

Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ciencias



Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas



**Propuesta de evaluación rápida para pagos de servicios ambientales
hidrológicos en zonas áridas**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Presenta

Fernando Ayala Niño

Ensenada Baja California. Agosto 2010.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

**“PROPUESTA DE EVALUACIÓN RÁPIDA PARA PAGOS DE SERVICIOS
AMBIENTALES HIDROLOGICOS EN ZONAS ÁRIDAS”**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Fernando Ayala Niño

Aprobado por

Dr. Martha Ileana Espejel Carbajal

M.C. Ricardo Eaton González

Dr. Walter Daessle Heusser

Resumen

En las zonas áridas y semiáridas de México no se contempla el pago de servicios ambientales hidrológicos (PSAH) debido a la ausencia de cobertura forestal y los criterios de prelación que excluyen estas zonas. Por esta razón el objetivo general es desarrollar una metodología de evaluación rápida para el (PSAH) en una zona árida al sur de Ensenada en la región de Colonet B.C. Se identificaron tres subcuencas tributarias “Arroyo Salado”, “San Rafael” y “San Telmo” desarrollándose un sistema jerárquico de clasificación así como atributos naturales que favorecen y/o afectan la infiltración como: tipo de roca, permeabilidad, Agua superficial, suelo, Pendiente, Precipitación, Uso de Suelo y Vegetación. Se obtuvieron un total de 36 unidades de paisaje, las cuales fueron evaluadas mediante la técnica de peso*valor. Se encontró que 20% de la cuenca presenta alta capacidad para el PSAH, si se hubiera evaluado con los criterios tradicionales, el porcentaje sólo sería del 8%. Se concluye que las zonas áridas también pueden acceder a un esquema de PSAH, siendo que la vegetación de chaparral en zonas áridas cumple con las mismas funciones hidrológicas que los bosques y selvas.

Palabras Clave: Áreas prioritarias, infiltración, pago por servicios ambientales hidrológicos, zonas áridas.

Abstract

In arid and semiarid zones of Mexico is not contemplate environmental hidrological services payment (PSAH) due lack of forestal cover and priority criteria that exclude these areas. For this reason the general objective is develop a methodology for rapid assessment for (PSAH) in a arid zone of Ensenada B.C. south in the region of Colonet B.C. Identified three watershed “Arroyo Salado”, “San Rafael” y “San Telmo” developed a hierarchical classification system as well as natural attributes favorable affect the infiltration like: rocks, permeability, superficial wáter, soil, slope, precipitation, land use and vegetation. Obtaining a total of 36 landscape units, which were evaluated by weight value technique. Was found that 20% of the basin presents high capacity for PSAH, if it had been evaluated with the traditional criteria the percentage would have been just the 8%. Concluded the arid zones also have access to a scheme of (PSAH) being that the chaparral vegetation in arid zones metes the same hydrological functions that forests and woodlands.

Keywords: Priority areas, infiltration, payment for hydrological environment services, arid zones.

Índice

Introducción.....	5
Objetivos.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Antecedentes.....	8
Marco Teórico.....	9
Las zonas áridas.....	9
La Cuenca.....	10
Abastecimiento de Agua Dulce.....	11
Regulación Climática.....	11
La evaporación mantiene los niveles locales de humedad y la biodiversidad.....	11
Infiltración.....	11
El esquema de pagos de servicios ambientales.....	12
Modelos de Simulación.....	13
Agua Virtual.....	14
Área de Estudio.....	15
Clima.....	16
Geología.....	16
Fisiografía.....	17
Edafología.....	17
Hidrología.....	17
Metodología.....	18
Resultados.....	19
Resultado 1: Artículo (que será enviada a la revista Investigación ambiental. Ciencia y política pública).....	20
Resultado 2: Modelo de simulación.....	20
Resultado 3: Estrategias de Manejo.....	¡Error! Marcador no definido.
Discusión.....	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones.....	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESTUDIOS RELACIONADOS SOBRE LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS.	25
TABLA 2. SISTEMA JERÁRQUICO DE CLASIFICACIÓN.....	29
TABLA 3. ATRIBUTOS USADOS PARA LA DELIMITACIÓN.....	30
TABLA 4. FACTORES DE PONDERACIÓN DE LOS ATRIBUTOS.	30
TABLA 5. RESULTADO DE LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	31
TABLA 6. CAPACIDAD PARA EL PSAH POR ZONA FUNCIONAL DE LAS SUBCUENCAS.	34
TABLA 7. MODELO DE MÍNIMA INFILTRACIÓN TOMADO DE *GARCÍA-COLL <i>ET AL.</i> , (2003 Y 2004) Y MODELO PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS TOMADO DE **DOSTAL (2007) () PRESENCIA (x) AUSENCIA.....	36
TABLA 8. CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD Y PROPUESTAS A CONSIDERAR EN ZONAS ÁRIDAS.....	37
TABLA 9. ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA LA CUENCA.....	46
TABLA 10. ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS CON POTENCIAL PARA EL PSAH	49

Índice de Figuras.

FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO.....	16
FIGURA 2. CUADRO METODOLÓGICO.....	19
FIGURA 3. ÁREA DE ESTUDIO.	27
FIGURA 4. POTENCIAL DE PSAH SEGÚN CRITERIOS CONAFOR (2010) 8%.....	32
FIGURA 5. MAPA DE CAPACIDADES PARA EL PSAH SEGÚN LA PROPUESTA DE ESTE ARTÍCULO ES 20%.33	
FIGURA 6. POTENCIAL SE SAH POR SUBCUENCA.	33
FIGURA 7. MODELO CONCEPTUAL DE LA CUENCA DE PUNTA COLONET.....	45

Propuesta de evaluación rápida para pagos de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas. Ensenada B.C.

Ayala-Niño Fernando.

Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Facultad de Ciencias.

Universidad Autónoma de Baja California.

Introducción.

La hidrología de zonas áridas y semiáridas es de suma importancia para el desarrollo y manejo de los recursos hídricos. El interés por estas zonas se ha intensificado en los

últimos años debido al incremento de la población en estas zonas así como por migraciones de otros lugares, lo que conlleva a un incremento en la demanda de agua así como en los conflictos entre los distintos usuarios por obtener este escaso recurso (Salas, 2007)

En el centro y norte del país, la principal, y en ocasiones la única fuente de abastecimiento para satisfacer la demanda de agua es el agua subterránea, lo que ha provocado una sobreexplotación de los mantos acuíferos con la consecuente generación de problemas ambientales, económicos y sociales. (Navarro, 2006)

(Dostal, 2007) sugiere que la gestión de los recursos hídricos debe de ser mediante la aplicación del concepto de cuenca. Esta última se define como un área natural dónde el agua de lluvia captada se deposita en un almacenamiento natural, por un sistema de drenaje definido por medio de líneas divisorias topográficamente llamadas parteaguas (SARH, 1988). Dentro de las cuencas, se producen bienes y servicios ambientales que son demandados por las poblaciones localizadas en un territorio, siendo por esto un elemento clave.

El concepto de cuenca como unidad territorial natural es el más importante, ya que a partir de esa apreciación se puede comprender que únicamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos, es decir, cuantificar la oferta de agua que produce la cuenca durante el ciclo hidrológico. Es por sus cualidades de unidad hidrológica y de medio colector-almacenador-integrador de los procesos naturales y antrópicos, que puede ser también una unidad política, administrativa, de gestión ambiental o de manejo de los diversos recursos naturales que alberga. (Llerena, 2003)

Por otro lado, es fundamental conocer la forma en la que el agua circula dentro de una cuenca, entre otros aspectos para la delimitación de las zonas donde se realiza la mayor captación de agua para considerarlas en un esquema de pago por servicios ambientales (Arreola Muñoz, 2003)

El concepto de pago por servicios ambientales (PSA) está entre los enfoques que promueven más directamente la conservación. La idea central del PSA es que los beneficiarios externos de los Servicios Ambientales (SA) paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios y usuarios locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas así como el mantenimiento de los servicios ambientales que estos proveen. (Wunder, 2006)

Principalmente el pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) por iniciativa de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), basándose en la experiencia de servicios ambientales en Costa Rica, consideran al recurso hídrico como un servicio ambiental que debe de ser valorado económicamente y cobrado a los usuarios en las tarifas para abastecimientos de agua potable y revertido a propietarios que participan en la protección del bosque y la función hídrica que provee. (Carrillo *et al.*, 2005)

En este sentido, resulta relevante conocer como es el funcionamiento de la cuenca mediante la identificación de sus componentes y su relación, logrando de esta manera la construcción de escenarios a futuro bajo diferentes supuestos. La dinámica de sistemas ayuda a la creación de modelos de simulación mediante la identificación de las relaciones existentes. Estos modelos pueden ser desde un simple diagrama que identifique los componentes del sistema y sus posibles relaciones funcionales, hasta complejos programas de cómputo dependiendo de la información disponible (Maass y Cotler, 2006).

Dada la propuesta de construcción de un nuevo puerto de gran magnitud así como la creación de un nuevo centro poblacional y con especial interés en el abastecimiento de agua para bienes y servicios en la región de Colonet B.C., el presente estudio está enfocado a proponer una metodología rápida para la delimitación de áreas con potencial para el PSAH.

Objetivos.

Objetivo General

- Desarrollar una metodología de evaluación rápida para la delimitación de áreas con potencial para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas. Tomando como caso de estudio las subcuencas que irrigan la región de Colonet B.C.

Objetivos Específicos

- Establecer un sistema de clasificación que priorice las áreas con potencial de infiltración así como su valor como SA para acceder a un esquema de PSAH.

- Efectuar una revisión bibliográfica para conocer la importancia sobre el PSAH en zonas áridas.
- Generar un modelo conceptual de acuerdo con la teoría de sistemas, que muestre los componentes, relaciones y funcionamiento hídrico de la cuenca.

Antecedentes.

Se han elaborado estudios que delimitan áreas prioritarias para el pago de servicios ambientales en cuencas hidrográficas entre los cuales se encuentran los siguientes:

González, Pérez (2003) realiza una recuperación de mantos acuíferos en Veracruz, mediante el manejo integral de microcuencas fomentando el desarrollo sustentable dentro de un ordenamiento territorial participativo, que durante el proceso de planificación y ejecución la comunidad se relaciona con la rehabilitación, conservación y manejo de los recursos naturales de la cuenca.

Navia, (2008) promueve el manejo sustentable de los recursos naturales mediante el pago por servicios ambientales como opción para el desarrollo en una cuenca de Michoacán. Esto se centra en que los habitantes de la ciudad reconozcan la importancia que representa la cuenca en términos de seguridad, clima y paisaje

Maqueo *et al.*, (2006) proponen un marco conceptual para mejorar el diseño y la evaluación del Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en México, basándose en un enfoque sistémico para apoyar la formulación de un modelo teórico armado en el software Stella.

Reiter *et al.*, (2009) consideran a la modelación conceptual como un instrumento útil para el entendimiento de un ecosistema, en donde el manejo y la toma de decisiones deben incluir consideraciones ecológicas, sociales, políticas y económicas. El desarrollo de un modelo conceptual a nivel de cuenca muestra diferencias de acuerdo a la escala en la toma de decisiones sobre el uso de suelo.

Sin embargo, en las zonas áridas y semiáridas de la república mexicana los estudios son escasos, sin embargo se encuentran trabajos con diversos enfoques que destacan por su importancia como los siguientes:

Ortega, (2009) elabora un diagnóstico socio ambiental para el diseño de una estrategia de educación ambiental en Colón, encontrando que la principal problemática ambiental percibida es la escasez de agua en la región, debido principalmente a la escasa precipitación y sobreexplotación del recurso hídrico de la cuenca.

IMTA *et al.*, (2007) presentan los principales conceptos relacionados con el agua virtual (la cual se define como aquella cantidad de este líquido que se utiliza para producir o integrar a un producto, bien o servicio) y la huella hídrica de un país, encontrando que la república mexicana importó 35,255 hm³ de agua virtual y que exportó 5 396 hm³ lo que lo ubica como un importador neto de 29 859 hm³ de agua virtual con una tendencia creciente a partir del año 2000.

Marco Teórico.

Las zonas áridas

En la República Mexicana dónde por lo menos la mitad de la superficie es desértica o semidesértica aproximadamente de 90 millones de hectáreas. En general existen cuatro factores que contribuyen a que estas áreas no tengan la cantidad suficiente de humedad. Estas son: factores atmosféricos, corrientes oceánicas frías, continentalidad y factores topográficos.

Los factores atmosféricos son los principales determinantes de climas secos, la circulación atmosférica global se genera por diferencias de calor concentrándose en la zona ecuatorial. El aire de esta zona por ser más caliente que las latitudes mayores tiende a subir generando así una corriente de aire proveniente tanto del norte como del sur que convergen en la denominada zona de convergencia intertropical. El aire después de enfriarse y perder humedad se desvía hacia el norte y hacia el sur enfriándose aún más descendiendo alrededor de los 30 grados de latitud norte y sur no produciendo precipitación significativa.

Las corrientes oceánicas frías también ocasionan zonas áridas e hiperáridas. Los vientos hacen que las aguas superficiales al dirigirse hacia latitudes menores se muevan hacia el oeste por efecto de la rotación de la tierra. Esto provoca que aguas profundas muy frías asciendan a las partes superficiales del mar, como consecuencia existe poca evaporación; las masas de aire se enfrían, no tienen capacidad de retener humedad, generalmente permanecen con neblina y al no poder ascender no producen precipitación.

La continentalidad hace referencia a la distancia que existe entre las fuentes de humedad como los océanos, impidiendo que las masas de aire húmedo lleguen a las partes medias de los grandes continentes.

Por último los factores topográficos también son causantes de la presencia de zonas áridas debido al efecto de “sombra de precipitación” ó “sombra orográfica” que ocasionan las grandes cadenas montañosas. El aire cargado de humedad trata de cruzar estas montañas subiendo, condensándose y precipitando generalmente en el lado barlovento. El aire al llegar al sotavento (del otro lado de la montaña) está más frío descendiendo sin producir precipitación significativa generando zonas secas (Salas, 2000)

La Cuenca

La cuenca hidrográfica es una unidad del territorio que capta la precipitación y por esta transitan los escurrimientos superficiales hasta un punto de salida en el cauce principal. En otras palabras la cuenca hidrográfica es espacio físico en donde el agua se precipita, dando origen a cauces y escurrimientos que conforman una unidad (ríos, lagunas, lagos, mantos acuíferos, etc.), con este espacio se ha encontrado la forma de estudiar y administrar el recurso hídrico; lo que permite una mejor planeación contemplando al agua en una unidad.

En este sentido, las cuencas hidrológicas incluyen las aguas superficiales y subterráneas así como el conjunto de sus permanentes interrelaciones, que debido a esta dependencia mutua, las aguas superficiales y subterráneas de una cuenca deben ser consideradas conjuntamente en sus tres componentes principales : interfluvios y cauces, redes hidrográficas y sistemas subterráneos. (Granados-Sánchez, 2005)

El enfoque de cuencas nos da la posibilidad de evaluar y explicar las externalidades resultantes de los diferentes usos del suelo, por esta razón se considera que las cuencas hídricas constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo agua y vegetación. Como entidad espacial, la cuenca funciona como un sistema complejo, dinámico, abierto y heterogéneo, por lo que el gran reto para la caracterización del medio biofísico consiste en delimitar unidades ambientales homogéneas donde se pueda realizar una caracterización integral de los componentes naturales (Cotler, 2004).

Dentro de los principales beneficios y aportes que las cuencas cumplen en el ambiente tenemos los siguientes (Rendón, 2003):

Abastecimiento de Agua Dulce.

Las cuencas son un elemento fundamental para la obtención de agua potable a largo plazo. Debido a los procesos naturales que se producen cuando el agua pasa a través de ellas, la vegetación y los suelos presentes en la cuenca pueden favorecer la captación de agua, abasteciendo los cauces incluso en secas.

Regulación Climática.

La preservación de los sistemas hidrológicos naturales como los humedales, pantanos y bosques dentro de la cuenca tiene efectos microclimáticos y macroclimáticos evidentes.

La evaporación mantiene los niveles locales de humedad y la biodiversidad.

En las áreas con vegetación arbórea, gran parte del agua de las lluvias regresa a la atmósfera por evaporación o transpiración volviendo a precipitar en la zona circundante. Zonas en donde la evapotranspiración real es más alta, tienden a albergar mayor biodiversidad.

Las cuencas también presentan un tipo de funcionamiento de tipo subsidiario, ya que existe un sistema de cuencas jerárquicamente integrado, desde las grandes regiones hidrológicas de miles de kilómetros cuadrados, hasta microcuencas, de apenas unos cientos de hectáreas. Finalmente, tiene un funcionamiento estacional, ya que el balance hídrico de una cuenca está determinado por la por la cantidad de agua que precipita, la cual regularmente está asociada a la latitud, la circulación general de la atmósfera y el movimiento de rotación alrededor del sol (Arreola-Muñoz, s/f).

Infiltración

La infiltración y la escorrentía de zonas áridas y semiáridas dependen de una serie de factores tales como la cobertura vegetal, la intensidad y duración de la precipitación, la humedad del suelo, la pendiente, la forma del terreno, la temperatura, la evaporación el tipo de suelo y roca y el uso del suelo (Salas, 2000)

De manera general se puede decir que a mayor vegetación mayor es la infiltración y menor la escorrentía. La vegetación al dar lugar a mayores infiltraciones también da lugar a una

mayor contribución del agua subterránea haciendo que el régimen fluvial sea menos variable y más predecible (Williams y Balling, 1996)

Dado que la precipitación que cae sobre las zonas áridas es generalmente convectiva, la mayor parte se pierde ya sea por infiltración o por evaporación. Debido a ello, la escorrentía en zonas áridas generalmente no es mayor al 10% de la precipitación.

Así mismo, a mayor pendiente mayor será la escorrentía, terrenos planos producirán mayor escorrentía que terrenos con ondulaciones con la misma pendiente. En zonas áridas y semiáridas los suelos desnudos que están expuestos a la precipitación están sujetos a una serie de procesos físicos y químicos que cambian sus propiedades en las capas próximas a la superficie del terreno.

La variabilidad espacial de la infiltración y de la humedad del suelo, es de suma importancia en zonas áridas y semiáridas debido a que son factores determinantes de las relaciones precipitación escorrentía, de la erosión y el transporte de sustancias disueltas ya sea a nivel de parcela o a nivel de cuenca.

El esquema de pagos de servicios ambientales.

La lógica de recibir una compensación por un servicio prestado ha sido normalmente aceptada, sin embargo la situación rutinaria con los servicios prestados por las personas o por el alquiler pagado por beneficios obtenidos por la utilización de bienes ajenos no es aún totalmente aceptada, claramente valorada y directamente aplicada a los servicios que el ambiente genera. Tampoco existe claridad en el caso del uso de los recursos naturales de dominio público y acceso irrestricto considerados bienes comunes o de libre disponibilidad, tales como el aire, el agua, el suelo, la fauna silvestre y los bosques, a pesar de la creciente presión demográfica sobre el medio y su oferta ambiental. El pago por servicios ambientales (PSA) surge como un concepto novedoso, interesante y útil; en el cual la compensación pagada, además de significar un posible y justo beneficio económico a los habitantes del espacio involucrado, sirve también para estimular el mantenimiento del buen estado del mismo. Por esta razón, el PSA está enfocado a los servicios ambientales de las cuencas hidrográficas en la producción regular de agua de buena calidad (Llerena, 2003)

Los servicios ambientales o ecosistémicos son los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas ponen a disposición de la sociedad, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable. En consecuencia, la base de los servicios ambientales se halla en los componentes y procesos que integran los ecosistemas.

Los bosques y el agua son los principales protagonistas del desarrollo de la vida en los ecosistemas: los primeros por ser productores y partícipes de una gran cantidad de funciones, y el agua por ser el líquido conductor y portador de la vida.

Los servicios ambientales dependen fundamentalmente del buen funcionamiento y de la extensión de los ecosistemas. Por regla general, cuanto mayor y más sano es el ecosistema, habrá mayores y mejores servicios ambientales. En este sentido, el esfuerzo humano que se compensa cuando hablamos de servicios ambientales es el que está dirigido a la conservación y recuperación de la salud y extensión geográfica de los ecosistemas, a fin de preservar el entorno y la riqueza.

El pago por los servicios de conservación de suelo y agua a los dueños de los recursos protegidos debe provenir de industrias gobiernos y usuarios de dichos recursos o beneficiarios de los servicios ambientales. (SEMARNAT, 2004).

Modelos de Simulación.

Un modelo es una representación simplificada de un sistema del mundo real y consiste en un juego de ecuaciones simultáneas o un juego de operaciones lógicas contenidas dentro de un programa de cómputo. Los modelos tienen parámetros, los cuales son medidas numéricas de una propiedad o características que son constantes bajo condiciones específicas (Wheater *et al.*, 2008).

En la investigación científica, los modelos se usan principalmente para entender tanto el mundo real como la estructura lógica de un sistema abstracto. También se utilizan para predecir el estado futuro al que podría llegar un proceso dinámico dado (Maqueo *et al.*, 2006).

Estos modelos van desde un simple diagrama en el que se identifican los componentes del sistema y las posibles relaciones funcionales entre estos, hasta complejos programas de cómputo parametrizados con variables biofísicas y sociales clave en la dinámica del sistema. La utilización de un modelo simple o complejo dependerá de la información disponible, así como el grado de entendimiento que se tenga del funcionamiento del socio-ecosistema en cuestión (Maass y Cotler, 2008).

Análisis de sistemas

El análisis de sistemas se puede definir más directamente como la aplicación del método científico a problemas relacionados con sistemas complejos. Es un conjunto de teorías y técnicas que sirve para estudiar, describir y hacer predicciones acerca de sistemas complejos, y que frecuentemente hace uso de la matemática avanzada, procedimientos estadísticos y computadoras. Sin embargo la esencia del análisis del sistema no radica en el conjunto de técnicas cuantitativas, sino en la universalidad y la flexibilidad de su enfoque (Grant, 2001).

La dinámica de sistemas encuentra sus principales aplicaciones en entornos complejos y poco definidos, donde intervienen las decisiones del ser humano que suelen estar guiadas por la lógica. Por otro lado, los modelos pueden mostrar las consecuencias dinámicas de las interacciones entre los componentes el sistema, por lo que el objeto básico de esta dinámica es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. De esta manera, la dinámica de sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso del sistema. Este análisis permite extraer la lógica interna del modelo, y con ello intentar un conocimiento de la evolución a largo plazo del sistema (García, 2003)

Simulación

Es el uso de un modelo para imitar, describir paso a paso, el comportamiento del sistema que estamos estudiando. Los modelos de simulación están compuestos de una serie de operaciones aritméticas y lógicas que, en conjunto, representan la estructura (el estado) y el comportamiento (el cambio en el estado) del sistema de interés. Los conceptos de estado del sistema y cambio en el estado del sistema son muy simples, pero a la vez muy eficaces y son fundamentales para la simulación. El sistema de interés existe en diferentes estados en distintos momentos en el tiempo y existen reglas que rigen la forma en que el estado del sistema cambia a medida que transcurre el tiempo. (Grant, 2001)

Agua Virtual

Existe una forma de importar o exportar agua, o de trasvasarla de una cuenca a otra sin el empleo de presas, acueductos o cualquier otra obra hidráulica: el agua virtual, la cual se define como aquella cantidad de este líquido que se utiliza para producir o integrar a un producto, bien o servicio; así por ejemplo, para obtener una tonelada de trigo, es necesario utilizar mil toneladas de agua, es decir 1000 m^3 de este recurso.

El concepto de agua virtual se ha fortalecido en la medida en que se ha reconocido el valor económico ambiental, social y político del agua. El agua virtual ha jugado un papel muy importante de manera temporal en países que han sufrido fenómenos extremos como sequías o inundaciones, o en forma permanente en aquellos que no cuentan con suficiente agua para producir sus alimentos, bienes o servicios. Por otro lado, algunos países han aprovechado el agua virtual para reducir la presión sobre el medio ambiente.

Sin embargo, se debe considerar que el agua virtual depende de otros factores, como los tratados y acuerdos comerciales internacionales, el crecimiento económico y poblacional, el desarrollo tecnológico, los subsidios a la agricultura, los precios internacionales de los productos agrícolas e insumos, las políticas macroeconómicas de importación y exportación de los países, la cultura de los productores, y la eficiencia en la producción agrícola o industrial.

Así, si un país exporta un producto de consumo intensivo de agua a otro, exporta este elemento en forma virtual. Con este mecanismo, algunas naciones podrían apoyar a otras en sus necesidades de este recurso, y los países con escasez de agua tendrían una opción para satisfacer su necesidad de productos con alta demanda de dicho elemento (Arreguín-Cortés, F. *et al.*, 2007).

Área de Estudio

El territorio que corresponde a la cuenca de Colonet se ubica al sur del municipio de Ensenada entre los 31° 20' 47.39" y 31° 25' 40.50" de Latitud Norte y entre los 116° 24' 5.04" y 115° 32' 15.19" de Longitud Oeste, con un rango altitudinal que va desde los 2800 hasta el nivel del mar (INEGI, 1984). Las subcuencas que integran la región de Colonet llamadas Arroyo Salado, San Rafael y San Telmo, corresponden a la región hidrológica No. 1 (RH1) Baja California Noroeste, dentro de la cuenca Arroyo las Ánimas-Santo domingo.

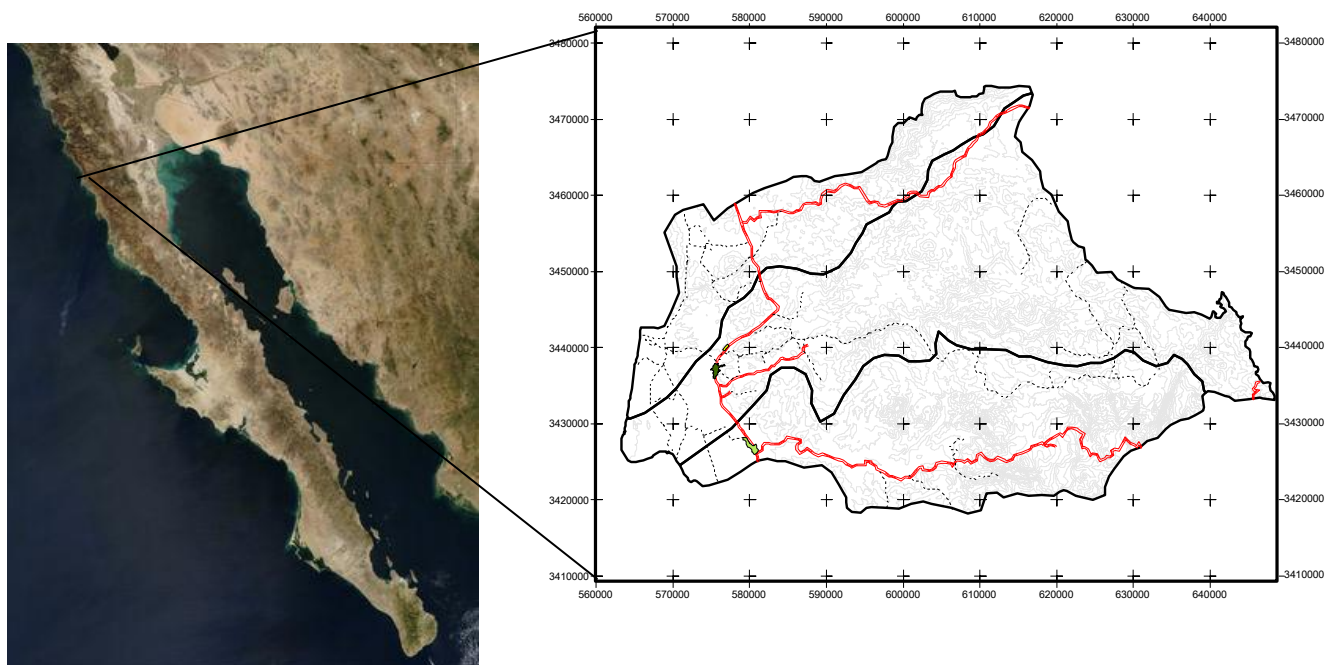


Figura 1. Área de Estudio.

Clima

En el área predomina el tipo de clima BSk (e) de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García adaptada a las condiciones de la república mexicana, que corresponde a un clima semiseco templado con un régimen de lluvias en invierno y con una temperatura media anual de 15 a 18 ° C. Esto se debe principalmente a las masas de aire húmedo proveniente del océano pacífico y la orografía del área. La precipitación media anual es de 192. 29 mm.

Geología

Presenta un paisaje compuesto por materiales sedimentarios de origen marino que corresponden a la formación Rosarito, tales como limonitas, areniscas, lutitas y algunos horizontes ricos en gravas y arenas. Las formaciones geológicas más frecuentes son de periodos Terciario, Cuaternario y Cretácico Superior e Inferior de las eras del Cenozoico y Mesozoico, dentro del Pleistoceno reciente, que están representados por los aluviones y medanos (Periódico Oficial del Estado de Baja California, 2007)

Fisiografía

El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica denominada Provincia Península de Baja California que a su vez corresponde a la Sub-provincia Sierras de Baja California Norte.

A partir de la frontera con los Estados Unidos y hacia el sur, las unidades orográficas de la cordillera son las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir. En estas dos sierras se dan las cumbres más elevadas de la cordillera con un máximo de 2,828 msnm, En las cumbres de la sierra de San Pedro Mártir, cuyas altitudes disminuyen lentamente hacia el sur, hay cuevas, valles y algunas praderas intermontanas. (INEGI, 2009)

Edafología

Los tipos de suelos predominantes en la zona son los Litosoles, los cuales se caracterizan por ser pedregosos y poco profundos (< 10cm) con un fertilidad de media alta y se localizan en lugares con pendientes altas dificultando su explotación. Los regosoles se desarrollan sobre materiales poco consolidados, alterados y de textura fina, característicos de zonas áridas. Los vertisoles son principalmente sedimentos con una gran cantidad de arcillas, se encuentran en depresiones de áreas llanas u onduladas, característico de climas con estaciones contrastadas en cuanto a humedad, suelos muy duros en estación seca y muy plásticos en la húmeda. Los fluvisoles son suelos desarrollados sobre depósitos aluviales de origen fluvial, lacustre o marino. Los xerosoles son característicos de zonas áridas, sustenta vegetación natural de matorral y pastizal aunque con riego se obtienen buenos rendimientos agrícolas.

Hidrología

El área forma parte de la región hidrológica No. 1 que corresponde a la cuenca del Arroyo las Ánimas-Santo domingo que incluye a las subcuencas Arroyo Salado, San Rafael, San Telmo y Santo Domingo. Debido a las características climatológicas predominantes en la zona de estudio, no se forman corrientes perennes, aunque existen varias intermitentes que nacen en lo alto de la cuenca.

Sin embargo, el agua subterránea es de suma importancia para el desarrollo de actividades socioeconómicas. Los principales acuíferos que son explotados actualmente de acuerdo con el Diario Oficial del viernes 28 de agosto de 2009, en donde se da a conocer la ubicación geográfica de los acuíferos del territorio nacional así como la actualización de la

disponibilidad media anual de agua subterránea, corresponden al acuífero de Camalú y Colonia Vicente Guerrero.

Metodología.

La metodología propuesta permite la delimitación de áreas prioritarias con potencial para la infiltración y PSAH basándose en las características propias de los sistemas áridos. Los resultados de la aplicación de este método, promueven la administración y aprovechamiento racional del recurso hídrico en regiones con escasez. Para poder cumplir con el objetivo general de este estudio, se llevó a cabo la redacción de un artículo científico. Este cumple con los dos primeros objetivos específicos y sus pasos se desarrollan a continuación.

Por otro lado, la creación de un modelo de simulación permite conocer los factores que componen el funcionamiento hídrico y cómo estos interactúan en la dinámica de la cuenca bajo diferentes supuestos. Para la creación de este modelo se utilizó la metodología de Grant *et al.*, (2001).

La conformación de un modelo conceptual contiene varias etapas claves: a) Definir los objetivos del modelo, b) Definir los límites del sistema de interés, c) Clasificar los componentes del sistema de interés, d) Identificar las relaciones entre los componentes del sistema, e) Representación formal del modelo conceptual y f) Describir los patrones esperados del comportamiento del modelo (Grant, 2001)

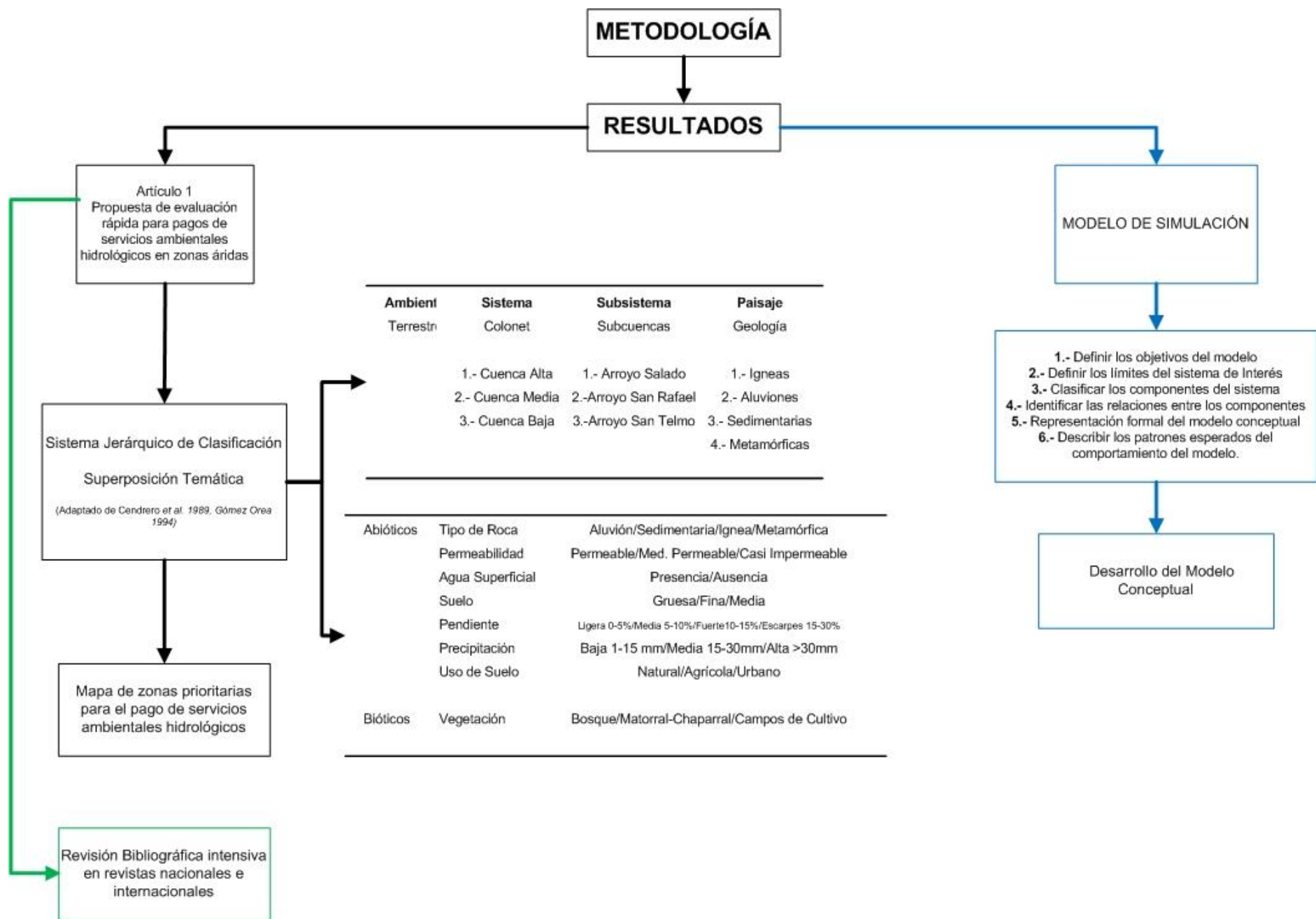


Figura 2. Cuadro Metodológico.

Resultados

Resultado 1: Artículo (que será enviado a la revista Investigación ambiental. Ciencia y política pública)

Propuesta de evaluación rápida para pagos de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.

Ayala-Niño F,¹ Ileana Espejel² Ricardo Eaton³ Walter Daesslé⁴

^{1, 2, 3} Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carr. Tijuana-Ensenada km 103 Ensenada, B.C.

⁴ Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Carr. Tijuana-Ensenada km 103 Ensenada, B.C. ,

fernando.ayala.nino@uabc.edu.mx ileana.espejel@uabc.edu.mx eaton@uabc.edu.mx

Resumen

Las zonas áridas y semiáridas de México no pueden acceder al pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) principalmente por la ausencia de cobertura forestal. Para ello se aplicó una metodología de evaluación rápida para definir el potencial para el PSAH. El modelo de evaluación incluye variables como: precipitación media anual, geología, permeabilidad, agua superficial, textura del suelo, pendientes, uso de suelo y tipo de vegetación. Se encontró que 20% de la cuenca de Colón B.C. presenta alta capacidad para el PSAH, si se hubiera evaluado con los criterios tradicionales, el porcentaje sólo sería del 8%. Se demuestra que el uso de criterios de elegibilidad de la CONAFOR para el PSAH deben ser distintos a los de zonas tropicales o templadas.

Palabras Clave: Baja California, Colón, Cuencas, Infiltración, Hidrología.

Introducción

La protección del recurso hídrico está ampliamente justificada para garantizar el abastecimiento local de agua potable de buena calidad y cantidad, sin necesidad de importarla de otras regiones. El concepto de agua para su gestión y planeación sugiere que sea mediante la aplicación del concepto de cuenca (Dostal 2007). Se entiende como cuenca lo que Lal, (2000) define como “Área delimitada por un límite topográfico bien definido (parteaguas) en donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra”.

Al conceptualizar el recurso de esta manera ecosistémica, se producen bienes y servicios ambientales denominados como aquellos beneficios indirectos e intangibles, que los ecosistemas ponen a disposición de la sociedad (SEMARNAT, 2004) los cuales se dividen en tres tipos: provisión, regulación y culturales (CCMSS, 2010). Principalmente los servicios de provisión como la producción hídrica, así como la forma de circulación de agua en el acuífero dentro de la cuenca, son elementos útiles para delimitar las zonas donde hay mayor captación de agua, en las cuales se pagaría más por el concepto de servicios ambientales (Arreola Muñoz, 2003). Las cuencas en general se dividen en zonas funcionales (cuenca alta, media y baja) y especialmente es en esta última donde están los principales usuarios (Cotler y Priego, 2004)

El concepto de pago por servicios ambientales (PSA) ha sido una herramienta importante para promover la conservación de los hábitats naturales y silvestres (Ferraro y Kiss, 2002). La idea central del PSA es que los beneficiarios externos de los Servicios Ambientales (SA) paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios y usuarios locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas (Wunder, 2006).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) adoptó el concepto y estableció el Programa de Pago por Servicios Ambientales de Bosque (PSB) (CONAFOR, 2009) el cual está basado en incentivos económicos a los poseedores de terrenos forestales por los servicios que estos proveen, entre los cuales destacan la captura de carbono, generación de oxígeno, retención del suelo, belleza escénica, conservación de la biodiversidad así como la captación y filtración de agua.

También la CONAFOR identifica el pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH) basándose en la experiencia de Costa Rica en el manejo sustentable de sus recursos naturales (agua y bosque) a través de la conservación de bosques en áreas montañosas y zonas de recarga de acuíferos. El recurso hídrico como servicio ambiental debe ser valorado económicamente, cobrado a los usuarios en las tarifas para abastecimientos de agua potable y revertido a propietarios que participan en la protección del bosque por su función hídrica (Carrillo *et al.*, 2005).

Con base en lo anterior, se han elaborado diversos trabajos que delimitan áreas prioritarias para el PSAH, sin embargo, a nivel nacional e internacional existen estudios elaborados en diversas regiones (Tabla 1) así como trabajos relacionados con el tema los cuales se muestran a continuación:

Coll *et al.*, (2003) delimitan zonas prioritarias y evalúan los mecanismos existentes para el PSAH, a través del cálculo del balance hídrico, en la cuenca del río Pixquiac en Veracruz. Encuentran que los valores de captación bruta, captación neta y escurrimiento están directamente relacionados el comportamiento mensual de la precipitación según los modelos utilizados (Thorntwaite, 1948; Hargreaves, 1985 y Holdridge, 2000) y que, en conjunto con los paisajes ecohidrológicos de la cuenca, determinaron las zonas prioritarias para el PSAH en función de la mayor captación de agua.

Estos mismos autores Coll *et al.*, (2004) muestran la relación entre los bosques y la captación de agua como base para establecer programas de PSA pero ahora en la cuenca del río Gavilanes también en Veracruz. En este trabajo proponen el uso de indicadores y de sistemas de información geográfica para promover la conservación de las zonas boscosas de pino-encino y bosques mesófilos de montaña. Encuentran que las porciones territoriales con alto escurrimiento neto, alto riesgo de deforestación así como su aporte a la recarga de los acuíferos, deben ser atendidas mediante el pago de servicios ambientales por sus beneficios hídricos.

SENDAS, A.C. (2003) elabora un análisis de la viabilidad sobre el pago por servicios ambientales en la cuenca del río PIXQUIAC en Veracruz. En este trabajo se plantearon estrategias de gestión para el PSAH de acuerdo a los montos, seguimiento, áreas de aplicación, acciones complementarias al programa, interacciones interinstitucionales así como consolidación de espacios de participación y planeación a largo plazo. Logran establecer un monto de \$1000/ha, un mejor conocimiento del territorio así como un programa de monitoreo estricto.

Asimismo, Anta *et al.*, (2008) publican la experiencia del trabajo conjunto entre comunidades agrarias de la Sierra Norte de Oaxaca para la protección de los bosques mesófilos y selvas húmedas dentro de su territorio mediante el pago de servicios ambientales hidrológicos. Las compensaciones por parte de la CONAFOR han sido determinantes para la consolidación y protección de sus recursos naturales.

Chagoya-Fuentes (2008) presenta una serie de preguntas que surgen de una revisión bibliográfica multidisciplinaria y la opinión de expertos en la materia como hidrólogos, geólogos, edafólogos y ecólogos cuando se desea instrumentar un esquema de pago por servicios ambientales hídricos.

El Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (2009) presenta una serie de propuestas para incrementar la sustentabilidad hídrica de la cuenca de la zona metropolitana de México, entre las cuales destaca la recarga de acuíferos y la protección de zonas estratégicas de recarga. Promueven la recarga intencional como estrategia de gestión, involucrando las unidades geológicas y su potencial de recarga así como los factores que influyen en el proceso de infiltración.

Arreguín-Cortés *et al.*, (2007) publican los principales conceptos relacionados con el agua virtual y la huella hídrica de un país, encontrando que México importó 35 255hm³ y exportó 5396 hm³ Indicando que el comercio de agua virtual es una herramienta que debe aplicarse en el país por medio de apoyos gubernamentales, impidiendo por ejemplo la siembra de alfalfa en el desierto o que se establezcan industrias altamente demandantes de agua en zonas con escasez.

Baró *et al.*, (2008) promueven la aplicación de zonas ó perímetros de protección a fuentes de abastecimiento de agua potable para evitar su contaminación implementando el pago por servicios ambientales. La aplicación de esta herramienta puede proporcionar beneficios económicos a los afectados, de forma que las áreas protegidas pueden ser utilizadas como áreas verdes o de recreación.

Wilcox *et al.*, (2006) realizan un balance hídrico en pastizales de Mezquite en Texas, encontrando que los valores de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial son completamente variables a escala temporal y espacial, encontrando la mayor recarga con las precipitaciones invernales.

Por su parte, el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. (2008) evalúa el programa de pago de servicios ambientales hidrológicos de la CONAFOR, a partir de la revisión de documentos del programa, análisis de experiencias en otros países, entrevistas con informantes y encuestas aplicadas a beneficiarios del programa. Se identificaron doce temas centrales, de los cuales se presenta un conjunto de propuestas de modificación, destacando los tipos de vegetación incluidos en el programa y la estrategia de visión de cuencas hidrológicas.

Por otro lado, Dostal (2007) presenta una metodología adaptada a la utilizada por la Unión Europea para la priorización de áreas. Está basada en la presión sobre el estado natural, la presión sobre el recurso hídrico y la calidad morfológica mediante el uso de índices, para la implementación de estrategias y un plan de manejo que garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico en el área de conservación Tortuguero en Costa Rica.

La Unión Europea (2000) establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, publicado en el diario oficial número L327. Presenta una metodología de caracterización de aguas de acuerdo a las condiciones que representen los valores de los indicadores de calidad presentes en la norma.

En este sentido, el gobierno australiano (Departamento de Medio Ambiente, Agua, Patrimonio y las Artes 2002) dentro de la evaluación nacional y estatal de la tierra y recursos hídricos, menciona que Australia es el continente más seco y sólo aprovecha el 12% de la escorrentía de los ríos debido a las precipitaciones que varían de acuerdo al clima. Esto sugiere un orden en la complejidad de los componentes que afectan el estado del río Diamantina, demuestran que el clima, la topografía, tipo de suelo, geología y la vegetación determinan la cantidad y momento de la escorrentía en la cuenca.

Tabla 1. Estudios relacionados sobre la delimitación de áreas prioritarias.

Autores	Año	Zona de Aplicación	Tipo de Clima
Unión Europea	2000	Unión Europea	Mediterráneo y Oceánico
Departamento de Medio Ambiente, Agua, Patrimonio y las Artes	2002	Australia	Subtropical Seco, Tropical
García-Coll <i>et al</i>	2003, 2004	Veracruz	Templado, cálido, semicálido y semifrío húmedo.
Dostal	2007	Costa Rica	Tropical húmedo
Fondo Mexicano para la conservación de la naturaleza	2008	Valle de México	Templado, semifrío y semiseco
Baró <i>et al</i>	2008	Internacional	Local

Sin embargo, los estudios anteriormente señalados son estudios realizados en zonas templadas y tropicales de la república mexicana y del mundo. Para nuestro país, el INE, 2009 y CONABIO, 1998 más de la mitad del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas que dominan el norte y las áreas del centro del país. El estado de Baja California es considerado como uno de los estados con menor disponibilidad de agua con una precipitación media anual de 204 mm, por otro lado los acuíferos que abastecen a la agricultura y a las poblaciones, permiten la subsistencia en estas regiones, sin embargo no cubren las necesidades y se encuentran sobreexplotados (CONAGUA, 2003. Plan Estatal Hídrico de Baja California, 2008).

Por esta razón, Avilés-Polanco *et al.*, (2009) realizan una valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de la Paz B.C.S. mediante el método de valoración contingente basándose en el diagnóstico de quienes tendrían una mayor disponibilidad de pagar entre los hogares con tandeo de agua y de aquellos con provisión continua. Los resultados confirman la hipótesis de que los hogares valoran los cambios en el bienestar producto del cambio en las condiciones de oferta del bien ambiental agua.

Por otro lado, a nivel nacional e internacional existen diversos trabajos que promueven el pago por servicios ambientales en zonas áridas entre los cuales destacan:

El Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola, IFAD (2009) por sus siglas en inglés, promueve el aprovechamiento de los recursos naturales de los países en desarrollo como África a través de las contribuciones, promoviendo el desarrollo de la agricultura, impactos del cambio climático y el desarrollo de un esquema de pagos por servicios ambientales.

Por otra parte Escuté (2005) muestra la importancia de la conservación de bosques en Europa y África del norte mediante el pago de servicios ambientales. El pastoreo excesivo, el abandono de tierras, malas prácticas de manejo forestal así como el desarrollo urbano en las zonas costeras, son las principales afectaciones en estas zonas, por lo que se buscan soluciones para la protección y conservación de suelos y aguas mediante el uso de este instrumento.

Rahoui, (2005) propone el pago de servicios ambientales en la costa de Marruecos para la protección y conservación de recursos hídricos de cantidad y calidad. Los principales problemas son debido a la contaminación por residuos y aguas industriales, mostrando que el agua en la cuenca no es apropiada para el consumo humano ni para el riego.

Teniendo antecedentes importantes sobre el tema, para nuestro país se encontraron escasos trabajos sobre el pago de servicios ambientales para las zonas áridas y semiáridas de México. Por ejemplo, Espejel *et al.*, (2004) realizan una propuesta innovadora para la creación de un nuevo municipio (San Quintín, Baja California) con base en las cuencas hidrográficas y no en criterios político-administrativos. Con esta propuesta se busca la apropiación de los recursos naturales y la conformación del nuevo municipio desde un enfoque de desarrollo sustentable.

En México la CONAFOR, (2009) ha incorporado sólo un 16% de vegetación de zonas áridas y semiáridas para el pago de servicios ambientales, principalmente para la conservación de la biodiversidad dejando en segundo término la importancia de la captación hídrica, siendo que en estas zonas el agua incrementa su valor por las condiciones de escasez.

A pesar de esta realidad de aridez, el Gobierno del estado de Baja California impulsa planes de crecimiento y desarrollo, para ello, entre otros grandes proyectos han propuesto la construcción de un desarrollo portuario multimodal de gran magnitud denominado Punta Colonet, así como la creación de un nuevo centro poblacional en el sitio denominado Punta Colonet al sur de la ciudad de Ensenada (Gobierno Federal, 2009). La nueva ciudad portuaria esta por diseñarse, hay

varios proyectos de puertos y se cuenta con una propuesta de programa de desarrollo del centro de población (IMIP, 2009) por lo que se tiene la oportunidad de hacer algo diferente y aprender de los errores cometidos en otras ciudades equivalentes (Espejel, *et al.*, en prensa y Espejel *et al.*, 2010).

Por lo anterior, el presente estudio está enfocado en la realización de una propuesta de evaluación rápida para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas, tomando como ejemplo una porción de una cuenca que cobra importancia por los planes de desarrollo urbano-portuario y que irriga al poblado de Colonet en Baja California, planteando desde el inicio del desarrollo del proyecto, el pago de servicios ambientales hidrológicos.

Metodología.

Área de Estudio

El territorio que corresponde a la cuenca de Colonet se ubica al sur del municipio de Ensenada, con un rango altitudinal que va desde los 2800 hasta el nivel del mar (INEGI, 1984). Las subcuencas que integran la región de Colonet llamadas Arroyo Salado, San Rafael y San Telmo, corresponden a la región hidrológica No. 1 (RH1) Baja California Noroeste, dentro de la cuenca Arroyo las Ánimas-Santo Domingo (Fig. 1)

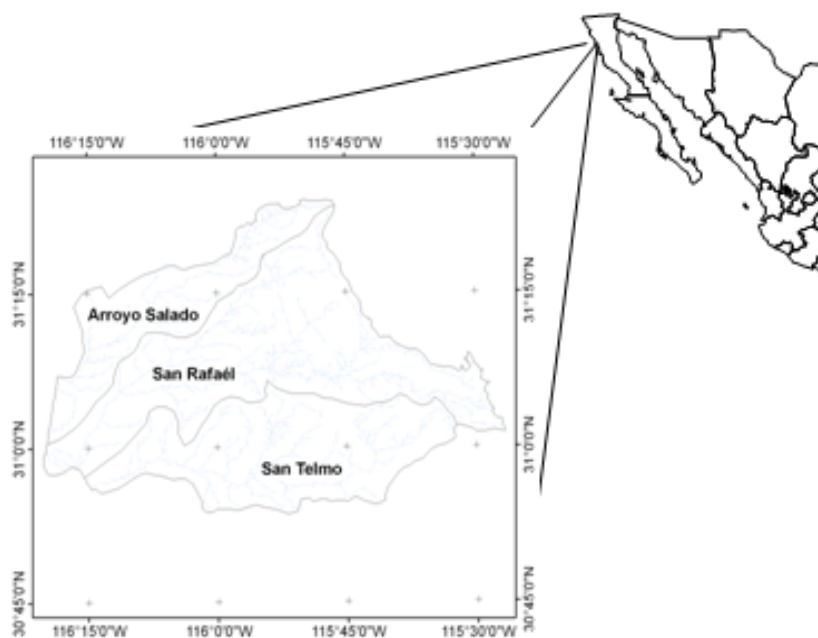


Figura 3. Área de estudio.

En el área predomina el tipo de clima BSks (e) de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen (modificado García) que corresponde a un clima semiseco templado con un régimen de lluvias en invierno y con una temperatura media anual de 15 a 18 °C. Esto se debe principalmente a las masas de aire húmedo proveniente del océano pacífico y la orografía del área. La precipitación media anual es de 192. 29 mm.

Presenta un paisaje compuesto por materiales sedimentarios de origen marino que corresponden a la formación Rosarito, tales como limonitas, areniscas, lutitas y algunos horizontes ricos en gravas y arenas. El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica denominada Provincia Península de Baja California que a su vez corresponde a la Sub-provincia Sierras de Baja California Norte.

El área forma parte de la región hidrológica No. 1 que corresponde a la cuenca del Arroyo las Ánimas-Santo domingo que incluye a las subcuencas Arroyo Salado, San Rafael, San Telmo y Santo Domingo. Debido a las características climatológicas predominantes en la zona de estudio, no se forman corrientes perennes, aunque existen varias intermitentes que nacen en lo alto de la cuenca

Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda de información bibliográfica en diversas revistas internacionales como Environmental Conservation, Environmental and Development Economics, Ecology and Society, journal of Arid Environments, Ecological Economic y Conservation Biology así como la Gaceta Ecológica (INE). La búsqueda incorporó palabras clave que incluyen: Pago de servicios ambientales hidrológicos, zonas áridas, delimitación de áreas prioritarias e infiltración, con un periodo de diez años (2000- 2010).

Para la delimitación de las unidades de paisaje fue necesaria una aproximación sintética de acuerdo a Cendrero, 1989 y Gómez Orea, 1994. Este enfoque considera a la superficie terrestre como un mosaico de fragmentos o unidades homogéneas desde el punto de vista de los

elementos considerados tales como la geología, la vegetación, la topografía y el suelo, los cuales son utilizados en la planificación ambiental como unidades de diagnóstico, dependientes de la escala geográfica y del sistema de clasificación jerárquico a través de la superposición temática (Tabla 2)

Se utilizó la cartografía temática del cartas geológicas INEGI, (1984), topográficas INEGI, (1984), edafológicas INIFAP-CONABIO, (1995). Vegetación y uso de suelo, hidrología de aguas subterráneas así como modelos digitales de elevación. INEGI, (1984) escalas 1:250 000 y 1:50 000. Además de un modelo de precipitación elaborado por el Instituto de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM con más de 50 años de registros de precipitación de todo el país Martínez *et al.*, (2008)

Tabla 2. Sistema jerárquico de clasificación.

Ambiente	Sistema	Subsistema	Paisaje
Terrestre	Colonet	Subcuencas	Geología
	1.-Cuenca Alta	1.- Arroyo Salado	1.-Igneas
	2.- Cuenca Media	2.- Arroyo San Rafael	2.-Aluviones
	3.- Cuenca Baja	3.- Río San Telmo	3.-Sedimentarias
			4.-Metamórficas

Se diseño un sistema de información geográfica (ArcView 3.2) mediante la superposición de tres capas de información física, así como la subdivisión por zonas funcionales de acuerdo a sus características hidrológicas que son cuenca alta ó de captación, cuenca media ó zona de transporte y cuenca baja ó de emisión. Con estas capas se obtuvieron 36 unidades de paisaje, las cuales se evaluaron mediante atributos que favorecen y/o afectan la infiltración mediante la técnica de peso * valor (tomado de Cendrero and Díaz de Terán, 1987)

Tabla 3. Atributos usados para la delimitación.

Tipo de Roca		Aluvión / Sedimentaria / Ígnea / Metamórfica
	Permeabilidad	Permeable / Med. Permeable / Casi Impermeable
	Agua superficial	Presencia / Ausencia
Abióticos	Suelo	Gruesa / Media / Fina
	Pendiente	Ligera 0-5% / Media 5-10% / Fuerte 10-15% / Escarpes 15-30%
	Precipitación	Baja 1-15mm / Media 15-30mm / Alta >30mm
	Uso de suelo	Natural / Agrícola / Urbano
Bióticos	Vegetación	Bosque / Matorral-Chaparral / Campos de Cultivo

Esta técnica consiste en que cada factor del medio ambiente natural y humano es ponderado por su importancia. Las descripciones de cada factor se realizaron en cada unidad de paisaje utilizando una escala geométrica 1 (Bajo), 2 (Medio), 4 (Alto) y 8 (Muy Alto). Así como la asignación de un peso en función de la importancia de cada uno de los atributos.

Tabla 4. Factores de ponderación de los atributos.

FACTORES	PONDERACIÓN
Tipo de Roca	7
Permeabilidad	6
Hidrología Superficial	2
Suelos	4
Pendiente	3
Precipitación	8
Vegetación	5
Uso de suelo	1

Los valores obtenidos para cada unidad de paisaje se normalizaron mediante la siguiente fórmula.

$$B_j = \frac{(X_j - \min X_j)}{(\max X_j - \min X_j)}$$

(Nijkamp y Rietveld, 1990).

Resultados

Como resultado de la búsqueda en las distintas revistas, los estudios sobre PSAH en zonas áridas son escasos (Tabla 5). Sin embargo es común encontrar a los servicios ambientales y zonas áridas por separado relacionados en diversos enfoques como agricultura, historia, valoraciones económicas y ambientales, gobierno, análisis costo beneficio, entre otros.

Tabla 5. Resultado de la búsqueda bibliográfica.

Revista	Trabajos relacionados	Trabajos específicos para zonas áridas y PSA
Environment Conservation	7	1
Environment and Development Economics	3	3
Ecology and Society	8	0
Journal of Arid Environments	3	0
Ecological economics	12	4
Conservation Biology	9	2
Gaceta Ecológica INE	11	3

*Los trabajos específicos para zonas áridas y PSA recopilados se localizan en la bibliografía

Las unidades de paisaje obtenidas (Tabla 2) fueron clasificadas en cuatro categorías: Bajo, Medio, Alto y Muy Alto de acuerdo a su capacidad para el PSAH. Con respecto al total de la cuenca, el 40% del área tiene una capacidad baja para el PSAH, el 38% corresponde a un valor medio y sólo el 22% pertenece a valores altos y muy altos, los cuales se encuentran en unidades distribuidas en toda la cuenca (Fig. 3).

Además, estas unidades también fueron evaluadas mediante los criterios de prelación de las reglas de operación ProÁrbol (2010) en donde más del 90% de la cuenca presenta una condición media y el 10% restante una condición alta para el PSAH, considerando que cada una de las unidades presenta una cobertura forestal arbórea entre 50 y 60% (Fig. 2).

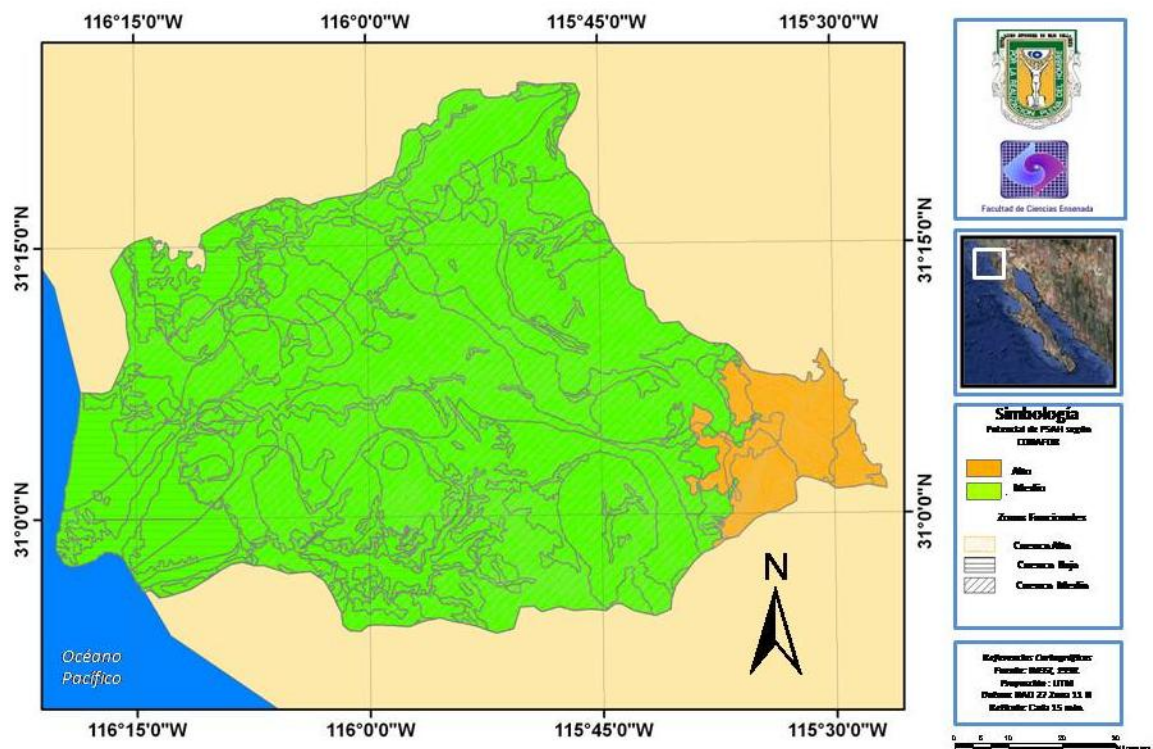


Figura 4. Potencial de PSAH según criterios CONAFOR (2010) 8%.

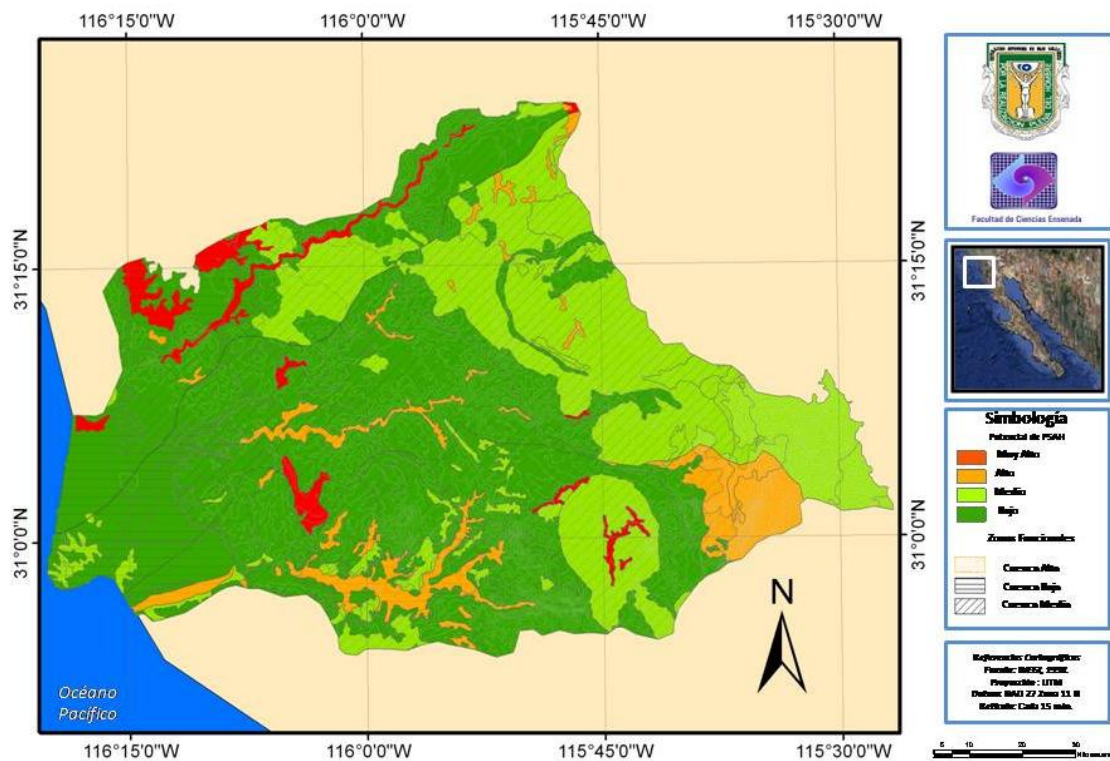


Figura 5. Mapa de capacidades para el PSAH según la propuesta de este artículo es 20%.

Lo anterior es una visualización a nivel general de las tres subcuencas que en conjunto irrigan la región de Colón, pero es interesante observar la capacidad de cada subcuenca para el cobro de SAH (Fig. 4).

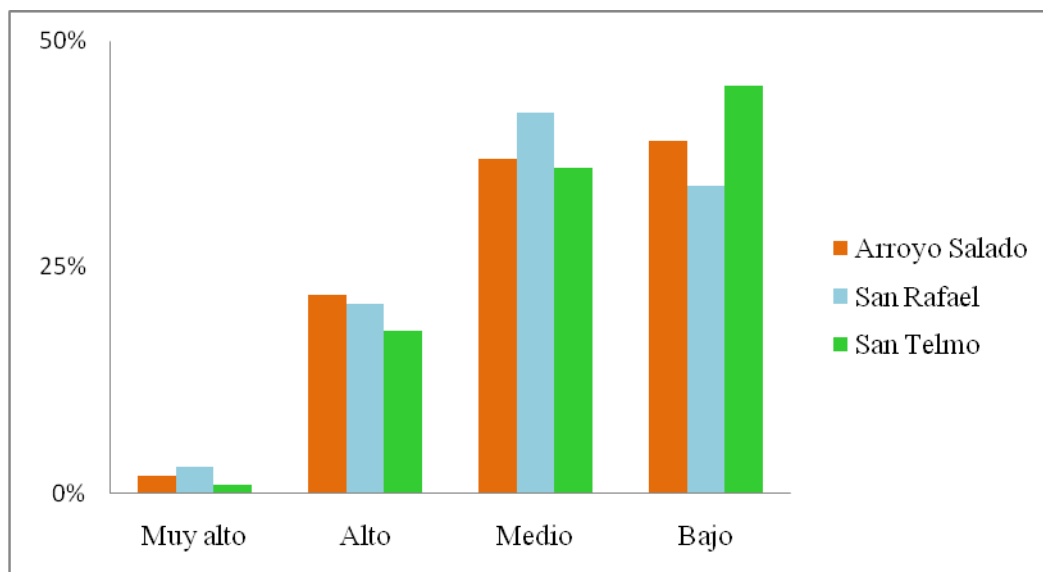


Figura 6. Potencial se SAH por subcuenca.

Por otra parte se observa la capacidad para el PSAH por zona funcional de cada una de las subcuencas en la (Tabla 6).

Tabla 6. Capacidad para el PSAH por zona funcional de las subcuencas.

Zona Funcional	Categoría	Arroyo Salado	San Rafael	San Telmo
		%	%	%
Cuenca Baja	Muy Alto	7	0	0
	Alto	0	0	39
	Medio	6	12	9
	Bajo	87	88	52
Cuenca Media	Muy Alto	15	2	2
	Alto	2	4	3
	Medio	39	41	23
	Bajo	44	53	72
Cuenca Alta	Muy Alto	0	0	0
	Alto	0	0	96
	Medio	0	100	0
	Bajo	0	0	4

Los resultados anteriores muestran que la cuenca alta de las subcuencas San Rafael y San Telmo los valores medio y alto predominan siendo las mejores zonas para el cobro de SAH.

Por otro lado, en la zona media y baja de las subcuencas se encuentran las menores capacidades para el pago con valores bajos. Sin embargo cabe destacar que aunque estas zonas presentan estas capacidades, existen áreas con valores altos y muy altos que también pueden ser consideradas para el cobro de SAH.

Es importante destacar que en la cuenca media predominan los valores bajos, sin embargo el valor medio en las subcuencas Arroyo Salado y San Rafael corresponde a casi la mitad del área total. La importancia de resaltar este valor medio radica en el tipo de vegetación dominante (principalmente Chaparral) que aunque no es vegetación de tipo boscoso, el chaparral cumple con las mismas funciones del bosque en zonas áridas.

Con respecto a la cuenca baja, es aquí donde encontramos las capacidades más bajas, debido a que estas albergan los centros de población así como sus principales actividades productivas, sin

embargo cabe destacar que aún en estas áreas podemos encontrar sitios con características únicas con valores altos y muy altos que pueden acceder a un esquema de PSAH.

Discusión

El PSAH es un mecanismo que ha cobrado importancia para la conservación de los ecosistemas forestales (CONAFOR, 2009). Sin embargo el PSAH en zonas áridas así como distintos tipos de vegetación natural aún no son considerados (CCMSS, 2008) (Tabla 5). Por lo que el presente trabajo muestra que en las zonas áridas existen las condiciones para poder acceder a un esquema de PSAH.

El proceso de evaluación rápida es una forma de investigación que emplea el análisis de datos en situaciones de tiempo y recursos limitados. Esta metodología surge como alternativa para la evaluación en múltiples disciplinas (Ecología, Medicina, Riesgo, Medio Ambiente y Manejo de Recursos) siendo de gran utilidad para la presentación de propuestas a los tomadores de decisiones.

La delimitación de áreas prioritarias para la captación e infiltración de agua es de suma importancia para el abastecimiento de los mantos acuíferos, principalmente en las zonas áridas donde las escasas precipitaciones y ausencia de escurrimientos superficiales hacen de estos la principal fuente de abastecimiento. (Baró *et al.*, 2009) (Avilés-Polanco *et al.*, 2010) (Carrillo *et al.*, 2005)

Aunque existen diversos estudios que delimitan áreas prioritarias para la captación así como el PSAH García-Coll *et al.*, (2003), García-Coll *et al.*, (2004), Dostal (2007). UE (2000), Baró *et al.*, (2008), Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (2009) estos corresponden a ambientes templados y tropicales. Sin embargo para las zonas áridas son muy escasos (Departamento de Medio Ambiente, Agua, Patrimonio y las Artes 2002). Por esta razón el estudio de caso que aquí se presenta proporciona los criterios que deberían considerarse en las zonas áridas. La propuesta Tabla 7 sugiere la inserción de atributos, algunos obtenidos de la bibliografía y otros propios.

Tabla 7. Modelo de mínima infiltración Tomado de *García-Coll *et al.*, (2003 y 2004) y Modelo para la priorización de áreas Tomado de **Dostal (2007) () Presencia (x) Ausencia

Atributos	Zonas Tropicales	Zonas Templadas	Zonas Áridas	Justificación...
*Tipo de Roca	✗	✓	✓	Determina el movimiento del agua hacia el subsuelo de acuerdo a sus propiedades, fracturas y porosidad.
*Vegetación	✗	✓	✓	El tipo de vegetación determina la cantidad de agua disponible de acuerdo a la precipitación
*Angulo de Inclinação de la pendiente	✓	✓	✓	Existe un potencial para la infiltración- recarga de acuerdo a su pendiente
*Hidrodinámica del relieve	✗	✓	✗	Se refiere al funcionamiento del sistema hidrológico sobre el relieve, desde el inicio del ciclo hidrológico en las cabeceras de las cuencas, donde se inicia la escorrentía y caudales posteriores.
Textura del suelo	✗	✗	✓	Determina la velocidad de infiltración de acuerdo al tamaño de las partículas.
Arroyos (Aguas Superficiales)	✓	✗	✓	Indican la presencia de aguas y escurrimientos superficiales
Permeabilidad	✗	✗	✓	Determinada de acuerdo a las características físicas de los materiales consolidados y no consolidados y su posibilidad de contener agua.
Uso de Suelo	✓	✗	✓	Hace referencia al potencial que tiene el suelo para la retención-infiltración-recarga.
Precipitación	✗	✗	✓	Fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes, tanto superficiales y profundas.
**Densidad de Población	✓	✗	✗	De acuerdo a la densidad de población se toman medidas para la protección y restauración
**Calidad de los atributos	✓	✗	✗	Hace referencia a la asignación de factores evaluadores.

Es importante resaltar que en los trabajos anteriores las zonas que mostraron alta prioridad para el PSAH, presentan cobertura vegetal de bosque de pino-encino y bosques mesófilos de montaña, sin embargo en este trabajo se encontraron de igual manera zonas con categorías medias, altas y muy altas con coberturas vegetales como el chaparral y vegetación riparia, así como valores muy altos con cobertura vegetal de bosque de pino en la parte alta de la subcuenca San Telmo (Fig. 3). Por lo anterior podemos destacar que no sólo los bosques, bosques mesófilos de montaña y selvas son las únicas áreas proveedoras de servicios ambientales hídricos (CCMSS, 2008) Wilcox *et al.*, (2006)

Para poder acceder a un esquema de PSAH se deben cumplir una serie de criterios de prelación (Pro Árbol, 2010) es importante resaltar que estos criterios excluyen por completo las características físico-naturales de las zonas áridas que les permitan participar en este instrumento (Tabla 8)

Tabla 8. Criterios de elegibilidad y propuestas a considerar en zonas áridas.

Criterios de elegibilidad	Zonas áridas	Propuesta
Cobertura forestal arbórea entre 50 y 60 ó 61 y 70 ó >70%	✗	El estado de Baja California solo cuenta con 3% de superficie forestal, por lo tanto, la estrategia es delimitar áreas conservadas con vegetación natural de la zona.
El polígono se encuentra dentro de un acuífero con sobreexplotación, de acuerdo a la CNA.	✗	De acuerdo a la CNA en la región los acuíferos se encuentran en equilibrio por lo que no es necesario esperar que esté sobreexplotado, si en estas áreas existen aprovechamientos considerar el principio precautorio y tomar en cuenta los terrenos en la parte alta que alimentan el acuífero.
El polígono propuesto está en una cuenca con un promedio de disponibilidad de agua superficial de acuerdo a CNA	✗	Aunque existen algunas corrientes perennes (INE, 2010) estas se pierden por infiltración o evaporación, por lo cual, se propone la utilización de los volúmenes de extracción de agua subterránea cuenca abajo como equivalente.
Degradación de suelos (Baja, Media, Alta)	✓	Continuar con esta medida de degradación. Actualmente la CONAFOR lleva a cabo programas de mantenimiento de obras y prácticas de conservación y restauración de suelos.
Predominancia de ecosistemas de Selva alta Perennifolia en el área propuesta, conforme a la clasificación de la carta de uso de suelo y vegetación del INEGI.	✗	Este criterio excluye por completo a la vegetación de zonas áridas, por lo cual deben considerarse las condiciones naturales que predominan en la cuenca, las cuales cumplen con las mismas funciones hidrológicas.
Polígono propuesto se encuentra en las zonas estratégicas de restauración (Polígono Cutzamala)	✗	Que el polígono propuesto sea independiente de las zonas estratégicas. Las zonas áridas y semiáridas del país deberían ser consideradas como zonas estratégicas debido a la escasez de agua que presentan.
El polígono propuesto se encuentra en zonas de baja producción maderable.	✓	Existen prácticas agropecuarias diferentes en la zona por lo que la producción maderable debe de ser acorde a la disponibilidad del recurso en la región.

De acuerdo a lo presentado en la (Fig.2) ninguna de las unidades con capacidad media presenta una superficie forestal arbórea entre 50 y 60%, por lo que si algún propietario quisiera participar con su predio en el programa de PSAH, sería descartado por no cumplir con este requisito.

La producción agrícola en la zona de San Vicente-Colonet se desarrolla bajo sistemas de riego con agua del subsuelo para la producción de hortalizas que se comercializan en mercados estatales, nacionales y de exportación (IMIP, 2008). Por otro lado, aunque en México no se utiliza de forma explícita al agua virtual dentro de las políticas hídricas de comercio internacional, debe utilizarse en los sectores agropecuario e industrial impidiendo la siembra de productos agrícolas o industriales con una alta demanda de agua en zonas con escasez. Arreguín-Cortés *et al.*, (2007).

En el país existen muchos estudios de caso exitosos, en los cuales la implementación de este programa ha sido benéfico para las comunidades Anta *et al.*, (2008), Coll *et al.*, (2004) sin embargo el PSAH en zonas áridas aún se está consolidando como estrategia de gestión IFAD (2009), Escuté (2005) y Rahoui, (2005). Es importante establecer como los nuevos usuarios por parte del proyecto portuario (Gobierno Federal, 2009) van a compensar los servicios ambientales hidrológicos que la cuenca ofrece. Por ejemplo en el caso de estudio serían la construcción de obras hidráulicas así como la elaboración de proyectos que promuevan la conservación en la parte alta de la cuenca auspiciados por el desarrollo portuario y nuevo centro poblacional.

Actualmente se considera un pago de \$382 y \$280 pesos/ha / año para el PSAH en Baja California. En el estado de Veracruz el costo por hectárea de bosque conservado es de \$11000/ha/año de acuerdo al área donde se ubique el polígono CONAFOR (2010), SENDAS (2003).

En este sentido, el costo del agua en zonas áridas debe de ser revalorizado de acuerdo a las condiciones de escasez y de aprovechamiento del recurso hídrico. Considerando el crecimiento poblacional de la región de Colonet para los próximos años, así como el incremento en el consumo de agua por los nuevos usuarios, se deben tomar acciones para la conservación y aprovechamiento del recurso hídrico que garanticen el abasto mediante las siguientes propuestas:

- ❖ Promover la vegetación de chaparral en las zonas áridas como abastecedora de SAH así como dar a conocer a los propietarios de las tierras el potencial que poseen sus terrenos para el PSAH e invitarlos a participar dentro del programa ProÁrbol. CONAFOR, (2010).
- ❖ Conservar y preservar aquellas áreas con alto y muy alto potencial que pueden proveer SAH en zonas áridas, superponiendo la importancia de estas áreas sobre cualquier otro uso de suelo que quiera aplicarse.
- ❖ Establecimiento y/o actualización del consejo de cuenca y del comité técnico de agua subterránea (cotas) en la formulación y ejecución de proyectos y programas que permitan la estabilización, recuperación y preservación de los acuíferos sobreexplotados o que se encuentran en equilibrio.
- ❖ Establecer vínculos con los constructores del nuevo puerto y desarrolladores del nuevo centro poblacional para instaurar proyectos que permitan la construcción de infraestructura para la captación de agua de lluvia como trampas de lluvia, tanques de almacenamiento así como una planta de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ Limitar y reducir la cantidad de agua extraída de los acuíferos, tecnificación de los sistemas riego y utilización de aguas tratadas para la agricultura.
- ❖ Elaborar estudios más específicos sobre el movimiento del agua dentro de la cuenca, proyecciones a futuro de acuerdo con las predicciones de cambio climático en el estado además de estudios hidrológicos detallados que permitan establecer un balance hídrico.

Conclusiones

La delimitación actual de áreas para el PSAH excluye casi por completo a las zonas áridas permitiendo que sólo los ambientes tropicales y templados puedan acceder a este esquema de pago. En esta propuesta de delimitación para el PSAH, se ha demostrado que los atributos naturales que permiten la delimitación y evaluación para zonas áridas, son características del

medio físico natural que pueden ser utilizadas en cualquier otra zona a escala de cuenca, sin embargo, es recomendable realizar aproximaciones a escalas más detalladas y con una mayor cantidad de atributos que puedan ofrecernos mayor precisión.

Los atributos naturales utilizados están basados en características dominantes de las zonas áridas, sin embargo, es necesario contar con estudios más detallados sobre estos atributos que nos permitan conocer más acerca del funcionamiento hídrico de la cuenca, y así poder establecer mejores propuestas de aprovechamiento.

Por otro lado, durante la búsqueda bibliográfica se identificó que el PSAH en zonas áridas es una temática nueva y con gran potencial de desarrollo, por lo que, los científicos, tomadores de decisión y programas gubernamentales deben encontrar estrategias que promuevan y garanticen la protección y conservación del medio ambiente así como el abasto de agua para estas zonas.

El esquema de PSAH propuesto por la CONAFOR es una estrategia innovadora para la protección y conservación de los servicios ambientales hidrológicos en México. Sin embargo, el esquema de PSAH continúa enfocándose en la protección de bosques y selvas aún cuando en las zonas áridas y semiáridas la vegetación de Chaparral puede ofrecer los mismos beneficios y se demuestra con los resultados aquí expuestos.

Por último, es importante el desarrollo de estudios que permitan generar y actualizar las bases de datos con respecto a la medición del agua, no solo a nivel de región hidrológica sino a niveles de cuenca o micro cuenca que permitan un manejo óptimo del recurso hídrico con especial interés en zonas áridas.

Bibliografía.

- ❖ Anta S., Arreola A., González M., Acosta J. 2008. En: Paré L., Dawn, R., González M. A. (2008) Gestión de Cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas. México. INE-SEMARNAT. 303 pp.
- ❖ Arreola Muñoz, A. (s/f) El manejo integral de cuencas: limitaciones de una política sectorial para la gestión territorial del agua. Instituto para el desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC).

- ❖ Arreguín-Cortés F, López-Pérez M, Marengo-Mogollón H, Tejeda-González C. Agua virtual en México. *Ingeniería hidráulica en México*, 2007; 22(4): 121-132.
- ❖ Avilés-Polanco, G, Soberanis H, L, Troyo-Diéguez, E, Amador M, B, Hernández G, J, L, Beltrán-Morales, L, F. Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de la Paz, B.C.S.: Una valoración contingente del uso de agua municipal. *Frontera Norte*. Enero-Junio 2010; 43(22): 103-128pp.
- ❖ Baró J, E, Expósito J, L, Esteller M, V. Pago por servicio ambiental hídrico para la implementación de perímetros de protección de fuentes de agua destinadas al consumo humano. *Ciencia Ergo Sum*. Noviembre-febrero 2008-2009; 15(003): 311-316.
- ❖ Carrillo-Rivera J, J, Perevochtchicova M, Tautiva M, Godoy A, Peñuela L, Hergt T. “Definición de indicadores de impacto al recurso hídrico en las zonas receptoras de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos”. 2005. Informe final al Instituto Nacional de Ecología del Instituto de Geografía, UNAM. México, DF, 99 pp.
- ❖ Cendrero A. Mapping and evaluation of coastal areas for planning. *Ocean and Shoreline Manage*. 1989; 12: 427-462 pp.
- ❖ Cendrero A, Díaz de Terán J, R. The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. In: Arndt P, Lüttig G. Mineral resource Extraction, Environmental Protection and Land-use Planning in the Industrial and Developing Countries. E. Schweizerbart, Stuttgart, 149-181pp.
- ❖ Céspedes, V. W., Tosi, J. A. 2000. El sistema de zonas de vida. *Biocenosis* 13(1/2)
- ❖ Chagoya-Fuentes. 2008. En: Paré L., Dawn, R., González M. A. (2008) Gestión de Cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas. México. INE-SEMARNAT. 303 pp.
- ❖ Coll, G. I., *et al.*, 2004. La relación agua-bosque: Delimitación de zonas prioritarias para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del Río Gavilanes, Coatepec, Veracruz. *Estudios ambientales en cuencas*. México. pp18. Gestión y Política Pública. Vol.: XIV Número 1. 129-168 pp.
- ❖ Coll, G. I., Martínez, A. O., Vidriales C. G., (2003) Delimitación de zonas prioritarias y evaluación de los mecanismos existentes para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Pixquiac, Veracruz, México. (Documento técnico) 31 pp.
- ❖ Cotler H., A. Priego., 2004. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: El caso de la cuenca Lerma-Chapala. *Estudios ambientales en cuencas*. INE. 67-74 pp.
- ❖ Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A.C. El programa de pago por servicios ambientales hidrológicos de la CONAFOR: Revisión crítica y Propuestas de Modificación. En: Paré L, Robinson D, González M, A. Gestión de Cuencas y Servicios Ambientales, Perspectivas comunitarias y ciudadanas. 2008. 259-276.
- ❖ Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts 2002. Australian Catchment, River and Estuary Assessment, National Land and Water Resources Audit. Canberra, Australia. ISBN: 0 642 37125 3.

- ❖ Dostal, B. C. 2007. Delimitación empírica de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en Costa Rica. *Rev. Reflexiones* 86 (2): 39-49pp.
- ❖ Espejel, I., Hernández, A., Riemann, H., Hernández L., (2004) Propuesta para un nuevo Municipio con base en las cuencas hidrográficas, Estudio de caso: San Quintín, B.C.
- ❖ Escuté X. 2005. The WWF Cork Oak Landscapes Programme: PES as a tool to enhance conservation. Presentación de PPT. Barcelona.
- ❖ Ferraro, P., and A. Kiss. 2002. Direct payments to conserve biodiversity. *Science*, November 2002. 1718-1719.
- ❖ Fondo mexicano para la conservación de la Naturaleza, 2009. Repensar en la Cuenca: La gestión de ciclos de agua en el valle de México. UAM
- ❖ Gómez Orea D. Ordenación del territorio: Una aproximación desde el medio físico. Instituto Tecnológico Geominero de España y Editorial Agrícola España S.A. 1994: 238pp.
- ❖ Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. In agric*, 1(2): 96-99pp.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995,1998 Carta topográfica Ensenada H11-2, San Felipe H11-3, Lázaro Cárdenas H11-5, escala 1:250,000: México, Instituto de Estadística, Geografía e Informática, 3 mapas.
- ❖ Llerena, C. A. Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración y sus posibilidades de aplicación en el Perú, FAO 2003. Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa Perú, 9-12 junio 2003, durante el Taller Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- ❖ Lal R. (Ed.) (2000) Integrated watershed management in the global ecosystem. Soil and water conservation Society - CRC Press, 395p.
- ❖ Martínez. F., J. Agua y sostenibilidad: Algunas claves desde los sistemas áridos. *Polis*. 2006; 5 (14): 10pp.
- ❖ Martínez, B., C. Conde, O. Sánchez, F. Estrada, A. Fernández, J. Zavala, C. Gay. 2008. Escenarios de Cambio Climático (2030 y 2050) para México y Centro América. Temperatura y Precipitación. [Documento en línea]. Disponible desde internet en http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=74
- ❖ Programa Estatal Hídrico 2008-2013. Comisión Estatal del Agua. Periódico Oficial del Estado de Baja California. Tomo CXV No. 63.
- ❖ Rahoui M. La perspectiva de pagos por servicios ambientales en Europa y los NEI. WWE. 2005.
- ❖ Thornthwaite, C. W. 1948. "An approach toward a rational classification of climate." *Geography*. Rev. 38.

- ❖ Unión Europea. 2000. Directive of the European Parliament and the European Council for the creation of a framework for measures of the union in the area of water policy. Official publications of the European Union, L327.
- ❖ Sendas A.C. Delimitación de zonas prioritarias y evaluación de los mecanismos existentes para el pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del río Pixquiac, Veracruz, México. 2003. Documento Técnico, Proyecto: NCMA3-08-03.
- ❖ Wilcox B, Dowhower S, Teague W, Thurow T. Long-Term Water Balance in a Semiarid Shrubland. *Rangeland Ecology & Management* [serial online]. November 2006; 59(6):600-606. Available from: Environment Complete, Ipswich, MA. Accessed May 14, 2010.
- ❖ Wunder, S. 2006. Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. Centro de Investigación Forestal (CIFOR). Occasional Paper No. 42(s) 32pp.

Environment Conservation

- ❖ Hassanyar A. Restoration of Arid and Semi-arid Ecosystem in Afghanistan. *Environmental Conservation*. Aug de 2009; 4 (04): 297-301pp.

Environment and Development Economics

- ❖ Southgate D, Haab T, Lundine J, Rodríguez F. Payments for environmental services and rural livelihood strategies in Ecuador and Guatemala. *Environment and Development Economics*. Feb. de 2009; 15 (01): 21-37 pp.
- ❖ Wunder S. Payments for environmental services and the poor: concepts and preliminary evidence. *Environment and Development Economics*. May 2008; 13(03): 279-297pp.
- ❖ Zilberman D, Lipper L, McCarthy N. When could payments for environmental services benefit the poor? *Environment and Development Economics*. May 2008; 13(03): 255-278 pp.

Ecological Economics

- ❖ Birol E, Koundouri P, Kountouris Y. Assessing the economic viability of alternative water resources in water-scarce regions: Combining economic valuation, cost-benefit analysis and discounting. *Ecological Economics*. Feb 2010; 69(4): 839-847pp.
- ❖ Chao B, Fang C, Fang L. Water resources constraint force on urbanization in water deficient regions: a case study of Hexi Corridor, arid area of NW China. *Ecological Economics*. May 2007; 62(3): 508-517 pp.
- ❖ Ojeda I, Mayer M, Alex S, Barry S. Economic valuation of environmental services sustained by water flows in the Yaqui River Delta. *Ecological Economics*. Jan 2008; 65(1): 155-166.

Conservation Biology

- ❖ Sánchez-Azofeifa A, Pfaff A, Robalino A, Boomhower P. Costa Rica's Payment for Environmental Services Program: Intention, Implementation, and Impact. *Conservation Biology*. October 2007; 21(5): 1165-1173pp.

- ❖ Wunder S. The efficiency of payment for environmental services in tropical Conservation. Conservation Biology. February 2007; 21(1): 48-58pp.
- ❖ Curtin C. livestock Grazing, Rest and Restoration in Arid Landscapes. Conservation Biology. June 2002; 16(3): 840-842pp.

Gaceta Ecológica

- ❖ Fregoso A. La oferta y el pago de los servicios ambientales hídricos: Una comparación de diversos estudios. Gaceta Ecológica. 2006; 078: 29-46pp.
- ❖ Rojo T, M. Sanginés G, A. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico. 2002; 063: 40-59 pp.
- ❖ Solorio-Benavides J, González-Guillén, M, López-Paniagua C, Valdez-Lazalde J. Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales. Maderas y Bosques. 2008; 14(2): 5-28.
- ❖ www.conafor.gob.mx
- ❖ www.presidencia.gob.mx
- ❖ www.conabio.gob.mx
- ❖ www.cna.gob.mx
- ❖ www.ine.gob.mx

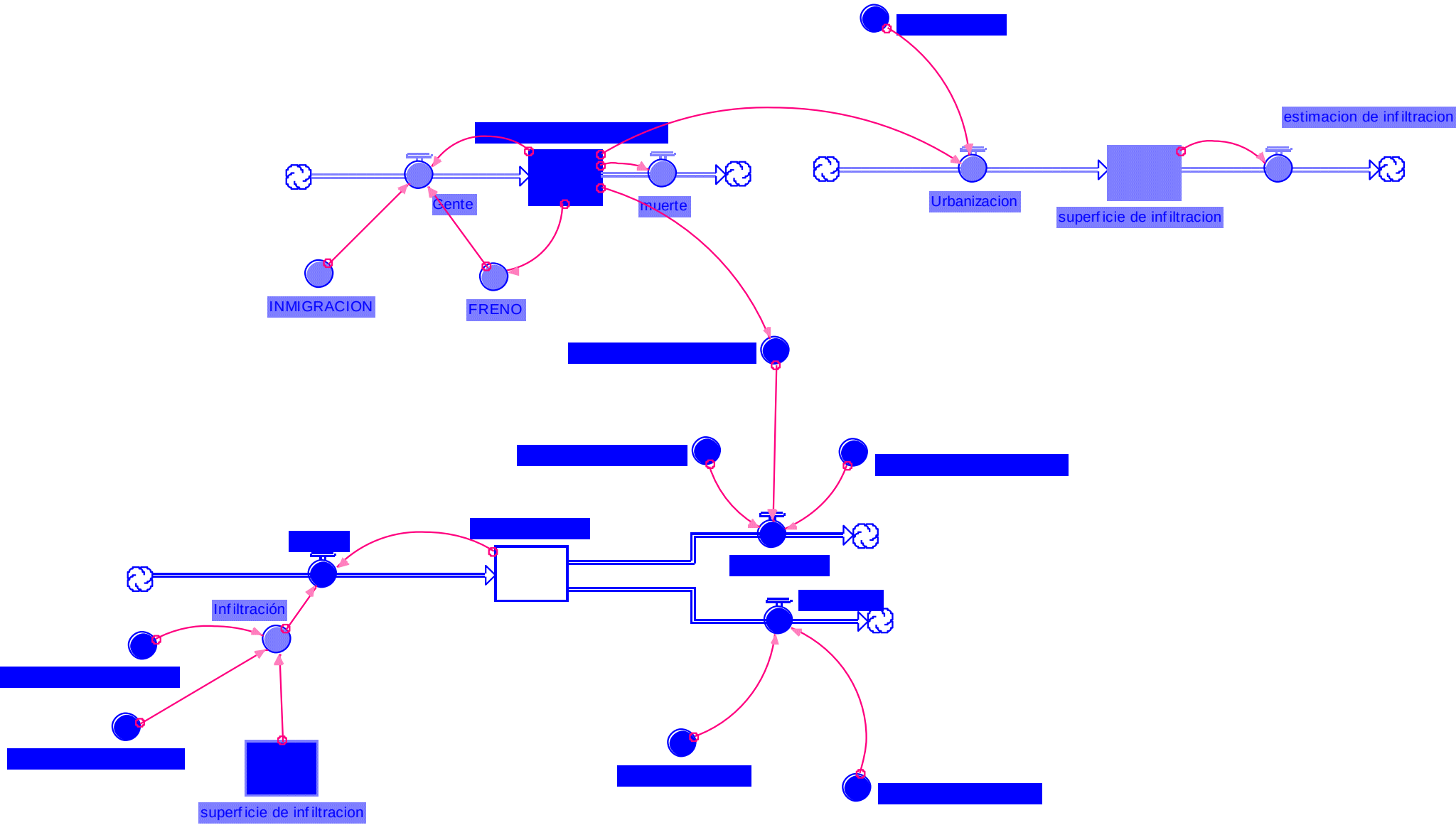


Figura 7. Modelo conceptual de la cuenca de Punta Colonet.

Tabla 9. Estrategias de Manejo para la Cuenca

Nivel de Acción	Estrategia General	Lineamientos estratégicos	Objetivo	Proyectos y/o Programas	Acciones y/o Actividades	Responsables y/o Participantes	Tiempo		
							C	M	L
Federal	1.-Revisión del esquema de pagos por servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.	1.- Ambiental	1.1.1.-Promover el manejo integrado y sustentable del agua y del suelo.	a) Conocer las condiciones ecológicas, físico-geográficas e hidrológicas de las zonas áridas del país.	*Identificación de las principales cuencas hidrográficas. *Actividades de reconocimiento en campo. *Levantamientos fisiográficos y de suelos. *Elaboración de un SIG así como una base de datos. *Ubicación y caracterización de los principales cuerpos de agua. *Identificación de los propietarios de los terrenos. *Elaboración de escenarios a futuro de acuerdo a las predicciones de cambio climático. *Análisis de datos meteorológicos.	CONAFOR INEGI INE SEMARNAT	X	X	
		2.-Económico	1.1.2.- Promover el pago por hectárea anual a los dueños, poseedores y usufructuarios por el servicio ambiental que ofrecen.	b) Establecer una Tarifa para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.	*Valorar económicamente los servicios hidrológicos de zonas áridas de acuerdo a los mercados internacionales. *Valorar económicamente el recurso hídrico por sector (Agrícola, Industrial y humano).	CONAGUA INE CONAFOR	X	X	
		3.- Social	1.1.3.- Promover el desarrollo social y humano mediante la participación activa de la población.	c) Articular y facilitar procesos de cambio de actividades de subsistencia por reconversiones productivas.	*Fortalecer las estrategias de fomento agropecuario y no agropecuario. *Fomento de actividades micro empresariales. *Propiciar la participación de la población en la planeación, ejecución y seguimiento de proyectos. *Fomentar la Apropiación de la importancia de los servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.	SAGARPA SEDESOL SRA		X	X

Nivel de Acción	Estrategia General	Lineamientos estratégicos	Objetivo	Proyectos y/o Programas	Acciones y/o Actividades	Responsables y/o Participantes	Tiempo		
							C	M	L
Estatul	1.-Revisión del esquema de pagos por servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.	1.- Ambiental	1.1.1.-Promover el manejo integrado y sustentable del agua y del suelo	a) Recopilar y/o actualizar información sobre las condiciones ecológicas, físico-geográficas e hidrológicas de las zonas áridas del Estado. b) Actualización de la información por parte de los organismos de cuenca.	*Identificación de las principales subcuencas y microcuencas. *Actividades de reconocimiento en campo. *Levantamientos fisiográficos y de suelos. *Elaboración de un SIG así como una base de datos. *Ubicación y caracterización de las principales fuentes de agua. *Identificación de los propietarios de los terrenos. *Elaboración de escenarios a futuro de acuerdo a las predicciones de cambio climático. *Análisis de datos meteorológicos.	CONAFOR INEGI INE SEMARNAT CONAGUA	X	X	
		2.-Económico	1.1.2.- Promover el pago por hectárea anual a los dueños, poseedores y usufructuarios por el servicio ambiental que ofrecen.	c) Establecer un sistema de pagos por servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas por parte del estado. d) Mayor promoción a los programas que ofrece la CONAFOR	*Valorar económicamente los servicios hidrológicos de zonas áridas de acuerdo a las condiciones de mercado. *Valorar económicamente el recurso hídrico por sector (Agrícola, Industrial y humano). *Coordinación entre Gobierno-CONAFOR *Dividir la cantidad de solicitudes en caso de superar el límite presupuestal.	Universidad Estatal CONAGUA INE CONAFOR GOBIERNO DEL ESTADO	X	X	
		3.- Social	1.1.3.- Promover el desarrollo social y humano mediante la participación activa de la población.	d) Articular y facilitar procesos de cambio de actividades de subsistencia por reconversiones productivas.	*Fortalecer las estrategias de fomento agropecuario y no agropecuario en el estado. *Fomento de actividades micro empresariales. *Propiciar la participación social en los municipios en la planeación, ejecución y seguimiento de proyectos productivos. *Recolectar información de los distintos sectores sociales sobre su percepción sobre el agua en sus localidades.	SAGARPA SEDESOL SRA		X	X

Nivel de Acción	Estrategia General	Lineamientos estratégicos	Objetivo	Proyectos y/o Programas	Acciones y/o Actividades	Responsables y/o Participantes	Tiempo		
							C	M	L
Local	1.-Revisión del esquema de pagos por servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas.	1.- Ambiental	1.1.1-Promover el manejo integrado y sustentable del agua y del suelo	a) Delimitar áreas prioritarias para el PSAH b) Programa “Pro-Cuenca”	*Actividades de reconocimiento en campo. *Levantamientos de suelos. *Elaboración de cartografía detallada por subcuenca o microcuenca. *Construcción de Terrazas. * Construcción de presas filtrantes * Actividades de Reforestación *Anexo 2	Universidades Estatales FIRCO CONAZA	X	X	
		2.-Económico	1.2.1- Promover el pago por hectárea anual a los dueños, poseedores y usufructuarios por el servicio ambiental que ofrecen.	c) Establecer un sistema de pagos por servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas por parte del estado. d) Mayor promoción a los programas que ofrece la CONAFOR.	*Conocer las condiciones socioeconómicas. *Conocer las condiciones de Tenencia de la tierra. *Establecer cadenas de valor a nivel local. *Promover la reconversión productiva.	GOBIERNO DEL ESTADO	X	X	
		3.- Social	1.3.1.- Promover el desarrollo social y humano mediante la participación activa de la población.	d) Articular y facilitar procesos de cambio de actividades de subsistencia por reconversiones productivas.	*Permanente Capacitación, Planeación, Monitoreo y evaluación entre todos los involucrados. *Participación activa de hombres, mujeres, jóvenes y adultos. *Establecimiento de comités de Agua comunitarios *Promover talleres basados en las problemáticas locales así como el intercambio de experiencias entre las personas. *Elaboración de un plan de manejo comunitario. *Desarrollo de infraestructura (Agua potable, caminos, vivienda, electrificación, escuelas, clínicas, unidades deportivas entre otras) *Promoción/Acondicionamiento/ implementación de huertos familiares	CDI SAGARPA SEDESOL SRA GOBIERNO DEL ESTADO.		X	X

Tabla 10. Estrategias de manejo para las zonas con potencial para el PSAH

Nivel de Acción	Estrategia General	Lineamientos estratégicos	Objetivo	Proyectos y/o Programas	Acciones y/o Actividades	Responsables y/o Participantes	Tiempo						
							C	M	L				
Local por subcuenca hidrológica	1. Establecimiento de actividades dentro de las zonas con potencial para el PSAH.	1.- Ambiental	Conservación de áreas con Muy Alto potencial para el PSAH	a) Delimitación de perímetros de protección de fuentes de agua destinadas para el consumo humano. b) Limitar las actividades pastoreo extensivo. c) Construcción obras hidráulicas. d) Conservación de la cobertura vegetal e) Obtención y actualización de información climatológica.	• Establecer perímetros de protección a pozos y zonas de recarga de acuíferos • Acciones de reforestación. • Cercado de áreas prioritarios. • Restringir el pastoreo extensivo en estas zonas para evitar la pérdida de cobertura vegetal y compactación del suelo. • Construcción de zanjas de infiltración • Colocación de nuevas estaciones meteorológicas y/o mantenimiento de las ya existentes. • Monitoreo, inspección y evaluación más estricto a los beneficiarios de proyectos otorgados por dependencias de gobierno así como a los programas para una mejora continua. • Identificación de áreas degradadas para su restauración mediante cultivos de cobertura, cabecero de cárcavas entre otras que protejan el suelo.	Gobierno Federal y Estatal a través de sus dependencias como:	X						
			X				X						
			X										
			X										
			X										
							X	X					
		2.-Socioeconómico	Conservación y aprovechamiento de áreas con potencial Medio para el PSAH			f) Limitar el volumen de extracción de agua subterránea. g) Promoción del riego tecnificado	• Establecer un crecimiento ordenado del nuevo centro poblacional. • Conocer los volúmenes de extracción actuales dentro de cada una de las subcuencas • Pláticas, talleres Información sobre la importancia de la cuenca • Aplicación de nuevas tecnologías de riego. • Fomentar el reuso o recirculación del agua • Elaborar estudios detallados sobre la demanda y disponibilidad de pago por el recurso hídrico en el nuevo centro poblacional.	• Limitar el uso de agroquímicos en áreas de cultivos. • Participación activa entre los pobladores y poseedores de terrenos que proveen los SA y los tomadores de decisión.	SAGARPA				
										CONAZA			
										FIRCO	X	X	
										CONAGUA			
			Uso adecuado y responsable dentro de las áreas con potencial Bajo para el PSAH			h) Realización de actividades de Educación ambiental				CONAFOR			X
											IMIP	X	
				SEDESOL							X	X	
				UABC	X								
Presidentes Ejidales						X	X						
					X								
Comisariados Ejidales						X							
					X	X	X						

Discusión.

- El criterio de ponderación utilizado está basado principalmente en las características físicas de las zonas áridas, la precipitación juega un papel determinante por su importancia en el proceso de infiltración, siendo este atributo el que presenta el valor más alto. De esta manera, la textura del suelo y el tipo de roca, debido a su dominancia superficial en la región, convierte a estos criterios en los primeros eslabones dentro del ciclo hidrológico. Sin embargo es importante señalar que la escasa cobertura vegetal, así como la presencia de pendientes pronunciadas, complican el proceso de infiltración. Aunque los trabajos elaborados por García-Coll *et al.*, 2003, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, 2009 y Dostal, 2007 consideran distintos criterios de clasificación, estos sirvieron como base para la construcción del sistema jerárquico de clasificación enfocado en las zonas áridas con el fin de identificar las zonas con mayor potencial para el PSAH.
- Estudios elaborados para la delimitación de áreas prioritarias para el PSAH, determinan el balance hídrico mediante datos de precipitación, evaporación y temperatura de las estaciones climatológicas disponibles, de acuerdo con García-Coll *et al.*, 2003 y 2004. Llerena, 2003. Sin embargo en este estudio se utilizó un modelo de precipitación generado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, 2008 para toda la República Mexicana, debido a la falta de datos. No obstante es necesario generar información propia de las condiciones atmosféricas dominantes de la cuenca para poder realizar más estudios con mayor precisión sobre el movimiento del agua en zonas áridas.
- Por otro lado, es importante el desarrollo de estudios referentes a la valoración económica del recurso hídrico Baró *et al.*, 2008, Avilés-Polanco *et al.*, 2009 esto con la finalidad de determinar los montos así como la disposición a pagar de los usuarios por los servicios ambientales hidrológicos
- La construcción de un modelo conceptual resulta de gran utilidad para el entendimiento de sus componentes y posibles relaciones. Grant, 2001. Sin embargo cabe destacar que el modelo desarrollado no puede ser utilizado para realizar proyecciones a futuro ya que no cuenta con un proceso cuantitativo ni con retroalimentaciones basadas en mediciones reales.

Conclusiones

- El pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas aún no es muy reconocido, es poco estudiado y presenta gran potencial de desarrollo.
- Se diseñó una metodología rápida para la delimitación de áreas con potencial para el PSAH en zonas áridas. Los atributos naturales que delimitaron esta propuesta, son características del medio físico y natural que puede ser utilizada en cualquier otra zona árida a escala de cuenca.
- Las modificaciones a los criterios de prelación deben ser consideradas y evaluadas para que la vegetación de zonas áridas pueda ser incluida dentro de un esquema de pagos por SA. De acuerdo al sistema de clasificación utilizado para la propuesta de áreas con potencial para el PSAH, se demuestra en este estudio que las zonas áridas también pueden acceder a este esquema de pagos promovido por la CONAFOR.
- El costo del recurso hídrico en zonas áridas debe ser revalorizado de acuerdo a las condiciones de escasez y consumo del recurso hídrico de acuerdo con la actividad productiva. El pago a los propietarios de terrenos en la parte alta debe ser compensado por parte de los grandes usuarios en conjunto con la población ya sea de forma monetaria o mediante la implementación de proyectos que garanticen la continuidad del recurso hídrico.
- La construcción de un modelo de simulación se basa en varias etapas, sin embargo el presente modelo de simulación sólo cumple con las dos primeras, siendo la evaluación y el uso del modelo las más importantes para poder darle al modelo la credibilidad así como la capacidad de la toma de decisiones.
- El uso de este modelo además de analizar los componentes biofísicos que determinan el funcionamiento hídrico de la cuenca permite su calibración dependiendo de las condiciones presentes en el sitio.

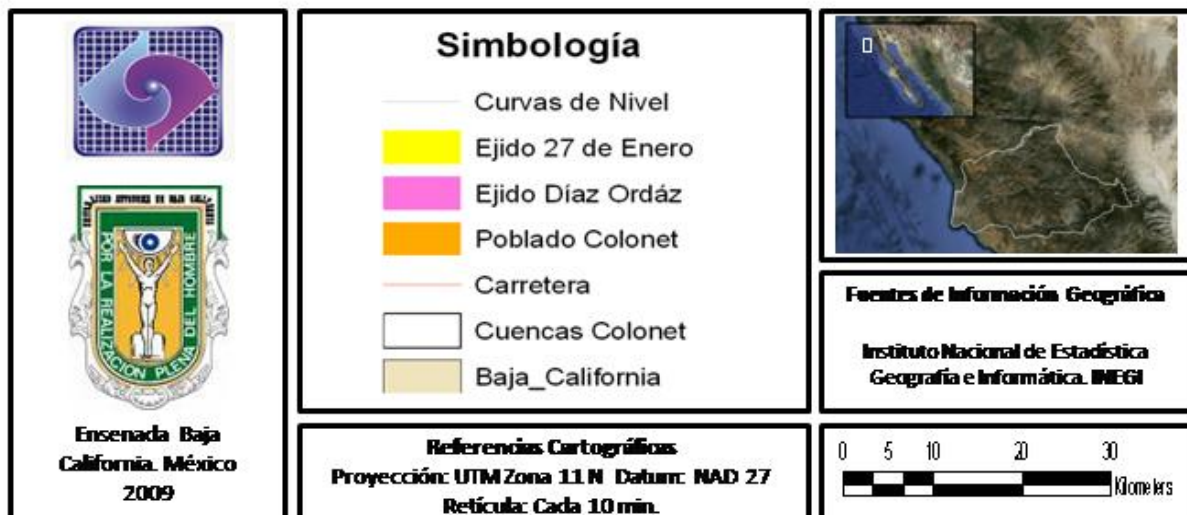
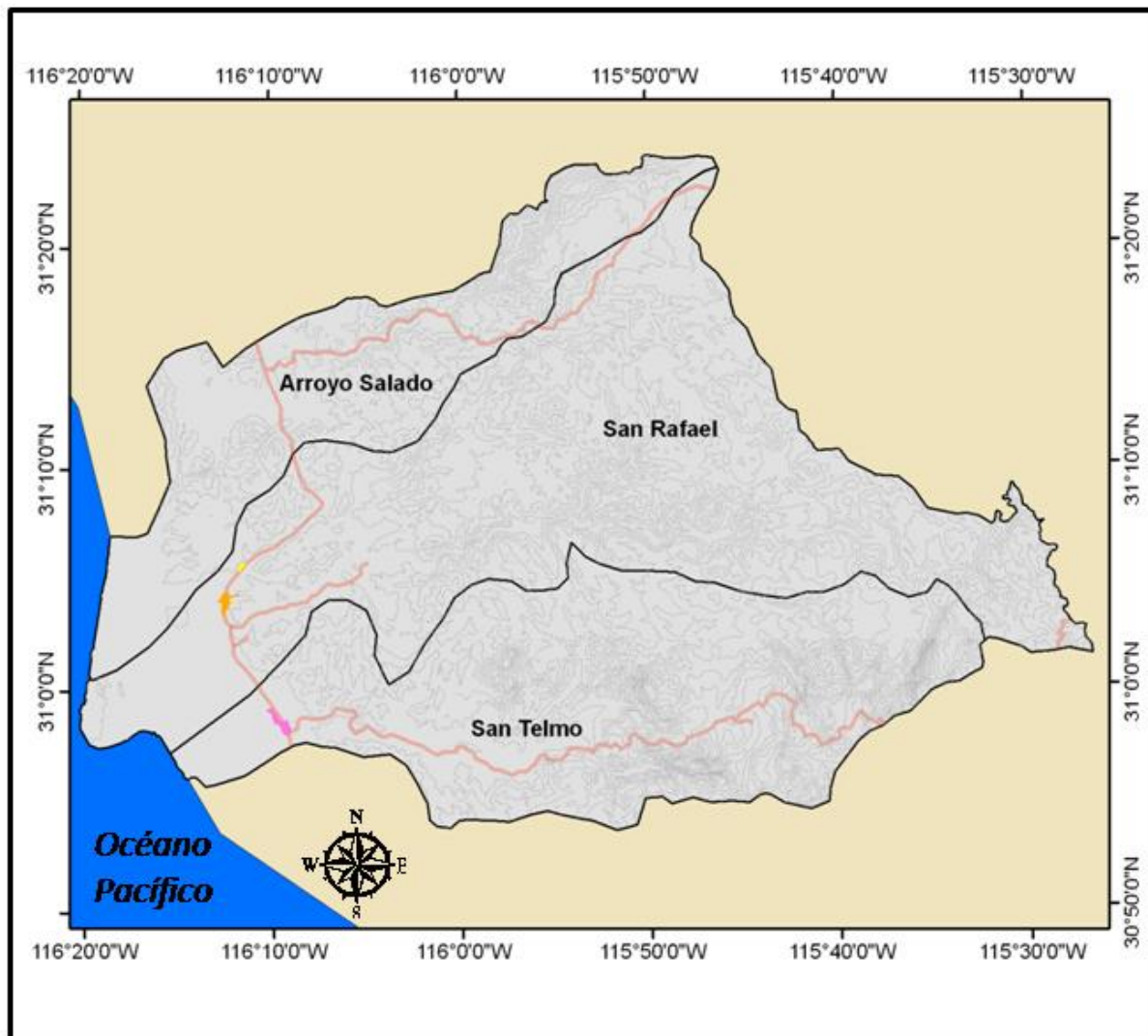
Bibliografía.

- ARREGUÍN, F., LÓPEZ, M. y ROSALES, M. 2006. The new Lerma Chapala Basin Surface Agreement: a step forward to integrated Water Resources Management of Mexico, *Hydrological sciences for managing water resources in the Asian developing world. The second GWSP Asia Network*. International Association Hydrological Science. China, pp. 71-72.
- Granados-Sánchez. D., (2005) La cuenca hidrológica, unidad ecológica de manejo. Universidad Autónoma Chapingo. México. 164 pp.
- Navarro de León, I. 2006. Explotación y renovabilidad del Agua Subterránea en una cuenca semiárida del altiplano mexicano. Monterrey, México. Año IX, número 004 pp. 375-382.
- Paré L., Dan, R., González M. A. (2008) Gestión de Cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas. México. INE-SEMARNAT. 303 pp.
- Rendón, L., 2003. La cuenca: sistema hidrológico o curso de agua natural. IMTA. Documento electrónico.
- Reiter, A. M., Sauntil M., Yang Z., Pokrajac D. 2009. Derivation of a GIS-based watershed-scale conceptual model for the St. Jones River Delaware from hábitat-scale conceptual models. *Journal of Environmental Management*. 90: 3253-3265 pp.
- SEMARNAT, 2004. Saber para proteger, Introducción a los servicios ambientales. 73 pp.
- Secretaría de relaciones Exteriores. *Tratado sobre aguas internacionales celebrado entre México y los Estados Unidos con fecha 3 de febrero de 1944*. México D.F.: Secretaría de Relaciones Exteriores, 1944.
- Williams, M.A.J. y Balling, R.C. (1996) Interactions of desertification and climate. Prepared for WMO United Nations Environmental Programme. Arnold, N. York.

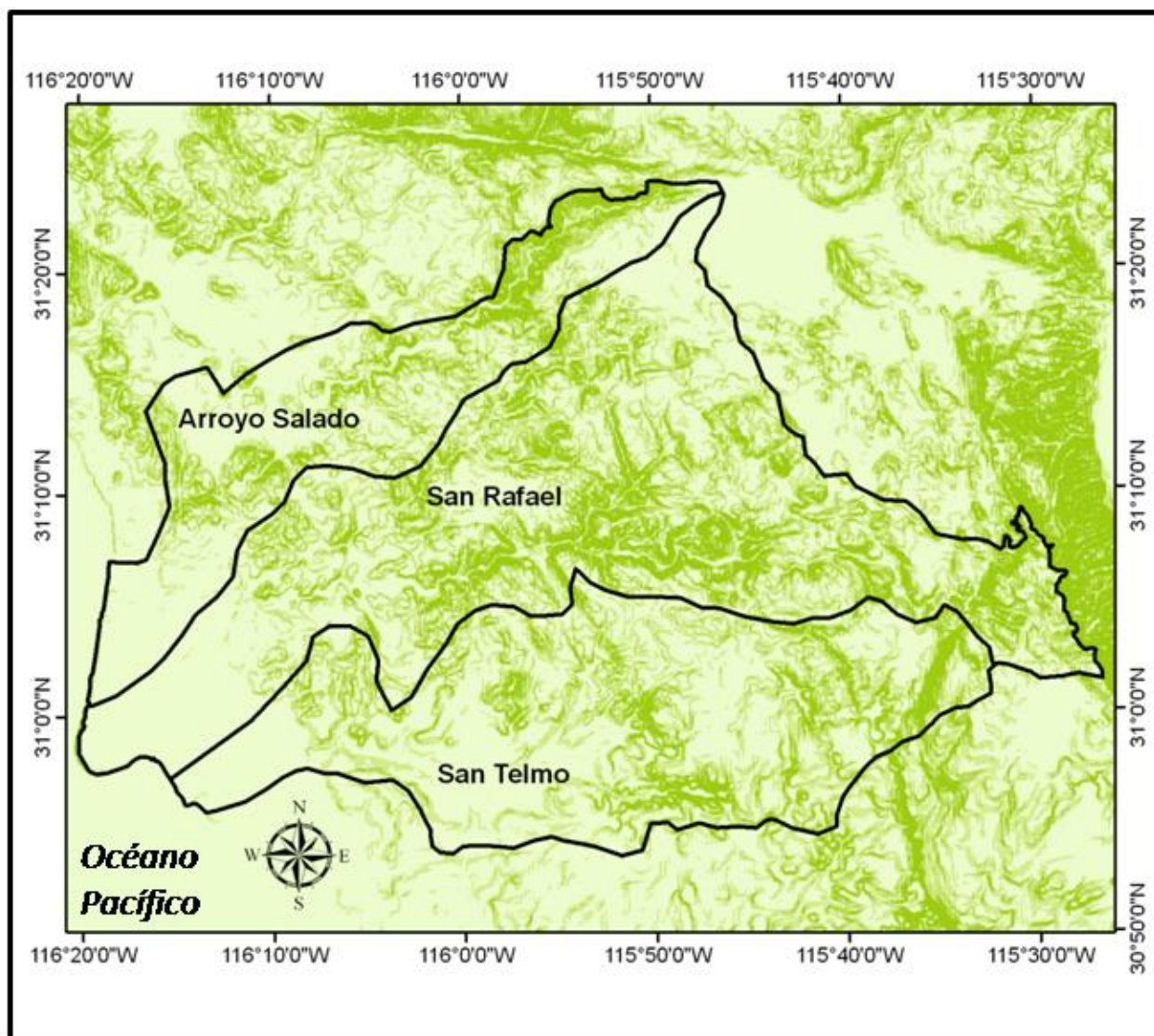
- Martínez. F., J.2006. Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos. Polis. 5 (14) Chile 10pp.

Anexo cartográfico.

Mapa Topográfico de subcuencas de Punta Colonet, Ensenada B.C.



Mapa general de Pendientes de Punta Colonet B.C.



Ensenada Baja
California, México
2009

Simbología

Pendiente General

<VALUE>

	0 - 5
	5 - 10
	10 - 15
	15 - >30
	Cuencas Colon et

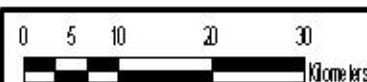
Referencias Cartográficas

Proyección: UTM Zona 11 N Datum: NAD 27
Retícula: Cada 10 min.

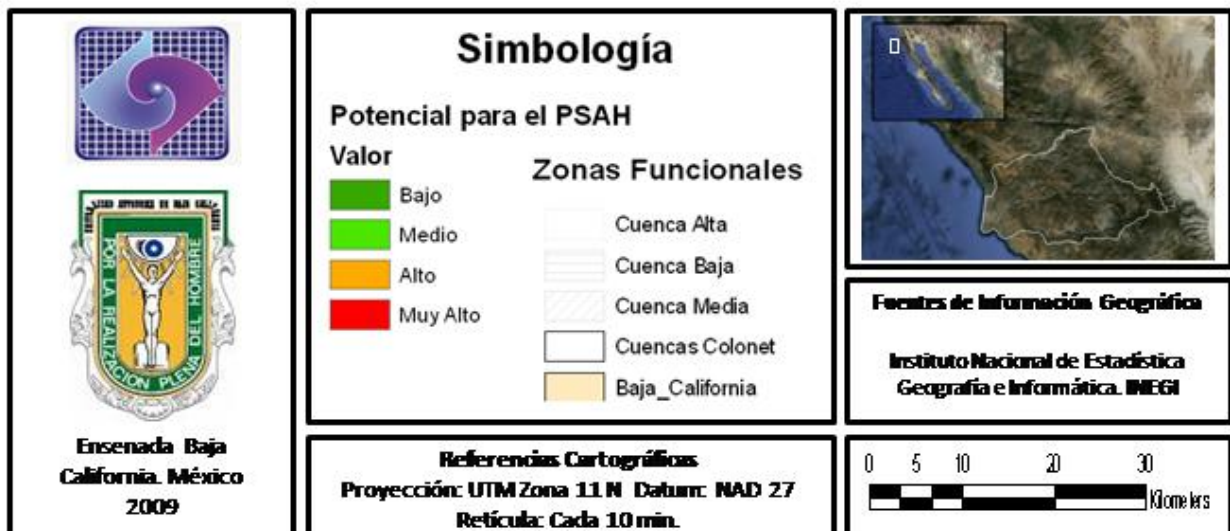
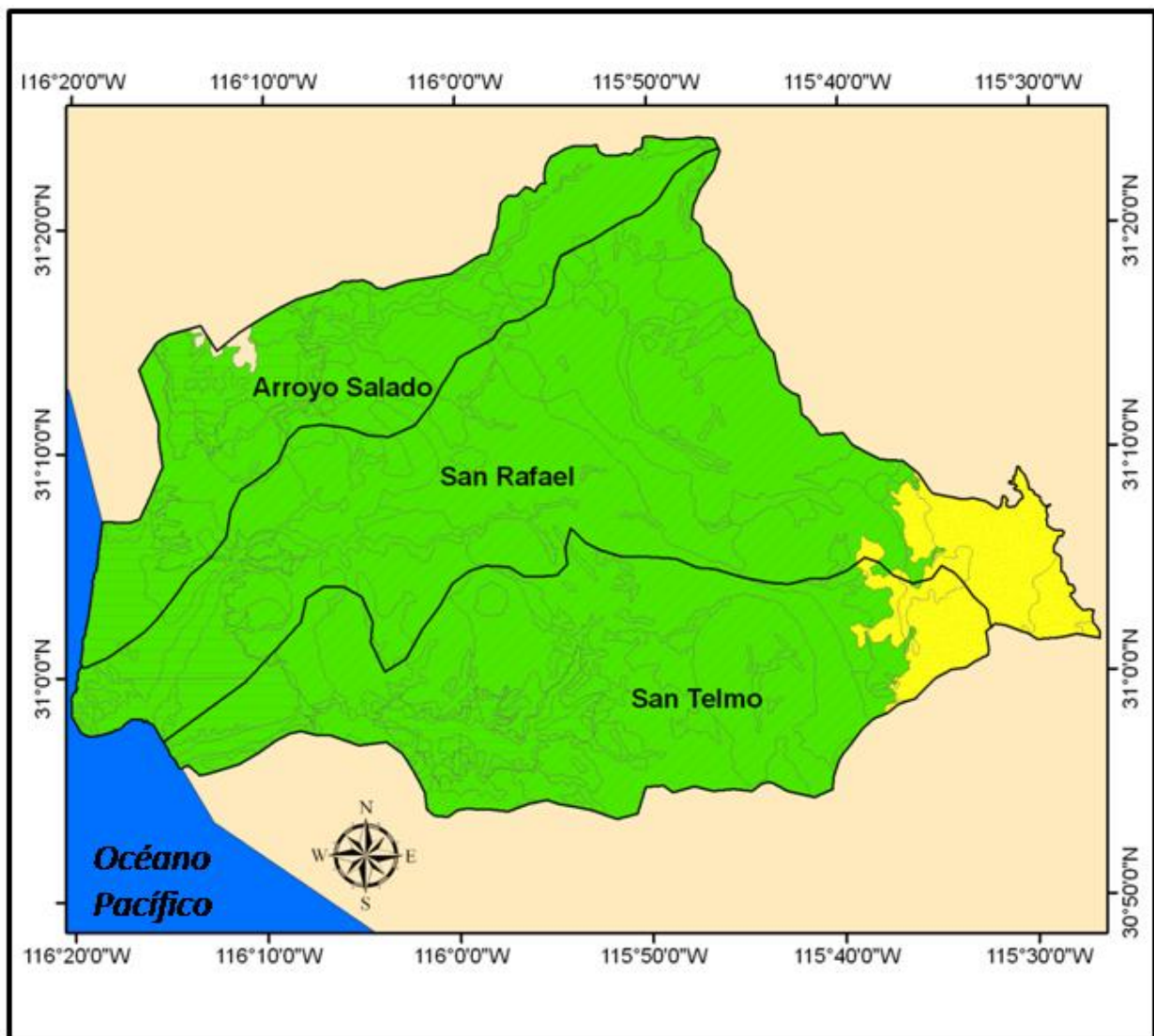


Fuentes de Información Geográfica

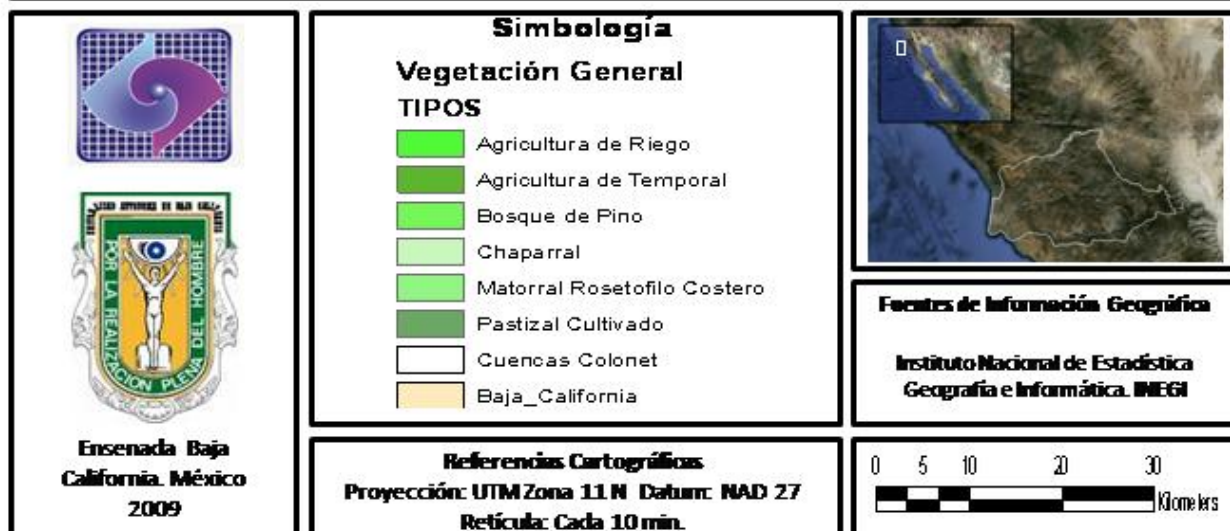
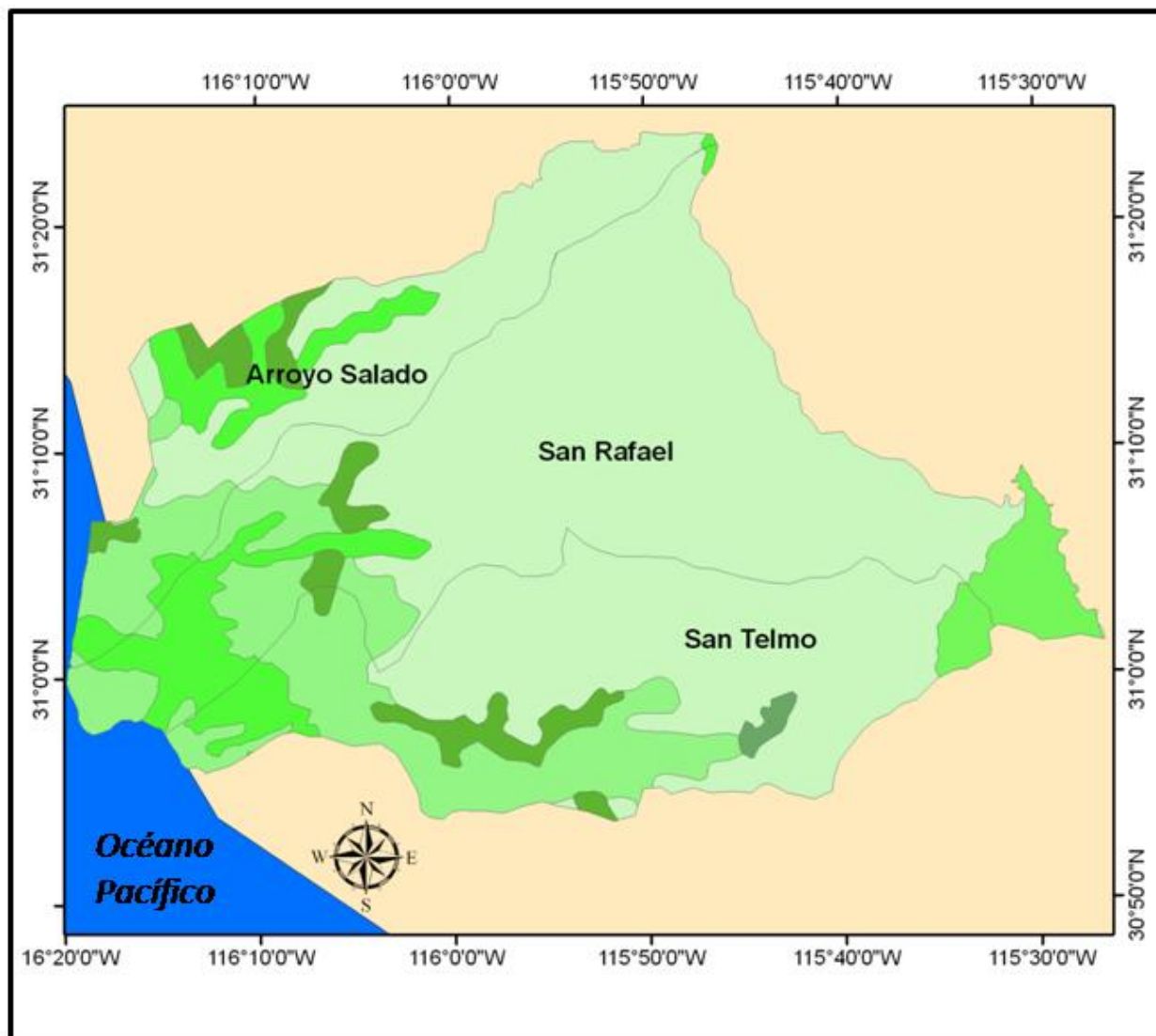
Instituto Nacional de Estadística
Geografía e Informática. INEGI



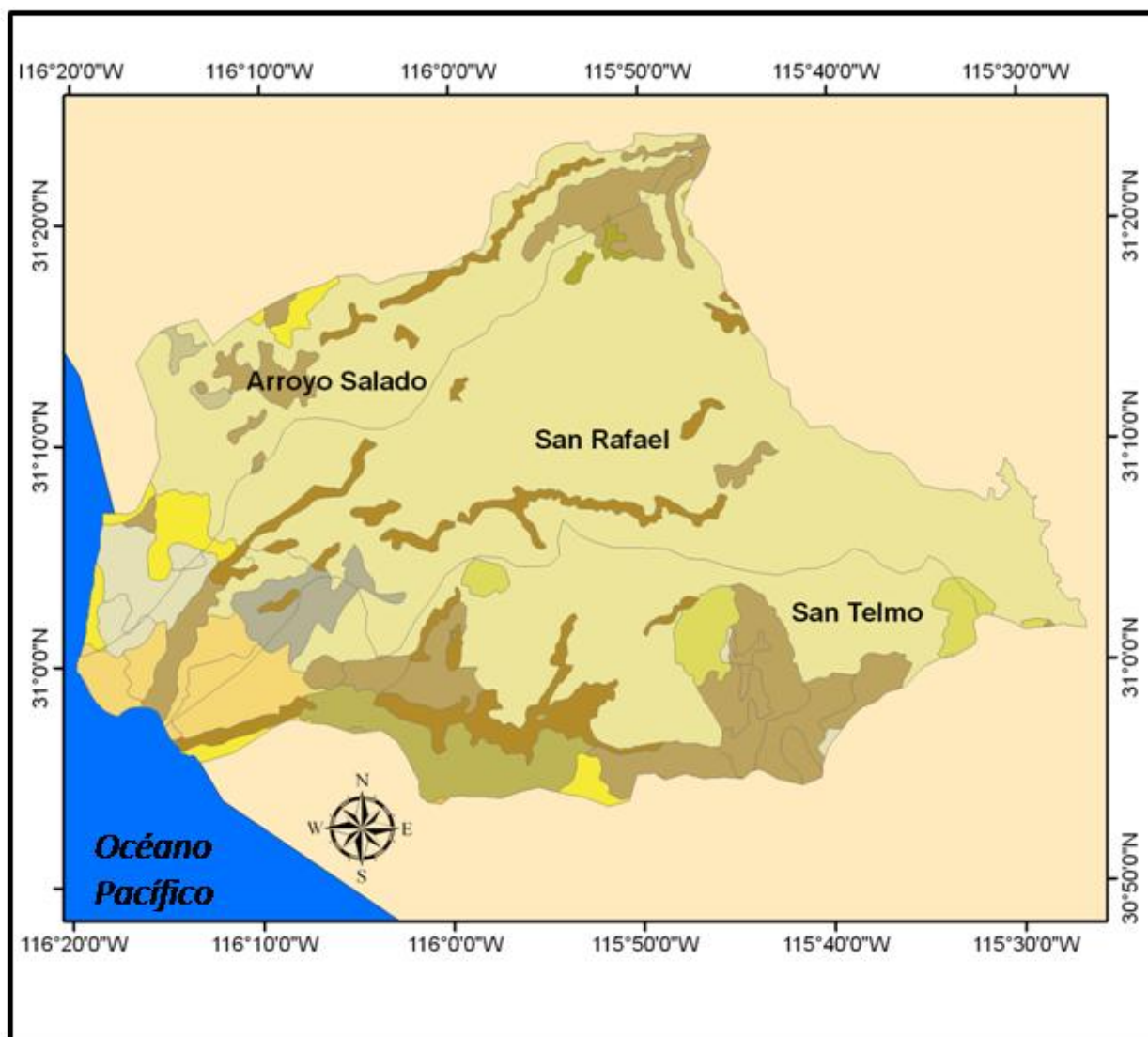
Mapa de zonas elegibles según criterios de prelación (CONAFOR)



Mapa general de vegetación de Punta Colonet B.C.



Mapa general de suelos de Punta Colonet B.C.



Ensenada Baja
California, México
2009

Simbología	
Edafología General	
DESCRIPCIO	
[Color]	GAMBIBOL EUTRICO
[Color]	FEQZEM HAPLICO
[Color]	FLUMBOL EUTRICO
[Color]	LITOBOL
[Color]	PLANOBOL EUTRICO
[Color]	REGOBOL EUTRICO
[Color]	RENDZINA
[Color]	BOLONGHAK ORTICO
[Color]	BOLONET ZALBICO
[Color]	VERTIBOL GROMICO
[Color]	XEROBOL HAPLICO
[Color]	XEROBOL LUMICO
[Color]	YERMOBOL HAPLICO
[Color]	Baja California

Referencias Cartográficas
Proyección: UTM Zona 11 N Datum: NAD 27
Retícula: Cada 10 min.

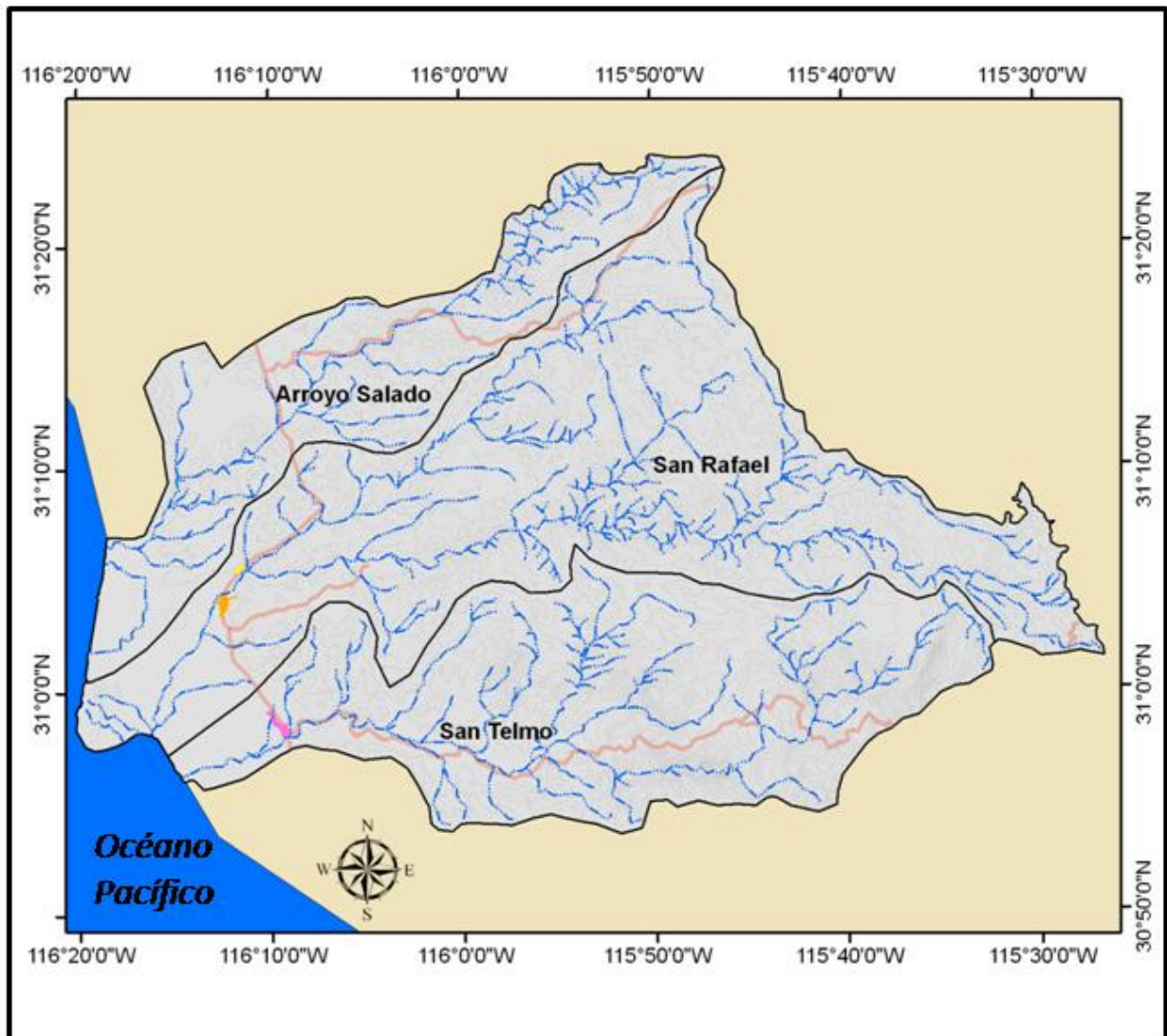


Fuentes de Información Geográfica

Instituto Nacional de Estadística
Geografía e Informática, INEGI

0 5 10 20 30
Kilometros

Mapa de hidrología Superficial de Punta Colonet. Ensenada B.C.



Ensenada Baja
California. México
2009

Simbología

- Esgurrimientos
- Curvas de Nivel
- Ejido 27 de Enero
- Ejido Díaz Ordáz
- Poblado Colonet
- Carretera
- Cuencas Colonet
- Baja_California

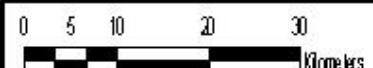
Referencias Cartográficas

Proyección: UTM Zona 11 N Datum: NAD 27
Reticula: Cada 10 min.

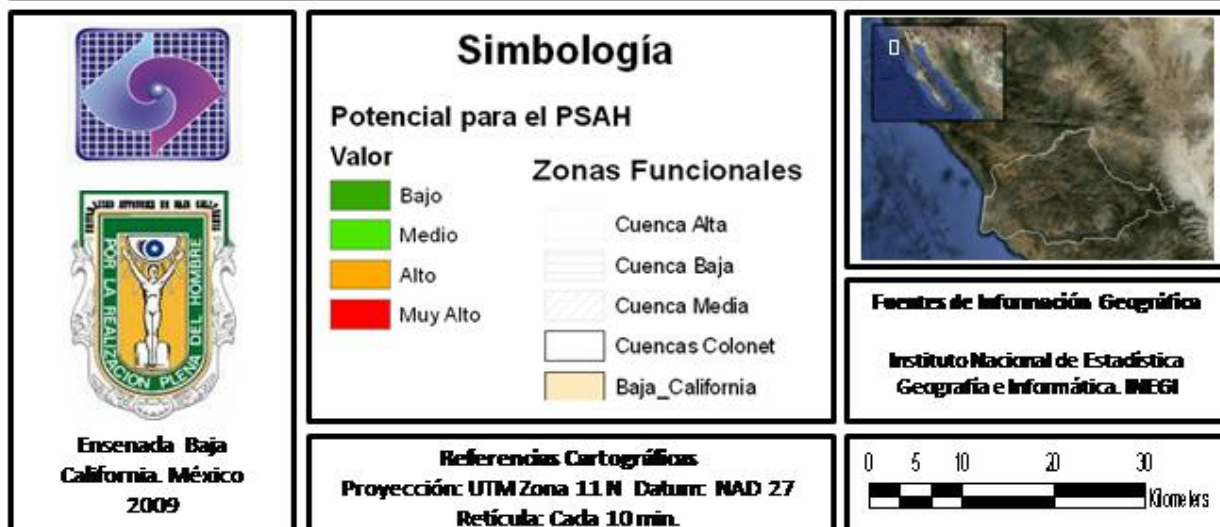
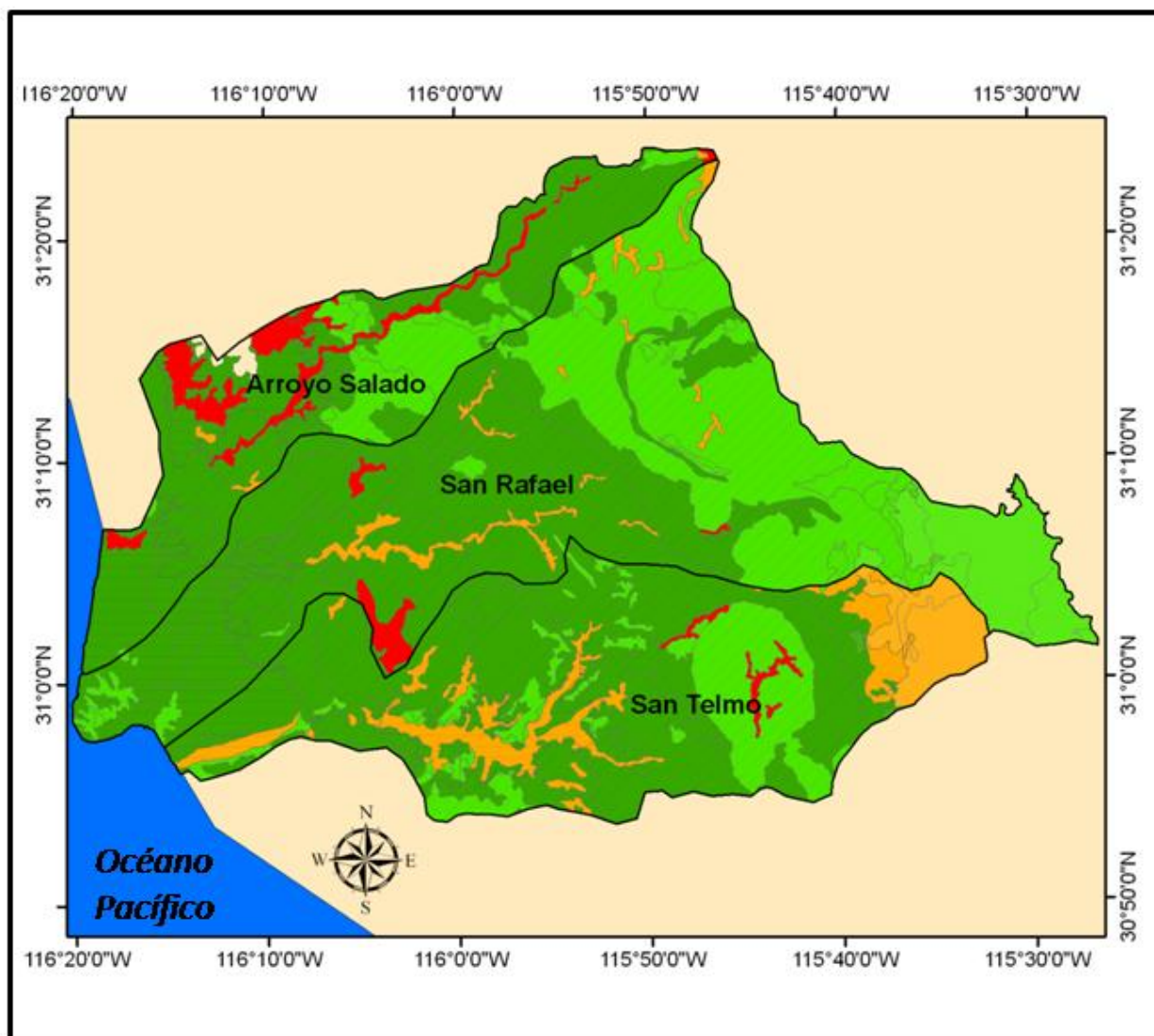


Fuentes de Información Geográfica

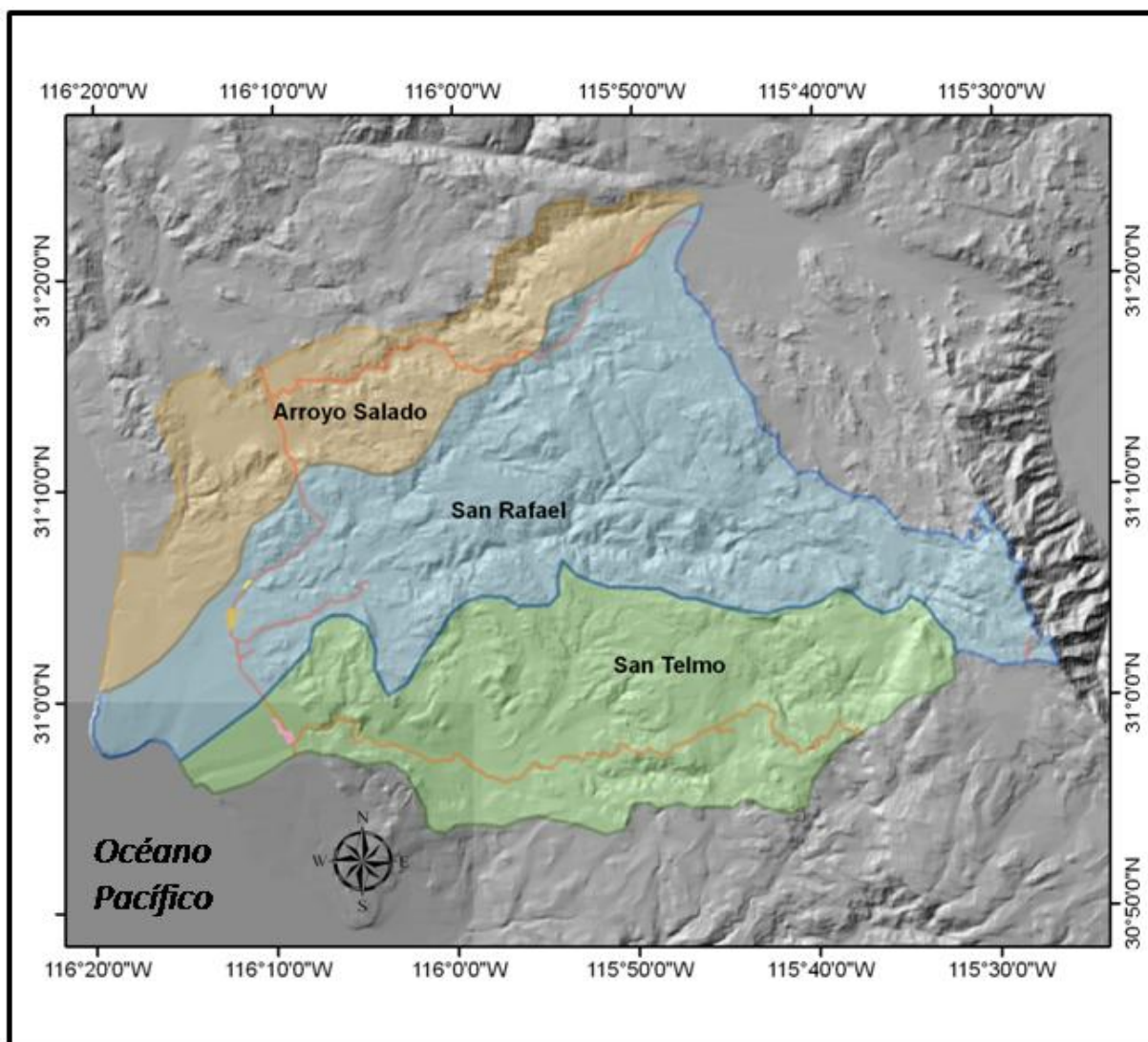
Instituto Nacional de Estadística
Geografía e Informática. INEGI



Potencial para el PSAH de Punta Colonet, Ensenada B.C.



Mapa de Subcuencas de Punta Colonet, Ensenada B.C.



Ensenada Baja
California, México
2009

Simbología

- Arroyo Salado
- San Rafael
- San Telmo
- Poblado Colonet
- Ejido 27 de Enero
- Ejido Díaz Ordáz
- Carretera

Referencias Cartográficas
Proyección: UTM Zona 11 N Datum: NAD 27
Reticula: Cada 10 min.



Fuentes de Información Geográfica

Instituto Nacional de Estadística
Geografía e Informática, INEGI

