosos servicios a la sociedad, como el abastecimiento para uso doméstico, agrícola e industrial. El agua puede volverse un recurso muy limitado en lugares con un clima árido o semiárido. El colector principal de la cuenca Guadalupe ubicado a 30 km al norte de la ciudad de Ensenada, B.C., cruza por localidades que se caracterizan por una economía basada en la agricultura, tales como Valle de Guadalupe y Real del Castillo. Sin embargo, debido a una mala gestión, estas actividades han llevado a los acuíferos que los abastecen a un déficit. Aunado a ello, también se desarrollan otro tipo de actividades sobre el colector, tales como la explotación de materiales pétreos y la construcción de vialidades. La intención de este trabajo es estimar la presión antropogénica sobre el colector principal de la cuenca Guadalupe y evaluar la afectación a los servicios ecosistémicos. Para ello, se usó un Indicador de Cambio de Uso del Suelo, donde se observó una pérdida de naturalidad de 5.74% en un periodo de 28 años (1986-2014), asociada principalmente a la agricultura; asimismo, la mayor parte del territorio transformado tuvo un impacto de bajo a medio, con tasas anuales de pérdida de naturalidad entre 0.1% y 5.49%, a diferencia de la parte del colector que cruza Real del Castillo Viejo, con un impacto alto por una tasa anual de pérdida de naturalidad de 17.27%. Posteriormente, se aplicó un Indicador de Presión por Vías de Comunicación, obteniendo un impacto bajo en la mayor parte del territorio, debido a que son sitios poco urbanizados, donde predominan los caminos de terracería; a diferencia de La Misión, categorizada con un impacto alto, debido a la densidad de vías de comunicación, entre ellas carreteras con un ponderador más grande; mientras que la parte de Valle de Guadalupe tuvo un impacto medio por la predominancia de caminos pavimentados, debido a su importancia turística. Por último, se analizó la presión por extracción de arena, donde la CONAGUA ha otorgado seis concesiones entre 2006 y 2014, ubicadas en las partes del colector que atraviesan Valle de Guadalupe, La Misión y Rancho Viejo, con un volumen total de extracción por las seis concesiones de 847,830 m³ en un año de actividad, lo cual se traduce en un tiempo de regeneración de sedimentos de aproximadamente 325 años o 111 años con eventos pluviales extremos. Todas estas actividades implican cambios en el ambiente que influyen en la disponibilidad hídrica, y por ende pueden repercutir en las actividades económicas y en la calidad de vida de las personas; pues el agua es un servicio ecosistémico esencial, que se vuelve una prioridad en esta región debido a sus características de sequía y por su vocación vitivinícola. Por lo que este trabajo aporta datos relevantes para la toma de decisiones en el desarrollo sostenible de la región.

Palabras clave: presión antropogénica, extracción de arena, cambio de uso del suelo, vías de comunicación, indicadores ambientales, servicios ecosistémicos.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Área de estudio.....	3
2.2. Presiones antropogénicas.	6
3. OBJETIVOS.	10
3.1. Objetivo general.....	10
3.2. Objetivos particulares.	10
4. MATERIAL Y MÉTODO.	11
4.1. Zonificación del área de estudio.	11
4.2. Indicadores ambientales.....	13
4.2.1. Indicador de Cambio de Uso del Suelo (ICUS).....	16
4.2.2. Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC).	17
4.3. Presión por extracción de arena.....	18
4.4. Servicios ecosistémicos.....	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.1. Zonificación del área de estudio.	21
5.2. Indicadores ambientales.....	25
5.2.1. Indicador de cambio de uso del suelo (ICUS).....	25
5.2.2. Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC).	32
5.3. Presión por extracción de arena.....	38
5.4. Servicios ecosistémicos.....	44
6. CONCLUSIONES.....	47
7. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Método de Vargas (2013) para adaptar la zona riparia de acuerdo al orden de corriente.....	12
Tabla 2. Clasificación de los datos para delimitar las unidades ambientales.....	13
Tabla 3. Descripción de las unidades ambientales en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C.....	23
Tabla 4. Descripción de factores físicos del colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C.....	25
Tabla 5. Proporción de los usos de suelo en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C., de acuerdo a las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI serie I y serie VI.....	26
Tabla 6. Descripción y valoración cuantitativa de las presiones por vías de comunicación en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C.....	33
Tabla 7. Descripción de la extracción de arena por unidades ambientales y en todo el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C. con base en datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).....	40
Tabla 8. Funciones y servicios ecosistémicos identificados en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C., a partir del modelo propuesto por Gómez-Baggethun y De Groot (2007).....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el indicador de cambio de uso de suelo (ICUS), en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C.....	27
Figura 2. Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC), en el colector principal de la Cuenca Guadalupe, B.C.....	34
Figura 3. Concesiones otorgadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) para extracción de arena en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., representadas por año y volumen concesionado.....	39

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Área de estudio: colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C. (Arroyo El Barbón y Arroyo Guadalupe).....	5
Mapa 2. Distribución espacial de las unidades ambientales en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.....	22
Mapa 3. Distribución espacial del Indicador de Cambio de Uso de Suelo (ICUS) en el colector principal de la cuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.....	31
Mapa 4. Distribución espacial del Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC) en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.....	37
Mapa 5. Ubicación de los sitios concesionados para extracción de arena en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.....	43

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha habido una transformación acelerada en los ecosistemas, generada por presiones antropogénicas, donde el cambio de uso del suelo y la fragmentación, son consideradas las principales amenazas que afectan a la biodiversidad (Gómez Mora, *et al.*, 2005).

Actividades antropogénicas como el desarrollo de vías de comunicación, así como el crecimiento urbano, agrícola, ganadero, minero y turístico, impactan al ambiente; erosionando el suelo, modificando el hábitat, las interacciones biológicas y los procesos ecosistémicos, asimismo permiten la introducción de especies exóticas e incrementan la fragmentación de los ecosistemas (Arriaga, 2009).

Por otro lado, las presiones antropogénicas no solo comprometen la conservación de la biodiversidad, sino que la misma población humana también puede verse afectada, debido a que nuestro bienestar depende ya sea de manera directa o indirecta de los ecosistemas (Rozzi, *et al.*, 2001).

De acuerdo con el Millennium Ecosystem Assessment, se define un servicio ecosistémico como los beneficios que obtiene el hombre a partir de los ecosistemas y se clasifican según la forma en cómo son provistos y en cómo se relacionan con el ser humano (MEA, 2005). En este contexto, cuanto mayor sea la

presión ejercida sobre los ecosistemas, menor será su capacidad para sustentar a las generaciones futuras (Balvanera y Cotler, 2007).

El abastecimiento de agua en cantidad y calidad es una de las principales funciones ecosistémicas, pues ofrece numerosos servicios a la sociedad, para uso doméstico, agrícola e industrial (Almeida-Leñero, *et al.*, 2007). El agua es un recurso de suma importancia, especialmente en lugares donde el clima es árido o semiárido, la precipitación es escasa y las sequías son recurrentes, por lo que el aprovechamiento del agua subterránea es casi la única fuente de abastecimiento. Tal es el caso del noroeste de Baja California, donde los cauces y sus riberas han sido impactados por actividades antropogénicas que inducen al cambio de uso del suelo, tales como la construcción de vías de comunicación, el crecimiento del suelo urbano y agrícola, y la explotación de materiales pétreos; poniendo en riesgo la disponibilidad hídrica, y otros servicios ecosistémicos (Kurczyn-Robledo, *et al.*, 2007).

De esta manera, es que se hace importante la gestión integral de los recursos, buscando un equilibrio entre los objetivos del progreso económico, bienestar social y funcionamiento de los ecosistemas. De no ser así, la pérdida de los ecosistemas y del abastecimiento de los recursos, puede tener graves repercusiones en las poblaciones humanas, llevándolas incluso a la desintegración, pérdida de identidad y migración (Badan, *et al.*, 2006).

Este trabajo tiene como finalidad, estimar la presión antropogénica y evaluar la afectación a los servicios ecosistémicos en el colector principal de la cuenca Guadalupe; donde las características climáticas de tipo mediterráneo, han conferido las condiciones necesarias para el desarrollo de actividades orientadas a la viticultura hasta alcanzar un alto valor cultural, social y económico; las cuales han traído a su vez, el turismo y el crecimiento urbano, sumadas a otras actividades como la minería.

Asimismo, este trabajo no pretende impedir el desarrollo económico, sino servir como una herramienta que ayude a la toma de decisiones en el cuidado al ambiente, para un mejoramiento sostenido de la calidad de vida de las personas.

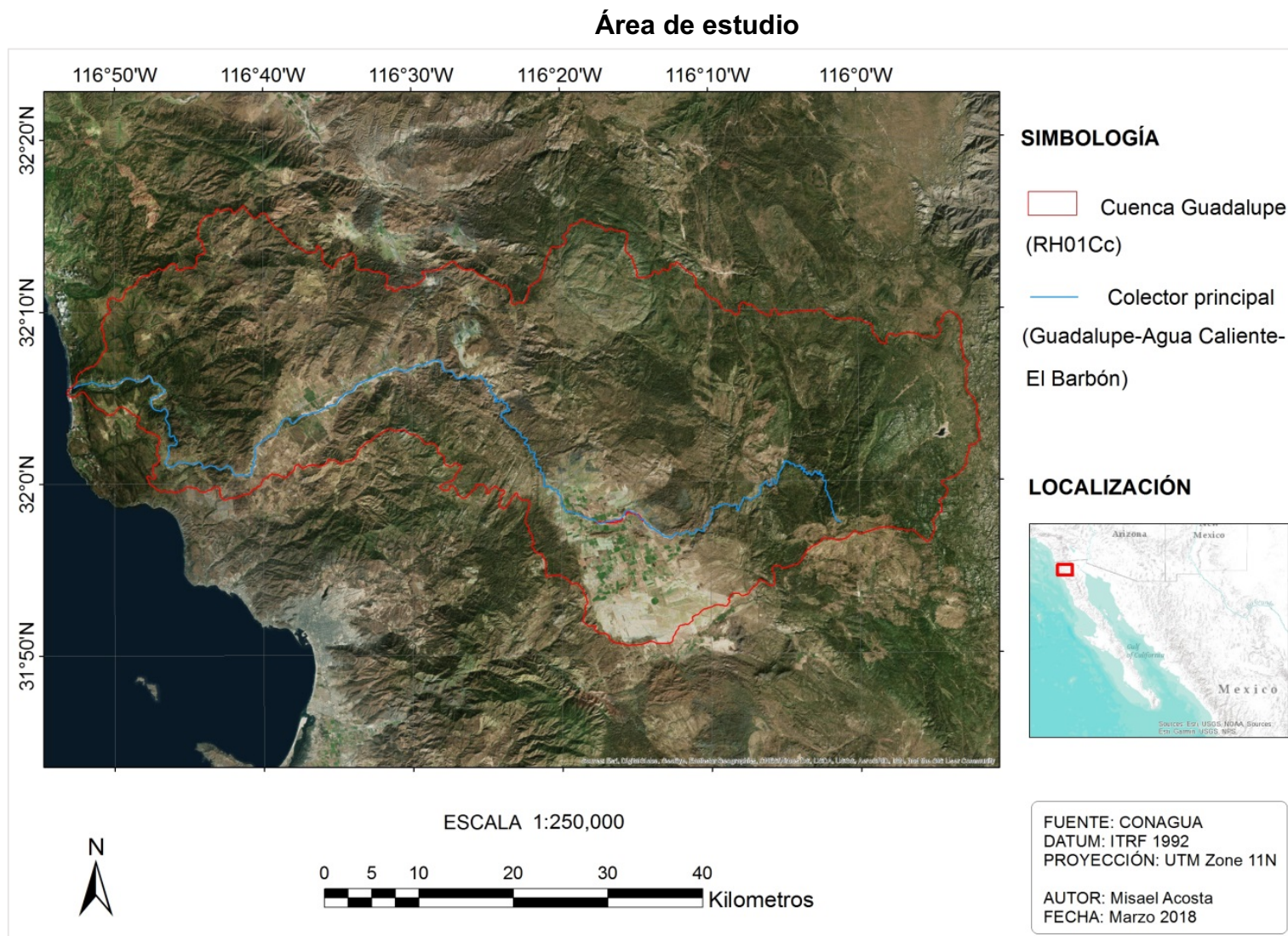
2. ANTECEDENTES

2.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada es el colector principal de la cuenca Guadalupe y su zona riparia. Ésta se localiza aproximadamente a 30 km al norte de la ciudad de Ensenada, tomando la carretera Ensenada-Tecate, y está delimitada entre la latitud 32°5' N y la longitud 116°52' O, y entre la latitud 31°57' N y la longitud 116°1' O (mapa 1).

Asimismo, el área de estudio pertenece a la región mediterránea de Baja California, donde hay un clima semiárido con una temperatura media anual de 16.8 °C, y una estación de escasa a mediana afluencia de lluvias durante las épocas de otoño e invierno, con un promedio de 288 mm de precipitación anual (Kurczyn-Robledo, *et al.*, 2007; CONAGUA, 2008; Del Toro-Guerrero, *et al.*, 2014).

Dicho colector es formado por una red de afluentes con flujo de agua únicamente en tiempo de lluvia, y que descienden del oeste de Sierra Juárez a una altura de 1,800 msnm en dirección suroeste, hasta unirse a un colector general que recibe el nombre de El Barbón. Éste atraviesa la localidad Real del Castillo, y más adelante, al pasar por Valle de Guadalupe, toma el nombre de arroyo Guadalupe hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, en la localidad La Misión (INEGI, 1995; Kurczyn-Robledo, *et al.*, 2007).



Mapa 1. Área de estudio: colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C. (Arroyo El Barbón y Arroyo Guadalupe).

2.2. Presiones antropogénicas.

El colector principal de la cuenca Guadalupe, atraviesa por localidades que se caracterizan por una economía basada en la agricultura, tales como Valle de Guadalupe y Real del Castillo, donde los cultivos predominantes son hortalizas, frutales, olivo y vid, siendo este último el de mayor producción (Leyva y Espejel, 2013; Del Toro-Guerrero, *et al.*, 2014).

La industria vinícola de dichas localidades es de gran importancia tanto a nivel local, como para el país, puesto que proporciona trabajo a un gran número de personas en zonas rurales y se produce más del 80% de los vinos mexicanos que se exportan a mercados internacionales (Espejel, *et al.*, 1999; Leyva y Espejel, 2013).

La viticultura de la zona despegó de forma considerable en la década de 1980 y alcanza su auge en la década de 1990. Posteriormente, en el 2000 se conforma la Ruta del Vino, un corredor que conecta a los diferentes valles vitivinícolas de la región, la cual se ha convertido en uno de los principales atractivos turísticos de Baja California, donde se pueden encontrar restaurantes, museos, hoteles, sitios para acampar, entre otros. No obstante, el crecimiento de la viticultura también ha traído un creciente interés de desarrollos inmobiliarios, los cuales pese a la importancia económica que representan, han generado inquietud por las implicaciones que tienen sobre los ecosistemas y el uso racional de los recursos

(Leyva-Aguilera y Espejel-Carbajal, 2013; Quiñonez Ramirez, 2014; Meraz Ruiz y Ruiz Vega, 2016).

Si bien, el enoturismo y la agricultura *per se*, han potenciado el desarrollo económico de la región, la transformación del suelo natural trae consigo la pérdida de biodiversidad por sustitución, homogenización y fragmentación de los ecosistemas; la degradación, compactación y salinización del suelo; así como contaminación de los acuíferos por el escurrimiento de agroquímicos y otros contaminantes (Elegido, 1975; FAO, 2002; Foster y Candela, 2008).

Agregado a lo anterior, la producción de vid demanda una gran cantidad de agua, pues su cultivo requiere prácticas agrícolas de riego. Si a esto se añade el clima semiárido de la región y que la única fuente de abastecimiento de agua son los acuíferos, como consecuencia éstos se encuentran sobreexplotados (Armenta Pérez, 2015).

De acuerdo con la CONAGUA (2018 a), el acuífero Guadalupe tiene un déficit de -18.22 mm^3 de la disponibilidad media anual de agua del subsuelo, pues tiene concesionado un volumen de 36.92 mm^3 , cuando la recarga total media anual es de 18.8 mm^3 . Éste acuífero es la única fuente de agua para satisfacer las necesidades agrícolas de la región del Valle de Guadalupe durante gran parte del año, además de abastecer de agua en un 40% a la ciudad de Ensenada. No obstante, tiene una veda tipo III, que permite la extracción limitada para usos doméstico, industrial, riego, entre otros.

De la misma manera, los acuíferos Ojos Negros y La Misión, tienen concesionado un volumen mayor al de la recarga natural, por lo que presentan un déficit de -4.59 y -2.07 mm³ de la disponibilidad media anual de agua del subsuelo, respectivamente (CONAGUA, 2018 b; CONAGUA, 2018 c).

La recarga de los acuíferos está regida por la precipitación pluvial, la cual dentro de un sistema de cuenca hidrológica, es drenada por una compleja red de afluentes hasta un colector general, el cual es de suma importancia al igual que la vegetación riparia, por su capacidad para retener e infiltrar el agua a los acuíferos (Kurczyn-Robledo, *et al.*, 2007).

Por otra parte, la extracción de arena sobre los cauces, también juega un papel importante en la disponibilidad hídrica de la región, pues debido a que la arena permite que se retenga el agua proveniente de las precipitaciones, la extracción de este recurso afecta la capacidad de infiltración y la recarga de los acuíferos; no obstante, también contribuye a la elevación de sus sales disueltas al exponer el nivel freático a la superficie (Aguilera-Fernández, *et al.*, 2003; Navarro-Palacios, 2004).

Nos referimos como arena a aquellas partículas con un diámetro entre 0.05 a 2 mm, la cual es extraída de los cauces de manera directa, para ser usada como material de construcción. Las arenas son formadas a partir de la erosión e intemperismo de las rocas, y son transportados hacia las partes bajas del sistema

hidrológico, por acción de la escorrentía superficial (Friedman y Sanders, 1978; Navarro-Palacios, 2004).

En Baja California, la extracción de arena en ríos y arroyos, se remonta a la década de los noventa, la cual fue incrementando hasta duplicar su actividad en el 2000, generando polémica por el impacto ambiental que ocasiona; prueba de ello son una gran cantidad de notas periodísticas en la que hacen referencia al “saqueo” de arena (Navarro-Palacios, 2004).

En cuanto a Ensenada, existe también una gran cantidad de notas periodísticas sobre los arroyos Guadalupe y El Barbón, donde se toca el tema de la extracción de arena como una problemática ambiental, económica y social, e incluso algunas notas denuncian la extracción ilegal de arena, pues aunque esta actividad está regulada por la CONAGUA, mediante concesiones, algunos periódicos mencionan que también existen un sinnúmero de empresas que lo hacen de manera clandestina (Proceso, 2003a; Proceso, 2003b; Proceso, 2011; La Jornada BC, 2015; El Vigía, 2016a El Vigía, 2016b; El Vigía, 2016c; El Vigía, 2016d; El Vigía, 2016e; La Jornada BC, 2016; El Vigía, 2017a; El Vigía, 2017b; El Vigía, 2017c; La Crónica, 2017).

Por último, Pérez García (2017) realizó un análisis de las presiones antropogénicas a nivel cuenca de Guadalupe usando indicadores ambientales, donde sobresale el impacto ambiental por densidad de vías de comunicación con valores medio y alto.

Las vías de comunicación generan grandes beneficios sociales y económicos debido a que facilitan la comercialización, producción y distribución de productos. Sin embargo, la construcción de infraestructuras viales implican la fragmentación de los ecosistemas, la modificación de las condiciones naturales del suelo, así como la alteración de los cursos de agua cuando éstas atraviesan los cauces naturales (Trombulak y Frissell, 2000; Rivas Martínez, 2003; Perevochtchikova y Beltrán, 2010).

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo general.

Estimar la presión antropogénica en el colector principal de la cuenca Guadalupe por cambio de uso de suelo, vías de comunicación y extracción de arena; y evaluar cómo dichas actividades afectan a los servicios ecosistémicos.

3.2. Objetivos particulares.

- Estimar la presión antropogénica mediante indicadores ambientales de cambio de uso de suelo, y de presión por vías de comunicación.
- Identificar las concesiones de extracción de arena en el área de estudio, y el volumen anual de extracción para estimar la presión de esta actividad.
- Identificar los servicios ecosistémicos afectados por la presión antropogénica ejercida en el colector principal de la cuenca Guadalupe.

4. MÉTODO

4.1. Zonificación del área de estudio.

El área de estudio se zonificó mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG). El primer paso fue identificar el colector general de la cuenca Guadalupe, con base en la capa de INEGI *Red hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0*.

Posteriormente, se determinó la zona riparia del colector general ya que, debido a su proximidad con el cauce, hay un constante intercambio de energía y materia entre ambos ecosistemas. Esto desempeña un papel importante al facilitar diversos servicios ambientales, por lo que no es extraño que la zonas riparias reciban a las presiones antropogénicas ejercidas sobre el cauce (Naiman y Décamps, 1997).

Para ello se usó el método de Vargas (2013), donde se determina el ancho de la zona riparia de acuerdo al orden de corriente (tabla 1), el cual está relacionado al número de afluentes. Por lo tanto, una corriente de primer orden es aquella que no posee afluentes, debido a que se encuentra en la parte más alta; mientras que las de segundo orden surgen cuando se unen dos afluentes, las de tercer orden al unirse tres afluentes y así sucesivamente.

Tabla 1. Método de Vargas (2013) para adaptar la zona riparia de acuerdo al orden de corriente.

Orden de corriente	Ancho de la zona riparia (m)
Primer orden	20
Segundo orden	40
Tercer orden	60
Cuarto orden en adelante	100

En cuanto a las unidades ambientales, se establecieron zonas que por sus características homogéneas funcionan como un sistema; para ello se usaron criterios de hidrología, geología y edafología, los cuales recogen aspectos ambientales que también puedan aportar información sobre los usos, impactos y alteraciones que determinan su estado actual. Siempre considerando las presiones por las actividades antropogénicas estudiadas en este trabajo.

Para ello se usó un SIG, donde se unieron dichos criterios mediante diferentes capas de datos vectoriales. Primero se agregó la capa *Subcuencas hidrológicas*, escala 1:1000000, a la cual se le unió la capa *Conjunto de datos geológicos vectoriales. Escala 1:250,000. Serie I*, y finalmente se unió la capa *Conjunto de datos vectoriales edafológicos, escala 1:250,000 Serie II* (tabla 2).

Una vez obtenidas las unidades ambientales, se usó el principio del área mínima cartografiable, en el cual se establece que de acuerdo con la escala a emplear, deben generarse polígonos a partir de determinada área espacial para permitir una mejor lectura y utilidad del mapa.

En este trabajo la escala que mejor se adaptó al área de estudio fue 1:250,000, por lo que el área mínima cartografiable fue de 100 hectáreas, de acuerdo con Priego, *et al.* (2010).

Tabla 2. Clasificación de los datos para delimitar las unidades ambientales

Característica	Clave	Descripción
Subcuencas	1	El Barbón-Valle Redondo
	2	Boquilla Santa Rosa
	3	Río Guadalupe
Geología	1	Arenisca
	2	Esquisto
	3	Gneis
	4	Ígnea extrusiva
	5	Ígnea intrusiva
	6	N/A
Edafología	1	Feozem
	2	Fluvisol
	3	Litosol
	4	Planosol
	5	Regosol
	6	Vertisol

4.2. Indicadores ambientales.

Un indicador, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), es un parámetro o valor derivado de parámetros con la finalidad de generar información que describa el estado de un fenómeno, ambiente

o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo (Romanelli y Massone, 2016).

En materia ambiental, se han desarrollado indicadores con el fin de facilitar la evaluación de la situación ambiental de un territorio o una problemática específica, proporcionando información sistematizada y de fácil comprensión, de tal modo que puedan ser útiles a los procesos de toma de decisiones (OECD, 2001; SEMARNAT, s.f.).

Para estimar las presiones ejercidas por actividades antropogénicas en el área de estudio, se emplearon dos indicadores ambientales. El primero de ellos es el Indicador de Cambio de Uso del Suelo (ICUS), del Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA, s.f.), el cual tiene como propósito medir la tasa anual de pérdida de la superficie de ecosistemas naturales dentro de un determinado periodo. Y el segundo es el Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC), tomado del modelo de Pérez-García (2017) y Garrido, *et al.* (2010), el cual mide la presión de acuerdo a los tipos de vías de comunicación terrestres y su densidad en el área de estudio (Garrido, *et al.*, 2010).

La información requerida para la obtención de los indicadores ambientales fue recabada de datos vectoriales de uso del suelo y de la red de vías de comunicación, los cuales fueron procesados mediante un SIG.

Una vez obtenidos los valores de los indicadores, éstos se normalizaron mediante el modelo estadístico no paramétrico en García Contreras (2010), tomado de Nijkamp y Rietveld (1990); con la siguiente fórmula:

$$VN = (Va - Vmin) / (Vmax - Vmin)$$

Dónde:

VN = valor normalizado,

Va = valor a normalizar,

Vmin = valor mínimo de la serie de datos, y

Vmáx = valor máximo de la serie de datos.

De esta manera se obtuvieron valores entre 0 y 1, los cuales se graficaron para asignarles categorías de acuerdo a los puntos de inflexión de la curva, donde 0 es el valor más bajo y 1 es el valor más alto de presión ejercida en el área de estudio, en una comparación cruzada de todos los valores de cada una de las unidades ambientales.

4.2.1. Indicador de Cambio de Uso del Suelo (ICUS).

Este indicador forma parte del Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA, s.f.), y tiene como finalidad medir la tasa anual de pérdida de la superficie de ecosistemas naturales dentro de un determinado periodo de tiempo, mediante la siguiente formula:

$$r = (((s2/s1) (1/t)) * 100) - 100$$

Dónde:

r = tasa anual de cambio,

s2 = superficie natural final,

s1 = superficie natural inicial, y

t = tiempo transcurrido en el periodo de estudio.

Los datos empleados en la formula fueron obtenidos de las cartas de INEGI de uso del suelo y vegetación serie I y serie VI, la primera de éstas publicada en 1993 y creada a partir de fotografías aéreas entre 1968-1986; mientras que la serie VI fue publicada en 2016 y creada a partir de imágenes de satélite del 2014. Por lo que el periodo de estudio establecido fue de 28 años (1986-2014).

4.2.2. Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC).

Este indicador fue tomado del trabajo de Pérez-García (2017), adaptado del modelo propuesto por Garrido, *et al.* (2010), el cual tiene como finalidad, estimar la presión de acuerdo a los tipos de vías de comunicación presentes y su densidad en el área de estudio; partiendo de la premisa de que los caminos por su diseño, alteran las condiciones naturales del cauce y el suelo (Garrido, *et al.*, 2010). Por lo que se agruparon las vías de comunicación presentes en dos tipos: caminos pavimentados y caminos de terracería.

Posteriormente, se utilizó el método de Pérez García (2017) para asignarle un ponderador a cada tipo de vía, el cual consiste en la identificación de las presiones ejercidas por los caminos pavimentados y de terracería, a los cuales se les asignó un valor entre 0 y 0.5, con base en la literatura de Trombulak y Frissell (2000), Rivas Martínez (2003), Gómez-Baggethum y De Groot (2007), y Perevochtchikova y Beltrán (2010).

Una vez obtenidos los ponderadores, se calculó el IPVC mediante la siguiente formula:

$$\text{IPVC} = (\text{longitud de caminos de terracería} / \text{área}) (\text{ponderador}) + (\text{longitud de caminos pavimentados} / \text{área}) (\text{ponderador})$$

Los datos empleados en la formula sobre vías de comunicación, fueron obtenidos de la carta “Red de vías de comunicación” de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2012).

4.3. Presión por extracción de arena.

La extracción de materiales pétreos es una actividad regulada mediante concesiones otorgadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), donde se especifica la ubicación, superficie y el volumen a extraer al año.

De la pagina del gobierno federal <http://datos.gob.mx/>, se descargó la base de datos sobre títulos de concesión de extracción de arena en Baja California, y mediante un sistema de información geográfica, se seleccionaron aquellos dentro del área de estudio.

Una vez recabada dicha información, se comparó por año el número de concesiones y el volumen de extracción que han sido autorizados. Posteriormente, se calculó la proporción de la superficie concesionada entre el área de la unidad ambiental y de todo el colector.

Finalmente, se estimó el tiempo de regeneración del material extraído en un año de trabajo de las concesiones dentro del área de estudio, de acuerdo a la capacidad de producción de sedimentos de la Cuenca Guadalupe, publicado por

Navarro-Palacios (2004), usando la fórmula de Langbein y Schumm (1958), basada en la relación de variables de precipitación y erosión, la cuales son reguladas a su vez por la cobertura vegetal y el tipo de clima.

4.4. Servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las poblaciones humanas obtienen a partir de los ecosistemas (MEA, 2005). Sin embargo, en el afán de satisfacer todas las necesidades de la creciente población, los ecosistemas han sido transformados a tasas aceleradas, generando consecuencias negativas no solo en el funcionamiento de los mismos ecosistemas, sino también en la calidad de vida del humano (Balvanera y Cotler, 2007; UNESCO, 2010).

Para hacer una evaluación de los efectos en el bienestar humano causados por la modificación de los ecosistemas, debe traducirse la complejidad ecológica a un número limitado de funciones y servicios (De Groot, *et al.*, 2002). Actualmente existen marcos estandarizados que analizan de manera integral las funciones y servicios ecosistémicos; Gómez-Baggethun y De Groot (2007), propusieron una clasificación de 30 servicios dentro de cinco categorías identificadas como funciones de regulación, hábitat, producción, información y de sustrato. Dada la complejidad de los sistemas socioecológicos, permiten entender el sistema natural y el sistema social mediada por los servicios ecosistémicos y reflejada en los beneficios (Caro-Caro y Torres-Mora, 2015).

Con base en la propuesta de Gómez-Baggethun y De Groot (2007), se identificaron los servicios ecosistémicos presentes en el área de estudio que pueden verse afectados por las presiones antropogénicas analizadas en este trabajo (cambio de uso de suelo, vías de comunicación y extracción de arena). Esto mediante una revisión de información que brinde un enfoque de los componentes y procesos del ecosistema involucrados en la provisión de servicios y en los aspectos socioeconómicos que influyen en el manejo de los ecosistemas.

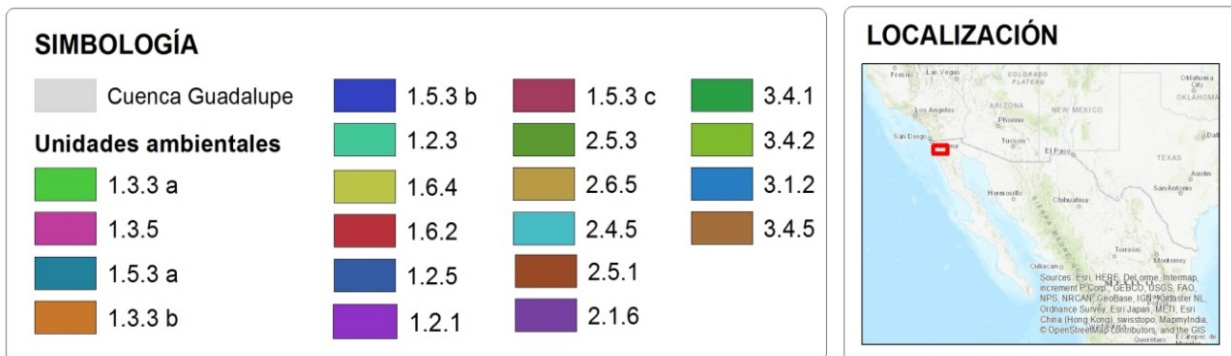
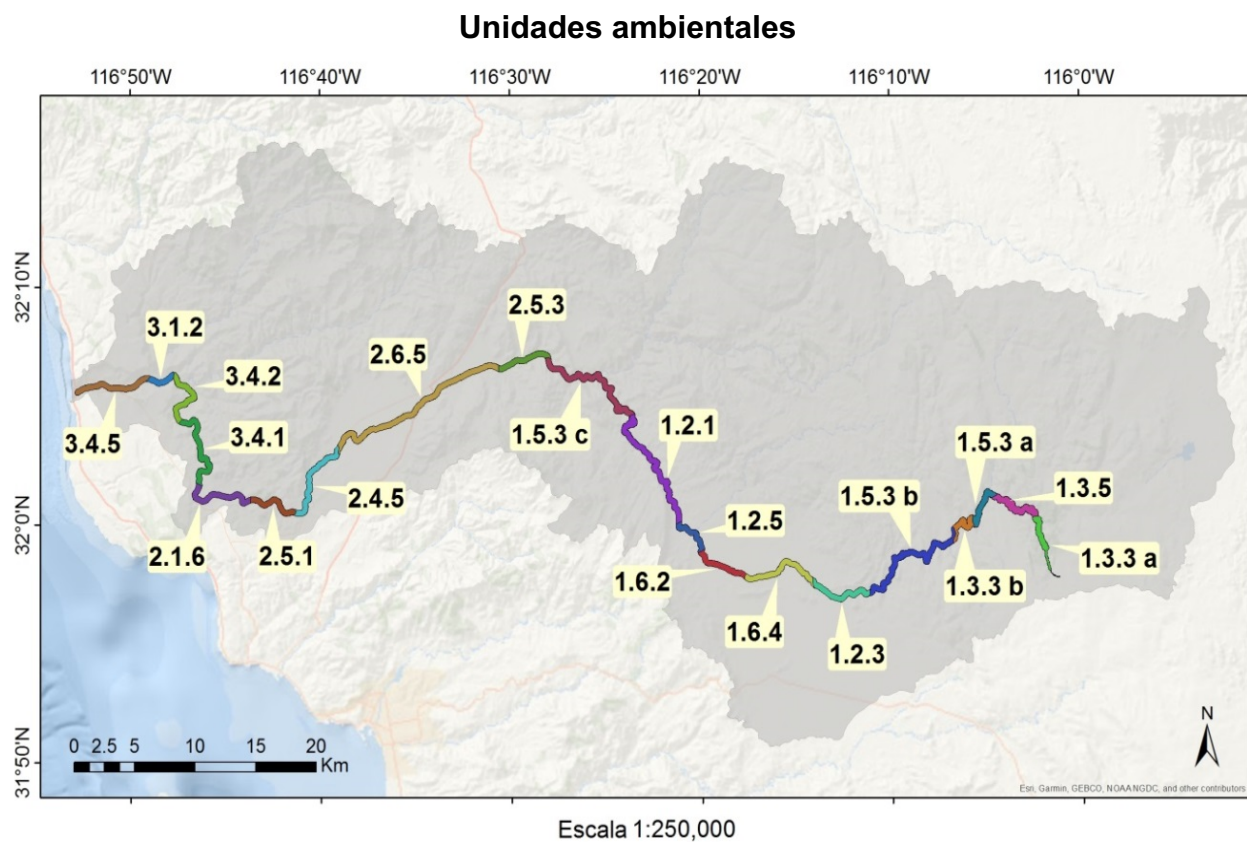
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Zonificación del área de estudio.

De acuerdo con la red hidrográfica de INEGI (2010), el colector general de la cuenca Guadalupe tiene una longitud total de 138.67 km, dividido en tres grandes segmentos, el primero de ellos en la parte alta de la cuenca, conocido como El Barbón con 65.45 km; seguido de Agua Caliente en la parte media con 12.69 km; y finalmente Arroyo Guadalupe con 60.53 km.

En cuanto a la delimitación de la zona riparia, ésta abarcó un área total de 6,140.78 hectáreas, formado de un ancho variable conforme al orden de corriente. Al inicio del cauce las corrientes son de primer y segundo orden, con un ancho entre 20 y 40 m; posteriormente, a medida que el cauce se acerca hacia la desembocadura, el orden de corriente aumenta debido a una mayor cantidad de afluentes, encontrando corrientes que van del cuarto hasta el octavo orden, con un ancho de 100 m.

Asimismo, el área de estudio se dividió en 20 unidades ambientales (mapa 2) cada una con características homogéneas de subcuenca, geología y edafología. Las cuales son descritas en la tabla 3, comenzando por la UA en la parte más alta del cauce.



FUENTE: Elaboración propia. PROYECCIÓN: ITRF 1992. DATUM: UTM Zone 11N.
 AUTOR: Misael Acosta. FECHA: Mayo 2018.

Mapa 2. Distribución espacial de las unidades ambientales en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

Tabla 3. Descripción de las unidades ambientales en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

Clave UA	Subcuenca	Geología	Edafología	Ha
1.3.3 a	El Barbón - Valle Redondo	Gneis	Litosol	180.60
1.3.5	El Barbón - Valle Redondo	Gneis	Regosol	250.66
1.5.3 a	El Barbón - Valle Redondo	Ígnea intrusiva	Litosol	177.46
1.3.3 b	El Barbón - Valle Redondo	Gneis	Litosol	149.44
1.5.3 b	El Barbón - Valle Redondo	Ígnea intrusiva	Litosol	535.67
1.2.3	El Barbón - Valle Redondo	Esquisto	Litosol	261.20
1.6.4	El Barbón - Valle Redondo	N/A	Planosol	315.39
1.6.2	El Barbón - Valle Redondo	N/A	Fluvisol	207.77
1.2.5	El Barbón - Valle Redondo	Esquisto	Regosol	165.37
1.2.1	El Barbón - Valle Redondo	Esquisto	Feozem	555.43
1.5.3 c	El Barbón - Valle Redondo	Ígnea intrusiva	Litosol	516.52
2.5.3	Boquilla Santa Rosa	Ígnea intrusiva	Litosol	211.70
2.6.5	Boquilla Santa Rosa	N/A	Regosol	743.73
2.4.5	Boquilla Santa Rosa	Ígnea extrusiva	Regosol	337.35
2.5.1	Boquilla Santa Rosa	Ígnea intrusiva	Feozem	209.62
2.1.6	Boquilla Santa Rosa	Arenisca	Vertisol	299.14
3.4.1	Río Guadalupe	Ígnea extrusiva	Feozem	362.46
3.4.2	Río Guadalupe	Ígnea extrusiva	Fluvisol	254.02
3.1.2	Río Guadalupe	Arenisca	Fluvisol	107.83
3.4.5	Río Guadalupe	Ígnea extrusiva	Regosol	299.44

El área de estudio se distribuyó en tres subcuencas, con la mayor parte del territorio dentro de la subcuenca El Barbón-Valle Redondo, donde nace el colector principal en las estribaciones de la Sierra de Juárez; es en esta zona donde se presentan los principales sitios de recarga a los acuíferos, por su alta elevación y precipitación (Kurczyn-Robledo, *et al.*, 2007; Aguirre y Ayala, 2015), (tabla 4).

En lo que respecta a edafología, se observaron seis tipos de suelos, con una mayor proporción de litosol, formado de material pedregoso, localizado principalmente en la parte alta del colector. Al ir descendiendo pueden observarse suelos que se caracterizan por materiales poco desarrollados de arenas y gravas, acarreados por corrientes de agua, tales como el fluvisol en la parte baja del colector (INEGI, 2004), (tabla 3 y tabla 4).

El medio edafológico del colector, tiene en general una alta permeabilidad, debido a que predominan suelos granulares, jóvenes y que se desarrollan sobre material no consolidado, lo cual favorece la infiltración; mientras que suelos compactos formados por limos y arcillas, se encuentran en menor proporción, como lo son vertisol y planosol (INEGI, 2004; Aguirre y Ayala, 2015), (tabla 4).

En cuanto a geología, el colector se conformó por seis tipos de rocas, donde predominaron la ígnea extrusiva e intrusiva. Sin embargo, una limitante para hacer una inferencia sobre la infiltración de agua, es la falta de información sobre las características físicas de las rocas, tales como fracturas o fisuras, determinantes para dicho proceso (Chávez, *et al.*, 2006). Asimismo, cabe señalar que algunos de los polígonos de la capa geológica, se encuentran clasificados como N/A (no aplica), ya que estos caen dentro de las zonas urbanas.

Finalmente, es importante mencionar que la capacidad de infiltración, no necesariamente infiere una recarga del acuífero, ya que está también depende de la precipitación.

Tabla 4. Descripción de factores físicos del colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

Característica	Clave	Descripción	% del área total
Subcuencas	1	El Barbón-Valle Redondo	54 %
	2	Boquilla Santa Rosa	29.3 %
	3	Río Guadalupe	16.7 %
Geología	1	Arenisca	6.6 %
	2	Esquisto	16 %
	3	Gneis	9.5 %
	4	Ígnea extrusiva	20.4 %
	5	Ígnea intrusiva	26.9%
	6	N/A	20.6 %
Edafología	1	Feozem	18.4 %
	2	Fluvisol	9.3 %
	3	Litosol	33.1 %
	4	Planosol	5.1 %
	5	Regosol	29.3 %
	6	Vertisol	4.9 %

5.2. Indicadores ambientales.

5.2.1. Indicador de Cambio de Uso del Suelo (ICUS).

En la carta de uso del suelo y vegetación de INEGI serie I, elaborada con imágenes aéreas tomadas entre 1968 y 1986, se pudo observar que desde entonces el 33.04% del área de estudio tenía un suelo transformado, el cual incremento a 38.78%, de acuerdo con la carta de uso del suelo y vegetación de INEGI serie VI, elaborada a partir de imágenes satelitales del año 2014. Esta pérdida de la superficie de ecosistemas naturales, está asociada al crecimiento del

suelo urbano, de pastizales inducidos y en mayor medida del suelo agrícola (INEGI, 2004; INEGI, s.f. a) (tabla 5).

No obstante, el pastizal inducido también ha influido en la reducción de superficies naturales, ya que éste surge como consecuencia del desmonte. Sin embargo, la cobertura de pastizales inducidos también se ha visto afectada (tabla 5), debido a que han sido remplazados en el área de estudio por campos agrícolas.

Tabla 5. Proporción de los usos de suelo en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., de acuerdo a las cartas de uso del suelo y vegetación de INEGI, serie I y serie VI

Uso de suelo	Serie I (INEGI, 1993)		Serie VI (INEGI, 2016)	
	Área(Ha)	% del área de estudio	Área(Ha)	% del área de estudio
Natural	4,111.94	66.96	3,759.64	61.22
Transformado	2,028.84	33.04	2,381.14	38.78
-Agrícola	1,500	24.43	1,933	31.47
-Pastizal	529	8.61	342	5.58
-Urbano	-	-	106	1.73

Ahora bien, con respecto a los valores del indicador de cambio de uso de suelo por UA, éstos se agruparon en las categorías, “alto” con una tasa anual de pérdida de naturalidad de 17.27%; “medio” con tasas entre 2.55% y 5.49%; y “bajo” con tasas entre 0.1% y 1.19%; asimismo, se agregó la categoría “sin cambio” para aquellas unidades donde no disminuyó la superficie natural.

En la figura 1 puede observar la proporción de las categorías del ICUSV, donde el 55.03% del área de estudio está compuesto por 12 unidades ambientales dentro de alguna categoría con pérdida de naturalidad, mientras que el 44.97% corresponde a ocho unidades ambientales sin pérdida de la superficie natural.

Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el Indicador de Cambio de Uso de Suelo (ICUS).

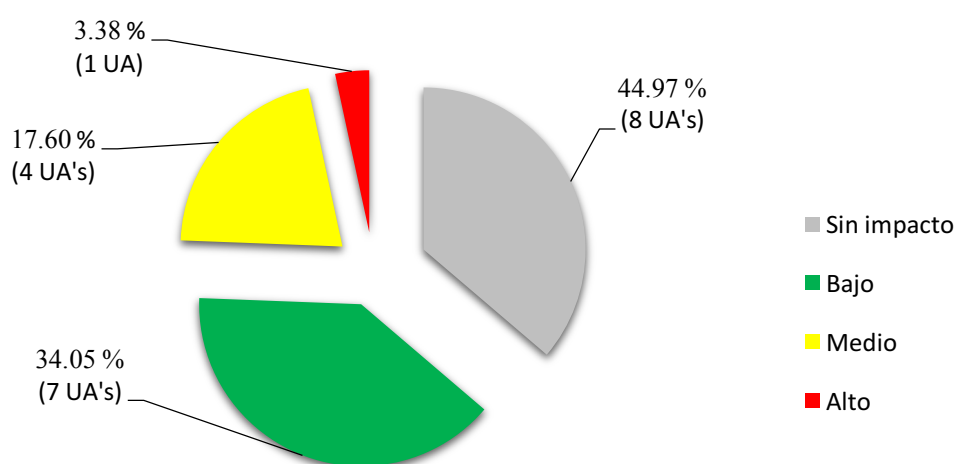


Figura 1. Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el Indicador de Cambio de Uso de Suelo (ICUS), en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

Asimismo, en el mapa 3 pueden observarse las categorías del ICUS por unidad ambiental, donde la UA 1.6.2 fue la que presentó la tasa más alta de pérdida de naturalidad con un valor de 17.27% al año, así como la única dentro de la categoría “alto”. Esta UA se ubica dentro de las localidades Real del Castillo Viejo y Real del Castillo Nuevo. Es importante mencionar que Real del Castillo, ahora Real del Castillo Viejo, es uno de los poblados más antiguos en Baja California;

pues al consultar la historia, nos damos cuenta que este fue fundado en 1872, resultado del hallazgo de oro y del consecuente auge de la minería en la localidad. Aunque esta actividad duro solo 10 años, Real del Castillo creció rápidamente e incluso fue capital de Baja California durante este periodo, y para 1882, la mayor parte de sus habitantes se trasladaron a la actual ciudad de Ensenada, mientras que el resto de la población que permaneció, fue creciendo hacia el centro del Valle a lo que hoy se conoce como Real del Castillo Nuevo, u Ojos Negros, donde se dedicaron a actividades de ganadería y agricultura, siendo éstas sus principales actividades hoy en día (Ponce Aguilar, 2013).

Por esta razón, en la carta de uso del suelo serie I, se puede observar que en la UA 1.6.2 ya predominaba el suelo transformado con el 68.35%; aunado a ello, la expansión de la población y surgimiento de Real del Castillo Nuevo (Ojos Negros) ha traído un incremento de los campos agrícolas hasta modificar casi por completo la superficie natural de esta unidad, pues de acuerdo con la carta serie VI, solo queda un pequeño remanente de cobertura natural de 0.16%, mientras que el uso del suelo agrícola alcanzó una cobertura de 99.84%.

Subsecuentemente, la UA 1.6.4 obtuvo una tasa anual de pérdida de naturalidad de 5.49% y se agrupo dentro de la categoría “medio”. Esta UA es contigua a la UA 1.6.2, y se encuentra dentro de la localidad Real del Castillo Nuevo (Ojos Negros), por lo que el crecimiento de este poblado y de la actividad agrícola ha transformado la superficie natural, pasando de 87% a 17.93% en el periodo de

estudio, a causa del aumento de los campos agrícolas a 56.38% y de pastizal inducido a 25.69%.

Es importante mencionar que la actividad agrícola de las unidades 1.6.2 y 1.6.4, están enfocadas principalmente al cultivo de hortalizas, aunque en años recientes, en Real del Castillo Nuevo (Ojos Negros) ha surgido la producción de vid y de casas vinícolas como Bodegas San Rafael, llegando incluso a nombrar a esta zona como la Ruta del Queso y el Vino. Por lo que es posible esperar un crecimiento de la viticultura, y con ello una mayor demanda de agua.

De la misma manera, las unidades ambientales 3.4.5, 3.4.2 y 2.5.3, también se clasificaron como “medio”. Entre estas sobresale la UA 3.4.5, ubicada en La Misión, siendo la única que ha cambiado de suelo natural a urbano construido en el periodo de estudio, alcanzando una cobertura de 0.8%.

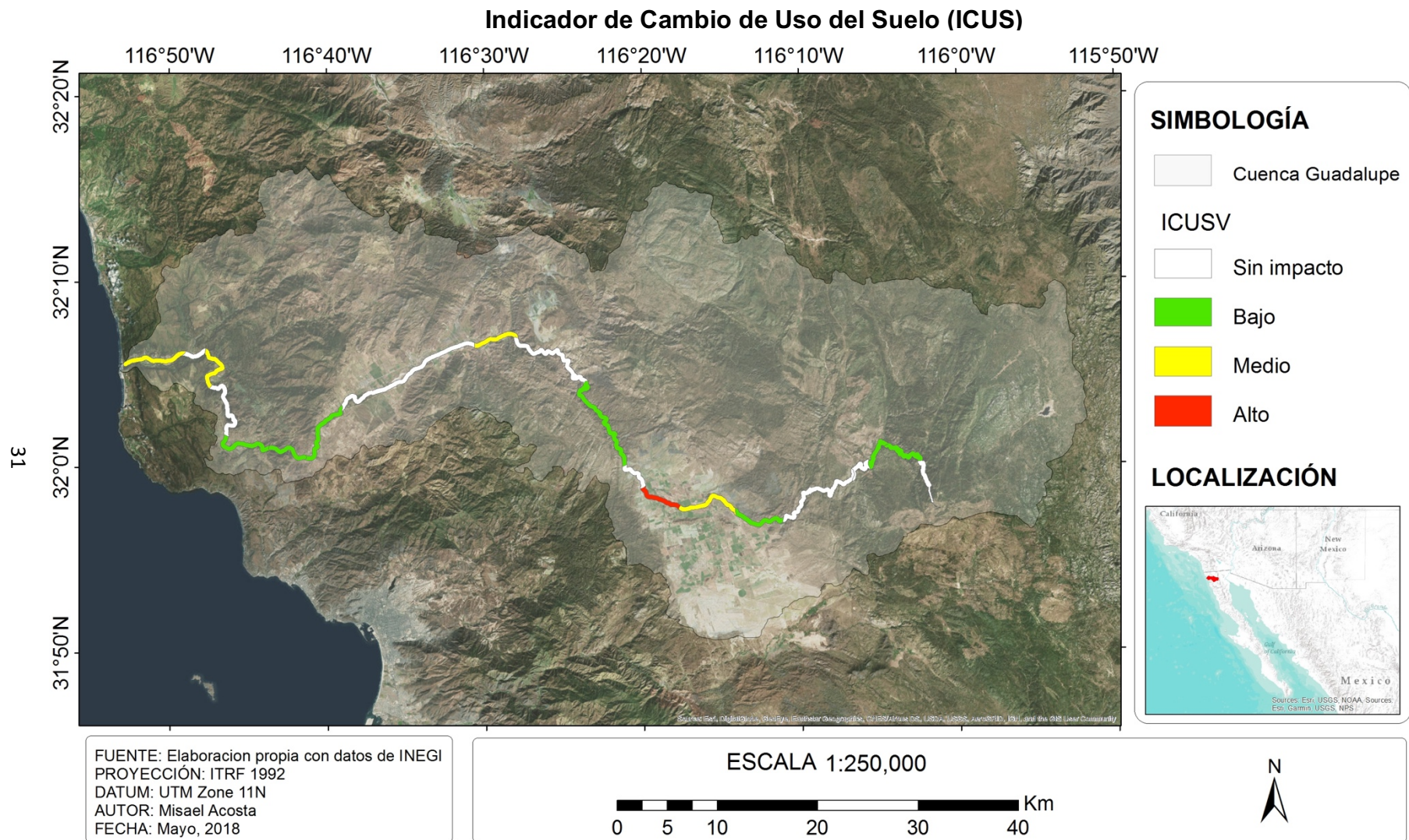
Con respecto a la categoría “bajo”, siete unidades fueron clasificadas en ésta, todas con una tasa anual de pérdida de naturalidad menor al 2%. Mientras que las ocho unidades restantes se categorizaron “sin cambio”, ya que no se observó una pérdida de la cobertura natural en el periodo de estudio.

Dentro de ésta última categoría, es importante mencionar a la UA 2.6.5 situada en Valle de Guadalupe, una localidad caracterizada por importantes actividades económicas de tipo agrícola, turísticas y de desarrollos inmobiliarios enfocadas a la vitivinicultura; las cuales conllevan una evidente transformación del ecosistema.

Sin embargo, el cauce y la zona riparia de esta UA han mantenido la superficie natural en el periodo de estudio, lo cual es atribuido en parte a que el arroyo Guadalupe se ha zonificado como área de protección y conservación, dentro del Programa de Ordenamiento Ecológico del Corredor San Antonio de las Minas – Valle de Guadalupe (publicado en 2006), y del Programa Sectorial de Desarrollo Urbano Turístico de los Valles Vitivinícolas de la Zona Norte del Municipio de Ensenada (Región del Vino), B C (publicado en 2010).

Finalmente, como se mencionó anteriormente, este indicador tiene como finalidad medir la tasa anual de pérdida de la superficie de ecosistemas naturales, por lo cual es importante aclarar que un valor igual a cero, no implica que la UA contenga una superficie totalmente natural, sino que la UA no ha perdido naturalidad dentro del periodo analizado en este trabajo, o bien, solo ha tenido cambios entre suelos transformados, es decir, algunos polígonos de pastizal inducido se transformaron a suelo agrícola, y viceversa.

Es ese aspecto, cabe mencionar a la UA 1.2.5, en Real del Castillo Viejo, clasificada como “sin cambio”, es así porque esta unidad se encuentra completamente cubierta por suelos transformados, acorde a la carta de INEGI de uso de suelo y vegetación, serie I; por lo cual ya no hay una pérdida de naturalidad, y los cambios de uso del suelo se han dado únicamente entre pastizales inducidos y agricultura.



Mapa 3. Distribución espacial del Indicador de Cambio de Uso de Suelo (ICUS) en el colector principal de la cuenca Guadalupe, Ensenada, B.C.

5.2.2. Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC).

De acuerdo con la capa de Red de vías de comunicación de la SCT (2012), el área de estudio cuenta con una longitud total de 17.72 km de vías de comunicación, de las cuales 10.58 km corresponden a caminos de terracería y 7.13 a caminos pavimentados.

Para el cálculo del IPVC se asignó un ponderador igual a 1 a los caminos de terracería y un ponderador igual a 2 a los caminos pavimentados, estos de acuerdo a una valorización cuantitativa de las presiones identificadas por vías de comunicación a partir de Trombulak y Frissell (2000), Rivas Martínez (2003), Gómez-Baggethum y De Groot (2007), y Perevochtchikova y Beltrán (2010), (tabla 6).

Se identificaron cuatro principales presiones por vías de comunicación en el área de estudio: fragmentación, compactación del suelo, revestimiento del suelo natural y alteración del flujo de agua; todas con valores más altos en los caminos pavimentados (tabla 6), debido a que este tipo de vía puede generar una mayor afectación en los ecosistemas naturales, pues por lo general son caminos más amplios y diseñados para un constante tránsito de vehículos, a partir de diversas capas de materiales o bien, mediante columnas edificadas sobre el cauce que sostienen a un puente; a diferencia de los caminos de terracería que suelen ser más angostos y creados por el paso del mismo tránsito local.

Tabla 6. Descripción y valoración cuantitativa de las presiones por vías de comunicación en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

Descripción de la presión	Valoración (0 – 0.5)	
	Terracería	Pavimentado
Fragmentación por caminos, modifica los procesos ecológicos del ecosistema.	0.25	0.5
Frecuencia y tipo de vehículos que circulan en las vías, alteran la porosidad del suelo y con ello el paso de raíces y del agua.	0.25	0.5
Estructuras y elementos de las vías que retengan o desvíen el flujo de agua y por ende, alteren la velocidad de corriente y la trayectoria del cauce.	0.25	0.5
Material de revestimiento de las vías que como consecuencia reduzca el almacenamiento e infiltración del agua.	0.25	0.5
TOTAL	1	2

Fuente: Modificado de Pérez García (2017), con información de Trombulak y Frissell (2000), Rivas Martínez (2003), Gómez-Baggethum y De Groot (2007), y Perevochtchikova y Beltrán (2010).

En cuanto a los valores por UA del IPVC, éstos se agruparon en las categorías “alto”, “medio” y “bajo”, acorde a la densidad y presión según el tipo de vía; asimismo, se agregó la categoría “sin presión” para aquellas unidades sin ningún tipo de vía de comunicación.

En la figura 2 se puede observar la proporción de las categorías del IPVC, donde el 56.64% del área de estudio está compuesto por 12 unidades ambientales con presencia de caminos ya sea de tipo pavimentado o de terracería, mientras que el 43.37% se compone por 8 unidades ambientales, con ausencia de vías de comunicación.

Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC).

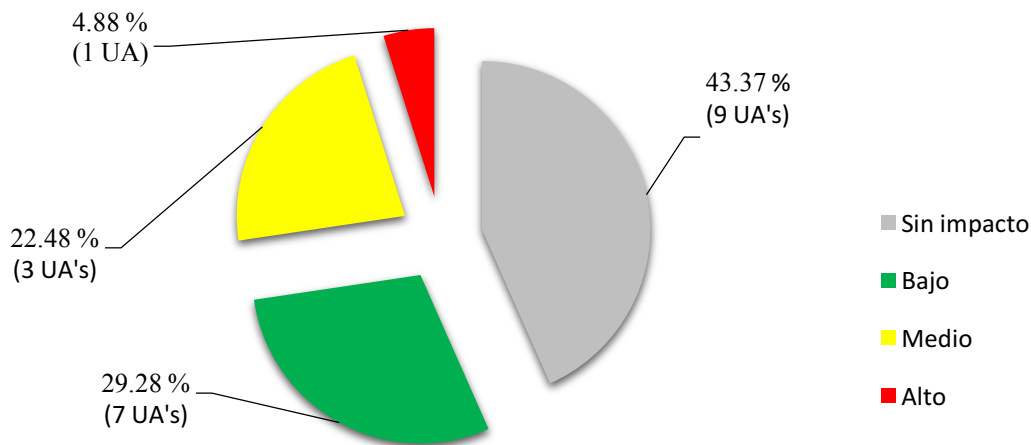


Figura 2. Proporción de las unidades ambientales categorizadas en el Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC), en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

En este indicador se pudo observar que las unidades ambientales con mayor urbanización y atractivos turísticos (en este caso enfocados a la vitivinicultura), fueron las que presentaron los valores más altos, debido a la cantidad y densidad de vías, así como por la predominancia de caminos pavimentados (mapa 4). La extensión y forma de los sistemas viales, han de ser proporcionados a medida de las necesidades de circulación, con el fin de facilitar la explotación y el consumo de los bienes y servicios (Helguera y García, 2006).

La UA 3.4.5 fue la de mayor presión y la única dentro de la categoría “alto”, con una longitud de 1.21 km de caminos pavimentados y con 2.61 km de caminos de terracería. Este resultado se debe tanto a la densidad como al tipo de vías de

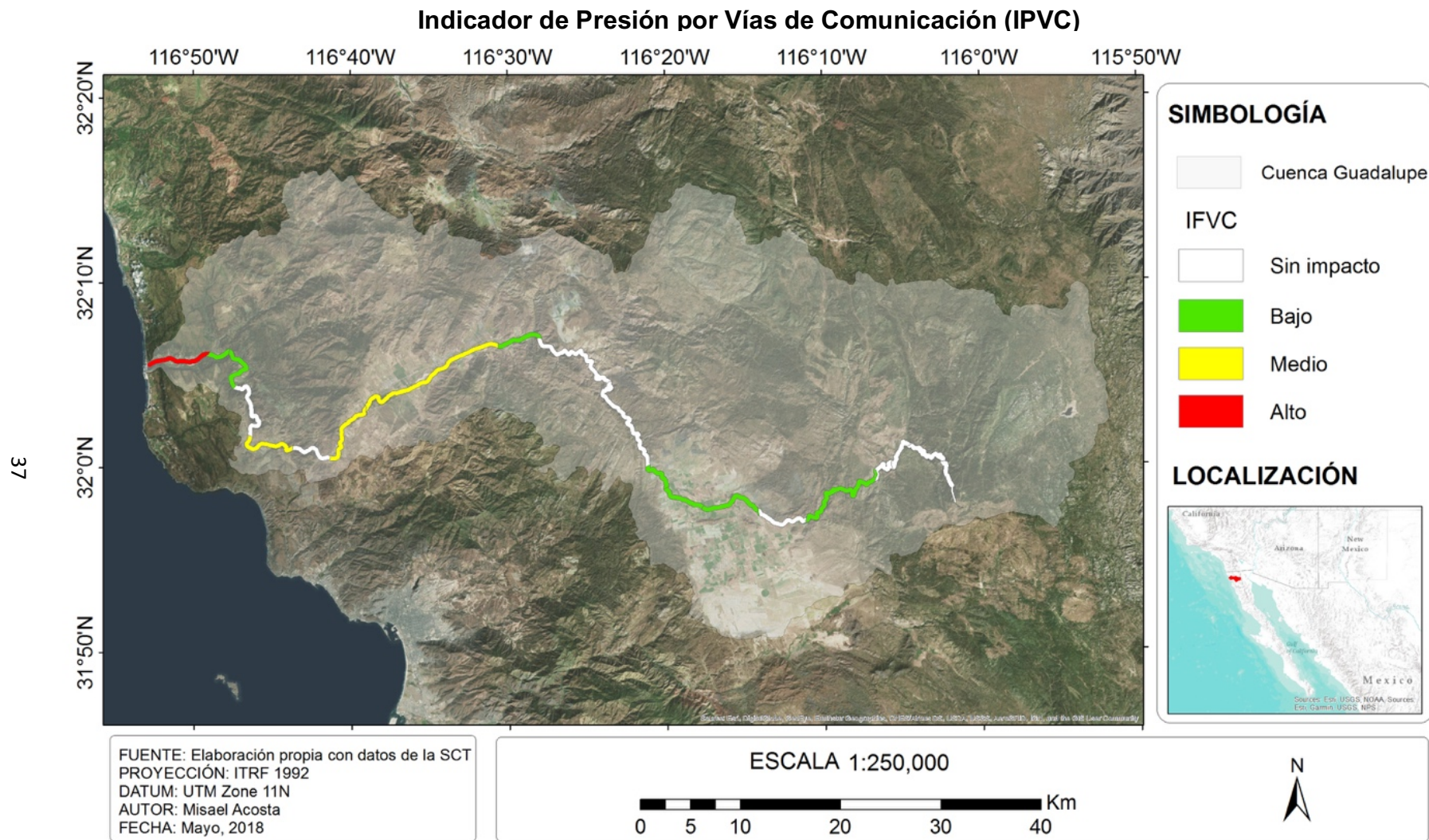
comunicación, pues a diferencia de otras unidades ambientales, ésta se encuentra bien comunicada dentro de un área pequeña, y se ubica en la localidad La Misión, donde cruza la carretera Escénica Ensenada – Tijuana y la carretera Transpeninsular Rosarito – Ensenada.

Con respecto a la categoría “medio”, tres unidades ambientales se agruparon dentro de ésta (UA 2.6.5, UA 2.4.5 y UA 2.1.6), todas con predominancia de caminos pavimentados. En el caso particular de la UA 2.6.5, resulto la segunda unidad con mayor longitud de vías de comunicación (0.46 km de caminos de terracería y 3.35 km de caminos pavimentados), lo cual es atribuido a su localización en Valle de Guadalupe, pues debido a su importancia turística e implicaciones económicas que ésta conlleva, ha desarrollado un mejor sistema vial, en el sentido de favorecer el transporte, y con ello el consumo y la producción de bienes y servicios (Helguera y García, 2006). Entre los caminos que destacan, se encuentra la calle Principal, que recorre todo el Valle de Guadalupe, así como la carretera Tecate - Ensenada, también conocida como la Ruta del Vino.

En el caso de la UA 2.4.5, aledaña al Valle de Guadalupe, las vías que cruzan el cauce son aquellas que conducen a dicha localidad. Mientras que la UA 2.1.6, se ve afectada principalmente por la ocurrencia de la carretera Transpeninsular Rosarito – Ensenada.

Por otra parte, siete unidades ambientales cayeron en la categoría “bajo”, debido a que se encuentran en pequeñas localidades poco urbanizadas, con un sistema vial pequeño y de caminos de terracería.

Finalmente, las nueve unidades ambientales restantes, se clasificaron “sin alteración”, debido a la ausencia de vías de comunicación, puesto que se encuentran en localidades que se han desarrollado únicamente de un lado del cauce, o bien, en sitios completamente aislados.



Mapa 4. Distribución espacial del Indicador de Presión por Vías de Comunicación (IPVC) en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C.

5.3. Presión por extracción de arena.

En los datos otorgados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), sobre permisos para extracción de arena, se encontró un total de seis concesiones dentro del área de estudio, de las cuales, tres se localizan en la UA 2.6.5 en Valle de Guadalupe, una en la UA 3.4.5 en La Misión y dos en la UA 3.4.2 en El Ranchito, muy cerca de la UA anterior. Es importante mencionar que los sitios de extracción se encuentran cerca de localidades con mayor urbanización y con sistemas viales para el acceso de maquinaria, tales como la carretera Transpeninsular Rosarito – Ensenada y la carretera Tecate - Ensenada, también conocida como la Ruta del Vino (mapa 5).

Por otra parte, los sitios de extracción se ubican en la parte media y baja de la cuenca, donde hay suelos poco desarrollados de tipo regosol y fluvisol, caracterizados por materiales poco consolidados. En el caso de los regosoles, están asociados a zonas donde los procesos de formación han actuado durante muy poco tiempo o con poca intensidad, mientras que los fluvisoles son suelos desarrollados sobre sedimentos recientemente aportados por el flujo de agua (FAO, 2015).

La primera de las concesiones en el área de estudio fue otorgada en 2006 en Valle de Guadalupe (UA 2.6.5) y hasta 2010 se otorgaron dos concesiones más, una en La Misión (UA 3.4.5) y otra en El Ranchito (UA 3.4.2), siendo éstas las que tienen permitido un mayor volumen de extracción al año (257,600 m³ y 248,000

m³, respectivamente). En los años siguientes se otorgaron tres concesiones más hasta el 2014 (figura 3) que ya no se otorgó ninguna más.

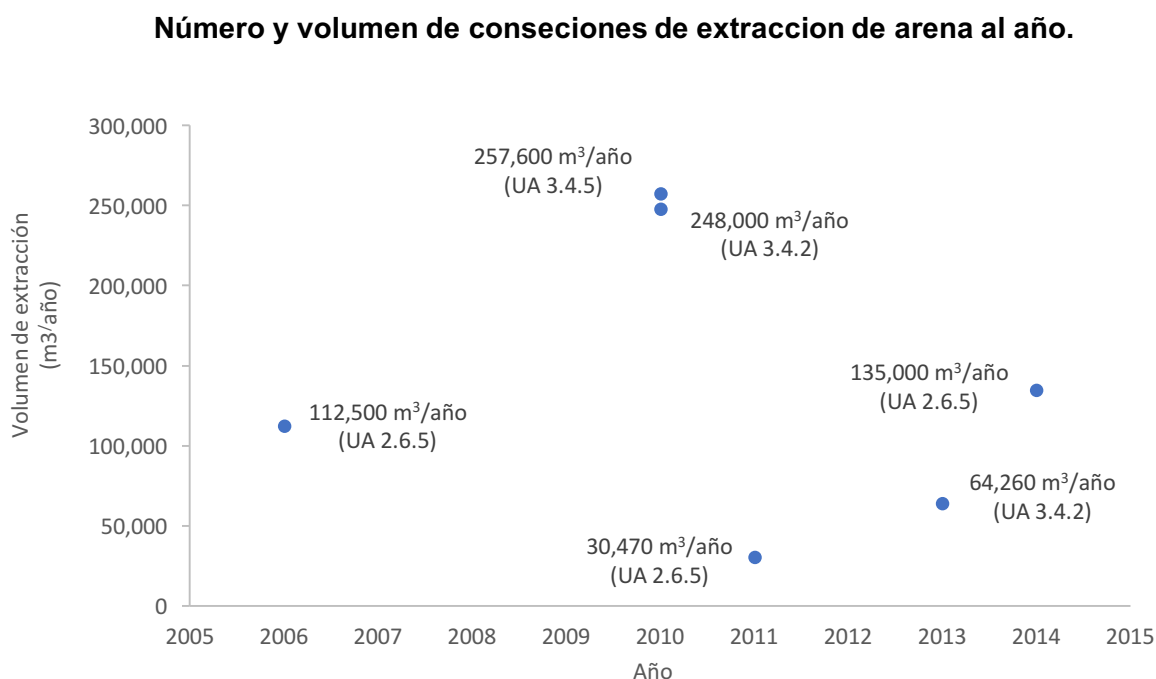


Figura 3. Concesiones otorgadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) para extracción de arena en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., representadas por año y volumen concesionado.

En cuanto al análisis de presión por unidad ambiental, se observó que la UA 3.4.2 es la de mayor presión, ya que dentro de las unidades con dicha actividad, ésta es la de menor área y en la que se tiene permitido un volumen de extracción más grande, resultado de dos concesiones. Mientras que la UA 2.6.5 fue la de menor presión, pues a pesar de tener tres concesiones, el volumen de extracción total es más bajo, además de que el área es casi tres veces más grande que el de la UA anterior (tabla 7).

A partir de los datos de la CONAGUA, también se pudo identificar que los valores de las superficies concesionadas (m^2), son iguales o muy semejantes a los valores del volumen de extracción permitidos en un año (m^3) (tabla 7). Por lo tanto, se puede extraer alrededor de 1 metro de profundidad de arena al año, distribuido en toda la superficie concesionada.

En ese entendido, el porcentaje de la superficie concesionada, así como del volumen de arena que puede ser extraído en 1 metro de profundidad en un año, es de 12.3% en la UA con mayor presión (3.4.2) y de 1.3% en toda el área de estudio (tabla 7). Sin embargo, para una adecuada gestión del recurso, es importante considerar también la producción de sedimentos, con el fin de mantener el recurso, así como los procesos y funciones del ecosistema.

Tabla 7. Descripción de la extracción de arena por unidades ambientales y en todo el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., con base en datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

	Área (m^2)	Concesiones	Vol. de extracción ($m^3/año$)	Superficie concesionada (m^2)	Superficie concesionada / área
UA 3.4.2 (El Ranchito)	2,540,200	2	312,260	312,260	0.123
UA 3.4.5 (La Misión)	2,994,360	1	257,600	220,800	0.074
UA 2.6.5 (Valle de Guadalupe)	7,437,270	3	277,970	277,970	0.037
Colector principal	61,407,800	6	847,830	811,030	0.013

A pesar de que las zonas áridas tienen bajos niveles de precipitación, la vegetación poco densa favorece el proceso de erosión, debido a la exposición del suelo a la lluvia. Algunos investigadores señalan que las mayores tasas de erosión se dan en climas semiáridos con precipitaciones alrededor de los 300 mm anuales, tal es el caso de la Cuenca de Guadalupe. A mayores precipitaciones la cobertura vegetal le confiere protección al suelo, reduciendo el impacto de las gotas y prestando sujeción al suelo (Langbein y Schumm, 1958; Pou-Alberú y Pozos-Salazar, 1992; Restrepo, 2005).

De esta manera, Navarro-Palacios (2004), señala que la producción de sedimentos en la Cuenca Guadalupe tiene un promedio de volumen anual igual a $2,609 \text{ m}^3$. Por lo tanto, para que se produzca nuevamente el material que se le tiene permitido extraer a las seis concesiones en un año ($847,830 \text{ m}^3$), se estima que deben pasar alrededor de 325 años.

No obstante, es importante mencionar que dicho modelo utiliza valores de precipitación media anual, por lo cual, si se toman en cuenta los eventos extremos usando valores de precipitación máxima anual, pueden esperarse mayores aportes de sedimentos. Siendo así, Navarro-Palacios (2004), señala que la producción de sedimentos tomando como insumo la precipitación máxima, tiene un promedio de volumen anual igual a $7,633 \text{ m}^3$. Por lo que en el mejor de los escenarios, la regeneración de los sedimentos analizados en este trabajo por extracción de arena, tomaría alrededor de 111 años.

Finalmente, algunas limitantes para la estimación de la presión por extracción de arena, fue la ausencia de información publicada por la CONAGUA, respecto al número de años por los que son otorgadas las concesiones. Asimismo, al estimar la proporción de la superficie concesionada entre por unidad ambiental, tiene como limitante que cada UA tiene un tamaño diferente, lo cual es un factor determinante.



Mapa 5. Ubicación de los sitios concesionados para extracción de arena en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., a partir de datos de la Comisión Nacional de Agua.

5.4. Servicios ecosistémicos.

Desde las primeras civilizaciones, el humano ha buscado establecerse cerca de cuerpos de agua como lo son ríos y arroyos, debido a la amplia gama de beneficios que proporcionan. No obstante, los servicios que proveen los ecosistemas, varían dependiendo de su ubicación geográfica, clima, grado de conservación, entre otros (Polo-Ballinas, 2014).

La identificación de los servicios ecosistémicos y la estimación de presiones antropogénicas en el área de estudio, permite percibir las formas en que se afectaría el bienestar humano. Esta estimación de servicios ecosistémicos es un primer paso que podría orientar a los tomadores de decisiones en la gestión ambiental desde una perspectiva sostenible (Rozzi, *et al.*, 2001; MEA, 2005; Baggethun y De Groot, 2007).

En la tabla 8 se muestran los servicios ecosistémicos identificados en el colector principal de la cuenca Guadalupe y la zona riparia, basados en el modelo de Gómez-Baggethun y de Groot (2007). Así como las posibles afectaciones a estos por presiones de cambio de uso del suelo, vías de comunicación y extracción de arena.

Tabla 8. Funciones y servicios ecosistémicos identificados en el colector principal de la cuenca Guadalupe, B.C., a partir del modelo propuesto por Gómez-Baggethun y De Groot (2007).

FUNCIONES	SERVICIOS	PRESIONES QUE LOS AFECTAN
<i>Funciones de regulación</i>		
Disponibilidad hídrica	Agua para uso doméstico y consuntivo.	Este servicio se ha visto disminuido, debido a la sobreexplotación de los acuíferos, alcanzando un déficit de -18.22 mm ³ en el acuífero Guadalupe debido a la sobreconcesión de pozos destinados la agricultura de vid (Armenta Pérez, 2015; CONAGUA, 2018a).
	Debido al clima semiárido de la zona, el abastecimiento de agua potable depende completamente de los acuíferos (Kurczyn–Robledo, 2006).	Aunado a ello, la extracción de arena, disminuye la infiltración de agua. En este trabajo se observó que el volumen de arena que se ha permitido extraer legalmente por seis concesiones en un año de actividad (847,830 m ³), tardará cerca de 111 años en regenerarse.
	En el área de estudio el 61.22% de la superficie mantiene las condiciones naturales del suelo, permitiendo la retención e infiltración de agua.	No obstante, la transformación del suelo (38.78%) y la construcción de vías de comunicación sobre el cauce y la zona riparia (17.72 km), también afectan las condiciones del suelo y por ende la retención y filtración del agua hacia los acuíferos.
<i>Funciones de sustrato</i>		
Vivienda	Asentamientos humanos	No se encontró una presión que afecte de manera directa a este servicio. Sin embargo, la modificación de las condiciones naturales del suelo por asentamientos humanos en el colector principal y la zona riparia, afecta la regulación y disponibilidad
	A pesar del riesgo que implica para la población establecerse en las riberas, se encontró que el 1.73% del área de estudio, corresponde a asentamientos humanos.	

Tabla 8. (Continuación).

FUNCIONES	SERVICIOS	PRESIONES QUE LOS AFECTAN
	Unidades ambientales con evidencia de asentamientos humanos: UA2.6.5 y UA3.4.5.	hídrica del acuífero. Asimismo, el uso de suelo urbano, implica la remoción de vegetación y por ende la fragmentación y disminución de los ecosistemas (Perevochtchikova, 2003).
Agricultura	Alimento y materias primas provenientes de cultivos.	Las presiones sobre este servicio, radican en la magnitud del mismo, pues en el afán de aumentar la productividad, el cultivo intensivo pueda ocasionar la degradación del suelo (Pérez Vázquez y Landeros Sánchez, 2009). Asimismo, el aumento de la superficie agrícola, representa una amenaza para la biodiversidad, debido a la fragmentación y homogenización de los ecosistemas (Donald, 2004).
	Los campos agrícolas aumentaron de 24.43% a 31.47% en el periodo de estudio, lo cual ha generado beneficios al proveer una fuente de ingreso a las localidades (Meraz Ruiz y Ruiz Vega, 2016).	
	Unidades ambientales con agricultura: UA1.2.3, UA1.2.5, UA1.6.2, UA1.6.4, UA2.1.6, UA2.4.5, UA2.5.1, UA2.5.3, UA2.6.5, UA3.1.2, UA3.4.1, UA3.4.2 y UA3.4.5.	
Minería	Extracción de arena para material de construcción.	La extracción de arena en volúmenes superiores a la capacidad de regeneración de los sedimentos, tal como se observó en el área de estudio; pone en riesgo tanto al servicio mismo, como a la pérdida del suelo fértil de la zona riparia, la recarga de los acuíferos y el aporte terrígeno hacia las costa (Aguilera Fernández, <i>et al.</i> , 2003; Salgado Tránsito, <i>et al.</i> , 2012; Torres, <i>et al.</i> , 2017).
	Se ha concesionado el 1.32% del área de estudio, con un volumen de extracción total de 847,830 m ³ en un año de actividad.	
	Unidades ambientales con concesiones para extracción de arena: UA3.4.2, UA3.4.5 y UA2.6.5.	

Asimismo, derivado de la identificación de los servicios ecosistémicos en el colector principal y la zona riparia, es posible que también se proporcionen servicios como la regulación atmosférica, amortiguación de perturbaciones, sujeción del suelo, función de refugio, y ciencia y educación. Sin embargo, debido al alcance de este trabajo, no puede ser comprobada su presencia y afectación.

6. CONCLUSIONES

Se logró estimar la presión antropogénica en el colector principal de la cuenca Guadalupe, lo cual permitió ampliar el conocimiento sobre su estado de alteración.

En cuanto a cambio de uso del suelo, el colector principal de la cuenca Guadalupe perdió el 5.74% (352.3 Ha) de la superficie natural en un periodo de 28 años (1986 y 2014). Alcanzando una cobertura de 38.78% de suelo transformado para el año 2014, puesto que previo al periodo de analizado, una tercera parte del área de estudio (33.04%) ya había sido transformada.

La principal actividad que indujo el cambio de uso del suelo fue la agricultura, la cual se incremento 7.04% en el periodo de estudio, alcanzando una cobertura de 31.47% para el 2014.

La mayor parte del territorio transformado cayó dentro de las categorías bajo y medio en el Indicador de Cambio de Uso del Suelo, con tasas anuales de pérdida

de naturalidad entre 0.1% y 5.49%, a diferencia del tramo que cruza Real del Castillo Viejo, categorizado como alto con una tasa anual de pérdida de naturalidad de 17.27%. Mientras que la parte del colector que atraviesa Valle de Guadalupe, no tuvo pérdida de naturalidad en el periodo de estudio, a pesar de que esta localidad tiene una importante actividad agrícola y enoturística.

Con respecto a las vías de comunicación, 17.72 km atraviesan el colector principal, de las cuales 10.58 km corresponden a caminos de terracería y 7.13 km a caminos pavimentados, donde se consideraron a los caminos pavimentados con un mayor impacto, debido a las presiones ejercidas por fragmentación, compactación del suelo, revestimiento del suelo natural y alteración del flujo de agua.

La mayor parte del territorio cayó dentro de la categoría bajo en el Indicador de Presión por Vías de Comunicación, debido a que son sitios poco urbanizados, donde predominan los caminos de terracería. A diferencia de La Misión, categorizada como alto, debido a una alta densidad de vías de comunicación, entre ellas carreteras. Mientras que en la parte de Valle de Guadalupe se categorizó como medio, por la predominancia de caminos pavimentados, debido a su importancia turística, donde destaca la vía Ruta del Vino.

Por otro lado, el colector ha sido modificado por actividades de extracción de arena, donde la Comisión Nacional de Agua ha otorgado seis concesiones entre 2006 y 2014, en las que se tiene permitido extraer un total de 847,830 m³ en tan

solo un año de actividad. Lo cual se traduce en un tiempo de regeneración de sedimentos de aproximadamente 325 años, o 111 años en el mejor de los casos con eventos extremos de precipitación pluvial. Estas concesiones se ubican en las partes del colector que atraviesan Valle de Guadalupe, La Misión y Rancho Viejo.

Todas estas actividades implican cambios importantes en el ambiente, la cuales influyen en la disponibilidad hídrica y por ende pueden repercutir en las actividades económicas de la región y en la calidad de vida de las personas. Por ello es importante fomentar este tipo de trabajos y herramientas para la toma de decisiones en el desarrollo sostenible, pues el agua es un servicio ecosistémico esencial para las personas, y que se vuelve una prioridad en esta región debido a sus características de sequia y por su vocación vitivinícola.

Actualmente existen algunos instrumentos en los que se promueve la protección y conservación de algunas partes del colector principal de la cuenca Guadalupe, como lo son 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 (Región del Vino), B.C. Sin embargo, es importante hacer un estudio detallado de su cumplimiento y de como mejorar su aplicación.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera Fernández I., Ulloa Carcassés M., Cabrales Rodríguez A. y Guilarte Alpajón D. 2003. Incidencia ambiental de la extracción de arena del Río Nibujón. *Minería y Geología*. 19 (1-2), 107-114 pp.

Aguirre L. V. y Ayala, A. O. 2015. Provincias hidrogeológicas de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 36-55 pp.

Almeida-Leñero L; Nava M., Ramos A., Espinosa M., Ordoñez M de J. y Jujnovsky J. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México *Gaceta Ecológica*, núm. 84-85. 53-64 pp.

Armenta Pérez F. 2015. Diagnóstico integral del acuífero Guadalupe y recomendaciones para la implementación de reglas operativas de apropiación. Trabajo terminal. Especialidad en Gestión Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California. 110 p.

Arriaga L. 2009. Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*. 1(1). 6-16 pp.

Badan A., Kretschmar T., Espejel I., Cavazos T., D'Acosta H., Vargas P., Mendoza L., Leyva C., Arámburo G., Daesslè W. y Ahumada B. 2006, Hacia un

plan de manejo del agua en Valle de Guadalupe, Baja California, en Memorias del II Seminario Internacional de Vitivinicultura: Ensenada, Baja California, México, INIFAP, 45–64 pp.

Balvanera, P. y Cotler H. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta ecológica. No. 84-85 pp.

Chávez R., Lara F. y Sención R. 2006. El agua subterránea en México: condición actual y retos para un manejo sostenible. Boletín geológico y minero, 117(1), 115-126 pp.

Caro-Caro C. I. y Torres-Mora A. T. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. Orinoquia, 19(2), 237-252 pp.

CONABIO. 1998. Subcuencas hidrológicas. Extraído de Boletín hidrológico. 1970. Subcuencas hidrológicas en Mapas de regiones hidrológicas. Escala más común 1:1000000. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de Irrigación y control de Ríos, Dirección de Hidrología. México.

CONAGUA. 2008. Plan maestro de manejo del acuífero Guadalupe, Municipio de Ensenada, B.C. Tomo III. Informe técnico. 111 p.

CONAGUA. 2018 a. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Guadalupe (0207), Estado de Baja California. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. 25 p.

CONAGUA. 2018 b. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Misión (0206), Estado de Baja California. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. 25 p.

CONAGUA. 2018 c. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Ojos Negros (0208), Estado de Baja California. Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subdirección General Técnica. 25 p.

Daily G., Alexander S., Ehrlich P., Goulder L., Lubchenco J., Matson P., Mooney H., Postel S., Schneider S., Tilman D. y Woodwell G. 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2, 1-16 pp.

De Groot R., Wilson M. A. y Bowmans R. M. J. 2002. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408 pp.

Del Toro-Guerrero F. J., Kretzschmar T. y Hinojosa-Corona A. 2014. Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México. Tecnología y Ciencias del Agua, V (6), 69-81 pp.

Donald P. F. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. Conservation biology, 18(1), 17-38.

Elegido M. 1975. El impacto de la agricultura sobre el medio ambiente. Revista de estudios agrosociales, (90), 31-58 pp.

El Vigía. 2016a. Bloquean carretera por saqueo de arena. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2016/9/7/bloquean-carretera-saqueo-arena-248120.html>

El Vigía. 2016b. Continúa el saqueo de arena en el valle. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2016/10/24/contina-saqueo-arena-valle-252248.html>

El Vigía. 2016c. Inician trámites para extraer más arena de arroyo de Ensenada. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2016/7/20/inician-trmites-para-extraer-arena-arroyo-ensenada-243668.html>

El Vigía. 2016d. Por indiferencia de Conagua amenazan cierre de carretera. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2016/9/6/indiferencia-conagua-amenazan-cierre-carretera-248030.html>

El Vigía. 2016e. Prohíbe la Conagua extracción de arena. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2016/9/21/prohbe-conagua-extraccin-arena-249307.html>

El Vigía. 2017a. Crece tensión social por saqueo de arena. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2017/8/1/crece-tensin-social-saqueo-arena-278506.html>

El Vigía. 2017b. Impiden extracción de arena en el valle. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2017/10/29/impiden-extraccin-arena-valle-286723.html>

El Vigía. 2017c. Sigue saqueo de arena en Valle de Guadalupe. Recuperado de: <https://www.elvigia.net/general/2017/2/20/sigue-saqueo-arena-valle-guadalupe-264425.html>

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 pp.

FAO. 2002. Informe sobre agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy, Rome. 241 p.

FAO. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (update 2015). World Soil Resources Reports No. 106. 192 p.

Foster S. y Candela L. 2008. Diffuse groundwater quality impacts from agricultural land-use: management and policy implications of scientific realities. Groundwater Science & Policy an International Overview RSC Publishing. 454- 470 pp.

Friedman G. M. y Sanders J. E. 1978. Principles of sedimentology. John Wiley & Sons. New York. 792 p.

Garrido A., Cuevas M., Cotler H., González D. y Tharme R. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. Investigación Ambiental. Ciencia y política pública, Vol. 2, No.1, 25-46 pp.

Gómez-Baggethum E. y De Groot R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. Ecosistemas, Vol. 16. No. 3. 4-14 pp.

Gómez Mora A. M., Anaya J. A. y Álvarez Dávila E. 2005. Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central

de los andes colombianos. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol. 4, Núm. 7, 13-27 pp.

Helguera y García A. 2006. Manual práctico de la circulación de la riqueza, Edición electrónica gratuita. Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/ah-circ/indice.htm>

INEGI. 1993. Carta de uso del suelo y vegetación, Serie I (1968-1986) (continuo nacional), escala 1: 250 000. México.

INEGI. 2016. Carta de uso del suelo y vegetación, serie VI (2014) (continuo nacional), escala: 1:250 000. México.

INEGI. (Sin fecha) a. Conjunto de datos vectoriales edafológicos (continuo nacional), escala 1:250 000. México.

INEGI. (Sin fecha) b. Conjunto de datos vectoriales geológicos (continuo nacional), escala 1:1'000,000. México.

INEGI. 1995. Estudio hidrológico del estado de Baja California, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 180 p.

INEGI. 2004. Guía para la interpretación de cartografía, edafología. 28 p.

INEGI. (Sin fecha) c. Red hidrográfica (continuo nacional), escala 1:50 000 edición 2.0. México.

Kurczyn-Robledo J. A., Kretschmar T. y Hinojosa-Corona 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 pp.

Langbein W. B., Schumm S. A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Transactions of the American Geophysical Union*. 39: 1076-1084 pp.

La Crónica. 2017. Profepa clausura banco de materiales pétreos en Ensenada. Recuperado de: <https://frontera.info/EdicionEnLinea/Notas/Noticias/17012017/1169562-Profepa-clausura-banco-de-materiales-petres-en-Ensenada.html>

La Jornada BC. 2015. Investigan presuntas anomalías en extracción de arena en Ensenada. Recuperado de: <http://jornadabc.mx/tijuana/03-12-2015/investigan-presuntas-anomalias-en-extraccion-de-arena-en-ensenada>

La Jornada BC. 2016. Guerra por el agua en Valle de Guadalupe. Recuperado de: <http://www.jornada.com.mx/2016/12/12/politica/044n1pol>

Leyva Aguilera, J. C. Espejel Carbajal M. I. 2013. El Valle de Guadalupe. *Conjugando tiempos*. Universidad Autónoma de Baja California. 129 p.

Mellink E. 2002. El límite sur de la región mediterránea de Baja California, con base en sus tetrápodos endémicos. *Acta zoológica mexicana*, (85), 11-23 pp.

Mendoza Cariño M., Quevedo Nolasco A., Bravo Vinaja Á., Flores Magdaleno H., De la Isla De Bauer M. de L., Gavi Reyes F. y Zamora Morales B. P. 2014. Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(4), 429 - 436 pp.

Meraz Ruiz L. y Ruiz Vega A. V. 2016. El enoturismo de Baja California, México: un análisis de su oferta y comparación con la región vitivinícola de La Rioja, España. *Investigaciones Turísticas*, (12), 73-98 pp.

MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 137 P.

Naiman R. J., Bilby R. E. y Bisson, P. A. 2000. Riparian ecology and management in the Pacific coastal rain forest. *AIBS Bulletin*, 50(11), 996-1011pp.

Navarro Palacios R. A. 2004. Aportación desde la hidrología a la gestión ambiental de la extracción de arena en el Arroyo Guadalupe. Tesis. Maestría en Administración Integral del Ambiente. Colegio de la Frontera Norte . 152 p.

Navarro Rodríguez M. C., González Guevara L. F., Flores Vargas R. y Amparán Salido R. S. 2015. Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental. Universidad de Guadalajara 61 p.

Nijkamp P. y Rietveld P. 1990. Multicriteria evaluation in Physical Planning. Elsevier. Science Publications. Amsterdam, The Netherlands. 219 pp.

OECD. 2001. Environmental Indicators. Towards Sustainable Development. France. 155 p.

Perevochtchikova M. y Beltrán A. V. 2010. Los Servicios Ambientales Hidrológicos como instrumento alternativo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Distrito Federal. Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales. El Colegio de México. 7 p.

Pérez García M. A. 2017. Análisis espacial de la presión antropogénica sobre las funciones y los servicios ambientales del Valle de Guadalupe. Trabajo terminal. Especialidad en Gestión Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California. 38p.

Pérez Vázquez A. y Landeros Sánchez C. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. Elementos Revista de Ciencia y Cultura. 73:16, 19-25 pp.

Polo-Ballinas, M. 2014. Los servicios ecosistémicos de los ríos urbanos y su contribución en la adaptación al cambio climático en las ciudades mexicanas. *Investigación ambiental*, 6(1). 43-51 pp.

Pou-Alberú S. y Pozos-Salazar G. 1992. Cantidad de sedimento drenado hacia la costa del Pacífico en el noroeste de Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 18(3), 125-141pp.

Proceso. 2003a. De manera ilegal, extraen arena en Baja California (Primera parte) Recuperado de: <https://www.proceso.com.mx/248273/de-manera-ilegal-extraen-arena-en-baja-california-primera-parte>

Proceso. 2003b. De manera ilegal, extraen arena en Baja California (Segunda parte) Recuperado de: <https://hemeroteca.proceso.com.mx/?p=248267>

Proceso. 2011. Reporta gran saqueo de arena de Ensenada para Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.proceso.com.mx/268738/reporta-gran-saqueo-de-arena-de-ensenada-para-estados-unidos>

Quiñónez Ramírez J. J., Bringas Rábago N. L. y Barrios Prieto C. 2014. La Ruta del Vino de Baja California. *Patrimonio Cultura y Turismo*. 131-149 pp.

Restrepo A. J. D. 2005. Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. *Universidad Eafit*. 271 p.

Rivas Martínez R. 2003. Perspectiva ambiental de las vías de comunicación y transporte terrestres. Urbano. 13-19 pp.

Romanelli A. y Massone H. E. 2016. Desarrollo de indicadores ambientales e índice de calidad de lagos someros pampeanos de Argentina con alta intervención antrópica. Tecnología y ciencias del agua, 7(6), 123-137pp.

Rozzi R., Primack R., Feinsinger P., Dirzo R. y Massardo F. 2001. ¿Qué es la biología de la conservación? En: Primack R., Rozzi R., Feinsinger P., Dirzo R. y Massardo F. Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica, México. 45-58 pp.

Salgado Tránsito J. A., Palacios Vélez O., Galvis Spínola A., Gavi Reyes F. y Mejía Sáenz 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), 79-95 pp.

SCT. 2012. Red de vías de comunicación (continuo nacional), escala 1:250 000. México.

SEMARNAT. (sin fecha) Los indicadores ambientales. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_2011/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual.html

Silva R. S. 2015. Vegetación en galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. Tecnología y Ciencias del Agua, 70-78 pp.

SNIA. (sin fecha). Indicadores de Crecimiento Verde: Cambio de Uso del Suelo. Recuperado de: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_verdes/indicadores/03_capital/3.1.2.html

Torres A., Brandt J., Lear K. y Liu J. 2017. A looming tragedy of the sand commons. Science, 357(6355), 970-971 pp.

Trombulak, S.C. y C.A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. Conservation Biology 14: 18-30 pp.

UNESCO. 2010. Servicios de los ecosistemas y el bienestar Humano: La contribución de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 77 p.

Vargas B. 2013. Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región del norte de México. México: CONAFOR. 87 p.

Velázquez A., Mas J. F., Gallegos J. R. D., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P. C., Castro R. y Palacio J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta ecológica, (62), 21-37 pp.