

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

FACULTAD DE CIENCIAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL



**“ANÁLISIS ESPACIAL DE LA PRESIÓN ANTROPOGÉNICA SOBRE
LAS FUNCIONES Y LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL VALLE DE
GUADALUPE”**

Trabajo Terminal

**Que para obtener el Diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTION AMBIENTAL**

Presenta

MIGUEL ANGEL PÉREZ GARCIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

TRABAJO TERMINAL
QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN GESTION AMBIENTAL
PRESENTA

MIGUEL ANGEL PÉREZ GARCIA

APROBADA POR



DRA. MARÍA CONCEPCIÓN ARREDONDO GARCÍA

Directora



DR. ALEJANDRO GARCÍA GASTÉLUM

Sinodal



DR. GEORGES SEINGIER

Sinodal

RESUMEN

En las cuencas hidrográficas se encuentran los recursos naturales y la infraestructura creada para el desarrollo de actividades socioeconómicas creando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano; tal es el caso, de la región vitivinícola en el noroeste del Municipio de Ensenada, B.C. Las actividades utilizan y ejercen presión sobre las diversas funciones ecológicas y servicios ambientales que prestan las cuencas hidrográficas y que a su vez ha traído consecuencias socioeconómicas como la escasez en el suministro de agua en localidades para los usos consuntivos. En este trabajo, se orienta a estimar el nivel de intervención antropogénica que se ha ejercido en la región del Valle de Guadalupe, mediante el análisis de las obras y actividades que afectan la subcuenca del R. Guadalupe, a través de la generación de indicadores de fragmentación y perforación en dos escalas de análisis geográfico (semidetalle) para evaluar la presión antropogénica. La metodología parte de Garrido (2010) y se alimenta con datos provenientes del INEGI y CONAGUA. Para ambos análisis (1:250 000 y 1:10 000) denominado “nivel de subcuenca hidrográfica” y “micro cuenca” respectivamente. Se identificó el cambio de uso de suelo entre 1997 y 2011 así como la fragmentación por vías de comunicación a nivel de subcuenca. En el segundo análisis se agregó además la perforación asociada a la presencia de pozos concesionados para la extracción de agua subterránea. Los resultados muestran una diferenciación entre las intervenciones en la parte alta, media y baja de la subcuenca. El 90% de los cambios del uso del suelo se relacionan con la pérdida de la cobertura natural y su transformación al uso agrícola (temporal, anual o permanente) en la parte alta y baja de la cuenca. En cuanto a la fragmentación por carreteras y caminos la mayor presión se ubica en la parte alta; lo que pudiera influir directamente en modificaciones de la irrigación hidrológica natural en toda la subcuenca. Coinciden estos resultados con el segundo nivel (valle de Guadalupe), que identifica al mayor cambio de uso de suelo en los usos agrícolas en la parte baja del mismo valle así mismo con la fragmentación por vías de comunicación se concentró en zonas con alta pérdida de la naturalidad (en sitios con usos agrícolas). La perforación muy alta por la presencia de pozos de extracción se identifica en la frontera norte con el valle de San Antonio. Las partes alta y baja de la sub-cuenca R. Guadalupe son las que presenta una mayor alteración por presión en cambio de uso de suelo entre 1997 y 2011. En la región del valle de Guadalupe, se identificó un 4.2% de la pérdida de naturalidad por la apertura de nuevas tierras agrícola; en éste mismo nivel es el extremo suroeste del valle donde se tiene la mayor perforación y fragmentación del paisaje agrícola, no se perciben cambios significativos en el crecimiento de las zonas urbanas. Este trabajo estima el nivel de intervención por obras y actividades desde una perspectiva ecológica asociada a la pérdida de naturalidad. La falta de un seguimiento de las acciones e intervenciones antropogénicas en la subcuenca, no permite valorar desde un contexto multidimensional las consecuencias del uso de los recursos y la pérdida de funciones y servicios ecosistémicos, ni tampoco disminuirá los conflictos sociales que a su vez, impedirán un desarrollo local sostenible de la región agrícola más importante en el noreste de la Ciudad de Ensenada.

PALABRAS CLAVE:

Indicadores ambientales, fragmentación de ecosistemas, deterioro ambiental, sistemas de información geográfica, escasez de agua.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca otorgada para mi manutención-salud, a la Universidad Autónoma de Baja California y Facultad de Ciencias Marinas a su personal académico y administrativo por brindarme las facilidades para la realización de mis estudios de posgrado, así mismo agradezco al Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, la oportunidad de brindar mis prácticas en su institución y orientar esta investigación hacia tema de interés local.

A mis compañeros de generación; Tovar, Laura, Sheila, Argel, Lorena, Laura y Gabriela por volverse como mi segunda familia en este camino, agradezco sus palabras de aliento, apoyo, amistad y disponibilidad de tiempo tanto dentro como fuera de la escuela.

A mis padres Leticia y Miguel, a mis hermanos Edgar y Alonso por su apoyo y comprensión en todo momento; siempre serán pilar importante de mis logros, a todos los integrantes de mi familia, en especial a mi Tío Rafael por todo el apoyo brindado para realizar este viaje.

A la Dra. Concepción Arredondo, por adoptarme bajo su tutela y tener el tiempo, paciencia y consejos oportunos para cada ocasión que los necesité, gracias por no darse por vencida conmigo.

Al Dr. Georges y al Dr. Gastélum, por los consejos y correcciones brindados al presente trabajo, así como su valiosa aportación en mi formación durante esta especialidad.

Anita, gracias por todo.

A todas y cada una de las personas que conocí en este viaje que con su paso por mi vida dejaron una enseñanza, una palabra de aliento y favores que llegaron en el momento que más los necesitaba. Por apoyar a un extraño de forma desinteresada y brindarme su tiempo, espero se les devuelva multiplicado lo que hicieron por mí.

INDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	9
II.	ANTECEDENTES	11
III.	JUSTIFICACION	15
IV.	OBJETIVOS	16
V.	MÉTODOS	17
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1.	Identificación de las funciones y servicios ambientales que provee la subcuenca R. Guadalupe.....	24
6.2.	Determinar la fragmentación y perforación de la subcuenca (1:250,000) y a nivel micro cuencas (1:10,000).....	26
6.2.1.	Impacto potencial sobre toda el área de estudio (IPAE) a nivel subcuenca	26
6.2.2.	Impacto potencial a nivel de nivel de microcuenca (IPUA)	30
VII.	CONCLUSIONES	36
VIII.	TRABAJOS CITADOS	37
IX.	ANEXOS.....	38

INDICE TABLAS

Tabla I Escalas de cuencas y su nivel de impacto	15
Tabla II. Identificación de Funciones ambientales a nivel sub cuenca hidrológica	20
Tabla III Clasificación de uso de suelo por categoría	22
Tabla IV. Funciones ambientales y estimaciones de intervenciones antropogénicas a nivel subcuenca y microcuenca hidrológica.	25
Tabla V. Evolución de la disponibilidad media anual.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de volumen asignado por tipo de usos del agua en el acuífero Guadalupe (Tomado de Armenta, 2015).	13
Figura 2. Análisis de la investigación previa alrededor del Valle de Guadalupe (Tomado de Armenta, 2015:35)	14
Figura 3 Descripción de los niveles de trabajo.	17
Figura 4. Zona de estudio ubicada en el Valle de Guadalupe	18
Figura 5. Tendencia poblacional en la localidad del El Porvenir, B.C. (1980-2010)....	18
Figura 6. Tendencia poblacional en Francisco Zarco (1980-2010).....	19
Figura 7. Cambio de uso de suelo 1997-2011	27
Figura 8 Distribución espacial del Índice de Cambio de Uso de Suelo	27
Figura 9. Índice de fragmentación por vías de comunicación	28
Figura 10 Concesiones otorgadas en la Sub cuenca R. Guadalupe.	29
Figura 11. Composición de Volumen total anual de extracción ($Mm^3/año$) por tipo de uso. Fuente propia a partir de REPDA (2017).....	29
Figura 12. Índice de cambio de uso de suelo segundo nivel	31
Figura 13. Índice de fragmentación por vías de comunicación segundo nivel.....	32
Figura 14 Índice de presión por extracciones	33
Figura 15 Correlación en agricultura. Nota: Contempla los usos agrícolas catalogados como múltiples	34
Figura 16. Relación entre porcentajes agrícolas (Superficie y concesiones) en relación cada unidad natural.	34

I. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente, a partir del funcionamiento natural de los ecosistemas, las primeras referencias sobre el concepto de funciones de los ecosistemas, servicios y el valor económico, datan de 1960 y principios de los años setentas (De Groot et al., 2002). Las cuencas hidrográficas ofrecen numerosos servicios a la sociedad, el suministro mundial de agua dulce para usos domésticos, agrícola e industrial (FAO, 2009).

En el territorio nacional la distribución del agua no es homogénea; en la parte septentrional y centro el clima es árido a semiárido, la precipitación es escasa y las sequías son recurrentes, por lo que el aprovechamiento del agua subterránea en esta región es significativa, siendo casi la única fuente de abastecimiento (Carabias y Landa, 2005). Desafortunadamente, la gran dependencia del agua subterránea, junto con el continuo aumento poblacional, que ocasiona una mayor extracción, ha desencadenado una serie de impactos en la naturaleza, entre ellos: descenso del nivel freático, desecación de manantiales y arroyos, pérdida de ecosistemas, subsidencia, entre otros (Carrillo-Rivera et al., 2008). Estos efectos negativos son el resultado de: i) una extracción excesiva e inadecuada del agua subterránea; ii) el inapropiado diseño, construcción y operación de pozos, y iii) de manera global, el desconocimiento del funcionamiento del sistema (Peñuela, 2014)

De acuerdo a Perevochtchikova, (2003) en México a pesar de que se ha tratado de adoptar la gestión integral de recursos hídricos (GIRH), ésta no ha podido consolidarse debido a diversas limitaciones, tales como: i) la desarticulación política en las tareas de la planificación territorial; ii) la debilidad de la colaboración inter e intra- institucional, con la sociedad, el gobierno y la academia; iii) la falta de participación ciudadana en la toma de decisiones ; iv) la debilidad legislativa en materia ambiental; v) la falta de información fidedigna para el diseño de las políticas públicas, así como vi) la falta de fortalecimiento del

sistema educativo en el país, para llevar a cabo un mejor manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales

Para el estado de Baja California corresponde la Región Hidrológico-Administrativa 1 (RHA 1 PBC) la cual se ubica en una de las zonas del país con menor precipitación media anual, 77% menor que la media nacional, lo cual limita sus posibilidades de desarrollo social, económico y ambiental. La problemática hídrica en la región se identifica por la sobreexplotación de sus cuencas y acuíferos, por la contaminación de cuerpos de agua por el déficit de cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento, y por los riesgos que enfrentan los centros de población y áreas productivas frente a sismos, sequías e inundaciones catastróficas. Actualmente existe una brecha o déficit de agua de 450 hm³ y para el año 2030, se estima que esta alcance los 543 hm³ (SEMARNAT 2012).

Dentro de esta región se encuentra el acuífero de Guadalupe el cual se encuentra completamente vedado desde mediados de la década de los sesenta (DOF, 15 de Mayo de 1965). Con una veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. En la actualidad el acuífero y la región del mismo nombre enfrentan un déficit importante en la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo. De acuerdo a Armenta (2015) existen cerca de 1,375 aprovechamientos subterráneos de acuerdo a la información del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Valle de Guadalupe el cual fue instalado en octubre de 1999.; cuya misión es preservar y promover el uso eficiente de las aguas nacionales

II. ANTECEDENTES

- La evaluación del grado de alteración en cuencas hidrológicas

Garrido en 2010 realizó una evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México basado en un modelo de análisis geográfico multicriterio que se cimenta en la compilación, interpretación y discusión multidisciplinaria de la información disponible a nivel nacional para obtener así un escenario de alteración causada por la acción humana. En este estudio encontró que cinco de los siete ríos más caudalosos de México se encuentran dentro de las categorías más elevadas de alteración. El Río Bravo, el de mayor longitud en México, se clasifica en la categoría más elevada de alteración junto con los ríos de la Cuenca de México. En contraste, los ríos de la Península de Baja California, junto con algunos otros sistemas endorreicos de longitudes cortas, se encuentran en la categoría de menor alteración.

Por su parte García Contreras en el 2015 evaluó el grado de presión antropogénica presente sobre el Arroyo del Pueblo en la ciudad de Saltillo, Coahuila y a partir de la metodología de Garrido op.cit. mediante un sistema de indicadores ambientales para conocer cómo esto ha afectado el suministro de algunos servicios ambientales. En este trabajo considera a las vías de comunicación como elementos de fragmentación, esto debido a que la construcción de este tipo de obras, aún sobre los cauces, también modifica el volumen, la velocidad, la calidad y la estacionalidad de los sistemas fluviales (Jones et al., 2000; Trombuclack y Frissell, 2000; Revenga et al., 1998; Allan et al., 1997).

- La Cuenca y el acuífero de Río Guadalupe

La CONAGUA (2015) caracterizó a los acuíferos con déficit en el país con base a parámetros técnicos y sociales, con el fin de conocer la necesidad de atención a su restauración; para el caso de Acuífero Guadalupe, ocupó la posición 57 de 653 acuíferos. Describiendo los elementos físicos y sociales considerados para la evaluación se tiene el

nivel de déficit, descenso del nivel piezométrico, la presencia de fallas geológicas, la existencia de intrusión salina, la relación volumen concesionado y la recarga efectiva, la población en la zona. Los elementos de apoyo a este estudio de la CONAGUA es la existencia del COTAS, de plan de manejo integral o de proyecto de Manejo sostenible del Agua Subterráneas, la existencia de un ordenamiento (veda o reglamento), contar con un censo de usuarios o estudios técnico Justificativos.

Kurczyn-Robledo et al. (2007) identificaron las características edafológicas y geomorfológicas en la Serranía Matcuatai ubicada al noreste del Valle de Guadalupe para conocer sus implicaciones en los volúmenes de escurrimiento en esta región; encontrando que el 88% del suelo en el área de estudio tiene un potencial favorable al escurrimiento y un 12% favorable a la infiltración.

Por su parte (Salgado Tránsito y colaboradores 2012) reconocen que la salinidad del agua está presente en todo el acuífero del Valle de Guadalupe; al analizar las aguas de 66 pozos, de un total de 754 que se encontraban en operación en el acuífero durante 2009. Calculan que el 74% de los suelos agrícolas analizados muestran niveles excesivamente altos, principalmente aquellos con cultivos de vid. Agregan que esta situación no se presenta en el total de la superficie del valle; por lo tanto, el agua del acuífero no es la única causante de dicho problema, indicando por tratarse de suelos arenosos se atribuyen problemas de contaminación asociadas a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados.

Armenta (2015) calcula a partir del Registro Público de los Derechos del Agua (REPDA, 2014) el reparto del agua del acuífero Guadalupe asociado al número de títulos de concesión para su aprovechamiento y explotación autorizados en los 445 usuarios. Encontrando que el volumen de extracción se acerca a los 37 Hm³ anuales, en 647 aprovechamientos (pozos o norias) asociados a siete tipologías de aprovechamiento reconocidos por la CONAGUA (Figura 1)

Usos	Usuarios		Aprovechamientos		Concesiones (Títulos)		Volumen	
	Usuarios	%	No. De Obras	%	Número	%	Mm ³	%
Agrícola	180	40	295	46	254	47	21,121,853	57.12
Múltiple	160	36	229	36	168	31	9,336,269	25.25
Público Urbano	4	1	13	1	4	1	6,325,555	17.10
Industrial	3	1	3	0.5	3	1	134,000	0.36
Doméstico	80	18	85	13	85	16	39,645	0.11
Pecuario	14	3	18	3	17	3	13,403	0.04
Servicios	4	1	4	1	4	1	10,255	0.03
Total	445	100	647	100%	535	100%	36,980,980.00	100%

Figura 1. Composición de volumen asignado por tipo de usos del agua en el acuífero Guadalupe (Tomado de Armenta, 2015).

Armenta (2015) en su trabajo de diagnóstico del Acuífero Guadalupe reconoce que éste sustenta una amplia investigación que detonó a partir del decreto de veda; asimismo identifica cuatro fases en el desarrollo de la investigación: la fase institucional entre 1976 a 1991, la fase técnica entre 1992 a 2002 y finalmente la multidisciplinaria que conlleva estudios sociales, económicos, ambientales para tratar de conocer de forma integral la problemática del sitio en la actualidad (Figura 2).

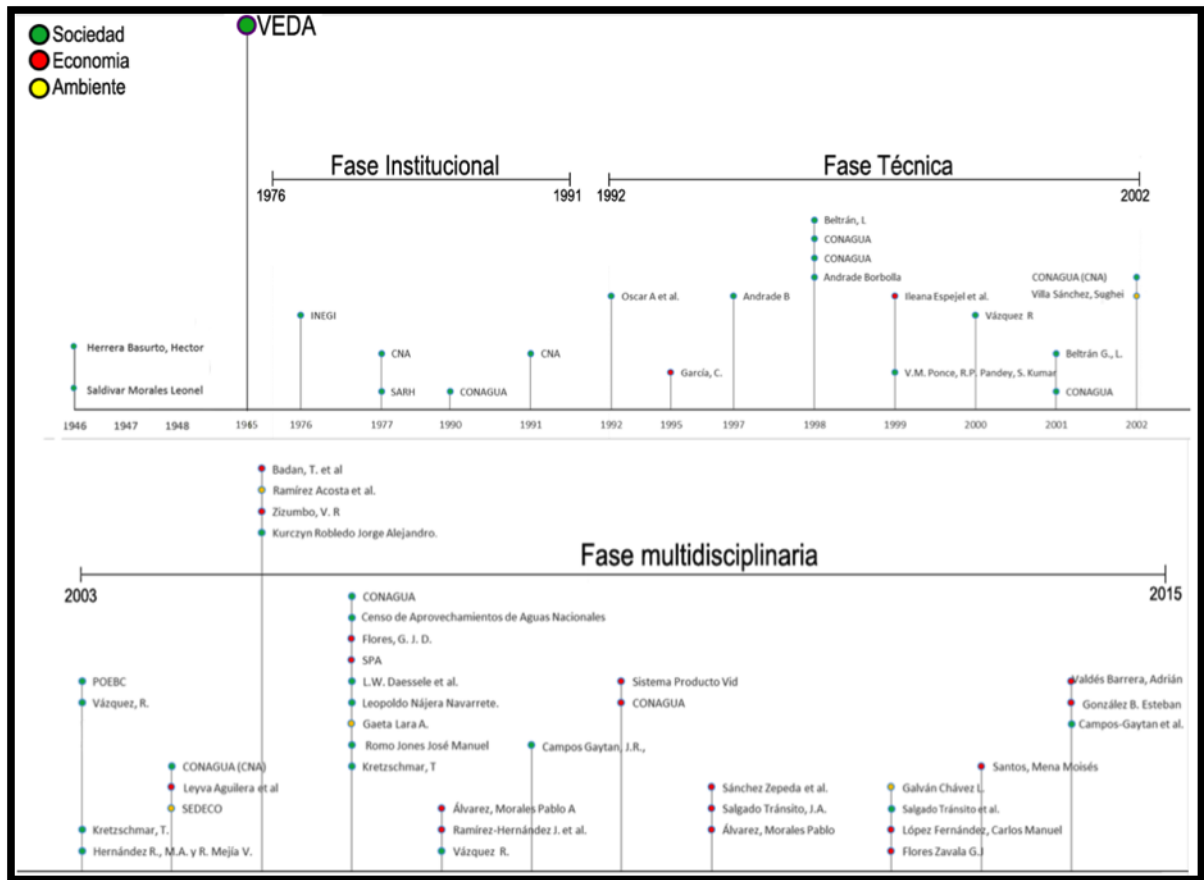


Figura 2. Análisis de la investigación previa alrededor del Valle de Guadalupe (Tomado de Armenta, 2015:35)

III. JUSTIFICACION

De acuerdo con la FAO (2009) reconoce que las repercusiones antropogénicas y naturales en los procesos de las cuencas hidrográficas es una cuestión de escalas y su clasificación de acuerdo a su magnitud se relaciona a la superficie: “micro” (menos de 50km²), “meso” (de 50 a 20 000 km²) y “macro” (mayores de 20 000 km²), agregando que si bien son arbitrarios, sirven para evaluar las repercusiones potenciales de las actividades humanas, (como la agricultura, la explotación forestal, el pastoreo) en comparación con los efectos de los fenómenos naturales (como movimientos geológicos o fenómenos meteorológicos extremos) (Tabla I Escalas de cuencas y su nivel de impacto Tabla I); agregando que la creación de programas de cuenca depende de diversos factores, incluyendo el valor estratégico de la cuenca, la demanda presente de los servicios de la cuenca, la situación del ecosistema, las prioridades de los actores así como de la disponibilidad de los recursos financieros y tecnológicos. Por lo que la magnitud del impacto final previsto deberá corresponder a la escala del Programa de actuaciones.

Tabla I Escalas de cuencas y su nivel de impacto

Tipo de Cuencas	Efectos de las actividades humanas	Efectos de los fenómenos naturales
Micro	Tienden a ser mayores	Tienden a ser menores
Meso	Igualmente decisivos para la degradación	
Macro	Tienden a ser menores (al menos en percepción)	Tienden a ser mayores

Diagrama de escalas de cuencas y su nivel de impacto:

- Microcuenca (explotación agrícola):** Impacto humano mayor, impacto natural limitado.
- Mesocuenca (valle de montaña):** Impacto humano limitado, impacto natural mayor.
- Macrocuenca (cuenca fluvial):** Impacto humano limitado, impacto natural mayor.

Modificado a partir de la FAO, 2009:25

La SEMARNAT (2012) menciona que el reconocer la dinámica hidrológica, ecosistémica, cultural, social e institucional de las cuencas hidrográficas de México, implica primero conocer donde se vive y de donde provienen los bienes y servicios ambientales utilizados y como cumplen diversas funciones y se relacionan a partir del agua como elemento integrador entre la naturaleza y la sociedad. En este trabajo, se pretende estimar el nivel de intervención (presión) antropogénica que se ha ejercido en la región del Valle de Guadalupe, mediante el análisis de las obras y actividades que afectan las funciones y servicios ecosistémicos.

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Estimar la presión antropogénica por fragmentación, perforación que se ha ejercido sobre sobre las funciones y servicios ecosistémicos en el valle de Guadalupe.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Identificar las funciones y servicios ambientales en relación a las intervenciones antropogénicas en la subcuenca R. Guadalupe
2. Determinar la fragmentación y perforación de la subcuenca a escala 1:250,000 así como a nivel micro cuencas (1:10,000)
3. Valorar la presión antropogénica a través de indicadores ambientales en cada nivel espacial.

V. MÉTODOS

El análisis comprende 2 niveles espaciales (Figura 3) que evalúan la presión ejercida sobre el arroyo a diversas escalas. Para evaluar cada uno de los niveles se contestarán las preguntas siguientes ¿Existe algún impacto que afecte a una o más de las funciones identificadas?, ¿Se puede medir cualitativa o cuantitativamente este impacto?, con estos datos se alimentará el sistema metodológico propuesto por Garrido et al (2010) y (Garcia Contreras, 2015).

Para todos los mapas se utilizó el sistema de Coordenadas UTM zona 11N con Datum ITRF 1992 establecidos por el INEGI.

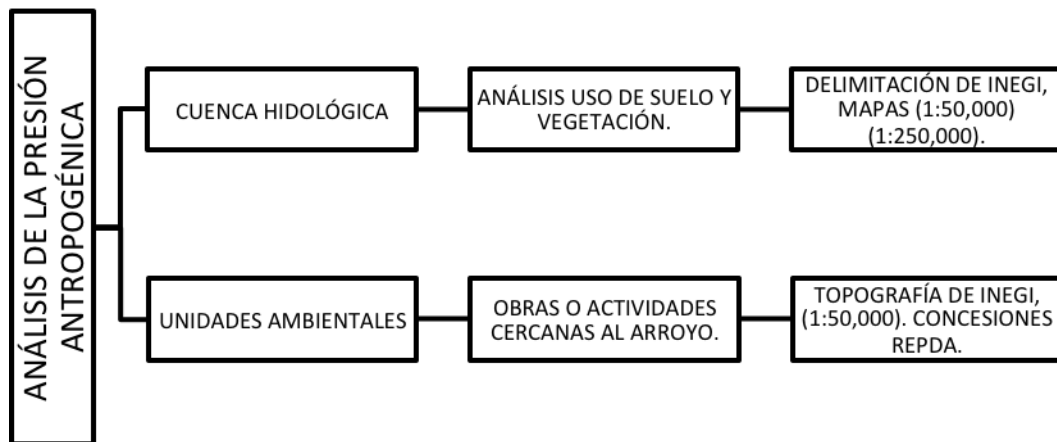


Figura 3 Descripción de los niveles de trabajo.

Delimitación y zonificación del área de estudio

El valle de Guadalupe se encuentra a 30 km de la ciudad de Ensenada., es el único en México de tipo mediterráneo. Se seleccionó el tramo del arroyo que cruza el valle que es de 31.3 km. donde se encuentran los poblados de Francisco Zarco y El porvenir que tienen una población de 2500 y 1400 habitantes respectivamente. El siguiente paso fue adaptar la metodología propuesta por Garrido et al (2010) y (Garcia Contreras, 2015) a la justificación

planteada al principio, por lo que se delimitó un primer nivel de análisis a nivel de meso cuenca. Para la selección de esta área de estudio se utilizó el criterio empleado por CONAGUA con el que se delimitan las sub-cuencas hidrográficas a escala 1:50 000; esta institución identifica al valle de Guadalupe con la clave RH01Cc. R. Guadalupe. Siguiendo la metodología propuesta que evalúa la zona riparia, se ajustó el criterio a una micro-cuenca en el segundo nivel, de esta manera el polígono de macro análisis quedó delimitado según la Figura 4.

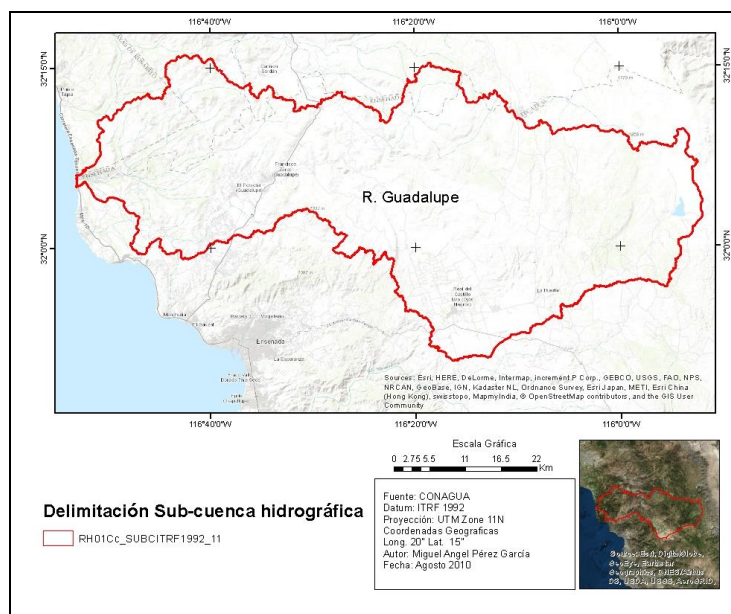


Figura 4. Zona de estudio ubicada en el Valle de Guadalupe

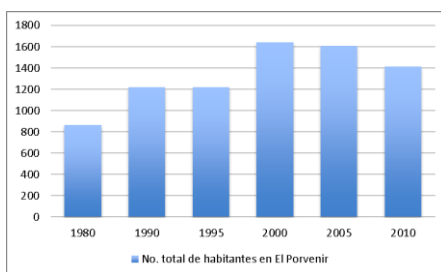


Figura 5. Tendencia poblacional en la localidad de El Porvenir, B.C. (1980-2010)

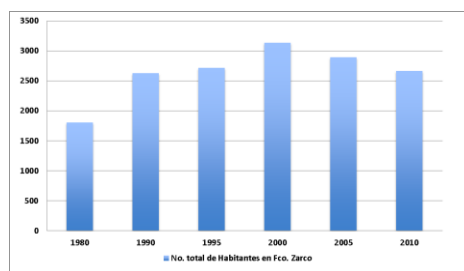


Figura 6. Tendencia poblacional en Francisco Zarco (1980-2010)

Se realizaron 2 zonificaciones; en la primera se evalúan las presiones sobre la subcuenca hidrográfica y en la segunda se identificaron las micro-cuencas con contacto directo al arroyo.

El primer nivel evalúa la escala de subcuenca hidrológica a escala 1:250,000. De acuerdo a la metodología en este nivel las características a tomar en cuenta son las de uso de suelo que influye en los servicios de percolación así como la fragmentación por caminos y carreteras. Se generaron 43 unidades naturales a partir de los datos obtenidos del INEGI, el proceso se muestra en el Anexo 1.

La información proporcionada por INEGI, en sus series II y V fue procesada generando los mapas “Cambios de Uso de Suelo y Vegetación” para ambas series. En el caso de fragmentación por caminos y carreteras se tomaron los datos de caminos y carreteras contenidos en el mapa “Topografía” escala 1:50 000 del INEGI. La información relacionada a sistemas de información geográfica fue procesada en el programa ArcMap versión 10.2. Las bases de datos se trabajaron en Microsoft Office Excel 2010.

Fueron procesados los datos de Modelos Digitales de Elevación (Imágenes LIDAR) provenientes de INEGI a escala 1:10 000 para la creación de micro-cuencas en las que se encuentra el arroyo. Estas fueron las unidades ambientales sobre las que se evaluaron las presiones del segundo nivel.

Identificación de las funciones ambientales a evaluar

En la Tabla II se describen las funciones ambientales evaluadas en el trabajo así como los bienes o servicios que están asociadas a ellas y las obras o actividades antrópicas que influyen en las mismas:

Tabla II. Identificación de Funciones ambientales a nivel sub cuenca hidrológica

Función	Ejemplos de bienes y/o servicios	Obras o actividades antrópicas que influyen
1.-Regulación de los flujos de agua	1. Drenaje. 2. Escorrentías.	Caminos, carreteras.
2.-Disponibilidad Hídrica	1. Recarga del acuífero. 2. Disponibilidad de agua para usos consuntivos.	Pozos de extracción.
3.-Control de la erosión.	1. Percolación.	Cambios de cobertura del vegetal y los usos del suelo

Elaboración propia a partir de (Perevochtchikova, 2003) y (Gómez & Groot, 2007).

Sistema de Indicadores

El sistema de indicadores presentado en este trabajo es una adaptación del modelo de análisis multicriterio realizado por (García Contreras, 2015), que tomó el modelo propuesto por Garrido y colaboradores en 2010 para evaluar el grado de alteración eco hidrológico en las cuencas hidrográficas de México.

Para el caso del análisis de la presión antropogénica sobre el Arroyo del Valle de Guadalupe se consideraron dos niveles. En el primero se evaluó el Impacto Potencial sobre toda el Área de Estudio (IPAE), en el segundo se analizó el Impacto Potencial sobre las Unidades Ambientales (IPUA), en cada una de estas estimaciones se utilizaron los indicadores de cambio de uso de suelo y fragmentación por vías de comunicación (InCUS y InFVC).

Se aplicó un proceso de normalización a estos datos para poder sumarlos, para ello se utilizó el método estadístico no paramétrico modificado de Rietveld (Nijkamp y Rietveld, 1990). La técnica utilizada emplea la siguiente fórmula:

$$VN = (Va - Vmin) / (Vmáx - Vmin)$$

Donde VN significa el valor normalizado, Va el valor a normalizar, Vmin es el valor mínimo de la serie de datos y Vmáx es el valor máximo de la serie. De esta manera se obtuvieron números del 0 al 1 por rasgo, donde el 1 indica una alteración con mayor intensidad.

Para el caso del segundo nivel se contempló un tercer indicador de presión por extracciones (InPPE).

A través de sumas ponderadas donde se tomaron en cuenta las características de los rasgos encontrados en la fragmentación por vías de comunicación, se calculó la presión antropogénica para el segundo de nivel de análisis a escala 1:10,000.

IMPACTO POTENCIAL SOBRE TODA EL ÁREA DE ESTUDIO (IPAE)

El IPAE se integró por medio de 2 indicadores, el primero de impacto por cambio de uso de suelo (InCUS) y el segundo por fragmentación por vías de comunicación (InFVC). Estos indicadores se construyeron a partir de los rasgos identificados en los mapas del INEGI; “Uso de suelo y vegetación” series II y V escala 1:250 000 para el InCUS, y los rasgos de caminos y carreteras del mapa “Topografía” escala 1:50 000 para el InFVC.

En este nivel se delimitaron las unidades ambientales (UA) según las características de edafología encontradas en el conjunto de datos vectorial edafológico escala 1: 250 000 Serie II del INEGI; de acuerdo a la columna titulada NOM_SUE1 se unificaron todos los polígonos con el mismo tipo de edafología, se organizaron de menor a mayor según su extensión y se les asignó un numero de control empezando por el 1. El proceso de creación de estas unidades se muestra en el Anexo 1.

Índice de fragmentación por vías de comunicación InFVC

El InFVC se calculó tomando la densidad de vías de comunicación respecto al total del área de la UA identificada mediante la siguiente formula:

$$\text{Densidad} = (\text{Longitud total de vía de comunicación en la UA}) / (\text{Hectáreas totales de la UA})$$

El valor obtenido se normalizo y se sumaron los resultados por caminos y carreteras.

Índice de cambio de uso de suelo InCUS

Para el InCUS se obtuvieron los datos de extensión de área natural por UA en cada una de las series, se dividió en 2 categorías las clasificaciones de uso de suelo de las series II y V del INEGI: Natural (sin intervención antropogénica) y transformado (con intervención antropogénica), los grupos quedaron determinados como se muestra en la Tabla III.

Tabla III Clasificación de uso de suelo por categoría

NATURAL	TRANSFORMADO
Bosque de encino	Agricultura de riego anual
Bosque de pino	Agricultura de temporal anual
Chaparral	Pastizal inducido
Cuerpo de agua	Zona urbana
Matorral rosetófilo costero	Asentamientos Urbanos
Vegetación de galería	

Para conocer la pérdida de área natural y así determinar el cambio de uso de suelo se calculó la “tasa anual de cambio” mediante la siguiente formula:

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

Donde “r” es la tasa, s2 y s1 son las superficies para los tiempos final e inicial respectivamente y “t” es el tiempo transcurrido entre fechas (SEMARNAT) (FAO, 2010).

Los valores se transformaron en absolutos y posteriormente se normalizaron.

IMPACTO POTENCIAL SOBRE LAS UNIDADES AMBIENTALES (IPUA)

La delimitación de las UA del segundo nivel se realizó por el análisis de Modelos Digitales de Elevación (Imágenes LIDAR) provenientes de INEGI a escala 1:10 000, estas fueron procesadas en el software “Arc Map 10.2” mediante la herramienta “Hidrology” contenida en dicho programa para crear Micro cuencas hidrológicas. La creación de estas unidades se muestra en el Anexo 2.

Una vez obtenidos los polígonos que determinaron las UA se aplicó la fórmula empleada en el InFVC y en el InCUS para obtener el impacto por UA.

Se utilizó el mapa de ubicación de pozos elaborado por la CONAGUA mediante el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para conocer la presión por extracción (InPPE) de aguas subterráneas en la zona.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Identificación de las funciones y servicios ambientales que provee la subcuenca R. Guadalupe

De acuerdo con la FAO (2009) la importancia socioeconómica de las cuencas hidrográficas es doble: para la población local y para los usuarios de las tierras bajas de los productos de la cuenca. En la tabla IV se exhiben las principales funciones ecológicas de las cuencas hidrológicas y los servicios ambientales prestados para la regulación y disponibilidad de agua, así como la influencia que tienen las actividades humanas. En este estudio se estimó a nivel de la subcuenca del Guadalupe con una superficie cercana a las 240 000 Ha, una pérdida de naturalidad por cambios de uso de suelo una intervención por cerca de 4828 Ha entre 1997-2010, lo que ha originado la construcción de cerca de 194 km de carreteras, unos 2150 km de brechas y terracerías los cuales fragmentan los ecosistemas naturales para conectar los sistemas socioeconómicos. De igual forma, se reportan cerca de 946 pozos concesionados por CONAGUA para la extracción del agua del subsuelo de acuerdo a REPDA (Marzo 2017).

Más de la mitad de las concesiones subterráneas de la subcuenca R. Guadalupe están en el acuífero de Guadalupe, que representa un volumen concesionado de 26.6 Mm³/año. Cabe destacar que el polígono de evaluación no abarca en su totalidad a todos los acuíferos, por lo que se necesitaría un análisis a detalle de las disponibilidades medias anuales, publicadas en el diario oficial de la federación para conocer el aporte en porcentaje que cada uno de esos acuíferos tiene a la subcuenca. Los datos aquí presentados son enunciativos de las condiciones legales del acuífero según la base de datos del REPDA, mas no representan forzosamente la realidad de las extracciones en la zona. Sin embargo Díaz-Cervantes y colaboradores reconocen que ...“*aunque el REPDA ha llegado a ser una base de datos confiable (Garduño, 2005), el hecho de que 4,088 derechos de agua resultaron georreferenciados fuera de los límites continentales de México, deja ver la necesidad de*

seguir depurando y mejorando la base de datos para generar información geográfica cada vez más exacta”.

Tabla IV. Funciones ambientales y estimaciones de intervenciones antropogénicas a nivel subcuenca y microcuencas hidrológica.

Función	Ejemplos de bienes y/o servicios	Actividades antrópicas que influyen	Nivel de Análisis	
			Subcuenca 240,074 Ha	Microcuenca 16,822 Ha
1. Regulación de los flujos de agua	1. Drenaje.	Caminos (brechas y terracerías)	2156 km	186 km
	2. Escorrentías.	Carreteras.	193.9 km	45 km
2. Disponibilidad Hídrica	1. Recarga del acuífero.	Pozos de extracción.	946 pozos*	414 pozos*
	2. Disponibilidad de agua para usos consuntivos.	Volumen concesionado	77.1 Mm ³ /año*	26.7 Mm ³ /año*
3. Control de la erosión.	1. Percolación.	Cambios de cobertura vegetal y los usos del suelo	Pérdida de naturalidad 4828 Ha entre 1997-2010	Pérdida de naturalidad 718 Ha entre 1997-2010

Elaboración propia a partir de (Perevochtchikova, 2003) y (Gómez & Groot, 2007).

* REPDA (Marzo 2017)

6.2. Determinar la fragmentación y perforación de la subcuenca (1:250,000) y a nivel micro cuencas (1:10,000)

6.2.1. Impacto potencial sobre toda el área de estudio (IPAE) a nivel subcuenca

Índice de cambio de uso de suelo InCUS

Al evaluar los cambios de uso de suelo con respecto al área se encontraron zonas muy pequeñas con alta densidad por lo que al reflejarse en el mapa provocan una variación en los rangos, lo que muestra más del 80% del área sin impacto aparente. La importancia del cambio de uso de suelo en el análisis se relaciona con la capacidad de mantener los servicios ambientales identificados; como menciona (Garcia Contreras, 2015) *“Para que el suelo pueda preservar sus funciones, es necesario garantizar su contacto con el agua, la vegetación y el aire del entorno, conservando las propiedades que regulan su calidad”*, por lo que una disminución del área natural y su cambio a superficies cultivables o zonas urbanas alteran el equilibrio considerablemente.

La Figura 7 presenta la estimación de cambios en el uso de suelo para las 240,074 Ha analizadas, en ella se aprecian la pérdida de la naturalidad entre 1997 y 2011 lo que representa cerca del 19% de pérdida de cobertura natural . Los cambios en el territorio se muestran como un Índice de cambio de uso de suelo (Figura 8). Los mayores cambios se ubican en la zona del Real del Castillo y el Valle de Ojos Negros y en la parte terminal de la cuenca en el área conocida como La Salina, seguido de la zona del Valle de San Antonio.

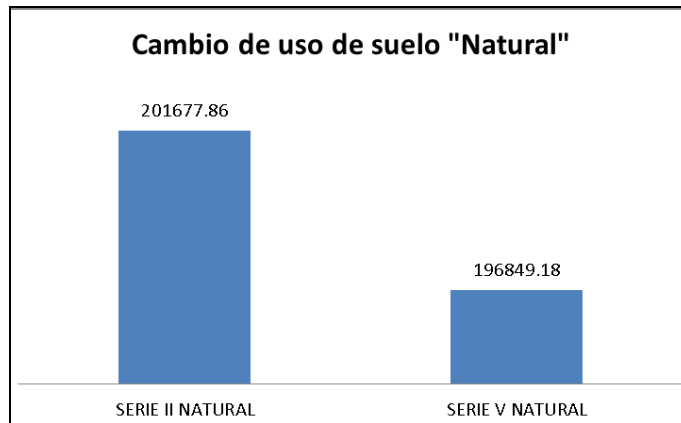


Figura 7. Cambio de uso de suelo 1997-2011

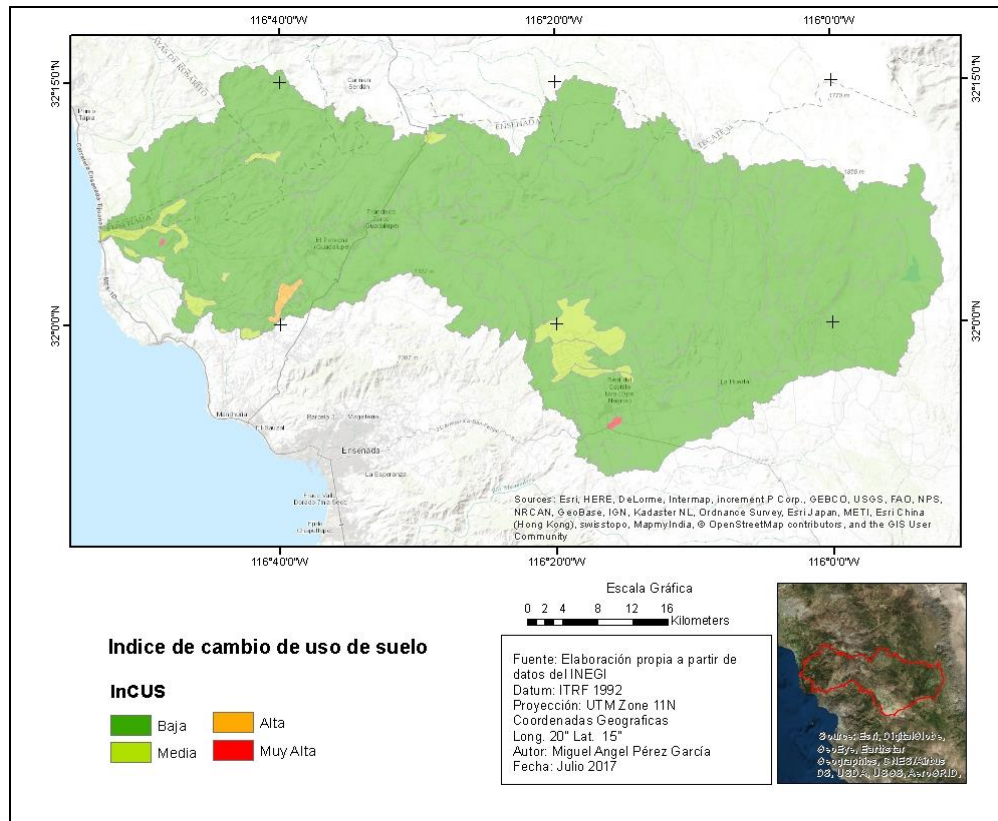


Figura 8 Distribución espacial del Índice de Cambio de Uso de Suelo

Índice de fragmentación por vías de comunicación

Índice de fragmentación por vías de comunicación presentado en la Figura 9. El considerar a las vías de comunicación como elementos de fragmentación que conllevan a modificaciones en el volumen, velocidad, la calidad de los sistemas fluviales (García Contreras, 2015).

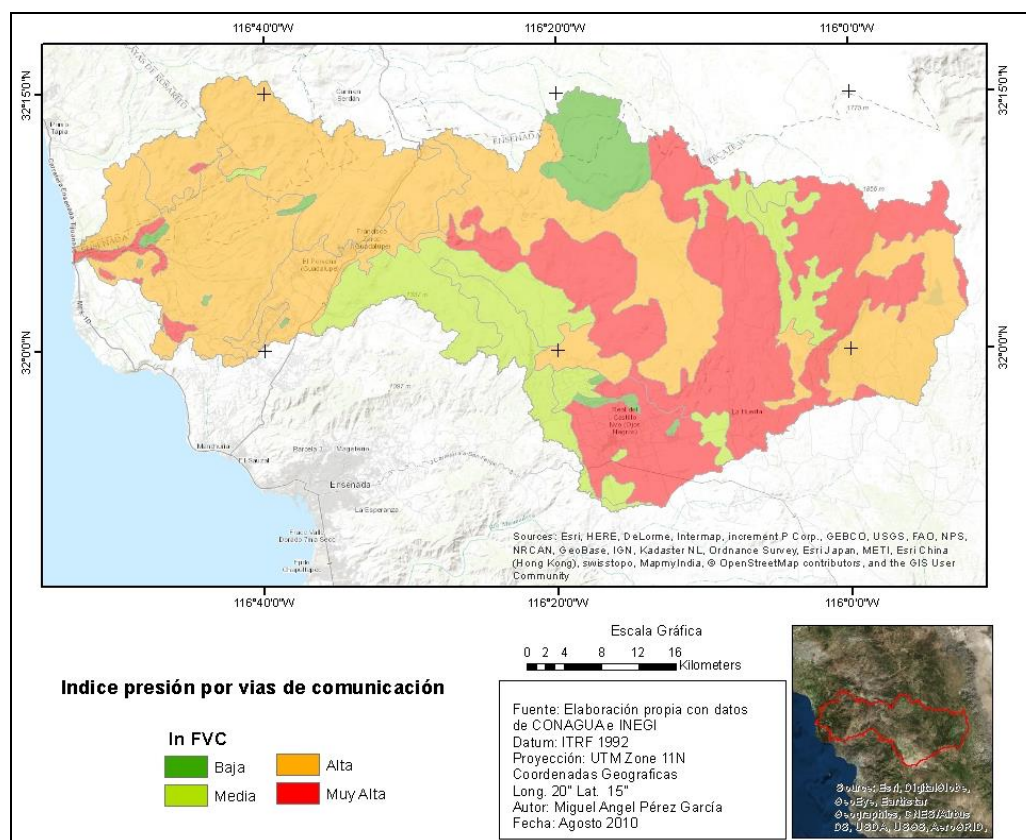


Figura 9. Índice de fragmentación por vías de comunicación

Usos del recurso agua en la subcuenca

Según datos del REPDA al 23 de marzo del 2017 el volumen total de extracción por concesiones de agua subterránea es de 76.7 Mm³/año, distribuidos en diversos acuíferos que en su mayoría se encuentran en situación de déficit entre ellos La Misión, Guadalupe y Ojos Negros.

El mayor porcentaje de concesiones para la extracción del agua está destinado al uso agrícola que representa un 46% de las concesiones totales (946 pozos), seguido por los usos catalogados como “Múltiples” que engloban en uno solo hasta tres tipos de usos como máximo: agrícola, domestico, industrial, pecuario, publico urbano, servicios (Figura 10) situación identificada también por Armenta (2015). Este volumen impacta directamente la estimación de la disponibilidad de agua en los acuíferos.

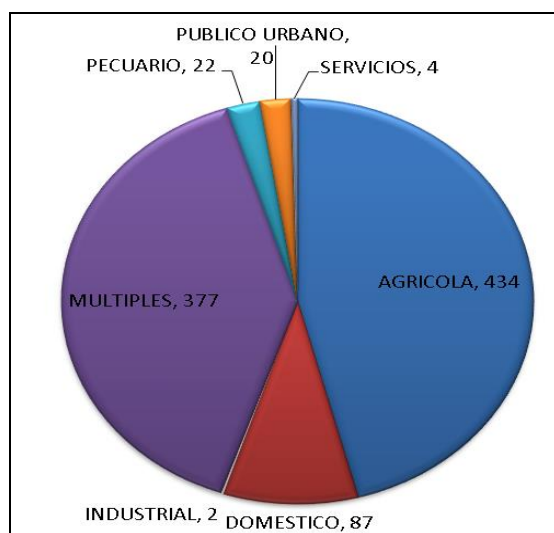


Figura 10 Concesiones otorgadas en la Sub cuenca R. Guadalupe.

Fuente: Propia a partir de REPDA (2017).

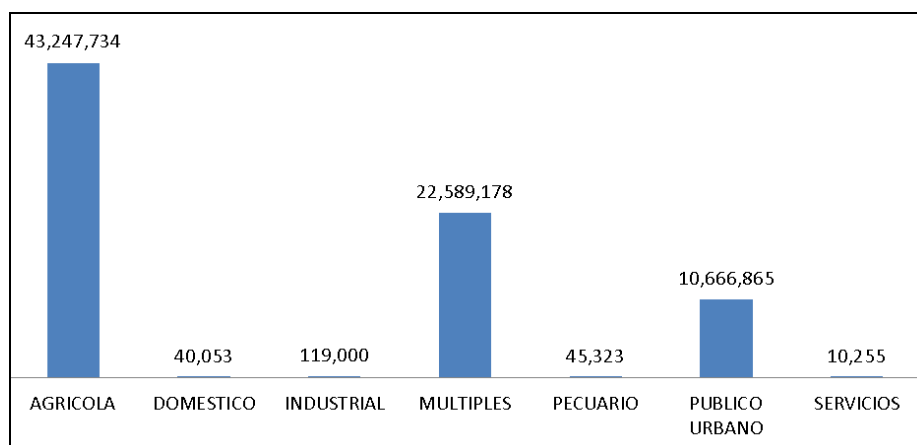


Figura 11. Composición de Volumen total anual de extracción (Mm³/año) por tipo de uso. Fuente propia a partir de REPDA (2017).

6.2.2. Impacto potencial a nivel de nivel de microcuenca (IPUA)

En la recuadro siguiente, se muestra los ponderadores asignados para la estimación de las alteraciones del paisaje asociado a las vías de comunicación y los efectos sobre los ecosistemas y sus funciones ecológicas entre ellos: la fragmentación, la percolación, la compactación del suelo y el incremento de polvo en el aire.

	Veredas	Brechas	Carreteras
Fragmentación	2	3	1
Percolación	2	3	1
Compactación	2	3	1
Incremento de polvo	1	2	3

Donde 1 es la mayor afectación y 3 es una menor afectación al parámetro evaluado.

Se consideró cada dato como porcentaje quedando un ponderador de 0.46 para las brechas, 0.3 para las veredas y 0.24 para las carreteras, se normalizaron los datos, los resultados se presentan en la Figura 12 y Figura 13 respectivamente.

El mayor cambio de uso de suelo se encontró en la parte baja del arroyo, esto producto del crecimiento de zonas agrícolas. A largo plazo, los efectos del cambio de uso de suelo formarán parte de un impacto acumulativo donde intervienen otras evidencias de un proceso de urbanización como son el incremento de la superficie de redes carreteras, la fragmentación y el drenaje de humedales (Garcia Contreras, 2015).

En el InFVC se encontró que la mayor presión también se encuentra en la parte baja de la cuenca, esto impacta directamente en el ambiente hidrológico natural según Koji (1997) por las siguientes características: 1. Modificación del flujo de agua superficial, 2. Modificación del flujo de agua subterránea, 3. Degradación de la calidad del agua (Aguas superficiales y subterráneas). Dependiendo el tipo de camino que se construya los impactos pueden variar ya que el drenaje y la excavación de caminos pueden bajar la capa freática en

las áreas circundantes, mientras que los terraplenes y las estructuras pueden elevar la capa freática restringiendo el flujo (Tsunokawa & Hoban, 1997).

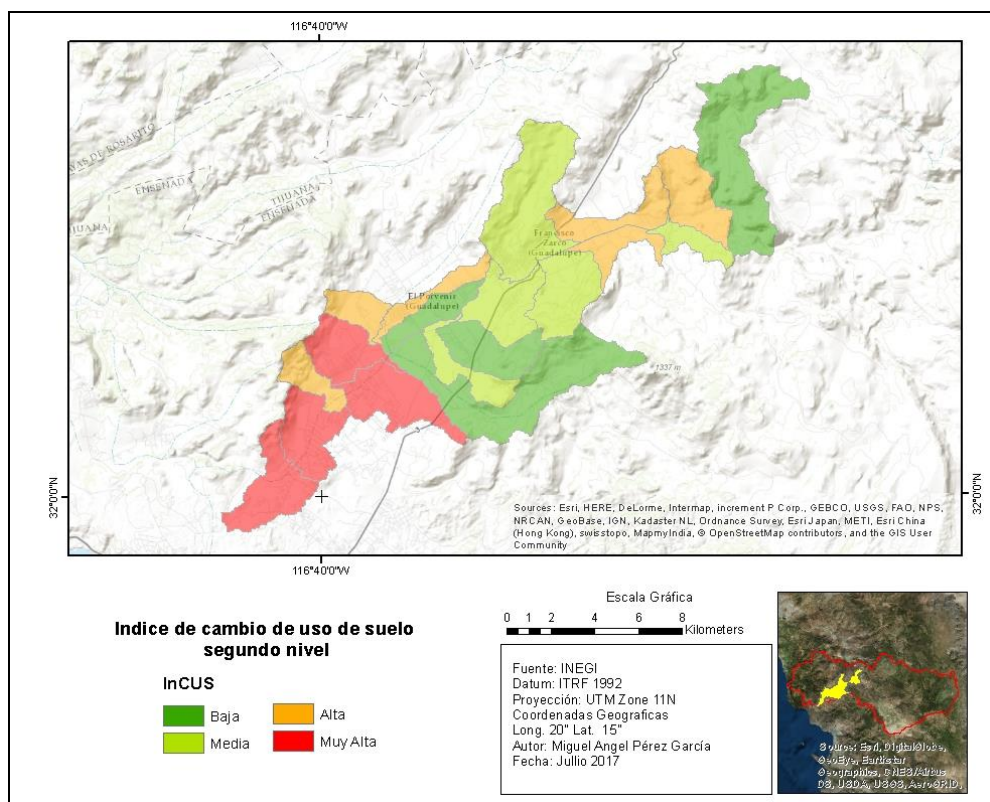


Figura 12. Índice de cambio de uso de suelo segundo nivel

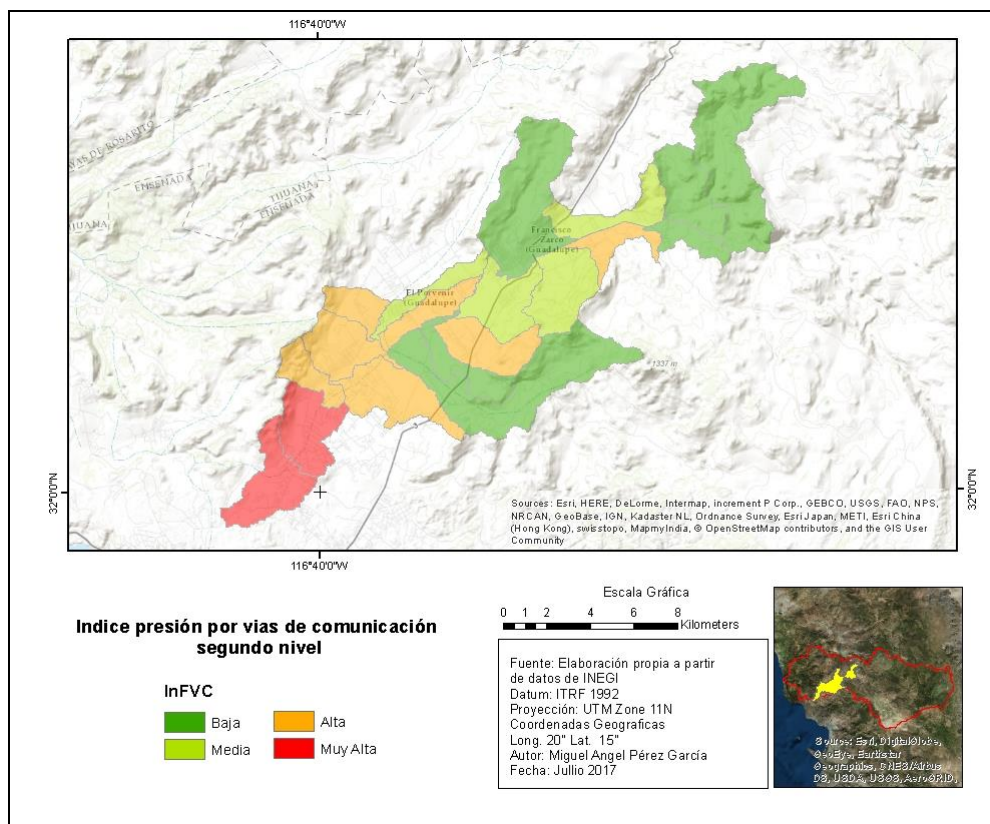


Figura 13. Índice de fragmentación por vías de comunicación segundo nivel

La presión por extracción proveniente de datos del REPDA (2017) se muestran en la Figura 14. El volumen concesionado a los usos agrícolas en la categoría “múltiples” es de 62,880 Mm³/año, lo que representa un 0.23% del volumen total de extracción.

Es importante aclarar que el polígono de análisis del REPDA está dentro del acuífero denominado Guadalupe, se investigó el estado del mismo; encontrándose un estado de sobreexplotación. Armenta en 2015 realizó un análisis temporal de la evolución del acuífero donde encontró que el déficit iba disminuyendo (Tabla V), cabe mencionar que estos resultados están basados en lo que la CONAGUA reporta con base en las concesiones otorgadas y las actualizaciones de la disponibilidad media anual.

Tabla V. Evolución de la disponibilidad media anual

Fuente	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
	<i>Cifras en millones de metros cúbicos anuales</i>					
DOF 2015	26.4	1.4	37.213155	34.7	-	- 12.213155
DOF 2013	26.4	1.4	37.045470	34.7	0	-12.045470
DOF 2009	23.9	0	44.21512	19.9	0	-20.315120

Donde DNCOM es la descarga natural comprometida; VCAS es el volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET es el volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS es la disponibilidad media anual de agua subterránea.

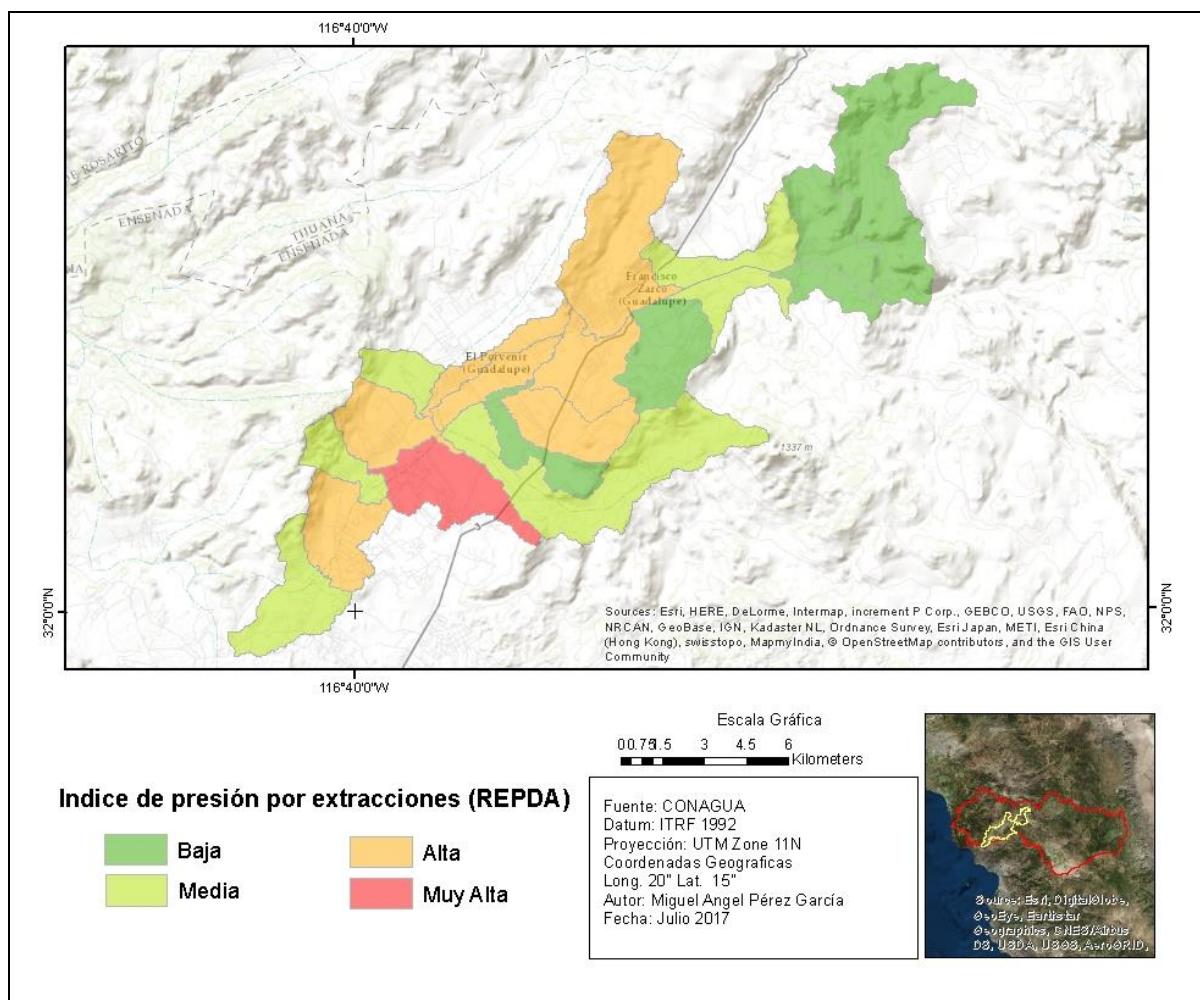


Figura 14 Índice de presión por extracciones

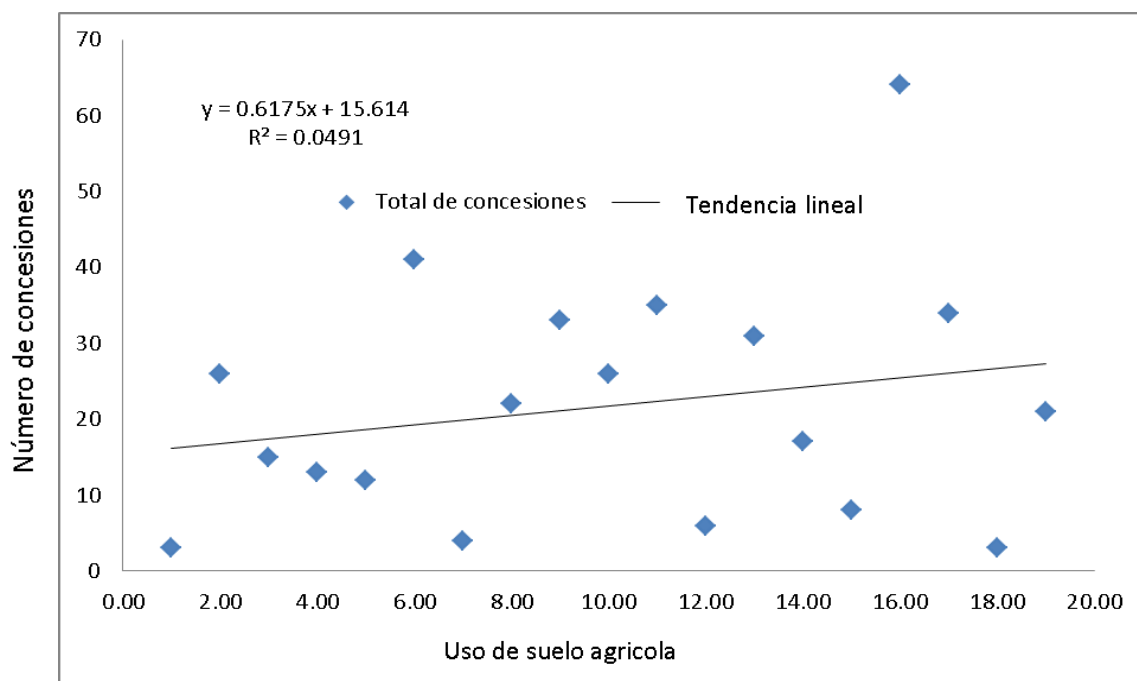


Figura 15 Correlación en agricultura. Nota: Contempla los usos agrícolas catalogados como múltiples

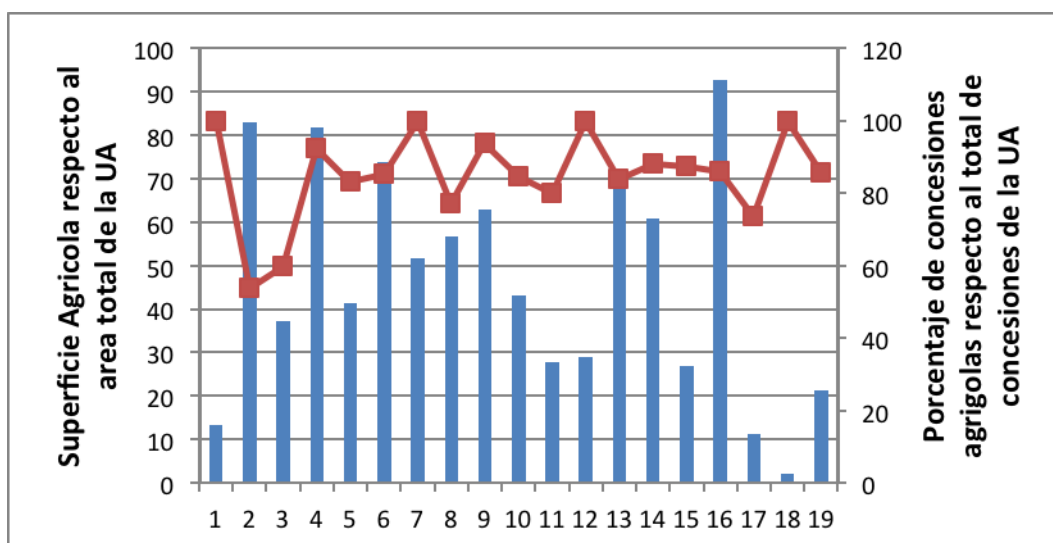


Figura 16. Relación entre porcentajes agrícolas (Superficie y concesiones) en relación de cada entidad natural.

Al relacionar los usos de suelo de la serie V del INEGI con los usos consuntivos del agua concesionados por la CONAGUA se encontró que no hay una relación directa del incremento en el uso del suelo agrícola y las concesiones solicitadas, por lo que se podría inferir que esas concesiones se encuentran sobre otra categorización de uso según la carta de la serie V. la Figura 15 muestra esta correlación, en la Figura 16 se muestra el porcentaje de área respecto al total de la zona agrícola y el número de concesiones respecto al total.

VII. CONCLUSIONES

- Las funciones ecosistémicas identificadas para los dos niveles de análisis fueron las siguientes: regulación de los flujos de agua, disponibilidad hídrica y control de la erosión y se relacionan con la disminución flujos de agua, particularmente cambios en el drenaje, las escorrentías y la disponibilidad de agua en el manto freático, y la percolación
- La disminución de los servicios ecosistémicos están relacionado con la alteración provocada por las siguientes obras y acciones:
 - Presencia de más de dos mil km. de brechas y veredas a nivel de sub cuenca y cerca de 200 km a nivel de micro cuenca.
 - Presencia de menos de 200 km. de carreteras a nivel de sub cuenca y cerca de 45 km a nivel de micro cuenca.
 - Presencia de cerca de 950 pozos nivel de sub cuenca y cerca de 420 pozos a nivel de micro cuenca.
 - Volumen de extracción concesionado de 76.7 Mm³ a nivel de sub cuenca y cerca de 26.6 Mm³ a nivel de micro cuenca.
 - Perdida de naturalidad por casi 5 mil Ha a nivel de sub cuenca y 720 Ha en el nivel de micro cuenca entre 1997 y el 2010.
- El valle presenta una alteración antropogénica media-alta ocasionado en su mayoría por la densidad de vías de comunicación, que afectan a las funciones hidrológicas características de las zonas áridas.
- La parte alta de la sub-cuenca R. Guadalupe en la región del valle de ojos Negros es la que presenta un mayor alteración por presión en cambio de uso de suelo.
- Las brechas y veredas fueron más significativas que las carreteras en ambas escalas de análisis.

VIII. Trabajos citados

- Armenta, F. (2015). *Diagnostico integral del acuífero de Guadalupe y recomendaciones para la implementación de reglas operativas de apropiación*. Ensenada: Universidad Autónoma de Baja California.
- ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. DOF 20 de Diciembre de 2013.
- ACUERDO por el que se determina la circunscripción territorial de los organismos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua. DOF 1 de Abril de 2010
- Balvanera, P., & Corter, H. (2007). Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones. *Gaceta Ecologica UNAM-INE*, 117-123.
- Camacho, J., & Burgos, J. (2006). Metodología Índice presión social ambiental cundimarca. *Gestión y Ambiente*, 129-146.
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Ojos Negros (0208) Estado de Baja California. *Diario Oficial de la Federación*.
- Díaz, R., Bravo, L., Alatorre, L., & Sánchez, E. (2012). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 1-11.
- FAO. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales, 2010*. Roma: FAO.
- García Contreras, A. (2015). *Análisis de la presión antropogénica y su relación con el estado de los servicios ambientales en el arroyo del pueblo en Saltillo, Coahuila*. Ensenada, B.C.: Universidad Autónoma de Baja California.
- Gómez, E., & Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 4-14.
- INEGI. (2010). *Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1:50,000*. INEGI.
- Peñuela, L. (2014). El agua subterránea en el estudio de servicios ambientales. En M. Perevochtchikova, *Pago por servicios ambientales en México* (págs. 113-130). México: Colegio de México.

- Perevochtchikova, M. (2003). *Los Servicios Ambientales Hidrológicos como instrumento alternativo para la Gestión Integral del Recurso Hídrico en el Distrito Federal*. Mexico: Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales.
- Ponce, V. (2003). *Ponce's Website*. Recuperado el 02 de 12 de 2016, de Ponce's Website: http://ponce.sdsu.edu/ojos_negros_reporte_final.html
- Salgado Tránsito, J. A., Palacios Vélez, O., Galvis Spínola, A., & Reyes, F. G. (2012). Efecto de la calidad de agua del acuífero Valle de Guadalupe en la salinidad de suelos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 79-95.
- SEMARNAT. (s.f.). *Diccionario de datos "Cambio de uso del suelo"*. Recuperado el 19 de Julio de 2017, de Base de datos SEMARNAT: http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Suelos/ddatos_ibd_a_suelos.pdf
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 9-18.
- Tsunokawa, K., & Hoban, C. (1997). Impacts on water resources. En T. W. Bank, *Roads and the environment : a handbook* (págs. 81-88). Washington, D.C.: The World Bank .
- Vieira, R. (200). El sistema de informaciones geográficas (SIG) en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas. En F. Repetto, *Notas de clases dictadas en el II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental* (págs. 112-123). Campinas Brasil: UNESCO.

ANEXOS

ANEXO 1. Desarrollo una zonificación ecológica para la estimación de los cambios de uso de suelo de la serie II del INEGI.

A partir del mapa de INEGI de Edafología se crearon 44 unidades ambientales tomando el rasgo de tipo de suelo que aparece en la columna “NOM_SUE1” para unificar polígonos, sin embargo al analizar el resultado se encontró que el polígono numero 3 era muy pequeño para la escala de análisis que se estaba evaluando además de que es un polígono de contacto con otra subcuenca por lo que se tomó la decisión de eliminarlo.

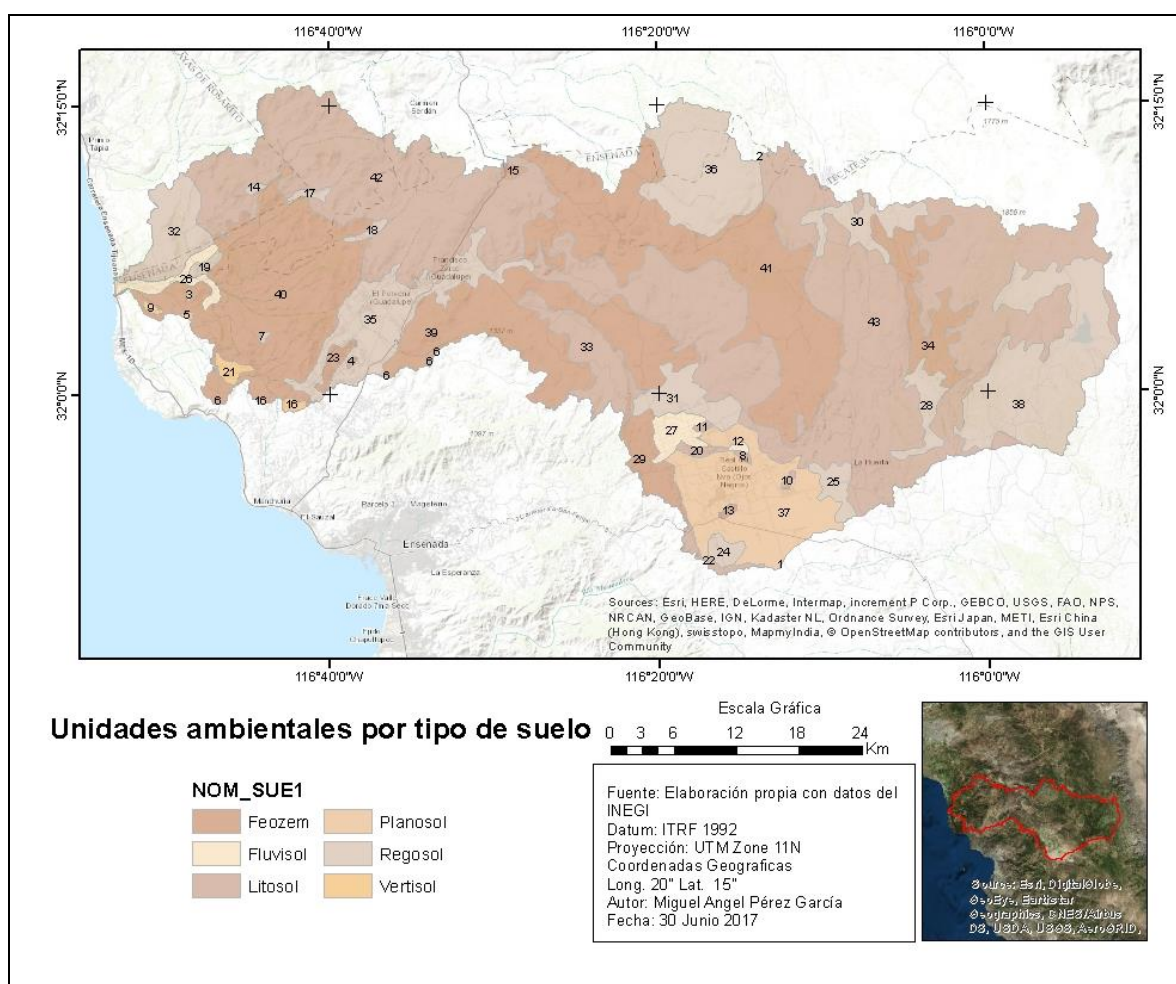


Figura 1. Unidades ambientales según edafología

Con los datos recuperados del INEGI correspondientes a las cartas “Uso de suelo y vegetación serie II y V) se procesaron 2 mapas: el de “Uso de suelo y vegetación serie II año 1997” (Figura 2) y el “Uso de suelo y vegetación serie V año 2011” (Figura 3)

El mapa de la serie II no contaba con la “capa unión” para el procesamiento de toda la cuenca por lo que esta tuvo que ser creada mediante la herramienta “Merge” del ArcMap juntando las cartas H11-02, H11-03, I11-11, I11-12. El resultado se muestra a continuación:

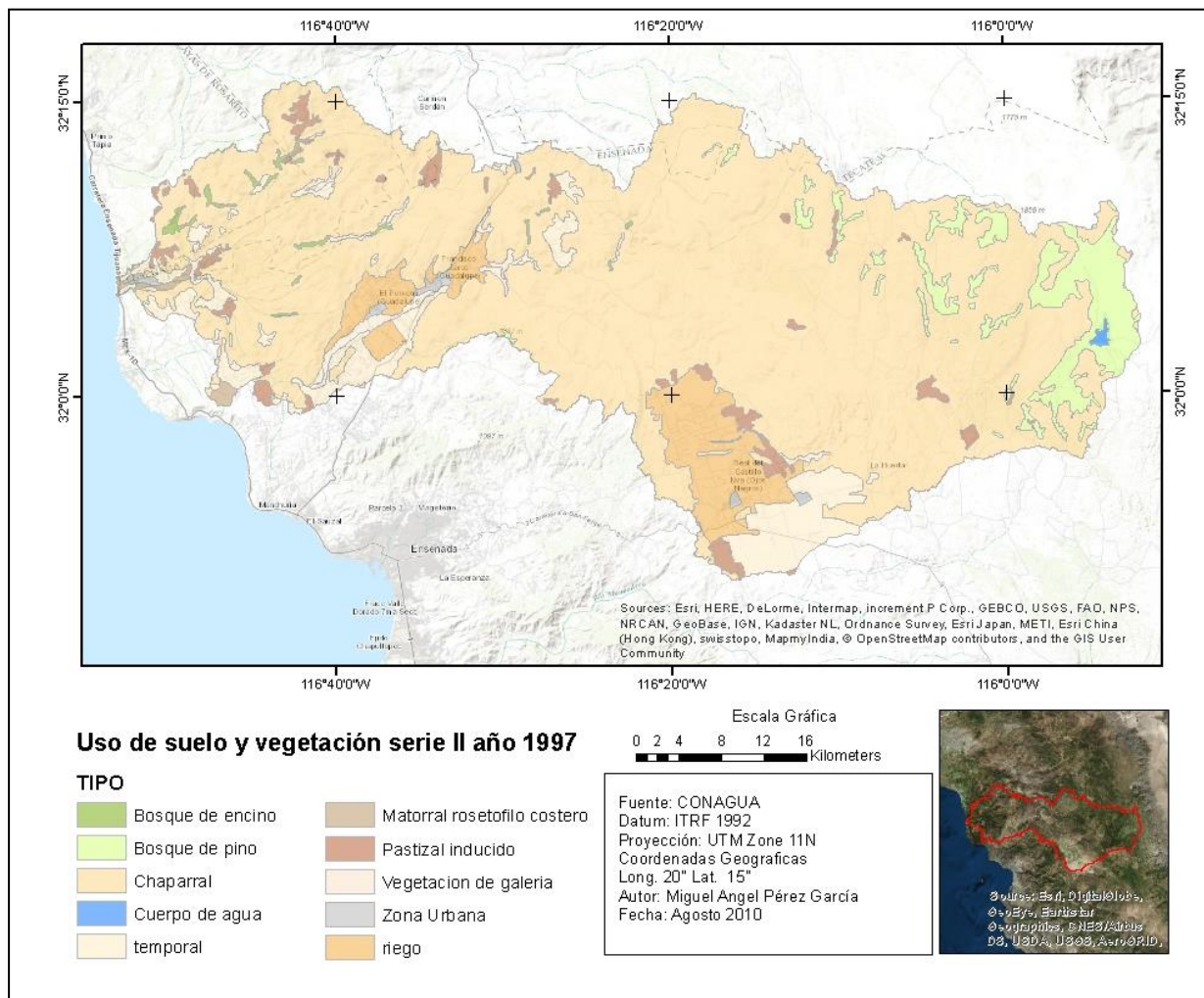


Figura 2. Uso de suelo y vegetación serie II año 1997

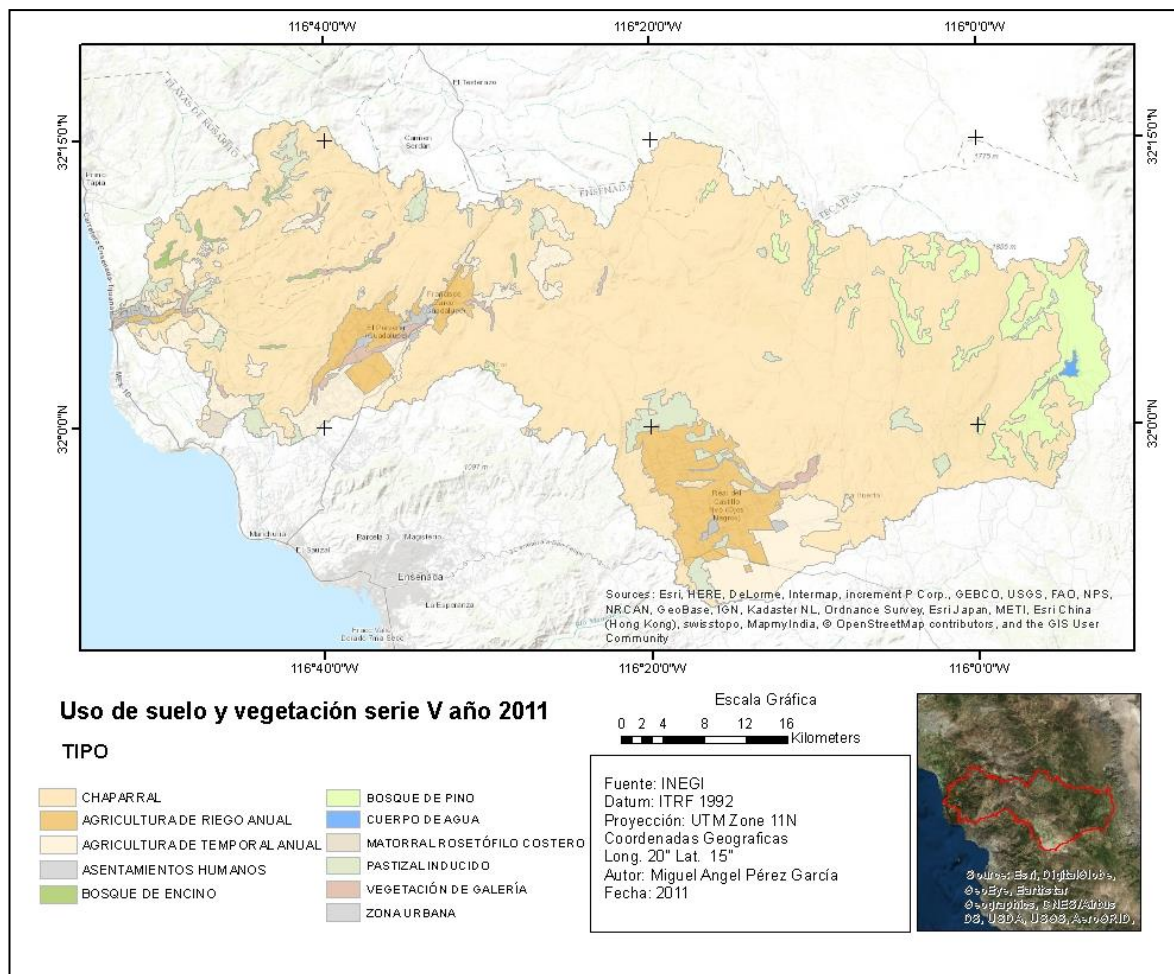


Figura 3. Uso de suelo y vegetación serie V año 2011

Se encontró una disminución de 4828.67 Hectáreas de cobertura natural las cuales fueron ganadas por el uso de suelo catalogado como “Transformado”, lo que implica un cambio en la naturalidad del sistema por un transformación del uso de suelo asociado a las actividades antropogénicas.

ANEXO 2. Delimitación de microcuencas

Mediante el mapa de red hidrográfica escala 1:50,000 del INEGI se identificó la sección del arroyo que atraviesa las 2 comunidades mencionadas en la metodología. La selección del arroyo se llevó a cabo como se aprecia en la figura 4. Delimitación del arroyo; este arroyo es de orden 7 en la clasificación de Strahler con un nivel de corriente 1 lo que significa que las escorrentías aguas arriba convergen en él. (INEGI, 2010).

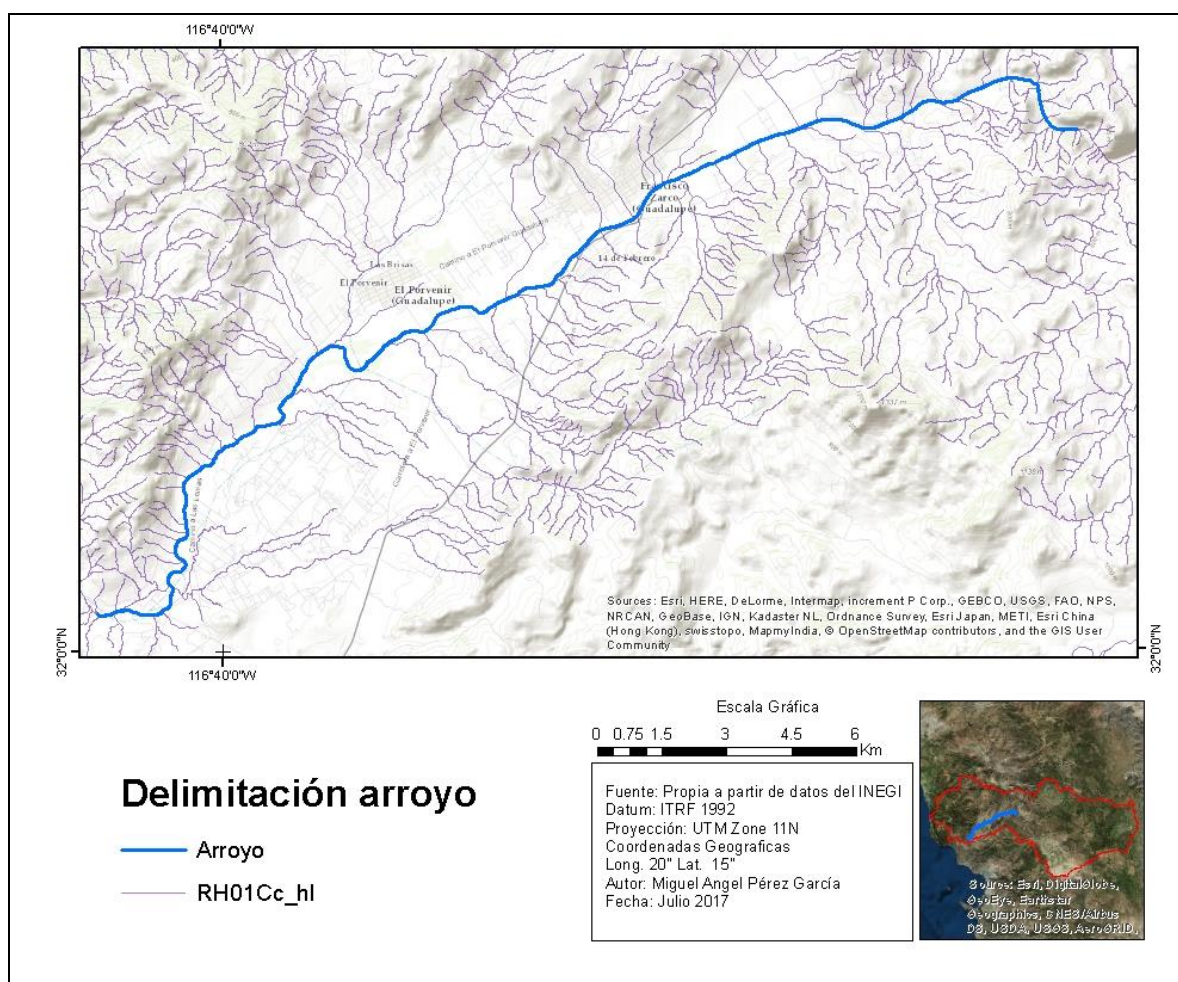


Figura 4. Delimitación del arroyo

