



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

**Mercado de servicios ecosistémicos para
cuencas rural-urbanas**

Tesis

**Que como parte de los requisitos para obtener el Grado
de**

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Dora Beatriz Palma Hernández

Dirigido por:

Raúl Francisco Pineda López

Querétaro, Qro. a Octubre de 2019



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Mercado de Servicios Ecosistémicos para cuencas rural-urbanas

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:

Maestra en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta

Dora Beatriz Palma Hernández

Dirigida por:

Dr. Raúl Francisco Pineda López

Dr. Raúl Francisco Pineda López
Presidente

Dr. Víctor Hugo Cambrón Sandoval
Secretario

Dr. Alfredo Amador García
Vocal

Dra. Diana Patricia García Tello
Suplente

Mtro. Pablo Talamantes Contreras
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Octubre, 2019
México

RESUMEN

Actualmente la ciudad de Querétaro ha tenido un crecimiento exponencial, por lo que los habitantes cada vez demandan más servicios ecosistémicos. Sin embargo, hay un total desconocimiento de los beneficios, valor, importancia, costo y lo más importante, una desigualdad social. Esto provoca un desequilibrio ecológico ya que se deterioran los ecosistemas, se genera una pérdida de servicios ecosistémicos, se altera la estructura y función de las microcuencas, limitando el número de alternativas de manejo que aseguren la sustentabilidad del territorio. La Zona Occidental de Microcuencas es un Área Natural Protegida (ANP), cuenta con un capital ambiental significativo, la comprenden cuatro microcuencas que drenan hacia Querétaro, dentro de las cuales, la microcuenca El Nabo es la más pequeña en extensión, con mayor cobertura vegetal y poco acceso vehicular, siendo la zona más conservada de toda el ANP, por lo que se consideró para generar un panorama general de la provisión potencial de servicios ecosistémicos. Asimismo se realizó la valoración de captura de carbono por el método no destructivo y regulación hídrica calculando el caudal máximo para tres escenarios: actual, ideal y negativo, por el método racional. Posteriormente se determinó la demanda de los habitantes y se aplicaron encuestas para determinar la disponibilidad a pagar. A partir de los resultados se propone un mecanismo de gestión para la implementación de pago por servicios ambientales, con el fin de conservar, restaurar y aprovechar los recursos naturales sustentablemente y mejorar la calidad de vida de los habitantes, generando un equilibrio rural-urbano.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, Pago por servicios ambientales, evaluación, gestión de recursos naturales.

ABSTRACT

Currently, the city of Querétaro has had an exponential population growth, so the people increasingly demand more ecosystem services. However, there is a total ignorance of the benefits, value, importance, cost and most importantly, of a social inequality. This lack of knowledge causes an ecological imbalance as ecosystems deteriorate, generates a loss of ecosystem services, the structure and function of micro basins is altered, limiting the number of management alternatives that ensure sustainability of urban, periurban and rural territories. The Zona Occidental de Microcuencas is a Protected Natural Area (PNA), with a significant environmental capital, it incorporates four micro basins that drain to Queretaro, city. El Nabo micro basin is the smallest in extension, with original vegetation cover and almost nil vehicular access, being the most conserved area of the entire PNA, so it was considered to generate an overview of the potential provision of ecosystem services. Likewise, the carbon capture assessment was performed by non-destructive method and water regulation calculating the maximum flow for three scenarios: actual, ideal and negative, by the rational method. Subsequently, the demand of the people was determined and surveys were applied to determine the availability to pay. Based on the results, a management mechanism is proposed for the implementation of payment for ecosystem services sustainably and to improve rural and peri urban people wellbeing, generating a rural-urban balance.

Key words: ecosystem services, payment for environmental services, market for ecosystem services, natural resources management.

DEDICATORIA

Esta tesis se las dedico a mis padres, Alejandro Palma y Martha Hernández, por su apoyo, su respaldo en todas mis decisiones, sus consejos que me guían en esta bella vida, pero sobre todo por su amor incondicional.

A Ray, mi compañero de vida, por su gran apoyo, por motivarme y alegrarme todos los días haciéndome ver lo lejos que puedo llegar y especialmente por su gran amor.

A mis hermanos: David, Iskender, Armando y Alex que han sido un total ejemplo en mi vida, además de llenarme de alegría y orgullo.

Por último, a mi abu Dorita (mi corazón), de aquí al cielo, por todo su amor y siempre su bella sonrisa, sé que estarás orgullosa de mí.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, por la oportunidad y las facilidades brindadas para que este trabajo se pudiera lograr.

A CONACYT por darme el apoyo económico para estudiar este maravilloso posgrado.

Al Dr. Raúl Pineda, porque desde el primer día de clases, nos sumergió al mundo de cuencas. Gracias por ser mi mentor, por tus críticas constructivas, por tu sinceridad y por todo el apoyo para que esta tesis no se quedara en un sueño.

Al Dr. Juan Hernández, que desde el proceso de admisión tenía una montaña de dudas y siempre tenía paciencia para explicarme, también por todos sus consejos y su gran ayuda.

A mis sinodales, Víctor Cambrón, Alfredo Amador, Diana García y Pablo Talamantes, por ser guías en este trabajo.

A todos los profesores de la maestría, gracias por compartir su conocimiento y vivencias.

A mis padres que sin ellos no sería la persona que soy, gracias por ser el sostén de mi vida y por esforzarse en criar a personas de bien... creo que vamos por buen camino.

A Ray, gracias infinitas por simplemente estar y amarme tal y como soy. Por acompañarme en este sendero de la vida, incluso en los momentos más tormentosos, estoy segura que nos falta mucho por recorrer.

A mis compañeros de generación: Mitzi, Pao, Karlita, Gaby, Julio, Omar, Gabo, Javier, Nico y Jorge. Gracias por todas las aventuras vividas, por esos momentos en la microcuenca El Palmar, por Guatemala, por las pocas discusiones, pero sobretodo, gracias por ser parte de este pequeño viaje.

INDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
INDICE.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE CUADROS.....	VIII
INDICE DE ANEXOS.....	IX
Planteamiento del problema.....	1
Justificación.....	3
Preguntas de investigación.....	4
Objetivos.....	4
Objetivos específicos.....	4
Capítulo 1. Teoría conceptual de los servicios ecosistémicos.....	5
1.1 Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	8
1.2 Valoración de servicios ecosistémicos.....	9
1.3 Pago por Servicios Ambientales.....	11
Reflexiones finales.....	14
Capítulo 2. Panorama de los servicios ecosistémicos y su desarrollo.....	15
2.1 Servicios ecosistémicos. Situación mundial.....	15
2.2. Servicios ecosistémicos. Situación nacional.....	18
2.3 Servicios ecosistémicos en Querétaro.....	19
Consideraciones finales.....	21
Capítulo 3. Métodos y herramientas.....	22
3.1 Zona de estudio.....	24
3.2 Oferta.....	25
3.2.2 Captura de carbono.....	25
3.2.3 Regulación hídrica.....	28

3.2.3.1 Caudales pico por período de retorno	29
3.2.3.2 Volumen medio de escurrimiento anual en la microcuenca	29
3.2.3.3 Indicador para evaluación de impactos	30
3.3 Demanda	31
3.4 Mecanismos de gestión	32
Capítulo 4. Resultados y discusión	34
4.1 Oferta.....	34
4.1.1 Captura de carbono.....	35
4.1.2 Regulación hídrica.....	43
4.1.2.1 Caudales pico por período de retorno	46
4.1.2.2 Volumen medio de escurrimiento anual en la microcuenca	47
4.1.2.3 Indicador para evaluación de impactos.....	48
4.2 Demanda	49
4.2.1 Percepción Social.....	55
4.3 Mecanismo de gestión.....	57
4.3.1 Marco legal.....	61
4.3.2 Propuesta para la implementación del PSA	65
4.3.3 Implicaciones del Sistema de PSA	69
5. Conclusiones	70
Recomendaciones	73
Referencias bibliográficas	75
Anexos.....	81
Anexo 1. Apéndice Normativo “A” de la NOM-011-CNA-2015.....	81
Anexo 2. Infografía El Nabo	82
Anexo 3. Encuesta.....	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cascada de Servicios Ecosistémicos	8
Figura 2. Proceso metodológico para evaluar los SE en la microcuenca El Nabo	23
Figura 3. Ubicación de la Microcuenca El Nabo, Querétaro	24
Figura 4. Zonas aptas con puntos de muestreo aleatorios	36
Figura 5. Puntos de muestreo para captura de carbono	37
Figura 6. A) Alturas promedio por sitio, B) DAP promedio por sitio	40
Figura 7. A) Alturas promedio por especie, B) DAP promedio por especie	40
Figura 8. Potencial de carbono por sitio y por especie	41
Figura 9. Ubicación de estaciones meteorológicas alrededor de la microcuenca El Nabo	44
Figura 10. Uso de suelo y vegetación escenario actual	45
Figura 11. Uso de suelo y vegetación escenario negativo	45
Figura 12. Uso de suelo y vegetación escenario ideal	46
Figura 13. Perfil de elevación de la microcuenca El Nabo	47
Figura 14. Microcuenca de influencia Leyes de Reforma	51
Figura 15. Nivel de escolaridad de habitantes de la microcuenca de influencia	52
Figura 16. Conocimiento del área natural protegida	52
Figura 17. Afectación por inundación.....	53
Figura 18. Disposición a pagar	53
Figura 19. Cantidad dispuesta a pagar	54
Figura 20. Medio para recibir la aportación.....	54
Figura 21. Mapas de evaluación que ilustran la oferta, demanda y balance potencial de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Nabo	59
Figura 22. Componentes del esquema de PSA para la ZOM	66
Figura 23. Ejes principales para la implementación del esquema de PSA	67

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores de uso indirecto, de opción y de no uso relativos a los servicios ambientales.....	10
Cuadro 2. Argumentos en contra y a favor del PSA	12
Cuadro 3. Asistencia Financiera Alemana para los Programas de PSA en LAC...16	
Cuadro 4. Matriz de evaluación que ilustra las capacidades de suministro de servicios ecosistémicos de los diferentes usos de suelo	35
Cuadro 5. Especies encontradas en la microcuenca El Nabo	38
Cuadro 6. Diversidad Ecológica en los sitios muestreados de la microcuenca El Nabo	39
Cuadro 7. Cálculo de avenidas en la microcuenca El Nabo	46
Cuadro 8. Conversión de unidades y resultado de la estimación de escurrimiento medio anual de la microcuenca El Nabo.....	47
Cuadro 9. Matriz de evaluación que ilustra las demandas de los servicios ecosistémicos de la población que vive dentro de la Microcuenca El Nabo	50
Cuadro 10. Matriz de evaluación que ilustra el balance potencial de los servicios ecosistémicos de la microcuenca El Nabo. Elaboración propia.	58
Cuadro 11. Marco Legal Federal para la Protección y Manejo de Recursos Naturales	62
Cuadro 12. Marco Legal Estatal para la Protección y Manejo de Recursos Naturales	64

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Apéndice Normativo “A” de la NOM-011-CNA-2015..... 81

Anexo 2. Infografía El Nabo..... 82

Anexo 3. Encuesta..... 83

Dirección General de Bibliotecas UAG

Planteamiento del problema

Las cuencas hidrográficas son unidades físico-naturales que se utilizan cada vez más para el estudio y gestión de los recursos naturales (Walker *et al.*, 2006; Cotler & Caire, 2009). Las cuencas se dividen en zonas funcionales a partir de la función hidrológica que desempeñan: a) zona alta es el área de captación, b) zona media es el área de almacenamiento hídrico; y c) zona baja es la parte de descarga o salida (Brooks *et al.*, 2013).

A su vez, las cuencas proporcionan Servicios Ecosistémicos (SE), los cuales juegan un papel importante en las decisiones para el aprovechamiento de los recursos naturales, con un enfoque de sustentabilidad, con lo que al darle un valor de cambio competitivo con respecto a actividades económicas, facilita la toma de decisiones y la definición de estrategias de conservación y manejo de recursos naturales (Camacho & Ruiz, 2011).

Los SE son considerados esenciales para subsistir y sus mercados representan una nueva y potencial fuente sustentable de ingresos para la protección, conservación de ecosistemas y contribución al desarrollo económico (Sosa, Iglesias, y Alanís, 2007). Los SE se diferencian de los servicios ambientales, el primero se utiliza para enfatizar que los servicios se dan a partir de la interacción de elementos de los ecosistemas, mientras que el segundo es utilizado por instancias gubernamentales e incluye los servicios que son producto de acciones humanas (Balvanera y Cotler, 2007).

Los beneficios y costos que una cuenca provee, representan un valor económico diferente para cada uno de los actores involucrados. La parte alta y media de la cuenca, limitan o favorecen el mantenimiento del SE que presta el ecosistema, mientras que cuenca abajo se encuentran quienes están dispuestos a pagar por la generación de un servicio de calidad (Barzev, 2010).

No obstante, los habitantes utilizan los recursos naturales sin conocer el funcionamiento de estos, generando un desequilibrio ecológico que causa su falta de disponibilidad (Santillán, 2013). Por ello, la falta de un mercado para bienes y servicios ecosistémicos provoca que no exista una estimación económica que refleje cuánto cuesta producirlos, ni la cantidad de servicios producidos, lo cual limita el número de alternativas de manejo que aseguren la sustentabilidad del territorio (Torres & Guevara, 2002).

En los últimos años, las ciudades en México han sufrido un intenso crecimiento urbano que se ha expresado en la expansión de grandes zonas metropolitanas y en el desarrollo a veces desordenado de las ciudades medias del país (Hernández *et al.*, 2009). La ciudad de Querétaro ha tenido un gran desarrollo económico y social, como consecuencia, también un crecimiento poblacional acelerado y una tendencia de dispersión de urbanización muy marcada, provocando con ello un deterioro de los ecosistemas, pérdida de SE, alteración en la estructura y función de sus microcuencas (Felix, 2011). Entre 2000 y 2018, Querétaro ha tenido una tasa de crecimiento medio anual de 1.64%, convirtiéndolo en una zona metropolitana con más de un millón de habitantes (CONAPO, 2018).

En el 2014 el estado de Querétaro registró un déficit ambiental de siete mil metros cuadrados por habitante, esto quiere decir que consumimos más de lo que los ecosistemas producen, además de que existen alrededor de 400 mil hectáreas factibles para brindar servicios ecosistémicos; aunque, de éstas, solamente 90 mil reciben un subsidio ambiental hasta el momento (Tapia, 2014).

La Zona Occidental de Microcuencas (ZOM) perteneciente al Municipio de Querétaro, fue decretada en 2006 como Área Natural Protegida (ANP) de competencia municipal y está constituida por siete microcuencas (Puerto de Nieto, Potrero y Santa María del Zapote drenan hacia Guanajuato, mientras que Buenavista, Santa Rosa Jáuregui, El Nabo y Tlacote el Bajo) que drenan hacia Querétaro, la ZOM corresponde al 45% de las áreas de muy alta infiltración del

municipio de Querétaro, con riqueza de flora importante ya que hay bosque de encino conservado brindando servicios ecosistémicos (CONACYT, 2014).

De acuerdo a los Planes de Manejo y a los Planes Rectores de Producción y Conservación de estas microcuencas, existen problemáticas principalmente de degradación de recursos naturales, suelo, agua, deforestación, cambios en el uso de suelo y erosión, así como una migración intermitente a la ciudad de Querétaro para emplearse en trabajos relacionados al sector secundario y terciario (Pineda *et al.*, 2005). En general, las comunidades tienen problemas de marginación, además de carecer de gran cantidad de servicios, educación y falta de oportunidades de empleo que restringen por completo el desarrollo de las comunidades (Geografía Ambiental, 2016). Sin embargo, de las cuatro microcuencas que drenan hacia Querétaro, la microcuenca El Nabo es la más pequeña en extensión con 26.28 km², del cual el 51.56% es de cobertura vegetal, además de que cuenta con poco acceso vehicular, siendo la zona más conservada de toda el ANP, por lo que se consideró como base para este estudio y proponer posteriormente la extrapolación al resto de la ZOM.

Justificación

Debido a la desigualdad social y problemas ambientales como las inundaciones, el deterioro ecológico debido a la migración y la presión urbana que existe en la ciudad de Querétaro, es necesario realizar una evaluación de SE en las cuencas pertenecientes a la ZOM, así como determinar la demanda y una propuesta de mercado, lo cual permitirá comprender su valor e importancia, con el fin de poder proteger y preservar a largo plazo los recursos naturales a través de un estímulo, como es el pago por servicios ambientales. Esto no solamente le conviene a la ciudad de Querétaro, sino a las comunidades vecinas, ya que la ciudad es la que podrá pagar, y ese recurso podrá ser destinando a estas comunidades para que los habitantes de la cuenca mejoren su calidad de vida y de esta manera igualar las condiciones de supervivencia y desarrollo socioeconómico de los habitantes generando un equilibrio rural-urbano. Además la ZOM no cuenta por el momento

con un instrumento de planeación y regulación que establezca las actividades, acciones y lineamientos básicos para su manejo y administración.

Preguntas de investigación

¿Qué cantidad de servicios ecosistémicos provee la ZOM y cuál es su valor económico? ¿Qué servicios ecosistémicos son más demandados por los habitantes? ¿Puede ser la ciudad de Querétaro un mercado de los servicios ecosistémicos de la ZOM?

Objetivos

Evaluar la oferta y la demanda de los servicios ecosistémicos en la Zona Occidental de Microcuencas como base para el desarrollo e implementación de su mercado en la ciudad de Querétaro.

Objetivos específicos

1. Establecer la oferta de servicios ecosistémicos de las Microcuencas de Querétaro pertenecientes a la Zona Occidental de Microcuencas
2. Determinar la demanda de los habitantes urbanos por servicios ecosistémicos
3. Realizar una propuesta para construir un mercado de SE que favorezca una mejor equidad rural-urbana.

Capítulo 1. Teoría conceptual de los servicios ecosistémicos

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (1992), la cuenca hidrológica es considerada como unidad del territorio delimitada por un parteaguas, en donde el agua se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior. En este espacio coexisten los recursos: agua, suelo, flora, fauna y otros recursos naturales, los cuales brindan servicios ecosistémicos.

En la década de los 60, durante el movimiento ambientalista de Estados Unidos, aparece el concepto de servicios ecosistémicos (Daily, 1997). En esta época, debido a la crisis ambiental, se inician cuestionamientos acerca de los impactos en la capacidad del planeta para mantenerse y producir suficientes bienes para ser consumidos por las poblaciones humanas, por lo que se hace un esfuerzo por comunicar a los tomadores de decisiones y al público en general acerca del estrecho vínculo entre el bienestar humano y el mantenimiento de las funciones básicas del planeta (Patricia Balvanera & Cotler, 2007)

Posteriormente, los trabajos de Daily (1997) y Costanza *et al.* (1997) trazaron el camino conceptual de los SE, centrándose en la relación del ser humano, el uso y los beneficios derivados de los ecosistemas, dando la oportunidad de discutir el rol que tienen los ecosistemas para el soporte de la vida y su posible mercadeo.

A partir del año 2000, estas contribuciones se asientan en un nivel local, para proyectar que los habitantes asimilen la valoración de los bienes y servicios ecosistémicos (Quétier *et al.*, 2007).

Para ayudar a comprender los efectos que el ser humano tiene sobre los ecosistemas, el valor que estos tienen y la posibilidad de que se puedan involucrar en la toma de decisiones para promover el manejo integrado de los recursos naturales, existen diversas definiciones de Servicios Ecosistémicos que se presentan a continuación:

- De acuerdo con Daily (1997), los SE son las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo conforman, sostienen y nutren a la vida humana.
- Costanza (1997), define a los SE como los bienes y servicios de los ecosistemas, que representan los beneficios que la población humana obtiene, directa o indirectamente de las funciones de los ecosistemas.
- De Groot (2002), explica que los SE son las funciones del ecosistema que estén relacionadas con la capacidad de aquello que satisfacen directa o indirectamente las necesidades de la población.
- La Evaluación de Ecosistemas de Milenio (EM) (2005) considera a los SE como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. De acuerdo a este concepto, la EM argumenta que dichos servicios incluyen: los bienes o recursos naturales, los procesos ecosistémicos que regulan las condiciones ambientales, la contribución de los ecosistemas a experiencias que benefician a las sociedades y los procesos ecológicos básicos que permiten que se provean los anteriores (MEA, 2005 y Maass *et al.* 2005).
- Para Boyd y Banzhaf (2007), los SE son únicamente aquellos procesos ecológicos que se incorporan en la producción de los productos y servicios que usa la gente. Es decir, los que son directamente consumidos y contribuyen al bienestar humano.
- Sukhdev *et al.* (2014), define a los SE como la contribución directa (servicios finales) o indirecta (servicios intermedios) de los ecosistemas al bienestar humano

La relevancia del concepto de SE para el manejo de los ecosistemas reside en que éstos pueden ser considerados como indicadores de calidad o capacidad de un ecosistema para la provisión de un beneficio específico a un actor social determinado (Quétier *et al.*, 2007).

Cabe mencionar que algunos trabajos han sido particularmente importantes en los aspectos conceptuales, interdisciplinarios y jurídicos. Tal es el caso de

Balvanera y Cotler (2007) quienes en su trabajo reúnen diversos enfoques del creciente campo de los servicios ecosistémicos, presentando una perspectiva de los principales retos para el desarrollo de la investigación y la toma de decisiones en el campo. Estos enfoques consideraron cuatro aspectos: el primero es la búsqueda de marcos conceptuales y metodológicos inter o transdisciplinarios; el segundo es el análisis de los distintos servicios que provee un ecosistema o un componente particular del ecosistema; el tercero es el de valoración económica y el cuarto incluye el análisis de experiencias concretas.

Asimismo, existe la cascada de SE sugerida por Haines-Young y Potschin (2010), la cual es un modelo que brinda oportunidades y ventajas para desarrollar un marco que explique los vínculos entre los objetivos de desarrollo propuestos por el proceso de planificación espacial, el logro de las metas de sostenibilidad perseguidos por las evaluaciones ambientales estratégicas (EAE) y el papel de cada paso de la cascada para la generación final de beneficios para la sociedad (Rozas *et al.*, 2019).

En la Figura 1, se muestra la cascada de SE, su representación simplificada comienza desde: 1) Las estructuras y procesos del ecosistema presentes en este caso de la cuenca; su biodiversidad y las interacciones entre componentes bióticos y abióticos; 2) las funciones del ecosistema, definido como las interacciones ecológicas de los componentes del ecosistema, el potencial de proporcionar SE; 3) suministro de SE; 4) generación de beneficios para el bienestar humano; 5) la traducción de esos beneficios en valores para los actores. Este modelo comunica principalmente la dependencia social de los ecosistemas (Rozas *et al.*, 2019).

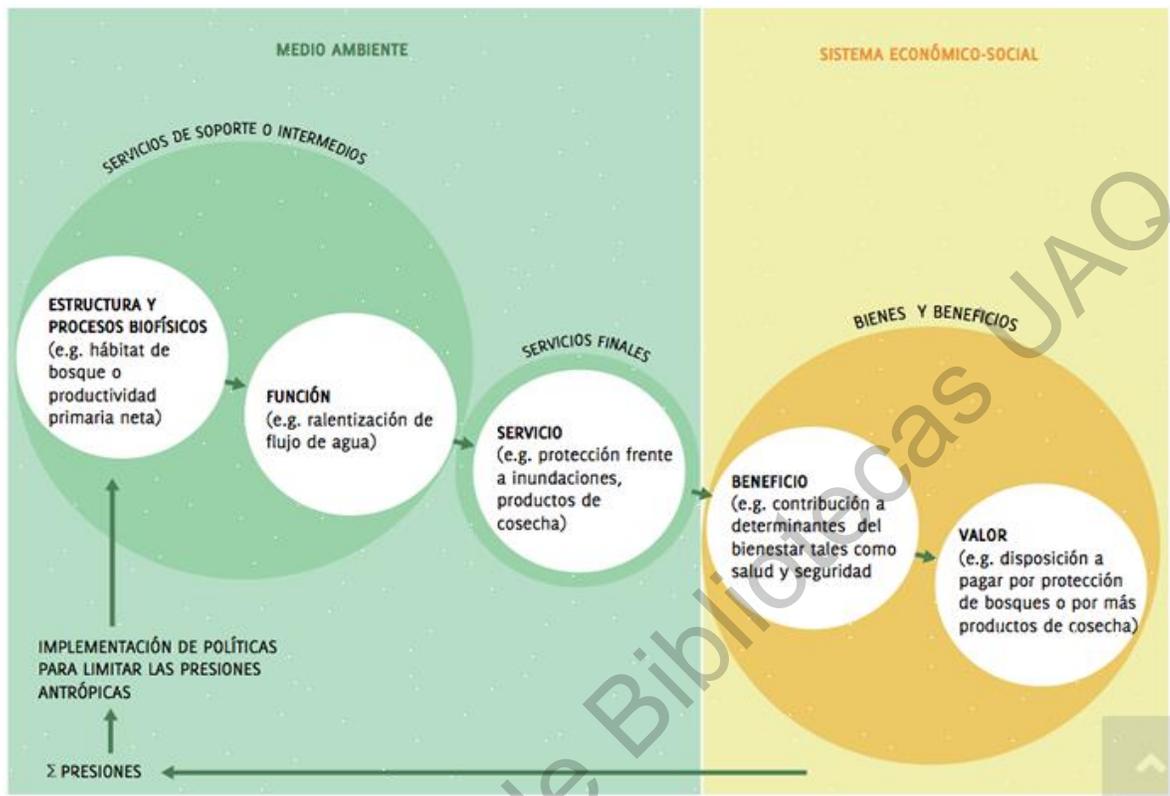


Figura 1. Cascada de Servicios Ecosistémicos. Fuente: Haines-Young & Potschin (2013)

1.1 Clasificación de los servicios ecosistémicos

Debido a que el origen del concepto es reciente, no existe en la actualidad una clasificación universal. Sin embargo, algunos autores han realizado intentos de clasificación, dentro de los principales se encuentra el de Costanza *et al.* (1997) que define 17 servicios ecosistémicos asociado a las funciones de los ecosistemas, De Groot *et al.*, (2002) establece una clasificación de 23 funciones básicas en cuatro categorías de las que se derivan diferentes bienes y servicios. La MEA (2003) divide a los servicios en: aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte, esta es la clasificación más difundida y aceptada. Por su parte, Wallace (2007) propone cuatro categorías de valores humanos y su vínculo con los servicios ecosistémicos. A su vez, Turner (2008) clasifica a los SE en servicios intermedios y servicios finales relacionando la dependencia que tenga el servicio

con el bienestar humano. Finalmente, la Agencia Ambiental Europea presenta tres niveles principales de clasificación: 1) provisión, 2) regulación y mantenimiento y 3) cultural (Haines-young & Potschin, 2013).

1.2 Valoración de servicios ecosistémicos

El valor de los servicios es importante en la economía e incluye los valores de uso directo e indirecto (Manson & Moreno-Cassasola, 2006). Habitualmente los bienes ambientales que consumimos (madera, frutos, agua, suelo, entre otros) tienen un valor económico en el mercado, sin embargo, aún no se reconoce plenamente el valor de otros servicios cuyos beneficios son indirectos; tal es el caso de servicios como el secuestro de carbono, la regulación del clima, belleza escénica y el control de la erosión (CONABIO, 2009). La falta de valor otorgado actualmente a los servicios de los ecosistemas explica, al menos en parte, la sobreexplotación y la degradación de los ecosistemas que los proporcionan (Álvarez *et al.*, 2003).

La valoración de los servicios del capital natural consiste en determinar las diferencias que los cambios hacen al bienestar humano, teniendo valor en la medida en que cambian los beneficios asociados con las actividades humanas o cambian los costos de esas actividades. Estos cambios en los beneficios y costos tienen un impacto en el bienestar humano a través de mercados establecidos o por medio de actividades no mercantiles (Costanza *et al.*, 1997).

El valor económico de un recurso natural asume un papel importante como medida proteccionista del uso de los recursos naturales, como mecanismo para medir las externalidades, como método para reclamar indemnizaciones por la vía judicial y como forma de protección ambiental. Los métodos indirectos de valoración calculan el valor económico del recurso ambiental basándose en el precio de mercado de los productos afectados por las alteraciones ambientales. Los métodos directos de valoración simulan mercados hipotéticos para evaluar directamente la disposición de las personas para pagar por el bien o servicio

ambiental. Los resultados de los métodos de valoración económica de los recursos naturales son expresados en valores monetarios, por ser la medida patrón de la economía (Barbosa *et al.*, 2011).

Cristeche (2008), aborda los métodos de valoración de los bienes y servicios ambientales, desarrollando el concepto de Valor Económico Total (VET), sus componentes y métodos de valoración económica asociados a los mismos, a su vez, analiza los métodos de valoración indirecta y directa.

El Cuadro 1, proporciona una clasificación aproximada en categorías de los beneficios procedentes de servicios ambientales, agrupados en función del tamaño y el tipo de valor. Estos beneficios tienen lugar a nivel local y mundial y pueden generarse inmediatamente o a un largo plazo.

Cuadro 1. Valores de uso indirecto, de opción y de no uso relativos a los servicios ambientales

	VALOR DE USO INDIRECTO	VALOR DE OPCIÓN	VALOR DE NO USO
Beneficios locales externos	<ul style="list-style-type: none"> • Protección de la cuenca hidrográfica, del suelo y lucha contra las inundaciones • Calidad del agua • Reciclaje del agua y los nutrientes • Fertilidad del suelo • Resistencia a plagas y enfermedades • Valores estéticos, culturales y espirituales 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de la biodiversidad agrícola para potenciales usos en el futuro 	<ul style="list-style-type: none"> • Valores estéticos, culturales y espirituales
Beneficios mundiales	<ul style="list-style-type: none"> • Mitigación del cambio climático 	<ul style="list-style-type: none"> • Material genético que puede ser usado para la agricultura, la medicina o con otros fines en el futuro 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación de la biodiversidad y la preservación de las especies

Fuente: Adaptado de FAO (2004).

La valoración económica permite transmitir a los tomadores de decisiones mensajes claros acerca de la importancia de los servicios, convirtiéndolo en

dinero. Además de que existe una interacción entre instancias gubernamentales, sector privado y sociedad, pudiendo estar todos involucrados en la toma de decisiones.

1.3 Pago por Servicios Ambientales

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) es un instrumento colaborador para lograr una asignación más eficiente de los recursos naturales a nivel de cuencas (Wunder, 2006). Es de carácter económico, en el cual los usuarios de servicios ambientales, pagan por la conservación de los recursos, y los propietarios de las tierras reciben el pago de forma directa. Esto con el fin de contribuir a la reducción de las externalidades, a la estimulación de la toma de conciencia de la sociedad de la necesidad de conservar la biodiversidad y evitar su deterioro y la reducción de la pobreza (Carrillo, 2009).

Wunder (2007) presenta una descripción de los PSA que permite entender, a través del análisis de varios casos desarrollados a nivel mundial, la lógica que subyace a este esquema, sus alcances y características, las condiciones y requerimientos para su implementación, así como de restricciones y limitantes que se presentan para su puesta en marcha. Su trabajo presenta argumentos en contra donde explica que la gente podría abandonar su vida tradicional, separando la conservación del desarrollo, así como la lucha de poder; y argumentos a favor, como el que el PSA ofrece incentivos económicos por adoptar prácticas sostenibles de uso de la tierra y que nunca ha impedido a los pobladores locales usar todo su terreno, sólo las partes ambientalmente sensibles.

El cuadro 2 ofrece un resumen de los principales argumentos esgrimidos a favor y en contra del PSA, según Wunder (2007).

Cuadro 2. Argumentos en contra y a favor del PSA

En contra	A favor
<i>Los pagos directos podrían inducir a la gente a abandonar sus medio de vida tradicionales y a separar la conservación del desarrollo</i>	El PSA no necesariamente reduce las actividades, ni aun cuando se promueve la conservación. Un esquema en Costa Rica, Nicaragua y Colombia, por ejemplo, promueve la introducción activa de prácticas silvopastoriles en pastizales sin árboles, lo cual implica inversiones ambientales en el paisaje y, por ende, mejora las fuentes de empleo (Pagiola et al., 2005). Aún los PSA que realmente reducen la cantidad de actividades aportan dinero a zonas marginales con flujos reducidos de dinero en efectivo o dólares a economías nacionales deprimidas. Es probable que los efectos multiplicadores superen el efecto reductor de las opciones de uso de la tierra en el desarrollo
<i>La distribución asimétrica del poder permite que poderosos consorcios que favorecen la conservación arrebatan a las comunidades sus aspiraciones de progresar y las conviertan en rentistas pasivos de la conservación</i>	El dinero para la conservación que se distribuye a nivel local nunca ha alcanzado los niveles de una "renta", como sí se da en el caso del petróleo y los minerales. A la vez, un PSA nunca ha impedido a los pobladores locales usar todo su terreno, sólo las partes ambientalmente sensibles. En consecuencia, el escenario de comunidades convertidas en rentistas pasivos es totalmente irreal
<i>El PSA echará por la borda los logros que con tanto esfuerzo se han alcanzado con las prácticas de manejo forestal</i>	El PSA ofrece incentivos económicos por adoptar prácticas sostenibles de uso de la tierra. Por eso, más bien podría complementarse con el manejo forestal sostenible, en vez de competir con él.
<i>La conservación comercial puede erosionar valores de conservación no monetarios y culturalmente arraigados</i>	Los valores de conservación culturalmente arraigados normalmente no son suficientes, quienes manejan la tierra también quieren obtener beneficios financieros positivos. Por otra parte, cualquier esquema de PSA debe asegurarse de no poner en peligro incentivos de conservación ya existentes

Fuente: adaptado de Wunder (2007).

También Wunder (2006), hace una definición, términos y rasgos claves de PSA, la manera de evaluar la eficiencia y el balance que debe tener con la equidad, los escenarios de uso de tierra en el que se emplea, a quién pagar a partir de tres aspectos relacionados: cadena de valor agregado, inseguridad en la tenencia de la tierra y uso ilegal del recurso, y el método de pago que puede ser en efectivo o en especie.

El agua, el aire, la regulación del clima y la provisión de alimentos y de valores culturales son algunos de los servicios ambientales que nos brindan los ecosistemas forestales. Por su importancia, el gobierno mexicano considera como una prioridad la ejecución de obras destinadas a la conservación, protección y generación de estos bienes y servicios. El Programa de PSA es implementado por la CONAFOR como una política pública para la conservación y uso sustentable de los ecosistemas que garanticen en mediano y largo plazo la generación de los servicios ambientales necesarios para el bienestar y desarrollo del país (CONAFOR, 2016).

La CONAFOR (2016), ha diversificado el programa de PSA siguiendo tres esquemas:

1. El Programa Nacional: apoya a los dueños o poseedores de los terrenos forestales que tienen ecosistemas ubicados en áreas identificadas con altos valores ambientales.
2. Los mecanismos locales: funcionan a través de fondos concurrentes y promueven la suma de recursos financieros mediante alianzas entre CONAFOR, organizaciones de la sociedad civil, empresas, gobiernos estatales y municipales con visión de cuenca hidrológica y corredor biológico.
3. Fondo Patrimonial de Biodiversidad: es un programa de PSA de largo plazo, creado con fuentes de financiamiento internacional y nacional que apoya a áreas con biodiversidad de importancia a nivel mundial.

Los beneficiarios de estos PSA se comprometen a conservar el ecosistema forestal y evitar el cambio de uso de suelo, a contar con una brigada para la prevención y combate de incendios y para efectuar monitoreo de plagas y enfermedades, invirtiendo los recursos en buenas prácticas de manejo.

Reflexiones finales

Mantener las funciones ecológicas, sociales y económicas de las cuencas, propiciará un manejo apropiado, brindando beneficios a la población como son los servicios ecosistémicos, desde el parteaguas hasta las partes bajas. Sin embargo, al reconocer que habitamos en una cuenca, somos los principales generadores de impactos acumulativos.

La importancia de trabajar con enfoque de cuencas radica en que se pueden cuantificar y evaluar los servicios ecosistémicos así como los efectos de las diferentes actividades del hombre, ya que es un marco apropiado para la planeación y aplicación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales generados por un uso desordenado de los recursos naturales y donde se facilita la gestión ambiental (CONAFOR, 2007). Cabe mencionar que estos bienes y servicios que los ecosistemas proporcionan son vitales por lo que es necesario invertir en nuestro capital natural para nuestro bienestar y generar un desarrollo económico y social a largo plazo.

Con otras palabras, la cascada de los servicios ecosistémicos conecta las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que afectan al bienestar humano. De esta forma se demuestra que se requieren de estructuras funcionales de los ecosistemas de una cuenca para la generación de servicios ecosistémicos y los beneficios asociados a ellos, por lo que es necesario proteger y conservar los ecosistemas que nos dan soporte.

Aunque hay desafíos biofísicos y sociales cuando se utilizan las cuencas como unidades de manejo, éstas proporcionan un contexto ideal dentro del cual se pueden conceptualizar y gestionar los servicios ecosistémicos (Bennett et al., 2013).

Capítulo 2. Panorama de los servicios ecosistémicos y su desarrollo

En este apartado se muestran los estudios, enfoques y planteamientos que se han desarrollado sobre los SE, de esta manera se tiene una aproximación general, considerando aspectos mundiales, nacionales y locales. También, se expone la forma en que se implementó el sistema de Pago por Servicios Ambientales en México, así como los primeros casos de estudio en donde instauraron este sistema como estrategia de manejo de los recursos naturales. Finalmente se mencionan trabajos con buenas prácticas de manejo que se han realizado en la ZOM.

2.1 Servicios ecosistémicos. Situación mundial

En años recientes, ante el acelerado deterioro del entorno y a un mayor entendimiento de los beneficios que los ecosistemas y sus funciones representan para la sociedad, se ha planteado la necesidad de buscar instrumentos a largo plazo de los servicios ecosistémicos y que permitan dar un paso más hacia el desarrollo sustentable (Álvarez *et al.*, 2003).

En el año 2007, los ministros del medio ambiente Asociados de Naciones Unidas de la reunión de países del G8+5, dieron origen a un proyecto denominado *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, donde se desarrollaron pautas de gestión urbana ofreciendo un punto de partida para la evaluación local de los SE, incluyendo la evaluación de los SE y cambios esperados en su disponibilidad y distribución, identificación de los SE más relevantes con prioridades políticas y la evaluación de impacto de las opciones de los diferentes grupos de la comunidad (TEEB, 2018).

En la actualidad se pueden distinguir cuatro tipos de enfoques al estudio de los servicios ecosistémicos (Patricia Balvanera & Cotler, 2007): 1) búsqueda de marcos conceptuales y metodológicos inter o transdisciplinarios para el estudio de los SE; 2) análisis detallado de componentes y procesos del ecosistema

involucrados en la provisión de servicios, así como de aspectos socio-económicos que determinan la forma en la que los ecosistemas son manipulados para múltiples casos de estudio y permita identificar patrones generales así como aquellos particulares a ciertas condiciones ecológicas; 3) valoración económica que permite transmitir a los tomadores de decisiones mensajes claros acerca de la importancia de los servicios en términos económicos; 4) análisis de experiencias concretas conducentes a modificar los patrones actuales de toma de decisiones en la búsqueda de opciones que permitan maximizar el mantenimiento de los servicios.

En todo el mundo en desarrollo, existe una pequeña pero creciente cantidad y variedad de pagos por servicios ambientales y otras formas de compensación o recompensas que deben ser exploradas (Swallow, Mienzen, & Miene, 2006)

La mayoría de las aplicaciones prácticas se han enfocado en el manejo de recursos hídricos a nivel cuenca, con la finalidad de introducir mecanismos de mercado para compensar a los propietarios de tierras río arriba para mantener o modificar un uso particular de suelo. La Cooperativa Financiera Alemana (FC), ha puesto en marcha varios programas en América Latina desde mediados de la década de 1990, en algunos casos conjuntamente con la Agencia Alemana para la Cooperación Técnica (Hartmann & Petersen, 2005). El cuadro 3 ofrece un panorama general de los programas alemanes de PSA vigentes.

Cuadro 3. Asistencia Financiera Alemana para los Programas de PSA en LAC.

País y region	Agencias participantes	Contribución al costo del programa (millones de US\$)	Tipos de uso del suelo promovidos mediante subsidios
Honduras/Reserva de la biosfera del Río Plátano	Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR), KfW, GTZ	11.5	Café cultivado a la sombra, mejora de pasturas para ganado

País y region	Agencias participantes	Contribución al costo del programa (millones de US\$)	Tipos de uso del suelo promovidos mediante subsidios
Costa Rica / Huerta Norte	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Banco Mundial, GEF, KfW	12.7	Reforestación, protección de bosques existentes, manejo forestal sostenible
Colombia / Cuenca del Río Magdalena	Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FEDERACAFÉ), KfW	28.1	Reforestación, siembra de enriquecimiento, regeneración forestal natural, café de cultivo a la sombra
Ecuador / Cordillera Chongón –Colonche	Fundación Natura, KfW	9.6	Reforestación, siembra de enriquecimiento cacao y café de cultivo a la sombra, mejora de pastura para ganado, control forestal comunal
Ecuador / Reserva de la biósfera del Gran Sumaco	Ministerio del Ambiente, GTZ, KfW, DED	9.6	Cacao y naranjilla de cultivo a la sombra, mejora de pasturas para ganado, reforestación
Perú / Jaén- San Ignacio-Bagua	Instituto Nacional de Desarrollo (INADE)/Proyecto Especial Jaén-San Ignacio-Bagua (PEJSIB), GTZ, KfW	6.4	Cacao y café de cultivo a la sombra, reforestación
Chile / regiones VII-XI	CONAF	17.9	Siembra de enriquecimiento, manejo forestal sostenible
Paraguay / regiones central y oriental	Ministerio de Agricultura, Dirección Nacional de Coordinación y Administración Proyectos (DINCAP), KfW, GTZ	9.6	Conservación de suelos (cultivo sin arado), reforestación, regeneración forestal natural
República Dominicana / Cuenca Alto Río Yaque del Norte	Ministerio de Agricultura, KfW, GTZ, DED	8.9	Reforestación, café de cultivo a la sombra

Fuente: Hartmann & Petersen, 2005.

En Latinoamérica, se reconoce el liderazgo de Costa Rica en tema de servicios ecosistémicos, ya que este país ha adoptado en su legislación (Ministerio del Ambiente y Energía, 1996), la valoración e incorporación a las cuentas nacionales de los servicios ambientales producidos por el bosque y la vegetación en general, estableciendo mecanismos de compensación económica basado en el principio “el que se beneficia paga” (González & Riascos, 2007).

2.2. Servicios ecosistémicos. Situación nacional

En México el esquema de PSA, ha sido desarrollado por el Gobierno Federal a través de la CONAFOR y diversos socios importantes como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), su finalidad es impulsar el reconocimiento del valor de los SA que proporcionan los ecosistemas forestales, agroforestales y recursos naturales, además de apoyar a la creación de mercados, comunidades, ejidos, Asociaciones Regionales de Silvicultores y a propietarios de terrenos forestales (CONANP, 2010).

La CONAFOR (2009) menciona que el pago por servicios ambientales (PSA) fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejido, comunidades y pequeños propietarios) para apoyar las prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo (deforestación) de los bosques. El PSA pretende crear capacidades para desarrollar mercados de servicios ambientales en México. En el año 2003, la CONAFOR implementa el PSAH (Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos), financiado con una parte de las cuotas del agua cobradas al amparo de la Ley Federal de Derechos (LFD). Los pagos fueron dirigidos a la preservación del bosque templado y tropical (y en detalle, bosques mesófilos) asociado con el abastecimiento de agua a las comunidades. En el 2004, se crea el PSA-CABSA (Programa para el Desarrollo de los Mercados de Servicios Ambientales de Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales). Desde 2006, el programa PSA recibe asistencia técnica y financiera del Banco Mundial y el GEF para incrementar su eficiencia con la implementación del Proyecto de Servicios Ambientales del Bosque (PSAB).

A nivel nacional es oportuno reseñar el caso de la cuenca del Pixquiac, Veracruz, que en 2002 inició el primer proyecto de PSAH del país, al crear un Fideicomiso público con el objetivo de promover la conservación de los bosques que proveen el agua a la ciudad. Los usuarios de agua potable aportan una cuota mensual incorporada en su recibo para que los dueños de predios inscritos en el

programa reciban un pago anual de mil pesos por ha para mantener y/o mejorar la cubierta forestal (Fuentes, 2008). Este estudio comprende las condiciones socioeconómicas y ambientales de la cuenca, ya que mantiene un enfoque integrador entre los distintos SE y problemática de habitantes y usuarios de los recursos.

También destacan los casos del municipio de Taxco, Guerrero, el cual inició en 2005 el PSAH a la comunidad de San Pedro Chichila, a efecto de que ésta conserve 1,500 hectáreas de bosque, mediante actividades de protección, vigilancia y restauración, haciendo buen manejo de las subcuencas de captación (Merino, 2006), y el de Saltillo, Coahuila, que a través del Programa de Cuencas y Ciudades, estableció en 2002 el primer mecanismo local de PSAH voluntario para conservar la Sierra de Zapalinamé (Herbert, *et al.*, 2010).

2.3 Servicios ecosistémicos en Querétaro

La Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro durante generaciones ha realizado diversos trabajos de tesis en la microcuenca La Joya como el de Barcenas (2010), Montaña (2012), Granados (2011), Benito (2012), Contreras (2011), entre otros. Donde han propuesto diversas alternativas como prototipos de vivienda rural sustentable, manejo y gestión del agua, implementación de manejo para la conservación de la vida silvestre, así como la creación de un invernadero con especies nativas. Estas propuestas se han ido trabajando con la comunidad, y como resultado se han desarrollado programas educativos y de capacitación, articulados y coherentes, respecto a las condiciones particulares de la microcuenca. Un trabajo relevante es el de Carrillo (2009), quien propone la implementación jurídica del PSA como opción para mitigar la presión y desgaste de los recursos naturales y de la sociedad en la microcuenca “El Pueblito-Joaquín Herrera”.

Dentro de la ZOM, el Centro Regional de Capacitación de Cuencas (2018) es el resultado del trabajo de varias organizaciones como la Universidad Autónoma de Querétaro, la Fundación Gonzalo Río Arronte y los habitantes de la microcuenca La Joya; tiene como objetivo contar con una microcuenca modelo para el manejo, gestión y conservación de los recursos naturales. El centro se dedica a promover la participación de la sociedad civil, investigadores y empresas, construir infraestructura necesaria para la capacitación y aplicación de buenas prácticas para el buen manejo y conservación del agua, suelo, biodiversidad, uso de energías alternativas, producción sustentable, desarrollo comunitario y micro-negocios. Estas prácticas, contribuyen a mitigar la vulnerabilidad de la microcuenca por los procesos erosivos que existen y que ponen en riesgo a la comunidad.

Cada vez surgen nuevos proyectos de PSA como forma de protección y manejo de los recursos naturales en cuencas, sin embargo, muchos de ellos presentan importantes desafíos, como mejorar el diseño y la implementación del programa, asesorías y acompañamiento de calidad en el desarrollo del esquema, así como alcanzar una mayor compensación, por lo que es necesario contar con mayores recursos de financiamiento para que estos proyectos tengan éxito y generar interés e iniciativas por parte de la población debido al deterioro ambiental.

De acuerdo al Plan de Manejo de la microcuenca El Nabo (2005), se determinó que presenta una problemática de sobrepastoreo, ineficiente utilización del recurso suelo, actividad agropecuaria improductiva, mala utilización de los recursos bióticos y consecuentemente degradación de los mismos, erosión hídrica en parcelas y azolvamiento de los bordos. A su vez se observa una desvalorización de los recursos naturales por parte de los propios pobladores, falta de interés y carencia de apoyos por parte de los distintos niveles de gobierno, lo que provoca un proceso de urbanización. Sin embargo, esta se ha controlado con el decreto de la ANP.

Consideraciones finales

Los antecedentes consultados permitieron identificar el marco conceptual de distintas contribuciones al tema de investigación, como la variedad de sistemas de pagos por servicios ambientales. Actualmente en todo el mundo existe una variedad de pagos por servicios ambientales, sin embargo su desarrollo ha sido mínimo. Además de que la mayoría de PSA que se han implementado se centran en la regulación hídrica, dejando de lado o con menor importancia los demás servicios ecosistémicos.

En México, el PSA ha sido implementado por el Gobierno Federal, pero hasta el momento no existe un marco legal que respalde la importancia de la valoración de los SE como en Costa Rica.

Se identificó que en la microcuenca El Nabo, se han realizado estudios y trabajos para la conservación y aprovechamiento de los recursos, sin embargo; no existe una evaluación ni valoración de SE, por lo que se considera que la investigación generará importantes aportes debido a su ubicación. Además de que este estudio puede ser la base para extrapolar la evaluación hacia toda la ZOM.

Capítulo 3. Métodos y herramientas

En este apartado se detallan los métodos, herramientas y técnicas utilizadas para el desarrollo de este trabajo, cuyo objetivo es evaluar la oferta y la demanda de los servicios ecosistémicos para proponer la construcción de mercado, para la conservación y manejo de recursos naturales en la cuenca El Nabo. Debido a la variedad de servicios ecosistémicos que los ecosistemas proporcionan, solamente se evaluaron dos; captura de carbono y regulación hídrica.

Esta sección está dividida en la descripción de la zona de estudio, así como sus principales características, posteriormente se divide en tres etapas; la primera describe los procesos que se hicieron para valorar la oferta de carbono y de regulación hídrica; la segunda se refiere al proceso para conocer la demanda de los SE que existe en la zona urbana y la tercera versa sobre cómo la oferta y la demanda podrían vincularse para generar un mercado de PSA (Figura 2).

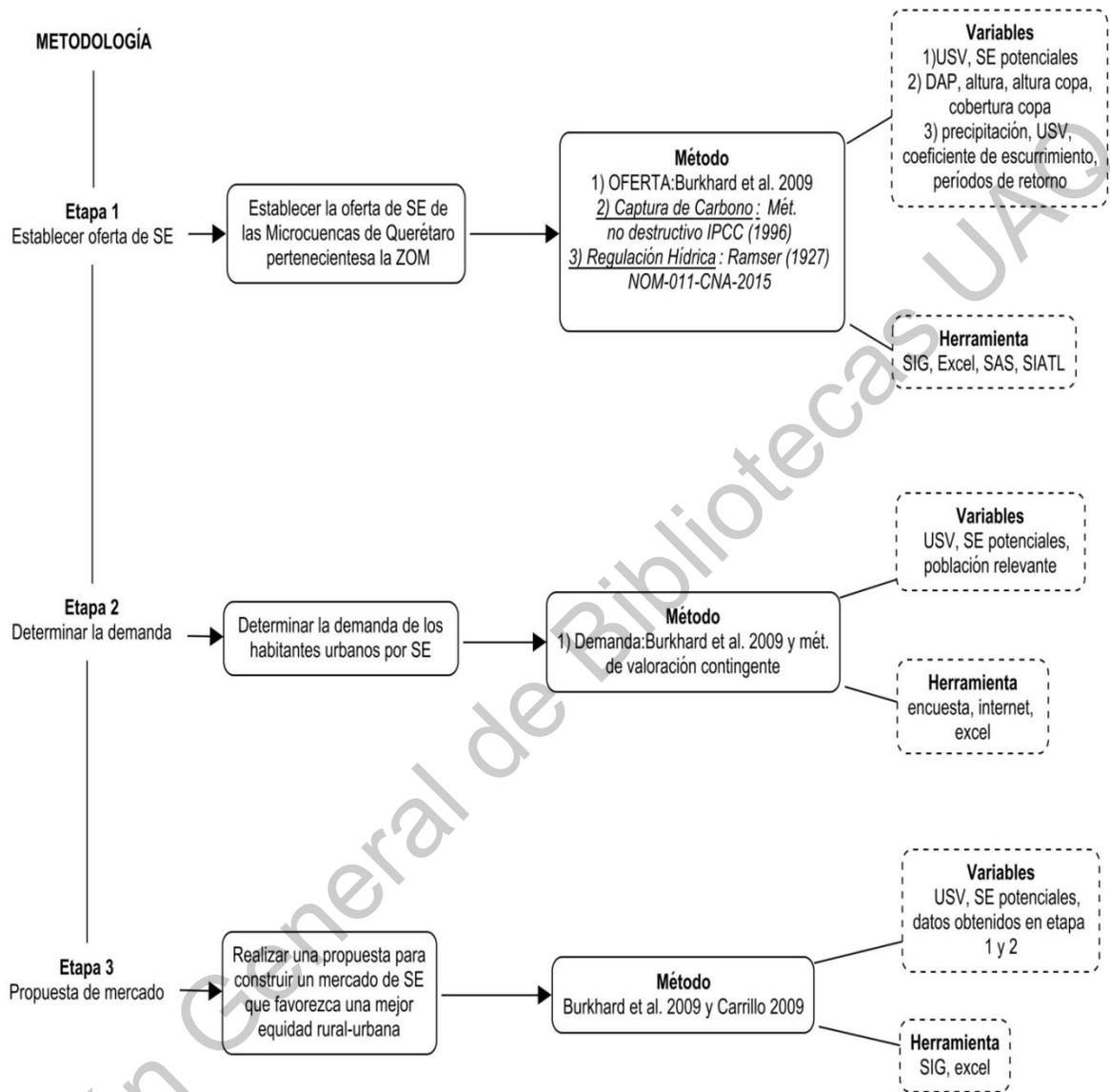


Figura 2. Proceso metodológico para evaluar los SE en la microcuenca El Nabo

3.1 Zona de estudio

La microcuenca El Nabo se localiza en la parte centro-norte del municipio de Querétaro, ubicada dentro de las coordenadas 342138.79, 2291259.00 UTM, zona 14N al centroide. Cuenta con una superficie 26.28 km², elevación media de 2,100 msnm y 51.56% de cobertura vegetal conservada de bosque, matorral y pastizal. La precipitación media anual es de 545.81 mm, con clima semi-seco templado en la parte alta y semi-seco cálido en la parte baja. Incluye una diversidad de ecosistemas correspondientes a cuatro tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, matorral crasicauale, matorral subtropical y pastizales (Figura 3).

Debido a que la microcuenca pertenece a un área natural protegida, se podría considera apta para secuestro de carbono, así como determinar su caudal máximo. Por lo que los servicios ecosistémicos que se determinaron son la captura de carbono y la regulación hídrica.

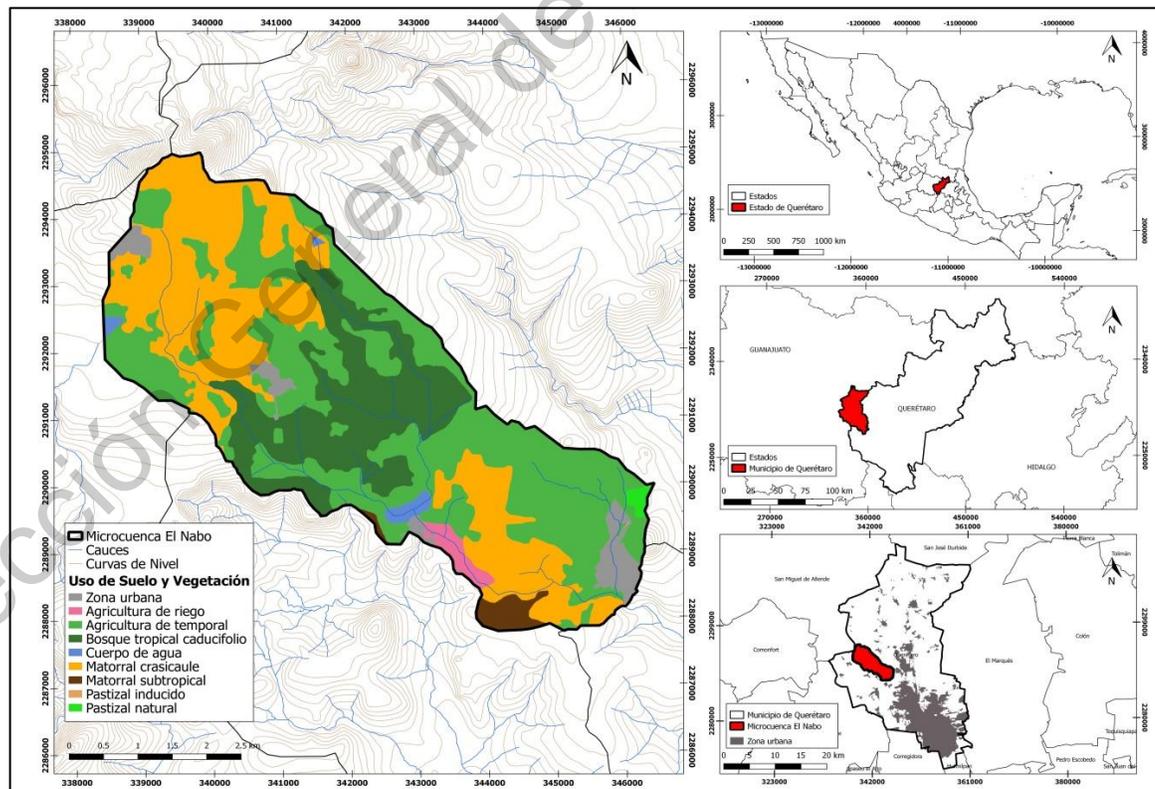


Figura 3. Ubicación de la Microcuenca El Nabo, Querétaro. Fuente: Inventario Forestal del Municipio de Querétaro (2015), INEGI (2015). Elaboración Propia

3.2 Oferta

Para tener una evaluación cualitativa de los servicios ecosistémicos de la microcuenca, se consideró la metodología propuesta por Burkhard *et al.* (2009), la cual plantea una matriz de doble entrada, donde el eje “y” contiene los usos de suelo y vegetación y en el eje “x” servicios ecosistémicos potenciales en la zona. La valoración está constituida por una escala que consiste en: 0= no hay capacidad relevante; 1= capacidad relevante baja; 2= capacidad relevante; 3= capacidad relevante media, 4= capacidad relevante alta y 5= capacidad relevante muy alta. Debido a que no existen estudios previos sobre la valoración de SE del lugar, el llenado se realizó teniendo en consideración la información previa y conocimiento del lugar, su funcionamiento y tipos de vegetación presentes.

3.2.2 Captura de carbono

La estimación de cantidad de biomasa se realizó a través del método no destructivo o indirecto recomendado por el IPCC (2005), el cual consiste en calcular la biomasa del árbol con ecuaciones alométricas que actualmente existen en la literatura, por medio de análisis de regresión entre variables de los árboles, tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total (h) y la densidad específica de la madera.

-*Tamaño de la muestra:* Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó

la siguiente ecuación:
$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + (Z^2 * p * q)}$$

Donde:

Z= Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido

p y q= Probabilidad con las que se presenta el fenómeno

N= Total de la población, en este caso es el área apta a muestrear (ha)

e= Margen de error permitido

-*Selección de puntos de muestreo:* La ubicación y selección de puntos de muestreo se realizó un proceso aleatorio mediante la herramienta “Puntos aleatorios dentro de Polígono” del programa QGIS 2.18, con el cual se generó una matriz de 50 puntos distribuidos aleatoriamente dentro de la inmediaciones de la Microcuenca El Nabo. Los criterios de selección y/o exclusión para la localización de los puntos de muestreo fueron: 1) Cada punto estuvo a 100 m de cualquier vialidad y asentamiento humano; 2) La distancia mínima entre punto y punto fue de 50 m (Bustos *et al.*, 2015).

-*Cuadrantes de muestreo:* Dentro de cada punto seleccionado se delimitó un cuadrante de 25 × 25 m, para obtener una distribución espacial, regular y consistente del total de los cuadrantes sobre el sitio de interés.

-*Mediciones y toma de muestras:* De cada cuadrante se seleccionó un individuo de cada especie dominante del dosel y se evaluaron variables de crecimiento como: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura de copa, índice de área foliar (LAI), por medio de forcípulas, cinta métrica, distanciómetro y medidor portátil de área foliar (Bustos *et al.*, 2015).

-*Estimación de biomasa:* Se estimó mediante relaciones alométricas entre variables de crecimiento utilizada por Chave *et al.* (2005, ecuación 1) la densidad de la madera de cada especie se obtuvo a través de bases publicadas en Ordóñez *et al.* (2015), Verduzco (2016) y Villalón (1922), para el caso de especies que no se encontraron valores de densidad, se utilizó la ecuación propuesta por Navar *et al.* (2004, ecuación 2), permitiendo la comparación de fijación de carbono entre especies.

$$BA = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 \ln(D)^2 - 0.0281 \ln(D)^3) \quad [1]$$

$$\begin{aligned} BA = & (0.026884 + 0.001191D^2H + 0.044529D - 0.01513H) \\ & + (1.025041 + 0.023663D^2H - 0.17071H - 0.09615 \ln H) \\ & + (-0.43154 + 0.11037D^2H + 0.113602D + 0.307809 \ln D) [2] \end{aligned}$$

Donde:

BA=biomasa aérea

ρ =densidad básica de las especies

D= diámetro a la altura del pecho (DAP)

Con base a la información obtenida, se calculó a nivel de especie la densidadde acuerdo a la fórmula (Zarco *et al.*, 2010) siguiente:

$$Den = \frac{N^{\circ}}{A}$$

Dónde: Den= densidad; N^o= número de individuos; A= área muestreada.

A partir de la biomasa, el carbono se estimó de acuerdo con lo publicado por Brown (2002), quien estima que el 48.5% de la biomasa en peso seco se traduce en carbono almacenado.

-Estimación de índices de diversidad ecológica: Se estimaron índices de diversidad ecológica como: Shannon, el cual mide la biodiversidad específica y el de Simpson que cuantifica la biodiversidad en un lugar determinado. Esto se realizó en cada sitio de muestreo, a partir del número de especies y de la cantidad de individuos por especie

-Análisis Estadístico: Se evaluó la significancia de las variables para la estimación del carbono capturado, mediante relaciones lineales con el procedimiento Proc Reg de SAS (2006).

-Valor económico: Se calculó a partir de la biomasa, los valores para la evaluación económica se obtuvieron del precio de mercado, teniendo de referencia el precio nacional.

$$VR_c = R_c \cdot Su_c \cdot Pr_c$$

Dónde: VR_c es el valor económico de los reservorios de carbono; R_c es la cantidad de carbono presente en un ecosistema (Mg/ha); Su_c es la superficie con el servicio ecosistémico (ha); Pr_c es el precio por cantidad de carbono (dólares/Mg).

La valoración económica inicia con la determinación de los ecosistemas a evaluar y los servicios ambientales relacionados con estos ecosistemas (Vázquez, 2011).

3.2.3 Regulación hídrica

Para analizar la regulación hídrica de la microcuenca El Nabo, se estimó el escurrimiento superficial. En cada caso, se generaron tres escenarios; inicialmente con un enfoque de caudal pico con diferentes períodos de retorno, posteriormente con un enfoque de escurrimiento medio anual, mediante la metodología indirecta señalada en la NOM-011-CNA-2015, el primero es el escenario actual y tendencial, el segundo es un escenario ideal con implementación de buenas prácticas y el tercero, un escenario negativo con continuidad de procesos de deterioro.

Se ubicaron las estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca a partir del Sistema Meteorológico Nacional, se obtuvieron y procesaron los datos de precipitación diaria, en un período mínimo de 20 años. Posteriormente se realizó el cálculo de avenidas con ayuda de una hoja de cálculo, se realizaron tablas dinámicas para obtener el máximo anual de precipitación en 24 horas, en períodos de retorno para 5, 10, 25 y 100 años. De esta manera se obtuvieron modelos de regresión para cada estación meteorológica, a su vez se calculó la precipitación total anual. La información resultado de dichos análisis (máximos por período de retorno y total anual) fue interpolada mediante el método IDW (o inverso ponderado de la distancia por sus siglas en inglés) para su distribución en el espacio geográfico de la microcuenca y sus alrededores.

Se utilizó el programa QGIS 2.18, para hacer las interpolaciones IDW, obteniendo un *raster*. Paralelamente, utilizando las capas de suelo de INEGI

(serie V) y USV del Inventario Forestal Municipal, de acuerdo a la NOM-011-CNA-2015 y a visitas de campo, se hizo una reclasificación de usos de suelo y vegetación y se obtuvo una capa vectorial, la cual en su tabla de atributos se añadieron los valores k (parámetro que depende del tipo y uso de suelo). Posteriormente se *rasterizó* y se calculó el coeficiente de escurrimiento y la precipitación anual.

Para obtener el volumen anual de escurrimiento, es necesario contar con el área de la cuenca, el coeficiente de escurrimiento y la precipitación anual.

3.2.3.1 Caudales pico por período de retorno

En el portal del INEGI SIATL, se ubicó la microcuenca y permitió generar los diferentes escenarios del caudal pico, ingresando el coeficiente de escurrimiento y la precipitación en determinados períodos de retorno. Además permitió obtener distintos parámetros morfométricos de la microcuenca como la elevación máxima, mínima, pendiente media, el tiempo de concentración. SIATL calcula el caudal pico a través de la ecuación: $Q = \frac{CIA}{360}$

Dónde:

Q: caudal (m³/s)

I: Intensidad (mm/h)

A: superficie de la cuenca (ha)

C: coeficiente de escurrimiento

3.2.3.2 Volumen medio de escurrimiento anual en la microcuenca

El método indirecto que señala la NOM011 considera:

$$\begin{array}{l} \text{VOLUMEN ANUAL DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{NATURAL DE} \\ \text{LA CUENCA (m}^3\text{)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{PRECIPITACIÓN} \\ \text{ANUAL} \\ \text{DE LA CUENCA (m)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{ÁREA DE LA} \\ \text{CUENCA (m)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{(adimensional)} \end{array}$$

Corresponde aproximadamente al parámetro **Rf** que se considera en la valoración económica en el siguiente apartado.

Como ya se mencionó, la precipitación por estación meteorológica se obtuvo con los datos diarios, y promediando los totales anuales de los 20 años disponibles por estación. A diferencia de lo sugerido en la NOM011, no se realizaron polígonos de Thiessen sino que se implementaron interpolaciones IDW en QGIS, en virtud de que el corte en la distribución de un registro no es categórico, sino que se suaviza conforme un valor se desplaza en el espacio. El valor promedio es en *mm* y se convierte a *m*. El área de la microcuenca es un valor constante que se consulta mediante QGIS y se maneja en *m*². Los valores promedio de Coeficiente de Escurrimiento se obtienen por escenario considerado. El escenario actual con la cobertura y uso de suelo hasta 2017 (Figura 10). El escenario negativo con la misma distribución de uso de suelo y vegetación, pero considerando a los bosques con menos de 25% de cobertura (Figura 11) y el escenario ideal con la misma distribución de uso de suelo y vegetación, pero considerando a los bosques con una cobertura de más de 75% (Figura 12). Estas consideraciones se traducen con la Tabla 1 del Apéndice Normativo “A” de la propia NOM011 (Anexo 1) que considera tanto el tipo de suelo como el de su uso y cobertura.

3.2.3.3 Indicador para evaluación de impactos

Se midió la reducción en el coeficiente de escurrimiento en términos porcentuales, mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta C = 200 \frac{C_{t+1} - C_t}{C_{t+1} + C_t}$$

Donde: C_{t+1} es el coeficiente de escurrimiento para escenarios futuros (hipotéticos) y C_t es el coeficiente para un escenario actual.

El valor económico del flujo de agua se calculó mediante la siguiente expresión:

$$R_f = A_c \cdot P_c \cdot C_{e_c}$$

Dónde: R_f es el escurrimiento natural del agua (m^3/h); A_c es el área de la cuenca (m^2); P_c es la precipitación media anual de la cuenca (mm); Ce_c es el coeficiente de escurrimiento.

$$VR_f = R_f \cdot Su_f \cdot Pr_f$$

Dónde: VR_f es el valor económico de la regulación del flujo de agua por esorrentía, (dólares); R_f es el escurrimiento natural del agua (m^3/h); Su_f es el número de hectáreas con el servicio ambiental (ha); Pr_f es la pérdida por efecto negativo directo o indirecto de la inundación + costo de construcción de una presa para contener los escurrimientos contingentes de agua (dólares/ m^3).

Se utilizó una técnica indirecta para valorar este servicio y el precio calculado es de tipo contingente (C. Vázquez et al., 2011).

3.3 Demanda

Para tener una evaluación cualitativa sobre la demanda de los servicios ecosistémicos de la cuenca, se consideró la metodología propuesta por Burkhard *et al.* (2009), analizando datos estadísticos, modelos, censos o entrevistas y se elaboró una matriz similar a la de oferta, que muestra hipótesis iniciales sobre la demanda de servicios ecosistémicos. Los valores en la matriz de demanda indican: 0= ninguna demanda relevante; 1=baja demanda relevante; 2= demanda relevante; 3= demanda relevante media; 4= alta demanda relevante y 5= demanda relevante muy alta. Al igual que la matriz de oferta, esta se llenó teniendo conocimiento del lugar, la cantidad de personas, ocupaciones y necesidades.

Para determinar la demanda, se utilizó el método de valoración contingente, donde se estimó el valor económico que las personas están dispuestas a pagar por un SE a través de encuestas. Los pasos fueron los siguientes:

1. Se determinó la cuenca de influencia, los servicios ecosistémicos a valorar y la población objetivo.

2. Se diseñó un esquema de los servicios ecosistémicos para presentar a la población y propiciar su información sobre el tema (Anexo 2).
3. Se presentó la propuesta a los representantes locales de colonias y fraccionamientos.
4. Con base en los resultados obtenidos de los pasos anteriores, se decidió la forma de aplicar la encuesta (email, aplicación, teléfono o en persona).
5. Se diseñó la encuesta y piloteó mediante un sondeo muestral con grupos focales (Anexo 3).
6. Se aplicó la encuesta a un tamaño de muestra infinita al desconocerse la población total de la microcuenca, la cual se determinó mediante la siguiente fórmula: $n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$

Donde:

Z= Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido

p y q= Probabilidad con las que se presenta el fenómeno

e= Margen de error permitido

7. Se realizó el análisis de los resultados para identificar la disponibilidad a pagar y qué cantidad aportarían los habitantes urbanos a los servicios ecosistémicos provistos por las zonas rurales.

De ésta manera se identificó la disponibilidad a pagar de los habitantes urbanos y la cantidad que se aportaría a los servicios ecosistémicos.

3.4 Mecanismos de gestión

Para analizar el presupuesto de servicios ecosistémicos, a partir de la información de matrices de oferta y demanda propuestas por Burkhard *et al.* (2009), se fusionaron ambas matrices considerando, la oferta menos la demanda, generando una nueva matriz, en donde la escala varía entre -5= la demanda excede significativamente la oferta o el suministro es insuficiente; a 0=

demanda=oferta=balance neutral; a 5= la oferta supera la demanda significativamente o hay un exceso de oferta.

Al obtener las tres matrices, se realizó una correlación para seleccionar los servicios ecosistémicos más sobresalientes y por medio de SIG, se elaboraron los mapas de distribución de los SE, añadiendo los valores de oferta, demanda y balance a la tabla de atributos de la capa de uso de suelo y vegetación.

A partir de Carrillo (2009) se analizó y actualizó el marco legal, así como los instrumentos del mecanismo de pago por servicios ambientales en México para poder implementarlo en la ZOM.

Posteriormente se elaboró un esquema de PSA, donde se establecen sus principales componentes, por un lado se encuentran los proveedores, que son los que gestionan los recursos naturales que proveen los servicios ecosistémicos y, por otro, los usuarios de dichos servicios. Se proponen reglas y acuerdos que podrían llevarse a cabo, además de establecer el manejo de la oferta, así como el mecanismo de compensación, el cual debe considerar el cobro, el pago a través de un intermediario y el mecanismo de evaluación y monitoreo.

Capítulo 4. Resultados y discusión

El siguiente capítulo muestra los resultados obtenidos en la investigación. Se inicia con los resultados sobre la oferta de captura de carbono y regulación hídrica, así como su valor económico. Posteriormente con el análisis de la demanda en la zona mediante aplicación de encuestas y estableciendo la cantidad máxima que los habitantes están dispuestos a pagar. Finalmente conociendo el valor de los SE en la zona y su demanda se establece el mecanismo de gestión para llevar a cabo el PSA.

4.1 Oferta

El Cuadro 4, revela las capacidades de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos. Se puede observar que los ecosistemas modificados por el hombre tienen capacidades muy bajas o nulas para proporcionar servicios ecosistémicos de provisión y regulación, mientras que en las coberturas naturales tienen alta capacidad para proveer SE. Para los servicios culturales, se encuentra una mayor oferta en paisajes naturales que por áreas urbanas. También se observa que en la cobertura de bosque y matorral existe una mayor capacidad de oferta potencial, debido a que la mayor parte del territorio está dividido en ejidos y es de difícil acceso. Además de que en la parte alta y media de la microcuenca está dentro del área natural protegida, por lo que aumenta su grado de conservación.

Cuadro 4. Matriz de evaluación que ilustra las capacidades de suministro de servicios ecosistémicos de los diferentes usos de suelo

		OFERTA POTENCIAL														
		Provisión						Regulación				Cultural				
		Cultivo	Biomasa para energía	Nutrientes	Cría de animales	Recursos basados en plantas	Agua Potable	Climática	Calidad de Aire	flujo de Agua	Erosión	Peligros Naturales	Recreación y turismo	Belleza paisajista	Patrimonio cultural	Espiritual y religioso
Áreas de cultivo	Agricultura de Temporal	4	3	3	2	1	0	2	1	2	3	1	3	3	4	4
	Agricultura de Riego	3	2	2	2	2	0	1	1	2	2	1	2	3	3	4
Bosque	Bosque Tropical Caducifolio	1	5	4	3	4	0	5	5	5	5	5	5	5	4	4
Matorral	Matorral Crasicaule	2	5	5	4	5	0	5	5	5	4	4	5	5	5	5
	Matorral subtropical	2	5	4	5	4	0	4	4	5	4	4	5	5	5	5
Pastizal	Pastizal Inducido	2	3	3	3	2	0	3	3	4	3	3	4	4	4	3
	Pastizal Natural	3	4	3	3	2	0	3	3	4	4	4	4	4	4	3
Agua	Cuerpos de Agua	1	2	0	4	0	1	1	1	3	2	3	3	4	4	4
Suelos impermeables	Área urbana	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3	2	2	3

4.1.1 Captura de carbono

Para la captura de carbono se determinaron las zonas aptas de muestreo y los puntos aleatorios a muestrear (Figura 4).

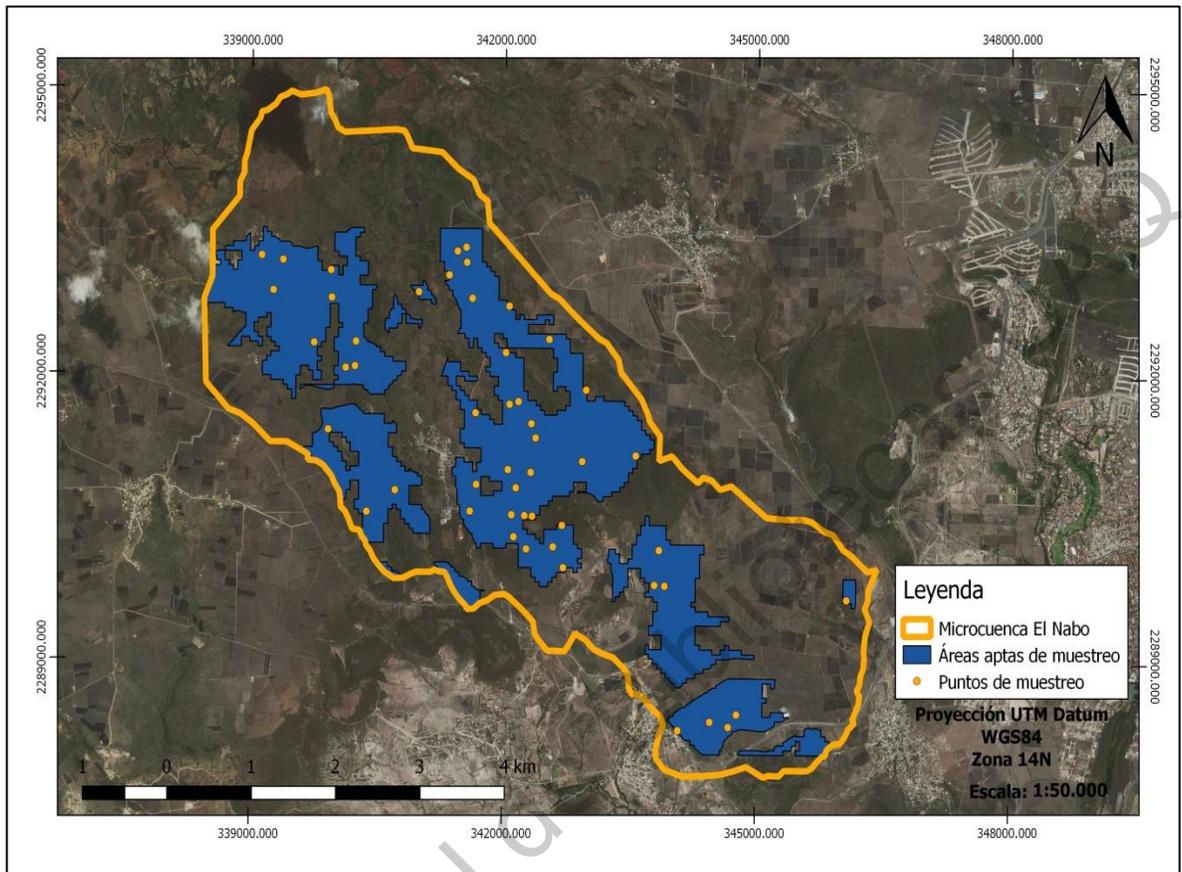


Figura 4. Zonas aptas con puntos de muestreo aleatorios. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizaron visitas de campo donde se midieron 25 cuadrantes distribuidos en las tres zonas funcionales de la microcuenca. (Figura 5).

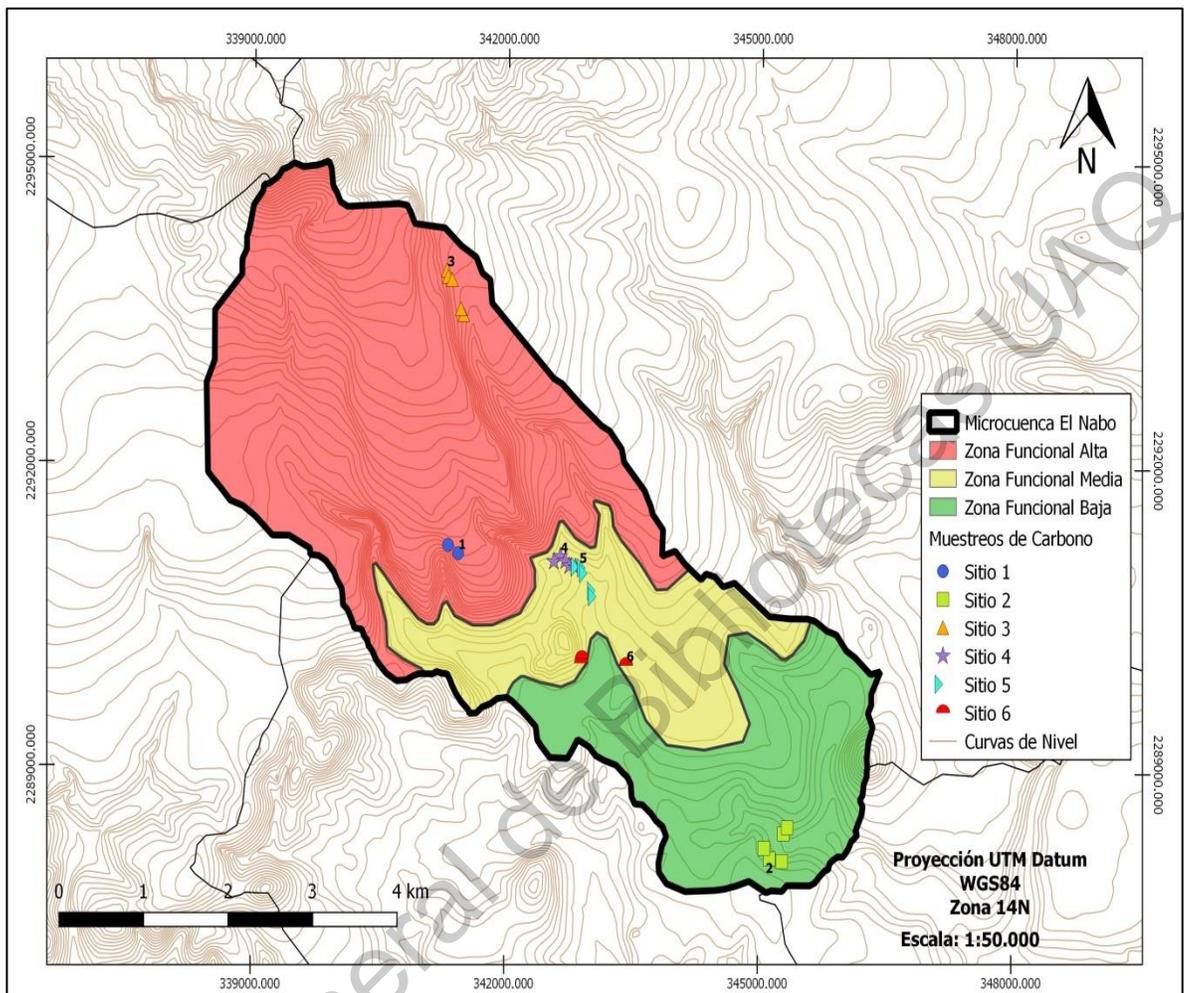


Figura 5. Puntos de muestreo para captura de carbono. Fuente: Elaboración propia

En los 25 cuadrantes medidos, se encontró una diversidad aproximada de 17 especies: *Acacia schaffneri*, *Bursera faragoides*, *Celtis caudata*, *Celtis pallida*, *Condalia velutina*, *Eysenhardtia polystachya*, *Forestiera phillyreoides*, *Ipomoea murocoides*, *Karwinskia humboldtiana*, *Lysiloma microphylla*, *Mimosa aculeaticarpa*, *Montanoa leucantha*, *Myrtillocactus geometrizans*, *Opuntia sp*, *Prosopis laevigata*, *Quercus* y *Senna polyantha* (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies encontradas en la microcuenca El Nabo

No.	Especie	No. Ind	Den.	Frec.	D.M. (g/cm ³)	Fuente
1	<i>Acacia schaffneri</i>	80	0.0055	0.6	0.73	Villalón (1992)
2	<i>Bursera faragoides</i>	42	0.0027	0.44	0.32	Verduzco (2016)
3	<i>Celtis caudata</i>	110	0.0059	0.64	-	Navar <i>et al.</i> (2004)
4	<i>Celtis pallida</i>	9	0.0005	0.16	0.66	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
5	<i>Condalia velutina</i>	14	0.0007	0.12	0.63	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
6	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	15	0.0008	0.20	0.70	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
7	<i>Forestiera phillyreoides</i>	15	0.0008	0.20	0.63	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
8	<i>Ipomoea murocoides</i>	109	0.0063	0.88	0.30	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
9	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	3	0.0002	0.08	0.53	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
10	<i>Lysiloma microphylla</i>	32	0.0018	0.40	0.88	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
11	<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	1	0.0003	0.04	-	Navar <i>et al.</i> (2004)
12	<i>Montanoa leucantha</i>	6	0.0003	0.12	-	Navar <i>et al.</i> (2004)
13	<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	14	0.0008	0.36	0.54	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
14	<i>Opuntia sp</i>	21	0.0011	0.32	-	Navar <i>et al.</i> (2004)
15	<i>Prosopis laevigata</i>	40	0.0039	0.36	0.70	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
16	<i>Quercus sp.</i>	32	0.0017	0.32	0.78	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)

17	<i>Senna polyantha</i>	22	0.0020	0.04	0.63	Ordoñez <i>et al.</i> (2015)
----	------------------------	----	--------	------	------	------------------------------

Las especies con mayor presencia fueron: *A. schaffneri*, *B. faragoides* e *I. murocoides*, las cuales pueden ser producto de su tolerancia a condiciones adversas y su capacidad para reemplazar a otras especies.

En cuanto a la diversidad de especies de acuerdo al índice de Shannon el sitio 4 y 5 presenta mayor diversidad de especies, se atribuye que sea debido a su ubicación, ya que se encuentran en la zona media de la microcuenca, además de que es bosque tropical caducifolio y de difícil acceso. Esto se puede corroborar con el índice de Simpson, ya que los valores se acercan a cero, por lo que mayor es la biodiversidad de los sitios. Mientras que el sitio 1 se considera bajo en diversidad (Cuadro 6).

La presencia de abundancia y riqueza de especies presume una mayor magnitud de contribución a algunos procesos del ecosistema (Balvanera, 2012), lo que ofrece servicios ecosistémicos asociados a la regulación climática y al almacenamiento de carbono (Bustos *et al.*, 2015).

Cuadro 6. Diversidad Ecológica en los sitios muestreados de la microcuenca El Nabo

Sitio	1	2	3	4	5	6
Índice Shannon	0.952	1.389	1.342	2.432	2.434	1.622
Índice de Simpson	0.518	0.316	0.305	0.167	0.157	0.265

El sitio uno presenta mejores características en cuanto altura con un promedio de 6.4 m, mientras que el sitio dos presenta mejor DAP con un promedio de 33.32 cm (Figura 6).

El 71% de las especies registró alturas promedio entre los 4 m y 7.9 m, mientras que el 29% se mantuvo entre los 2 m y los 3.5 m. En cuanto al DAP, el 65% de las especies se encuentra entre los 20.30 cm y los 37 cm, mientras que el

35% está entre los 12.66 cm y los 20 cm. Las especies de mayor altura fueron *Celtis caudata*, *Lysiloma microphylla* y *Quercus spp.* Con mayor DAP fueron *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera faragoides* y *Celtis pallida* (Figura 7).

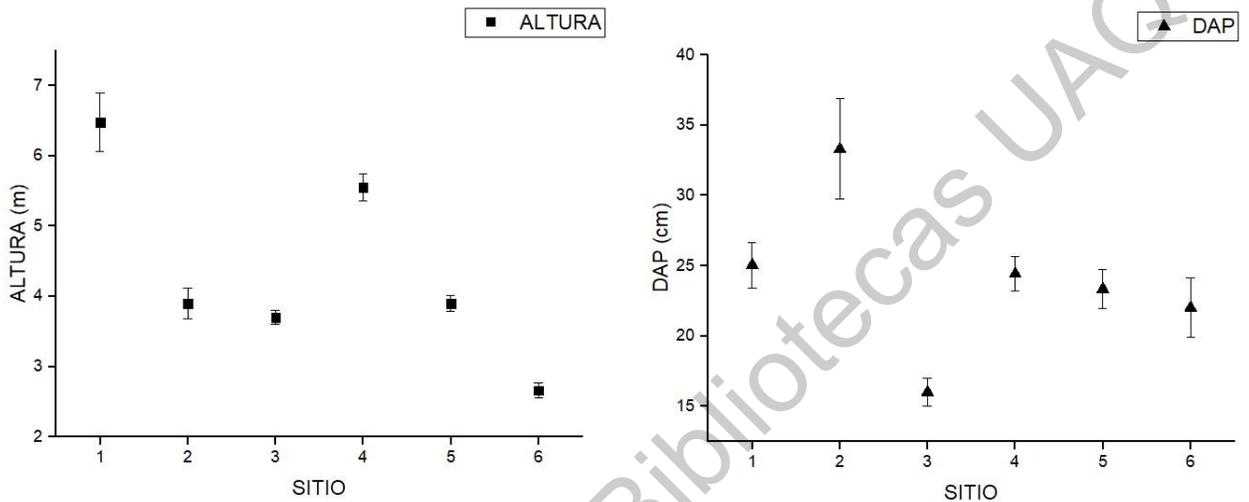


Figura 6. A) Alturas promedio por sitio, B) DAP promedio por sitio

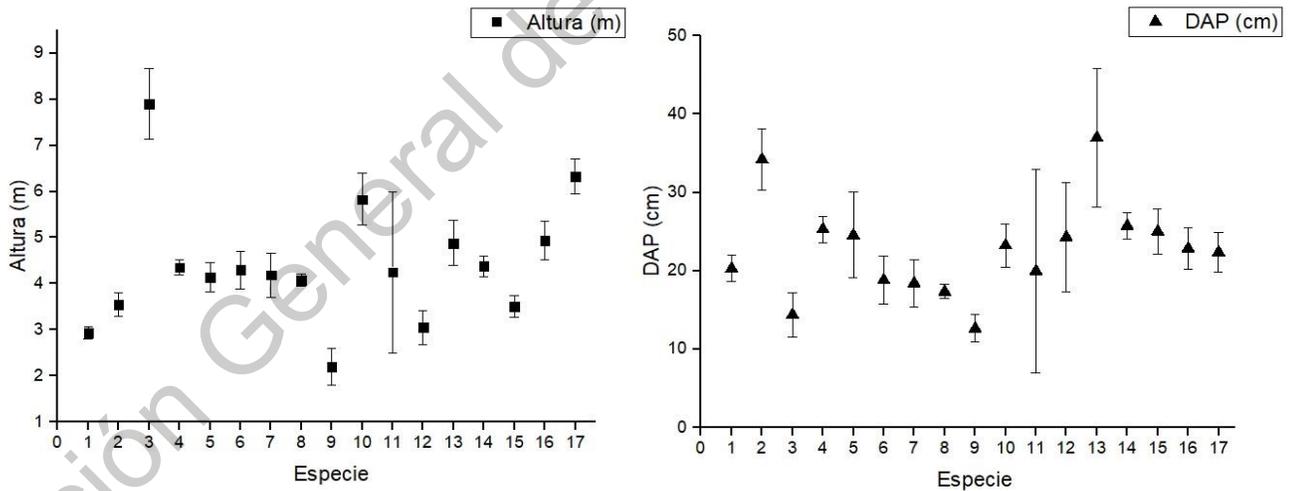


Figura 7. A) Alturas promedio por especie, B) DAP promedio por especie

Respecto a la captura de carbono, se estimó que de las diecisiete especies, (41%) tienen el mayor potencial de captura de carbono, con un promedio de (578.66) kg/árbol. Mientras que el sitio dos y seis tienen un potencial de captura de carbono de 536.28 y 458.73 kg/árbol respectivamente (Figura 8).

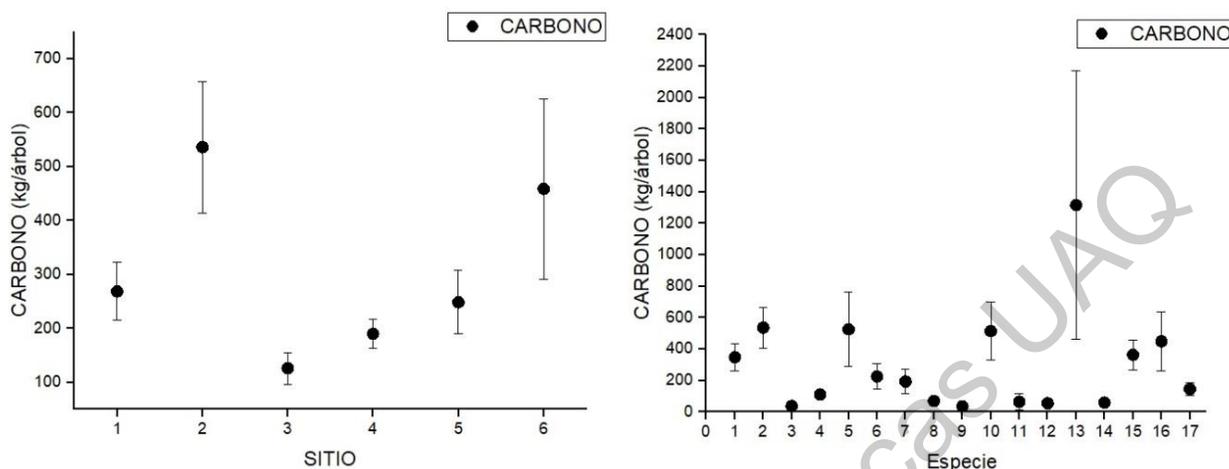


Figura 8. Potencial de carbono por sitio y por especie

La prueba de significancia (ANOVA) de la interacción entre los componentes y especies, arrojó que existe una interacción significativa ($P < 0.0001$) entre estos, lo que significa que la concentración de carbono varía de acuerdo a la especie.

De acuerdo a la fórmula, calculamos el valor económico de carbono:

Cantidad de carbono presente = 96.85 ton/ha

Superficie con el SE (bosque y matorral) = 1.56 ha

Precio por cantidad de carbono de acuerdo a la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicio (2018) es de \$48.87 MXN o \$2.48 USD por tonelada de carbono y en el ejercicio de simulación del mercado de carbono en México por la Plataforma Mexicana de Carbono, se manejó un precio mínimo y máximo inicial en las subastas de entre \$100 (5 USD) y \$300 (15.20 USD).

$$VR_c = 96.85 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \right) \cdot 1.56 (\text{ha}) \cdot 2.48 \left(\frac{\text{dólares}}{\text{Ton}} \right) = 375.31 \text{ USD} \approx 7,413.82 \text{ MXN}$$

$$VR_c = 96.85 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \right) \cdot 1.56 (\text{ha}) \cdot 5 \left(\frac{\text{dólares}}{\text{Ton}} \right) = 756.67 \text{ USD} \approx 14,947.15 \text{ MXN}$$

$$VR_c = 96.85 \left(\frac{\text{Ton}}{\text{ha}} \right) \cdot 1.56 (\text{ha}) \cdot 15.20 \left(\frac{\text{dólares}}{\text{Ton}} \right) = 2,300.28 \text{ USD} \approx 45,436.39 \text{ MXN}$$

El precio de la cantidad de carbono solamente para los 25 cuadrantes evaluados, oscila entre los \$7,400-\$45,400 MXN.

El número de especies presentes en la microcuenca El Nabo, es similar al encontrado por Soto, Cambrón y Renaud (2019), en el municipio de Querétaro. Estos autores encontraron 22 especies, de las cuales, la mayoría se presentan en la zona evaluada, sin embargo, los resultados publicados difieren de lo estimado respecto a captura de carbono, al tener como resultado que *P. laevigata* presentó la mayor cantidad de carbono almacenado, mientras *B. faragoides* y *B. pameri* fueron especies con menor carbono almacenado. En el caso de El Nabo, *M. geometrizzans* presenta una capacidad de carbono elevada, sin embargo se midieron catorce ejemplares del total evaluados, por lo que es poco confiable, *B. faragoides*, *C. velutina* y *L. microphylla* presentan mejores atributos de captura carbono, mientras que *C. caudata* y *K. humboldtiana* fueron especies con menor capacidad de captura de carbono.

El estudio realizado por Bustos *et al.* (2015) encontraron que dentro de las evaluaciones realizadas dentro del parque nacional El Cimatario de Querétaro, obtuvieron mayor promedio de biomasa total para *M. geometrizzans* y un promedio menor para *I. mureocoides*, lo que concuerda con este estudio.

Además que Vázquez *et al.* (2010) mencionan que los parches de vegetación de *P. laevigata* y *Opuntia sp* crean islas de fertilidad donde el contenido de materia orgánica del suelo es mayor, las densidades aparentes menores y, en consecuencia, aumenta la estabilidad de los agregados y la ingesta de agua, reduciendo la cantidad de escorrentía y erosión del suelo, mejorando el funcionamiento hidrológico.

De acuerdo a Yerena *et al.*, (2012), *A. schaffneri* tuvo una frecuencia más alta, aunque menor concentración de carbono en la reserva ecológica del matorral, Nuevo León y lo mismo sucede en la microcuenca El Nabo.

Sin embargo, en el estudio realizado por Pompa & Sigala (2017), observaron que las Áreas Naturales Protegidas tienen las reservas de carbono más altas en biomasa aérea con valores promedio de 135.3 Mg/ha hasta 171.9 Mg/ha en bosques de Abies. En contraste, no observaron diferencias en la concentración de carbono entre los bosques de diferentes regiones climáticas. Además, se encontró una mayor concentración de carbono en climas tropicales/subtropicales para especies de hoja ancha. En este sentido, Ordoñez *et al.* (2015) mencionan que las propiedades de la madera son variables y que los atributos pueden cambiar de acuerdo con las condiciones locales, área geográfica, clima e incluso en especies tropicales. Elias y Potvin (2003) comentan que la concentración de carbono en el tronco entre especies varía con los factores ambientales y/o crecimiento.

4.1.2 Regulación hídrica

De acuerdo a la interpolación con las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona, las cuales son Carrillo, Juriquilla, Joya, Charape, Obraje, Presa Jalpa, Plantel y Querétaro, se realizó el análisis de lluvias máximas, por lo que se obtuvo una precipitación promedio anual para la microcuenca El Nabo de 545.81mm (Figura 9).

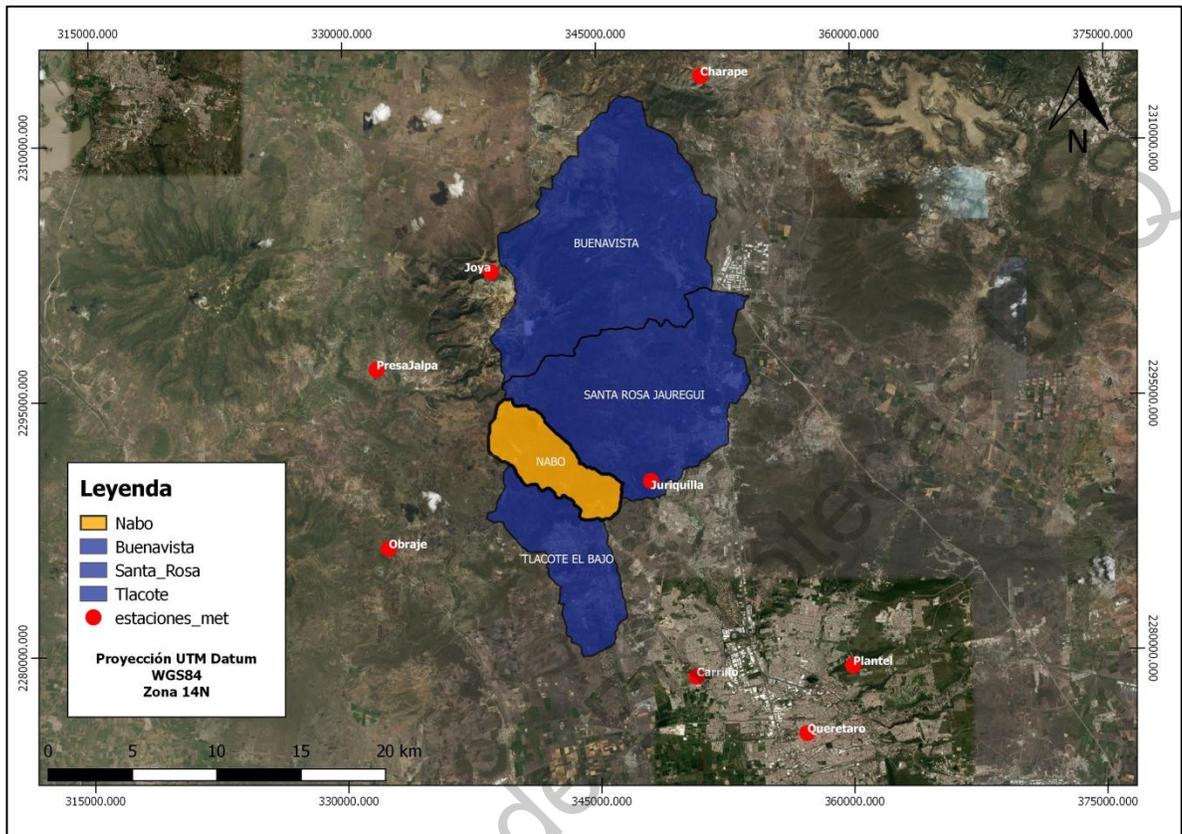


Figura 9. Ubicación de estaciones meteorológicas alrededor de la microcuenca El Nabo. Fuente: CNA (2013). Elaboración propia

Posteriormente se realizó el cálculo de avenidas, determinando los períodos de retorno para 5, 10, 25, 50 y 100 años, coeficiente de escurrimiento en escenario actual, ideal y negativo (Figura 10, 11 y 12).

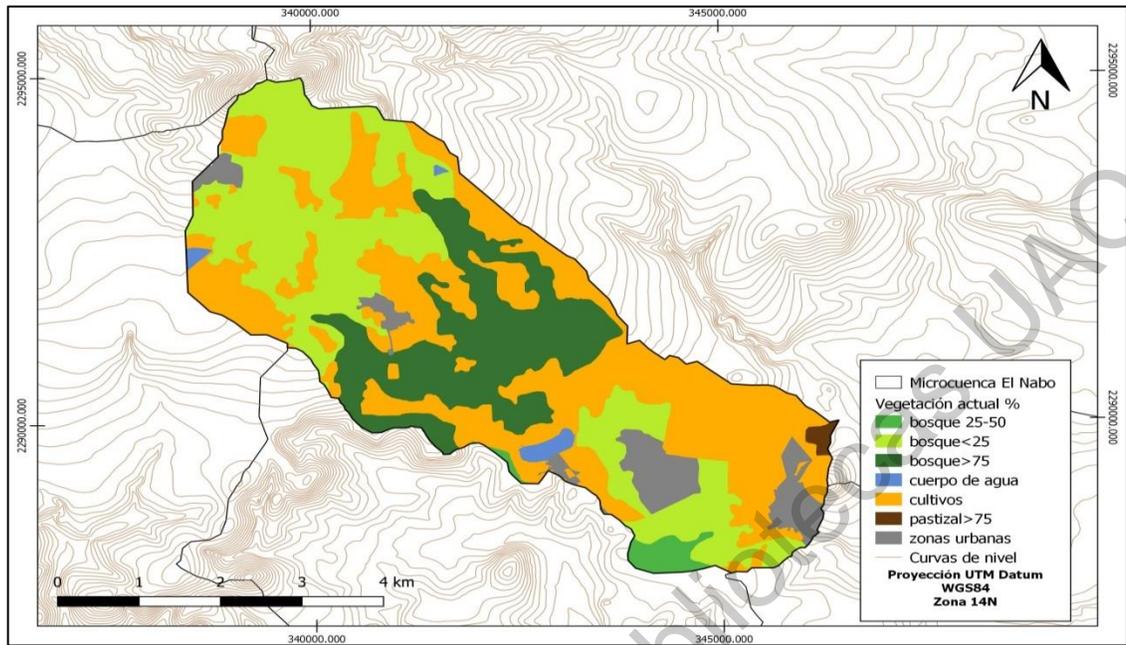


Figura 10. Uso de suelo y vegetación escenario actual. Fuente: Inventario Forestal del Municipio de Querétaro (2017). Elaboración propia

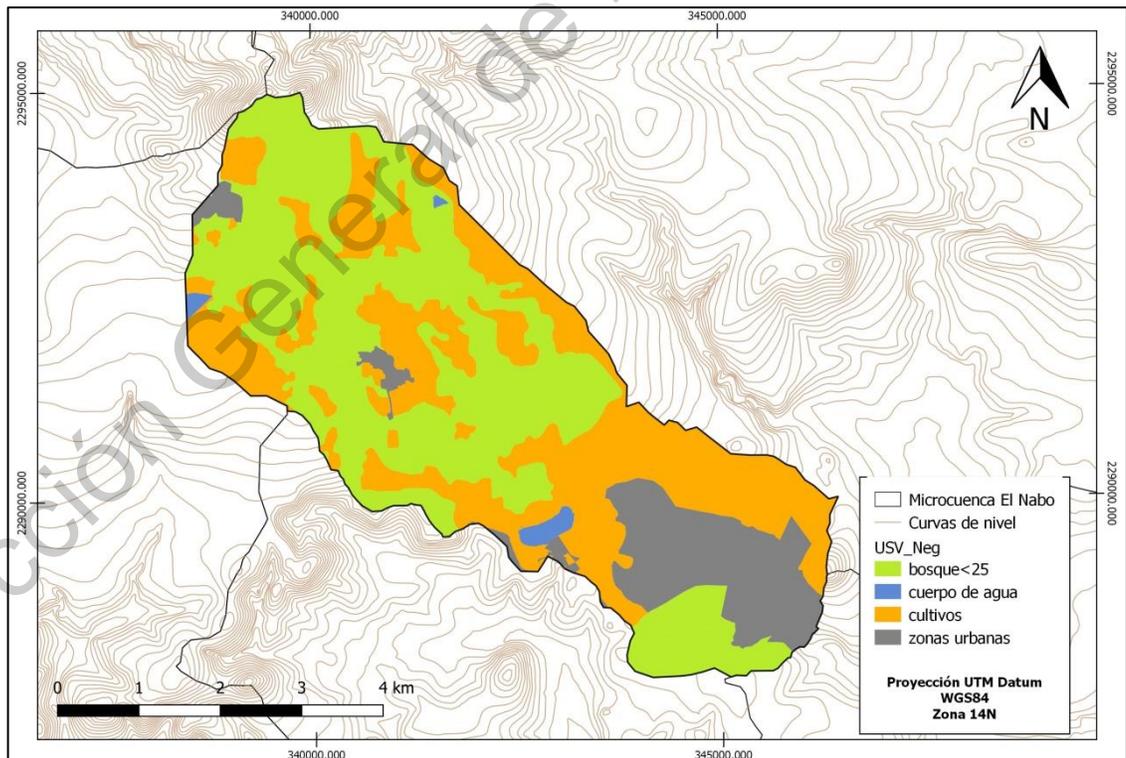


Figura 11. Uso de suelo y vegetación escenario negativo. Fuente: Inventario Forestal del Municipio de Querétaro (2017). Elaboración propia

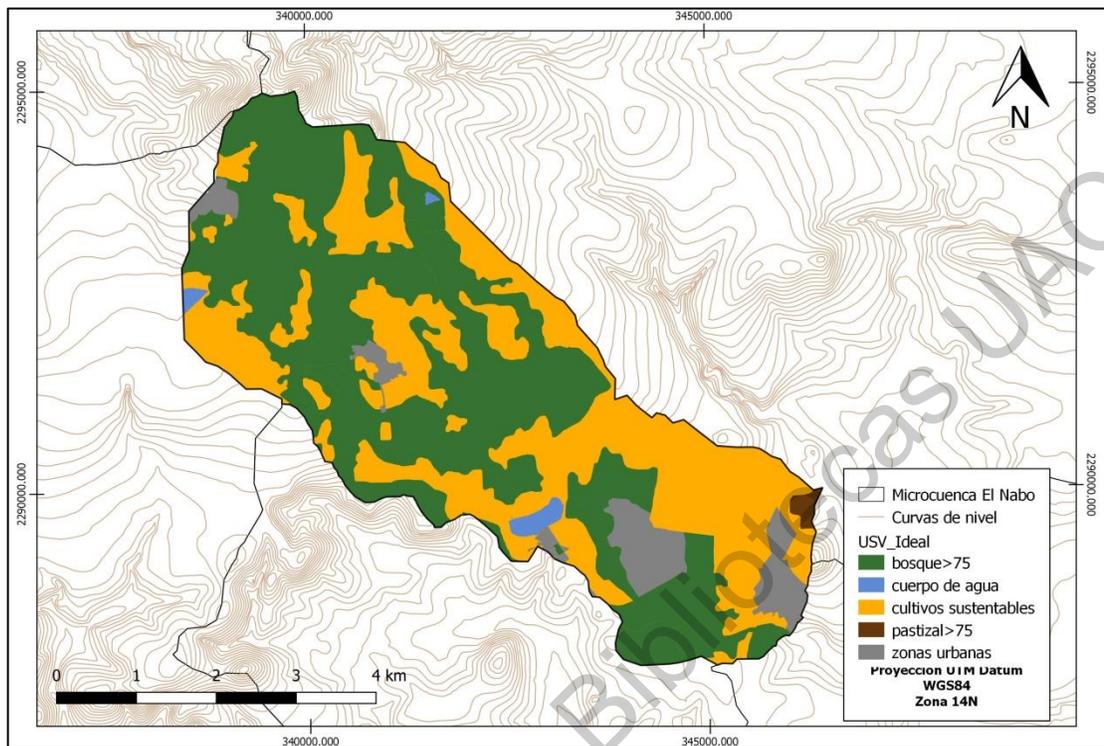


Figura 12. Uso de suelo y vegetación escenario ideal. Fuente: Inventario Forestal del Municipio de Querétaro (2017). Elaboración propia

4.1.2.1 Caudales pico por período de retorno

Para obtener el valor de caudal máximo, se tomó en cuenta la geología, cobertura y uso de suelo de la microcuenca El Nabo. Los períodos de retorno y el gasto máximo en m^3/s (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cálculo de avenidas en la microcuenca El Nabo

Períodos de retorno (años)	Precipitación	Gasto máx. Escenario actual (m^3/s)	Gasto máx. Escenario negativo (m^3/s)	Gasto máx. Escenario ideal (m^3/s)
5	65.82	43.94	45.68	39.26
10	80.72	53.93	56.06	48.14
25	100.41	66.59	69.22	59.44
50	115.32	76.57	79.60	68.36
100	130.17	86.56	89.99	77.27
Coefficiente de escurrimiento		0.1389	0.1444	0.1240

Los principales indicadores del cauce principal de acuerdo a SIATL, nos indican que la microcuenca El Nabo, cuenta con una elevación máxima de 2,261 m, elevación media de 2,064 m, elevación mínima de 1,868 m (Figura 13). Mientras que la longitud del cauce es de 11,588 m, con una pendiente media de 3.39%, con un tiempo de concentración de 92.75 minutos.

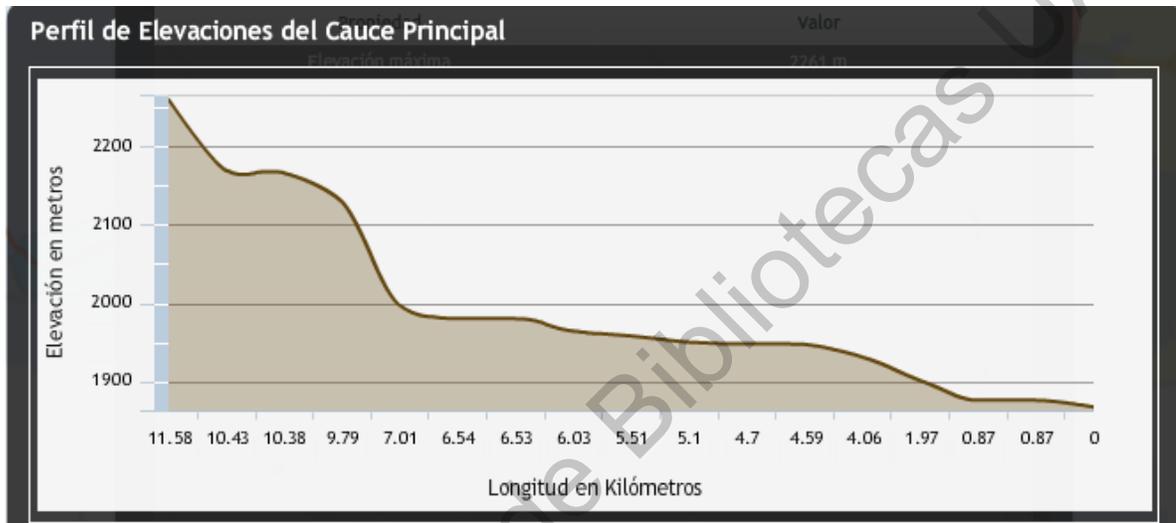


Figura 13. Perfil de elevación de la microcuenca El Nabo. SIATL, 2018.

4.1.2.2 Volumen medio de escurrimiento anual en la microcuenca

El volumen medio de escurrimiento anual de la microcuenca puede expresarse como lo señala la NOM-011-CNA-2015 en metros cúbicos $V(m^3)$ o como fracción por unidad de superficie en toda la microcuenca considerada para fines de simplificar su comprensión y posterior análisis y valoración en términos económicos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Conversión de unidades y resultado de la estimación de escurrimiento medio anual de la microcuenca El Nabo

Escenarios	pp (m)	área (m ²)	CE	V (m ³)	Volumen anual/hectárea (m ³ /h)
Actual	0.54581	26,280,000	0.1389	1,925,464.82	732.67
Negativo			0.1444	2,070,848.45	787.99
Ideal			0.1240	1,778,745.6	676.84

4.1.2.3 Indicador para evaluación de impactos

Para la reducción en coeficiente de escurrimiento se aplicó para los dos escenarios hipotéticos (negativo e ideal), por lo que:

$$\Delta C_{NEGATIVO} = 200 \frac{0.1240 - 0.1389}{0.1240 + 0.1389} = 3.88\%$$

$$\Delta C_{IDEAL} = 200 \frac{0.1240 - 0.1389}{0.1240 + 0.1389} = -11.33\%$$

De acuerdo a la fórmula, se calcula el valor económico de la regulación del flujo de agua, para el escurrimiento natural se utilizó el volumen anual calculado para los tres escenarios y la pérdida por efecto negativo se utilizó el presupuesto 2019 del Fondo Nacional de Desastres Naturales (\$3,644,000MXN), más el costo de la presa El Salto (\$30,000,000MXN).

$$VR_{fACTUAL} = 732.67 \left(\frac{m^3}{ha} \right) \cdot 2,455ha \cdot 0.8869 \frac{USD}{m^3} = \$1,595,271.33USD$$
$$\approx \$31,426,845.22MXN$$

$$VR_{fNEGATIVO} = 787.99 \left(\frac{m^3}{ha} \right) \cdot 2,269ha \cdot 0.8246 \frac{USD}{m^3} = \$1,474,343.00USD$$
$$\approx \$29,044,557.1MXN$$

$$VR_{fIDEAL} = 676.84 \left(\frac{m^3}{ha} \right) \cdot 2,455ha \cdot 0.9601 \frac{USD}{m^3} = \$1,595,342.67USD$$
$$\approx \$31,428,250.72MXN$$

De acuerdo a los resultados obtenidos, el calcular el coeficiente de escurrimiento y compararlo con escenarios hipotéticos, es un buen indicador de la capacidad de infiltración del suelo de acuerdo a sus usos y coberturas vegetales.

El aumentar el porcentaje de cobertura vegetal e implementar obras de conservación, ayuda a disminuir el coeficiente de escurrimiento permitiendo una mayor infiltración y retardo de la precipitación al llegar al suelo.

Mientras que, en un escenario negativo, al reducir el porcentaje de cobertura vegetal y aumentar zonas urbanas, disminuye significativamente el nivel de protección frente a inundaciones. A su vez el indicador de impacto es de 3.88%, por lo que es necesario tomar medidas de prevención.

Los resultados son similares al estudio realizado por Zimmermann y Bracalenti (2014), donde calculan y comparan el coeficiente de escurrimiento en un escenario real e hipotéticos de la ciudad de Rosario, Argentina, y encuentran que el incremento de suelo ocupado por áreas para agricultura y forestación urbana y periurbana, reduce los escurrimientos pluviales urbano y consecuentemente los riesgos de inundación, lo que resulta en mejoras sustanciales en el sistema de drenaje, reduciendo la demanda a la infraestructura, cuya ampliación es compleja.

Asimismo, Pizarro *et al.*, (2006), realizaron un análisis de 30 tormentas para la cuenca del río Tutuvén en Chile, demostrando que a medida que la vegetación es más densa, las escorrentías son menores, ya que juega un rol en la intercepción del agua, demorando la escorrentía superficial y favoreciendo la infiltración, lo que coincide con el escenario ideal hipotético.

4.2 Demanda

El Cuadro 9 muestra las demandas de servicios ecosistémicos en los distintos usos de suelo, se puede apreciar que los de uso antropogénico son más altos, como áreas urbanas y de cultivo. Los tipos de uso de suelo más cercanos a los naturales se caracterizan por actividades nulas o con menores tasas de demanda.

Cuadro 9. Matriz de evaluación que ilustra las demandas de los servicios ecosistémicos de la población que vive dentro de la Microcuenca El Nabo

		DEMANDA POTENCIAL														
		Provisión						Regulación				Cultural				
		Cultivo	Biomasa para energía	Nutrientes	Cría de animales	Recursos basados en plantas	Agua Potable	Climática	Calidad de Aire	flujo de Agua	Erosión	Peligros Naturales	Recreación y turismo	Belleza paisajista	Patrimonio cultural	Espiritual y religioso
Áreas de cultivo	Agricultura de Temporal	0	2	3	2	0	1	1	1	2	2	0	0	0	0	1
	Agricultura de Riego	0	3	4	1	0	3	2	1	3	3	0	0	0	0	0
Bosque	Bosque Tropical Caducifolio	0	0	3	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0
Matorral	Matorral Crasicaule	0	0	3	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	Matorral subtropical	0	0	3	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Pastizal	Pastizal Inducido	0	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	Pastizal Natural	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Agua	Cuerpos de Agua	0	2	2	3	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0
Suelos impermeables	Área urbana	5	5	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	3

Se determinó la microcuenca de influencia, denominada Leyes de Reforma, así como su población, que incluye a las colonias El Nabo, Leyes de Reforma, Loma Bonita, Jurica Pueblo, Rinconada Jurica, Jurica Campestre y Lomas de Satélite, con el fin de determinar la demanda de servicios ecosistémicos, ya que ellos son los principales usuarios y beneficiarios de los servicios ecosistémicos que proporciona la microcuenca El Nabo (Figura 14).

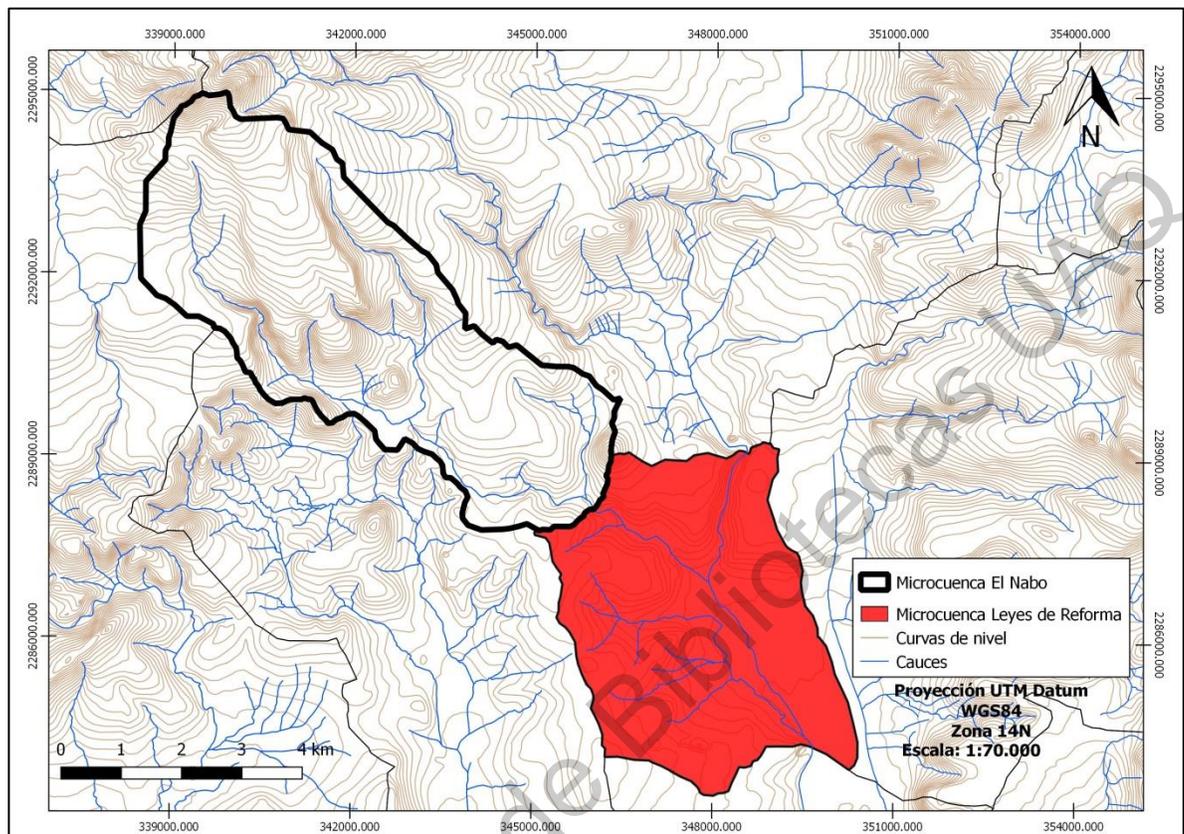


Figura 14. Microcuenca de influencia Leyes de Reforma. Fuente: INEGI (2015).
Elaboración Propia

A partir de los datos obtenidos en la oferta de servicios ecosistémicos evaluados, se diseñó una infografía para presentar el proyecto a los representantes locales de la microcuenca Leyes de Reforma. Posteriormente se expuso ante representantes de las colonias involucradas. Se diseñó una encuesta piloto, aplicada por medio tanto de la plataforma Survey Monkey, como en persona. La encuesta consta de información relevante sobre el bien o recurso evaluado, modificación del bien ambiental o recurso y características socioeconómicas (ANEXO 3)

De acuerdo a la ecuación $n = \frac{1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2}$, el tamaño de muestra para un nivel de confianza de 90% es de 270 encuestas, pero debido a la falta de empatía y poca participación de la población, solamente se obtuvieron 200 encuestas.

Los resultados de la encuesta son los siguientes:

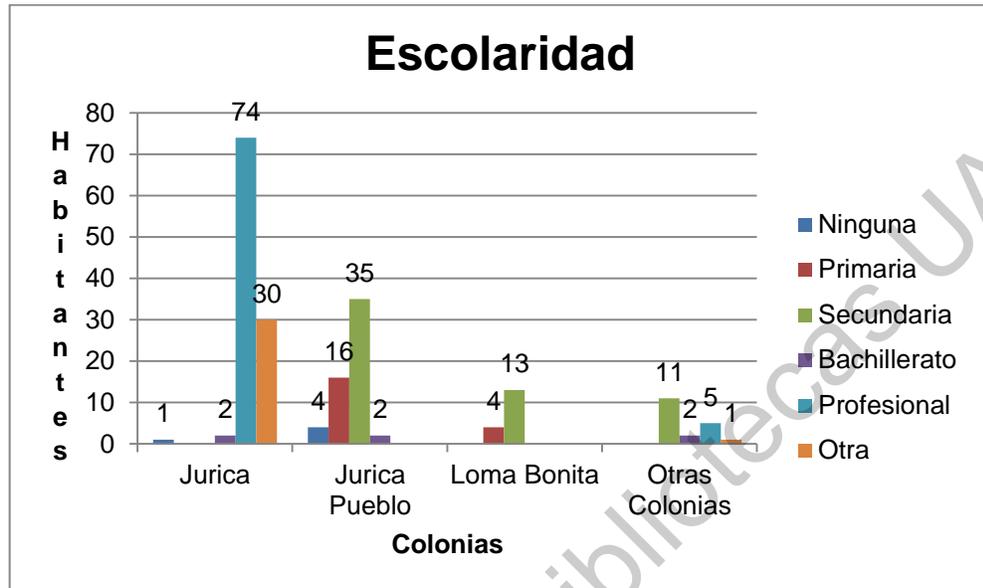


Figura 15. Nivel de escolaridad de habitantes de la microcuenca de influencia

De acuerdo a las encuestas aplicadas, se puede observar que en la colonia de Jurica es donde existe mayor índice de personas con estudios profesionales, maestría y doctorados, mientras que en las colonias restantes llegan hasta la secundaria.

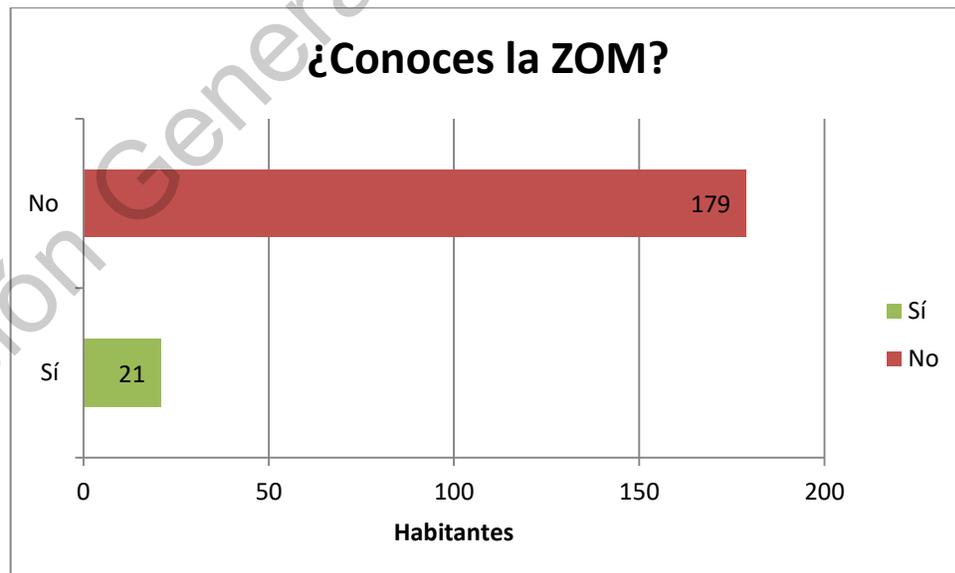


Figura 16. Conocimiento del área natural protegida

De acuerdo a la Figura 16, el 10.5% de los encuestados sí conoce acerca de la Zona Occidental de Microcuencas, mientras que el 89.5% desconoce esta área natural protegida

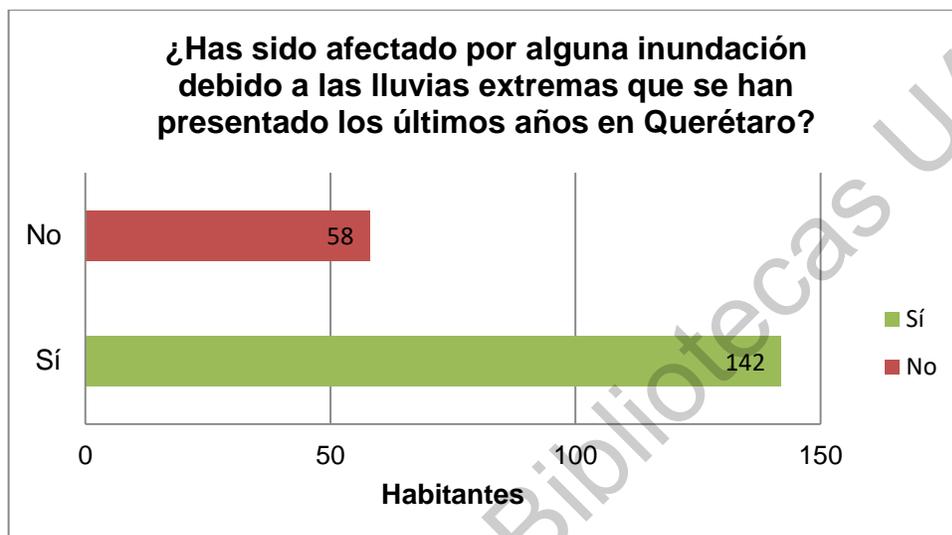


Figura 17. Afectación por inundación

El 71% de los encuestados ha sido afectado debido a las inundaciones que se han registrado estos últimos años, mientras que el 29% no ha sufrido ningún incidente (Figura 17).

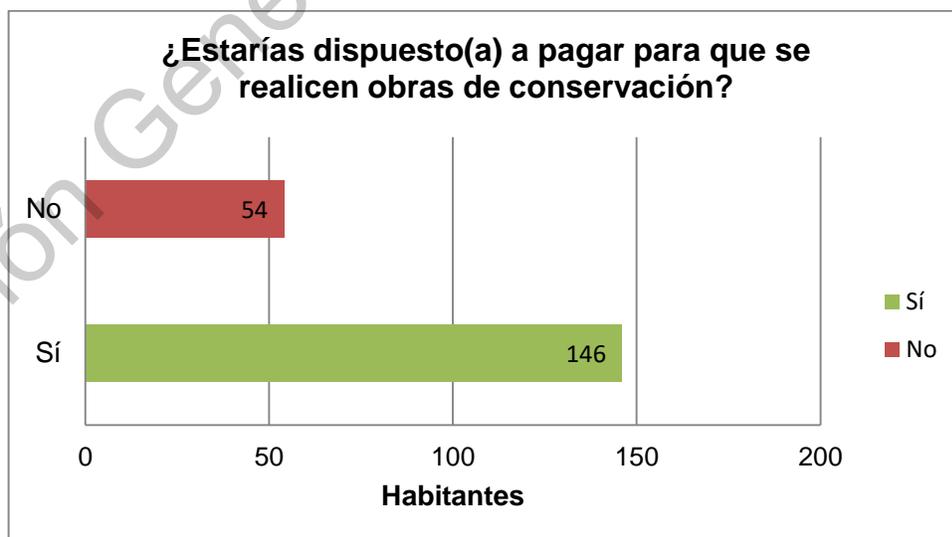


Figura 18. Disposición a pagar

El 73% de los encuestados está dispuesto a pagar para que se realicen obras de conservación, mientras que el 27% no está dispuesto, debido a que ellos consideran que es una de las razones por las que pagan impuestos (Figura 18).

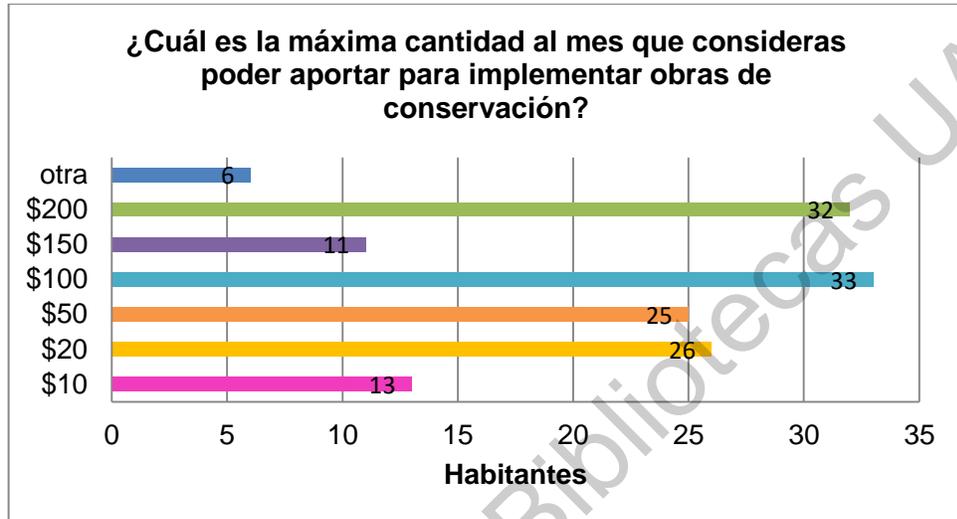


Figura 19. Cantidad dispuesta a pagar

Alrededor del 52 % de los encuestados considera que podrían aportar entre \$100 a \$200 mensuales, destinados a obras de conservación (Figura 19).

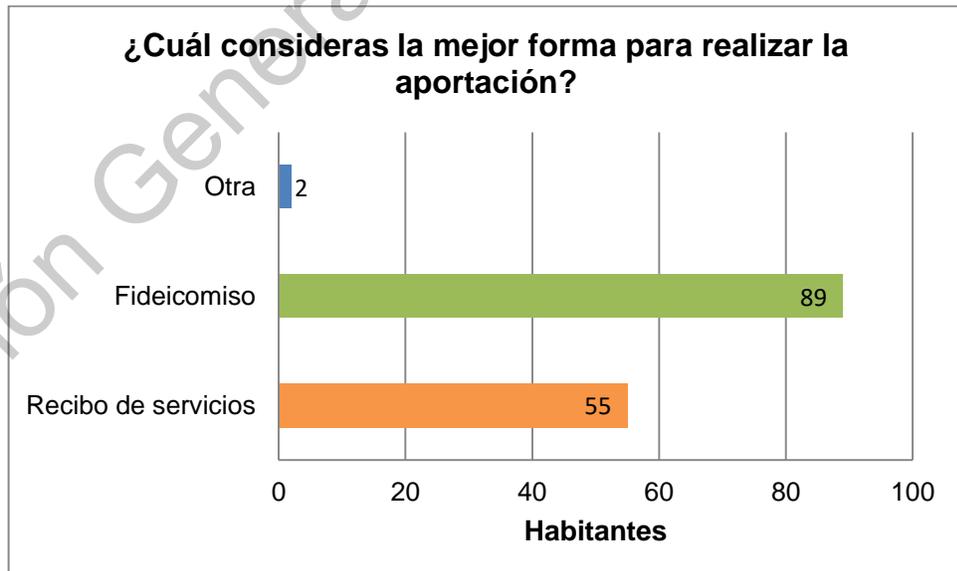


Figura 20. Medio para recibir la aportación

De acuerdo al 61% de los encuestados considera que un fideicomiso es la mejor opción para destinar esa aportación, mientras que el 39% especificaron que lo mejor sería a través de comercio o responsable directo, recibo de servicios y/o asociación civil con auditorías (Figura 20).

Con los resultados obtenidos, se puede apreciar que aunque la mayoría no conoce sobre la Zona Occidental de Microcuencas, están interesados en realizar una aportación económica para que sea realicen obras de conservación, sin embargo, existe un 22.5% que considera que el municipio o CEA es quien debería de realizar esa aportación. A su vez, están dispuestos a participar en programas de reforestación y compra de productos naturales provenientes de la ZOM.

4.2.1 Percepción Social

Durante la reunión con la Asociación de Colonos de Jurica, hubo una buena participación, asistieron representantes de las colonias de Jurica, Jurica Pueblo y Leyes de Reforma. Con ayuda de la infografía se les explicó el objetivo del proyecto y la participación que ellos podrían tener, además de responder una breve encuesta para conocer su disponibilidad a pagar.

En la colonia de Jurica se realizaron las encuestas por medio de la plataforma Survey Monkey, ya que a las personas se les facilitaba más contestarlas de esta manera. A pesar de que la encuesta no fue presencial, había una opción en donde podían realizar comentarios, los cuales los más interesantes fueron los siguientes: ojalá esta información sea de utilidad para la conformación de un proyecto integral; mil gracias por interesarse activamente en mejoras ecológicas y ambientales; que dejen de robar todos esos políticos, no sé cómo transparentar mejor los recursos, la corrupción sigue siendo el mayor problema de México, después la educación y falta de valores; por medio de exposiciones urbanas, libros, artículos, conferencias, mercados locales, de productos comestibles del lugar bajo explotación sustentable y artesanías se puede generar un apego a la zona y un amplio deseo de la comunidad a conservarlo; los

ciudadanos debemos de hacerlo, no el gobierno; si se hiciera un fideicomiso y el donativo fuera deducible de impuestos creo que gente participaría, sobre todo después de ver resultados; es importantísimo y urgente actuar en contra del cambio climático y el impacto ambiental.

Mientras que en Jurica Pueblo se realizó de forma presencial con ayuda de la representante de la colonia en la Asociación de Colonos, al llegar al punto de reunión, había muy pocas personas, se les explicó la encuesta, pero no querían contestarla porque mencionaban que no sabían leer o escribir o que la encuesta tenía letra pequeña, por lo que se les iba leyendo las preguntas para que ellos respondieran, algunas personas se asomaban o trataban de acercarse pero no querían participar, por lo que Margarita (la representante) decidió que mejor ella repartiría las encuestas en reuniones posteriores, ya que la gente no iba a participar con personas que no conocía. Dentro de los comentarios que realizaron algunas personas al realizar la encuesta fue que: nunca nos habíamos inundado como hace dos años; el agua aquella vez llegó a cubrir la barda de la escuela; nosotros a la orilla del río teníamos muchas plantas y árboles pequeños sembrados y todo se lo llevo; desde que vinieron a arreglar el dren, es peligroso para nuestros hijos porque es muy fácil que se caigan.

En la colonia de Loma Bonita, el representante de colonos no asistió a ninguna de las dos reuniones que se tuvo con la Asociación y al momento de buscarlo, habló de las fallas que hay en su colonia, por lo que nos invitó a asistir a un partido de fútbol para poder aplicar las encuestas. Durante la aplicación de las encuestas, la gente no mostraba tanto interés en responder las encuestas, muy pocas personas llegaron a tener dudas y preguntar en ese momento. Existió un poco de apatía de los habitantes al pedirles su colaboración y opinión.

4.3 Mecanismo de gestión

El cuadro 9 muestra la matriz correspondiente al balance y se observa una evidente falta de oferta de servicios en los tipos de uso de suelo dominados por el hombre (área urbana), mientras que los ecosistemas naturales, especialmente áreas boscosas, se caracterizan por el suministro de diversos servicios que exceden sus demandas, principalmente en biomasa para energía y en todos los SE culturales evaluados.

Cuadro 10. Matriz de evaluación que ilustra el balance potencial de los servicios ecosistémicos de la microcuenca El Nabo. Elaboración propia.

BALANCE POTENCIAL																
Usos de suelo y cobertura vegetal		Provisión						Regulación				Cultural				
		Cultivo	Biomasa para energía	Nutrientes	Cría de animales	Recursos basados en plantas	Agua Potable	Climática	Calidad de Aire	flujo de Agua	Erosión	Peligros Naturales	Recreación y turismo	Belleza paisajista	Patrimonio cultural	Espiritual y religioso
Áreas de cultivo	Agricultura de Temporal	4	1	0	0	1	-1	1	0	0	1	1	3	3	4	3
	Agricultura de Riego	3	-1	-2	1	2	-3	-1	0	-1	-1	1	2	3	3	4
Bosque	Bosque Tropical Caducifolio	1	5	1	3	4	0	4	4	5	3	5	5	5	4	4
Matorral	Matorral Crasicaule	2	5	2	3	5	0	4	4	5	3	4	5	5	5	5
	Matorral subtropical	2	5	1	5	4	0	3	3	4	3	4	5	5	5	5
Pastizal	Pastizal Inducido	2	3	1	2	2	0	2	2	3	3	3	4	4	4	3
	Pastizal Natural	3	4	2	3	2	0	2	2	4	4	4	4	4	4	3
Agua	Cuerpos de Agua	1	0	-2	1	0	1	0	0	-1	2	3	3	4	4	4
Suelos impermeables	Área urbana	-5	-4	-4	-3	-4	-5	-4	-4	-5	-4	-4	-1	-3	-2	0

Tras vincular especialmente las matrices de evaluación con los ecosistemas y seleccionar cuatro servicios ecosistémicos representativos de cada tipo de servicio (provisión, regulación y cultural), se obtuvieron cuatro mapas que muestran la oferta, demanda y balance potencial de servicios (Figura 21). En estos se puede observar que existe una oferta medianamente alta en matorrales y bosque, mientras que en la zona urbana es muy baja. En los mapas de demanda, se aprecia que ésta es alta en las zonas urbanas y que en matorrales y bosques es prácticamente nula. Al hacer el balance entre oferta y demanda, resulta que en matorrales y bosques hay un excedente significativo de oferta de servicios ecosistémicos, mientras que en agricultura es medianamente alto.

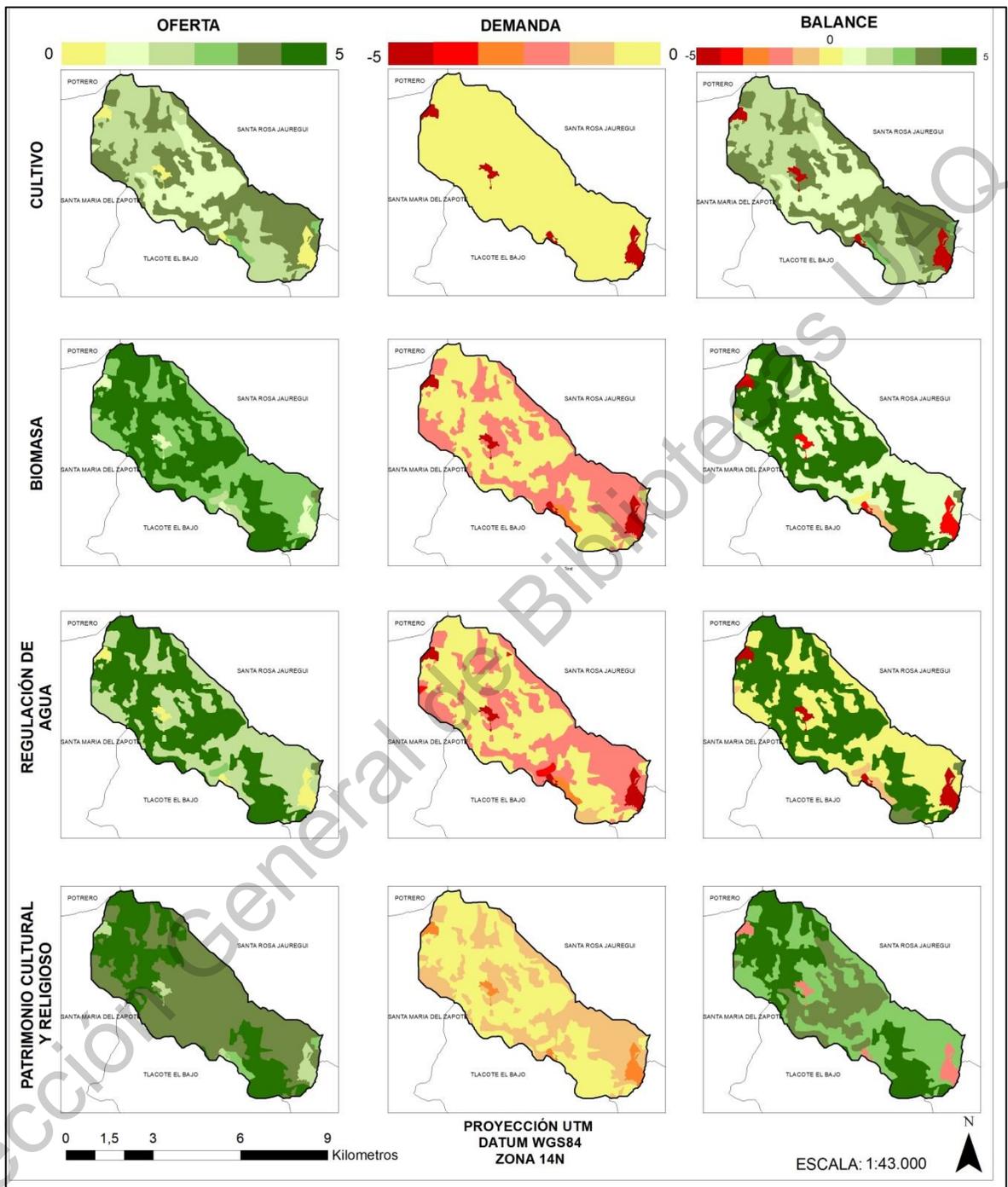


Figura 21. Mapas de evaluación que ilustran la oferta, demanda y balance potencial de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Nabo. (Burkhard *et al.*, 2009). Elaboración propia.

Los mapas en la fila izquierda sobre oferta potencial de servicios ecosistémicos ilustran las capacidades de los diferentes ecosistemas de la microcuenca para respaldar la integridad ecológica y suministrar servicios ecosistémicos, mientras que los mapas de la fila central representan a la demanda potencial de los seres humanos que viven dentro de la microcuenca y los mapas de la fila derecha ilustran la diferencia que hay en la oferta menos la demanda.

A pesar de tener excedentes de SE en la microcuenca El Nabo donde hay ecosistemas naturales, la zona urbana tiene un alto déficit de servicios, lo que significa que debido a la densidad de población este excedente de oferta es insuficiente para cubrir las necesidades que los habitantes demandan, ya que estos SE no solamente benefician a las personas que habitan dentro de la microcuenca, sino, también a los habitantes cuenca abajo.

El análisis de servicios ecosistémicos basado en la evaluación mediante matrices y mapeo, permitió hacer un reconocimiento geográfico sobre la distribución de la oferta, demanda y balance potencial de SE actuales. A diferencia de otros trabajos, permitió hacer no solo una estimación de oferta potencial de SE y su espacialización (p. ej. Kopperoinen *et al.*, 2014; Montoya *et al.*, 2017; Arriaga & Arias, 2018) sino también estimar la demanda potencial y el balance entre ambas.

Los resultados son similares a los obtenidos por Burkhard *et al.* (2012), quienes aplicaron la metodología para determinar la oferta y demanda de energía en una región de Alemania Central, revelando los patrones de las actividades humanas en el tiempo y espacio, así como las capacidades de diferentes ecosistemas para proporcionar servicios, sin embargo, mencionan que aún no se aborda el tema de las escalas espaciales y temporales, en este caso la escala espacial en la que se enfoca el estudio es a nivel microcuenca.

A su vez, se concuerda con Kopperoinen *et al.* (2014) donde indican que el principal beneficio de utilizar este enfoque es el ofrecer una plataforma para el

debate e intercambio de conocimientos sobre SE, pero también encontraron desafíos que igual se presentó en este caso de estudio, como la diversidad de SE, la selección de conjunto de datos dependiendo la escala, la variación de puntajes dados en cada servicio, y percibir la extensión espacial real del impacto del tema en el potencial específico de oferta de SE.

4.3.1 Marco legal

En la microcuenca El Nabo, así como la Zona Occidental de Microcuencas, se encuentra regulada por ordenamientos jurídicos Federales, Locales y Municipales para la gestión y manejo de los recursos naturales.

Las leyes tienen por objetivo, proteger y preservar el ambiente natural y la salud humana, así como la conservación de los recursos naturales, mientras que las leyes de equilibrio general son para la gestión y promueven como beneficios la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Desde una perspectiva económica, la legislación ambiental puede ser entendida como interesada en la prevención de las externalidades presentes y futuras, y la preservación de los recursos comunes del agotamiento individual. Las limitaciones y los gastos que tales leyes pueden imponer sobre el comercio y los beneficios no cuantificables a menudo de la protección del medio ambiente, han generado controversia. Dado el amplio alcance del derecho ambiental, no hay una lista totalmente definitiva de las leyes ambientales (López, 2019).

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona en el artículo 4º que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

Las principales leyes federales ambientales vigentes en México son:

1. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)
2. Ley de Aguas Nacionales (LAN)
3. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)
4. Ley General de Vida Silvestre (LGVS)
5. Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS)
6. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)
7. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)
8. Ley de Productos Orgánicos (LPO)
9. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS)
10. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)
11. Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Cuadro 11. Marco Legal Federal para la Protección y Manejo de Recursos Naturales

Ordenamiento Jurídico	Recursos Naturales Protegidos					
	Agua	Suelo	Aire	Flora	Fauna	Bosque
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	✓	✓				✓
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ley de Aguas Nacionales	✓	✓				
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	✓	✓		✓	✓	✓
Ley General de Vida Silvestre				✓	✓	
Ley de Desarrollo Rural Sustentable	✓	✓		✓	✓	
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	✓	✓	✓			
Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados				✓	✓	
Ley de Productos Orgánicos				✓		

Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable				✓	✓	
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticas	✓	✓	✓			
Ley General de Cambio Climático	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Partiendo de Carrillo (2009), en el cuadro 8, se puede observar que contamos con leyes ambientales, pero no todas protegen los mismos recursos naturales, lo que provoca que los recursos sean vulnerables a su buen manejo, lo que resulta ineficiente la protección de los SE.

De las doce leyes que se presentan, solamente la LGEEPA, LAN, LGDFS, LDRS y LGPAS, utilizan el término de cuenca, también el mencionan la forma de coadyuvar en su ordenación, rehabilitación y promover su manejo integral. Así como los organismos o consejos de cuenca.

Las principales leyes estatales ambientales vigentes en Querétaro son:

1. Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Querétaro
2. Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Querétaro
3. Ley Forestal Sustentable del Estado de Querétaro
4. Ley Orgánica del Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro
5. Ley de Fomento Apícola y Protección del Proceso de Polinización en el Estado de Querétaro
6. Ley de Biodiversidad del Estado de Querétaro
7. Ley de Cambio Climático para el Estado de Querétaro
8. Ley de Desarrollo Pecuario del Estado de Querétaro
9. Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Querétaro
10. Ley del Sistema Estatal de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres para el Estado de Querétaro

Cuadro 12. Marco Legal Estatal para la Protección y Manejo de Recursos Naturales

Ordenamiento Jurídico	Recursos Naturales Protegidos					
	Agua	Suelo	Aire	Flora	Fauna	Bosque
Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Querétaro	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ley Forestal Sustentable	✓	✓				✓
Ley Orgánica del Poder Ejecutivo	✓					
Ley de Fomento Apícola y Protección al Proceso de Polinización	✓			✓	✓	
Ley de Biodiversidad	✓	✓		✓	✓	✓
Ley de Cambio Climático	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ley de Desarrollo Pecuario	✓	✓			✓	
Ley de Prevención y Gestión Integral de los Residuos	✓	✓				

En cuanto a la Ley del Sistema Estatal de Protección Civil, Prevención y Mitigación de Desastres para el Estado de Querétaro, no protege recursos naturales, sin embargo, uno de sus objetivos es instituir las bases, procedimientos, estrategias y políticas de prevención y mitigación ante cualquier riesgo o desastre.

De acuerdo al marco jurídico estatal, la Ley de Protección Ambiental para el Desarrollo Sustentable indica las competencias del municipio en materia de gestión ambiental y sus principales lineamientos, como: ordenamientos ecológicos locales, protección de recursos naturales, participar en la creación de Áreas Naturales Protegidas de competencia municipal y sus programas de manejo. Sin embargo, la ZOM a pesar de tener más de 10 años decretada como ANP, sigue sin contar con un plan de manejo y conservación. También la Ley Forestal Sustentable, fomenta la protección y rehabilitación de los ecosistemas forestales,

así como de los SE que ofrece. Asimismo, ambas leyes abordan el tema de conservación de cuencas, así como los instrumentos de política forestal que deben de realizarse a nivel microcuenca.

En el municipio de Querétaro existe el Reglamento del Consejo de Desarrollo Rural Sustentable y una de sus funciones es participar en acciones que estén relacionadas a la conservación y protección del medio ambiente, de la biodiversidad y el aprovechamiento sustentable. También existe el Reglamento de Protección Ambiental y Cambio Climático el cual aplica sus instrumentos y programas principalmente para conservar, preservar y proteger el medio ambiente. Además el Reglamento Ambiental por medio del ordenamiento ecológico busca desarrollar una política ambiental, permitiendo establecer mecanismos para gestionar las áreas naturales protegidas y su monitoreo.

A pesar de contar con legislación ambiental federal, estatal y municipal para poder gestionar y manejar los recursos naturales, no existe una regulación de forma integral, y no todas las leyes están enfocadas en el manejo de cuencas, por lo que resulta ineficiente para la conservación de los recursos naturales y requiere de mayor implementación.

4.3.2 Propuesta para la implementación del PSA

Después de establecer la oferta y determinar la demanda de SE, se plantea un esquema de compensación, el cual es considerado como instrumento de manejo de los recursos naturales, ya que a través de un estímulo a los propietarios de la ZOM, se podrá mantener, mejorar y aprovechar los SE hacia la ciudad de Querétaro. La figura 21, muestra el esquema propuesto, el cual cuenta con cinco componentes como son:

- Beneficiarios del SE: Habitantes de la ciudad de Querétaro, ya que son los principales usuarios de estos SE y quienes realizarán la aportación voluntaria.

- Operadores locales: Intermediario quien cobrará y administrará el capital proveniente de los beneficiarios y otras fuentes de financiamiento, además se encargará de los contratos con los proveedores de SE y de su compensación. Esta puede ser el Centro Regional de Capacitación en Cuencas o alguna Asociación Civil, la que se encargue de hacer llegar el dinero, basándose en los planes de manejo de microcuencas, resultados del ordenamiento ecológico y otros estudios de áreas prioritarias para conservación y manejo
- Proveedores de SE: Habitantes de la ZOM, quienes son los propietarios de las tierras, estos son ejidatarios, agricultores, pequeños propietarios.
- Fondo de SE: FIQMA o Ecología del Municipio de Querétaro quien se encargue de operar el esquema.

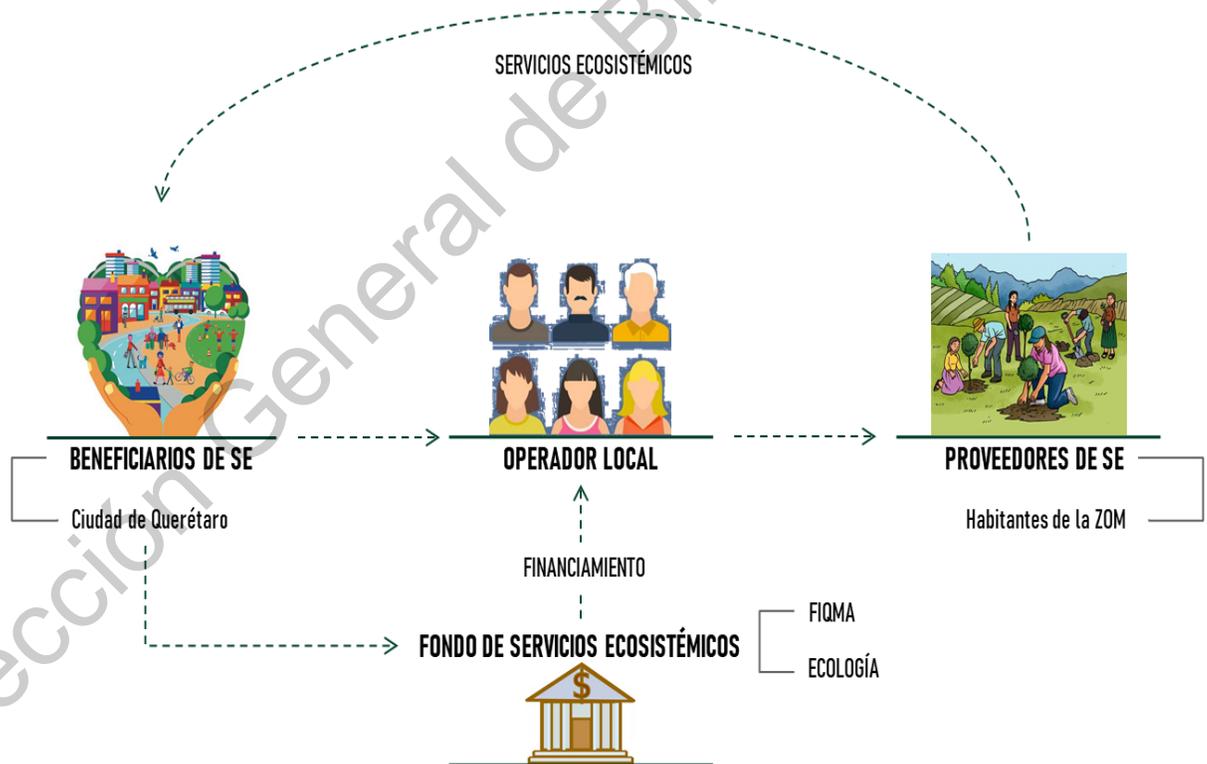


Figura 22. Componentes del esquema de PSA para la ZOM. Fuente: Elaboración Propia

Además, este esquema cuenta con cinco ejes estratégicos para su óptimo funcionamiento, los cuales son (Figura 22):

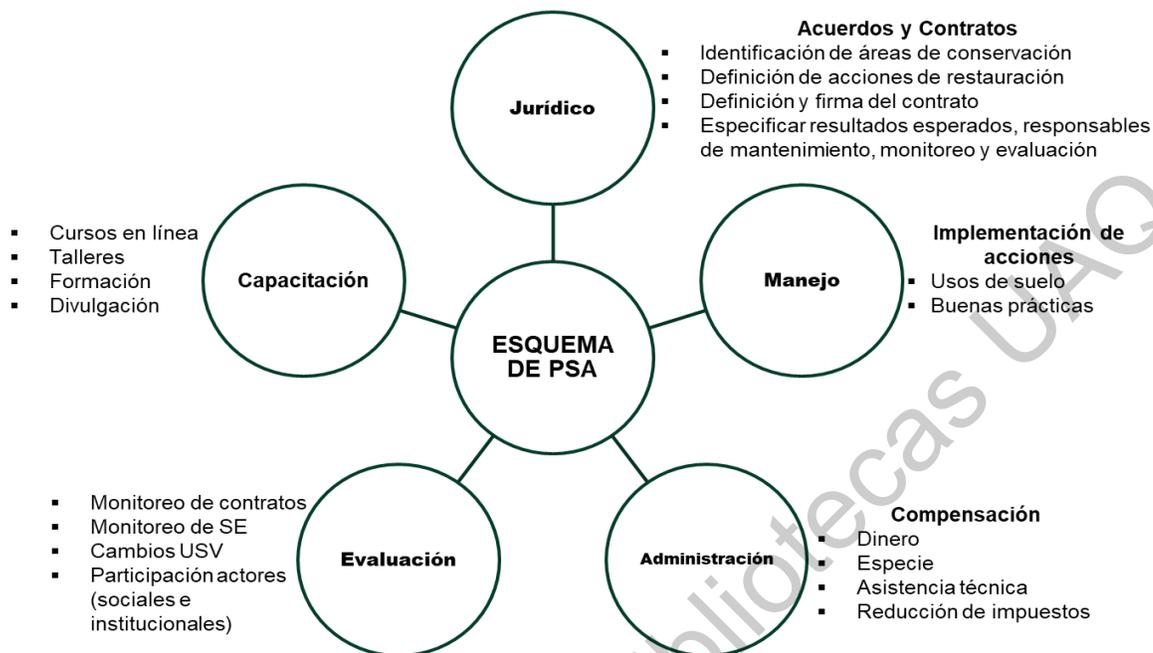


Figura 23. Ejes principales para la implementación del esquema de PSA. Fuente: Elaboración Propia

1. Jurídico: se proponen dos vías, uno es desarrollar el programa mediante el Fideicomiso Queretano para la Conservación del Medio Ambiente (FIQMA), ya que es un organismo paramunicipal con personalidad jurídica y patrimonio propio, constituido por un comité técnico conformado por servidores públicos de la administración municipal y ciudadanos. Además de que uno de sus objetivos es dar transparencia para la recuperación, mejoramiento, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales. La segunda vía posible es por medio de Dirección de Ecología ya que su objetivo es fortalecer el derecho de la población a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, a través de programas que promuevan procesos productivos socialmente responsables. Asimismo el contrato debe de ser firmado entre proveedores y el intermediario (operador local), este es quien decide las prácticas a implementar en la ZOM para el manejo de los recursos naturales y proporciones de SE. El reglamento debe definir a los beneficiarios y proveedores de los SE, establecer los

lineamientos para los montos de pago a realizar, así como periodicidad. También se debe establecer las áreas a restaurar, delinear las prácticas de conservación y su evaluación basándose en el Plan de Manejo de la ZOM. El contrato será entre el operador local y los proveedores, el cual puede tener una duración de un año renovable y se establecerá sus deberes y derechos de ambas partes, especificar los resultados esperados de los SE, responsables de mantenimiento, restauración y conservación, así como los responsables de monitoreo, verificación y evaluación, establecer la forma de recibir los pagos. En caso de incumplimiento por alguna de las partes, deberá indemnizar a la otra parte por daños y el contrato será anulado.

2. Manejo de la oferta: El operador local en conjunto con los proveedores, establecerán las obras de conservación y aprovechamiento, siguiendo los lineamientos del Plan de la ZOM que están alineados con el ordenamiento y Planes de Manejo de cada microcuenca. con el fin de preservar los SE y mantener o mejorar la ZOM.
3. Administración: En este caso el operador local será el encargado de gestionar, organizar y administrar los recursos que contribuya al mejoramiento de la ZOM, también será el intermediario entre los usuarios y los proveedores. Además de recolectar los fondos de los beneficiarios.
4. Formación de capacidades: Las capacitaciones deberán ser proporcionadas a todos los actores involucrados. Pueden ser por medio de cursos en línea donde se fomente la importancia de los SE, el cuidado de la ZOM y la función del PSA, talleres entre comunidades rural-urbana para generar un vínculo y ayuden a la toma de decisiones, formación de promotores de la ZOM, crear material de divulgación desde niños hasta adultos.
5. Evaluación: Este eje evalúa a los cuatro anteriores. Se debe crear un comité de evaluación con un representante de cada uno de los componentes involucrados: proveedor, beneficiario, gobierno, academia quienes serán los encargados de supervisar el cumplimiento del

reglamento, acuerdos y contratos, así como las propuestas de manejo por el operador local, además de proporcionar ayuda técnica. En el manejo de la oferta se evaluará por el cambio de cobertura vegetal y sus SE. Los proveedores también participan en el proceso, ya que se toma en cuenta su opinión, así como los beneficiarios, pues al realizar la capacitación, su participación será importante al visitar la ZOM y ellos mismos puedan monitorear y controlar las prácticas de manejo implementadas.

4.3.3 Implicaciones del Sistema de PSA

Existen ciertas implicaciones o limitantes que se pueden prever en la implementación de Pago por Servicios Ambientales en el Municipio de Querétaro, como por ejemplo: 1) Desconocimiento por los habitantes, instituciones y gobierno sobre la importancia de los SE; 2) escaso reconocimiento de los impactos positivos en la parte baja de la cuenca gracias a las actividades en la parte alta y media; 3) falta de monitoreo y evaluación de los SE, así como del mecanismo de PSA; 4) pérdida de interés al PSA; 5) el pago no sea visto como estímulo, sino como interés económico; 6) falta de sustento legal a largo plazo; 7) mal manejo de los recursos económicos y naturales.

5. Conclusiones

Con base en el objetivo general propuesto en este estudio se evaluó la oferta de captura de carbono y regulación hídrica en la microcuenca El Nabo, la cual cuenta con un porcentaje aceptable de suministro de SE; sin embargo, la cuenca es muy pequeña para proveer SE suficientes a la ciudad de Querétaro, por lo que se debe tomar en cuenta la evaluación a las demás microcuencas pertenecientes a la ZOM. Además se determinó la disponibilidad a pagar de los consumidores directos de estos SE y se propuso un esquema de PSA. Debido a que las microcuencas de la ZOM, se encuentra en los límites de la ciudad de Querétaro, se considera importante implementar un PSA para contribuir al aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, así como generar una conciencia entre los habitantes involucrados.

Con respecto a la oferta, la matriz de suministro de servicios ecosistémicos potenciales y su representación espacial es determinante para fortalecer la comprensión de cómo y dónde se producen procesos ecológicos que tienen beneficios para las personas que viven en la parte baja, en este caso la ciudad de Querétaro y que dependen de la conservación de los ecosistemas presentes. Más aún, permitió detectar necesidades de restauración de ecosistemas degradados como por ejemplo los matorrales, que potencialmente podrían ser capaces de proveer más servicios ecosistémicos. En relación al área apta para captura de carbono (9.10ha) se midieron 1.56 ha, las cuales proporcionan 151.33 toneladas de carbono, obteniendo un valor económico entre \$7,400MXN hasta \$45,400MXN. Siguiendo la guía básica de restauración de ecosistemas forestales de CONAFOR (2009), las principales especies para reforestar matorral y que se encuentran en la zona de estudio son: *P. laevigata* y *C. velutina*. Mientras que las especies de bosque tropical caducifolio como *A. schaffneri*, *B. faragooides*, *E. polystachya* y *K. humboldtiana* han sido recomendadas en proyectos de reforestación ecológica a mediano y largo plazo (Soto et al., 2019).

Los ejercicios de simulación de escurrimiento medio anual y caudal pico con periodos de retorno hasta por 100 años muestran que la microcuenca El Nabo es susceptible a sufrir notables perjuicios en estos conceptos. Ante fenómenos naturales extremos con periodos de retorno de hasta 100 años, una tormenta que se presente en el área en las condiciones de cobertura del escenario negativo mostraría un caudal pico con 4 m³/s más que en el escenario actual. Mientras que un evento del mismo tipo en las condiciones del escenario ideal, representaría 10 m³/s menos que el escenario actual (ver cuadro 7). La diferencia entre estos caudales pone de relieve todo lo que el movimiento de estas masas de agua significa, en términos de arrastre de sedimentos y daños por inundaciones en la salida de la microcuenca. Por otro lado, las diferencias de los valores medios de escurrimiento anual fueron analizados con una metodología *Ad Hoc* y muestran también que, además de las implicaciones de riesgo la disminución de el escurrimiento superficial se traduce en posibilidad de retención de la humedad en la microcuenca y con ello su disponibilidad para el mantenimiento de otros SE como el funcionamiento de las dinámicas vegetales y eventualmente la mejora en la recarga de los acuíferos.

En relación con la demanda de los habitantes urbanos por servicios ecosistémicos, se determinó por medio de las encuestas, las cuales muestran que el 70% de las familias pagarían entre \$100MXN y \$200MXN al mes y el 30% restante pagaría entre \$10MXN hasta \$50MXN para contribuir a la conservación de la ZOM. Se considera importante la implementación de un mecanismo local de Pago por Servicios Ambientales; sin embargo, a partir de las encuestas se observó que los habitantes de Loma Bonita, Jurica Pueblo y Jurica no entienden completamente el concepto de Pago por Servicios Ambientales, además de que entre estas colonias existen diferentes niveles socioeconómicos, por lo que en unas colonias pueden aportar mayor cantidad de dinero, mientras que en otras su disposición a pagar es menor, por esta razón se considera necesario realizar

talleres y visitas a la ZOM, esto con el fin de generar un vínculo con personas de la cuenca alta con los de la cuenca baja.

Sobre la propuesta para construir un mercado de SE y que se pueda implementar, es necesario que el diseño del esquema sea de interés por todos los actores involucrados y se ejecute en el momento adecuado, es decir; ya que se establezcan todos los acuerdos y condiciones. A su vez, este esquema propuesto está basado en las problemáticas ambientales locales, ya que considera las necesidades de la población para mejorar su calidad de vida, así como establecer una equidad rural-urbana, ya que generará un vínculo entre las cuencas pertenecientes a la ZOM, quienes proveerán servicios ecosistémicos y la ciudad de Querétaro.

Dirección General de Bibliotecas UMO

Recomendaciones

Aunque la situación puede ser extendida a toda la ZOM, es recomendable realizar las matrices y mapas de oferta, demanda y balance potencial de SE en cada una de las microcuencas pertenecientes a la ZOM, esto con el fin de tener mayor soporte para la propuesta de PSA.

Es cuanto a la captura de carbono, se puede mejorar la estimación de la biomasa, considerando la variación temporal, por lo que se recomienda realizar mediciones a futuro, así como recolectar biomasa seca, para estimar las ecuaciones alométricas de la zona de estudio, mediante regresión lineal y determinar la captura de carbono en cronosecuencias.

A su vez, para enriquecer los datos de regulación hídrica se recomienda tomar en cuenta la cantidad de agua potable utilizada en la microcuenca. Asimismo es importante conocer los usos que se le da al agua de escurrimiento. La regulación en el transporte de sedimentos de agua potable, los usos que se le da en las zonas funcionales de las microcuencas, su calidad y la regulación de sedimentos.

En cuanto a la demanda, es muy importante capacitar de manera continua a la población rural y urbana, además de actores involucrados como el sector industrial, institucional y gubernamental, mediante talleres, cursos en línea y actividades, para que reconozcan la importancia de mantener los SE.

Sería importante realizar la evaluación de SE a escala temporal, ya que como se mencionó anteriormente, el crecimiento poblacional ha aumentado aceleradamente y los ecosistemas podrían ser modificados, por lo que se recomienda realizar continuamente escenarios a futuro, tanto del tipo ideal como del tipo negativo.

Además de la aportación económica por los habitantes de la parte baja, se recomienda obtener incluir aportaciones desde los sectores industriales, institucionales y gubernamentales.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M., Guevara, A., Muñoz, C., Manson, R., Braña, J., Tovar, C., Estrada, M. (2003). Introducción a los servicios ambientales. *SEMARNAT-CACADESU Y Hombre Naturaleza, A.C. R*
- Arriaga, K., & Arias, M. (2018). Mapeo y caracterización servicio ecosistémico de provisión y recreación en la cordillera de Nahuelbuta. *Investigaciones Geográficas, 55*, 69–88.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas, 21*(1).
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica, 85*, 8–15.
- Barbosa, M., Campanha, A., Oliveira, M., & Goncalves, L. (2011). Criterios e indicadores para la valoración de los servicios ambientales en Brasil. *Revista Letras Verdes, 9*, 48–65.
- Barcenas, D. (2010). *Diseño de indicadores técnicos y sociales para un prototipo de vivienda rural sustentable en la microcuenca La Joya*. Universidad Tecnológica de Querétaro.
- Barzev, R. (2010). Experiencias Replicables de Pago por Servicios Ambientales (PSA) del Recurso Agua en Centroamérica. *Corredor Biológico Mesoamericano*.
- Benito, R. (2012). *Evaluación de la viabilidad de implementar una unidad de manejo para la conservación de la vida silvestre (uma) en la microcuenca la joya, qro* . Universidad Autónoma de Querétaro.
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services ? The need for standardized environmental accounting units.
- Brooks, K., Ffolliott, P., & Magner, J. (2013). *Hydrology and the management of watersheds*. (Wiley-Blackwell, Ed.) (4th ed.).
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests : current status and future challenges. *Environmental Pollution, 116*, 363–372.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. *Landscape Online, 1–22*. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem services supply, demand and budgets. *Ecological Indicators, 21*, 17–29.
- Bustos, D., Morales, A., Cambrón, V., & Ladesma, M. (2015). Estimación De La Capacidad De Captura De Carbono De La Vegetación Del Parque Nacional “El Cimatarío, Querétaro.” *Digital Ciencia UAQ*.
- Camacho, V., & Ruiz, A. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios

ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), 3–15.

Carrillo, M. (2009). *La implementación jurídica del pago por servicios ambientales en la microcuenca El Pueblito-Joaquin Herrera*. Universidad Autónoma de Querétaro.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecología*, 145, 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

CONABIO. (2009). Servicios Ambientales. *Biodiversidad Mexicana*.

CONACYT. (n.d.). Áreas Naturales Protegidas del Estado de Querétaro.

CONAFOR. (2007). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales*.

CONAFOR. (2009). Servicios Ambientales y Cambio Climático.

CONAFOR. (2016). Conoce el Programa de Pago por Servicios Ambientales.

CONANP. (2010). Pago por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas.

CONAPO. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*.

Contreras, E. (2011). *Género y agua en la microcuenca La Joya, Querétaro*. Colegio de Postgraduados.

Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., van den Belt, M. (1997). The value of the world ' s ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(May), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Cotler, H., & Caire, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. (SEMARNAT, Ed.). México.

CRCC. (2018). Centro Regional de Capacitación en Cuencas.

Cristeche, E., & Penna, J. A. (2008). Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. *Estudios Socioeconómicos de La Sustentabilidad de Los Sistemas de Produccion y Recursos Naturales*, 3, 58.

Cruz, F., & Rivera, S. (2003). Valoración económica del recurso hídrico para determinar el pago por servicios ambientales en la cuenca del río Calán, Honduras. *Escuela Nacional de Ciencias Forestales*, 15(2), 24–31.

Daily, G. (1997). *Nature's Services : Societal Dependence On Natural Ecosystems*.

De Groot, R., Wilson, M., & Boumans, R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393–408.

Elias, M., & Potvin, C. (2003). Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 1039–1045. <https://doi.org/10.1139/X03-018>

- FAO. (2004). *El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*.
- Felix, L. (2011). *Estudio Comparativo de la Dinámica Ecosistémica de tres Cauces Periurbanos de la Ciudad de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Fuentes, T. (2008). Análisis de los programas de pago o compensación por servicios ambientales en la cuenca del pixquiac, 29.
- González, Á., & Riascos, E. (2007). Panorama Latinoamericano del pago por Servicios Ambientales. *Gestión y Ambiente*, 10(2), 129–144.
- Granados, L. (2011). *Más allá del parteaguas. Diversidad de saberes en el manejo y la gestión del agua. El caso de La Joya, Querétaro, México*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Haines-young, R., & Potschin, M. (2010). Common International Classification of Ecosystem Services Guidance on the Application of the Revised Structure.
- Haines-young, R., & Potschin, M. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4*, .
- Hartmann, J., & Petersen, L. (2005). *El “mercadeo” de servicios ambientales: lecciones aprendidas en el desarrollo cooperativo alemán*. SEMARNAT.
- Herbert, T., Vonada, R., Jenkins, M., Bayon, R., & Frausto, J. (2010). Fondos ambientales y pagos por servicios Ambientales: proyecto de capacitación de RedLAC para fondos ambientales. *RedLAC*, 104.
- Hernández, J., Martínez, B., Méndez, J., Pérez, R., Ramírez, J., & Navarro, H. (2009). Rurales y periurbanos: Una aproximación al proceso de conformación de la periferia poblana. *Papeles de Poblacion*, 15(61), 275–295.
- IPCC. (2005). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage: Technical Summary*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.
- Kopperoinen, L., Itkonen, P., & Niemala, J. (2014). Using expert knowledge in combining green infrastructure and ecosystem services in land use planning: an insight into a new place-bases methodology. *Landscape Ecology*, 29, 1362–1375.
- Licenciatura de Geografía Ambiental. (2016). *Plan de manejo de la Zona Occidental de Microcuencas*. Trabajo no publicado.
- López, L. (2019). Legislación Ambiental Mexicana. Retrieved from lopezbarbosa.net
- Manson, R., & Moreno-Cassasola, P. (2006). Servicios Ambientales que proporciona la zona costera. In *Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal* (Vol. 1).
- MEA. (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio Informe de Síntesis. Ecosystems and human wellbeing: synthesis*. Island Press, Washington, DC.

- Merino, L. (2006). Agua , bosques y participación social. La experiencia de la comunidad de San Pedro Chichila, Guerrero. *Gaceta Ecológica*, 80, 33–49.
- Ministerio del Ambiente y Energía. (1996). Ley Forestal. Costa Rica.
- Montaño, S. (2012). *Propuesta de indicadores para la evaluación del proyecto “creación del centro regional de capacitación en cuencas.”* Universidad Autónoma de Querétaro.
- Montoya, C., De la Barrera, F., Salazar, A., & Inostroza, L. (2017). Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaiso, Chile. *PLoS One*, 12(11).
- Municipio de Querétaro. (2015). *Inventario municipal forestal y de suelos*. México.
- Nacionales, L. de A. Diario oficial de la federación (1992).
- Návar, J., Méndez, E., Nájera, A., Graciano, J., Dale, V., & Parresol, B. (2004). Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of North-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 59, 657–674. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.02.010>
- Ordóñez, J., Galicia, A., Venegas, N., Hernández, T., Ordóñez, M., & Dávalos, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*, 21, 77–126.
- Pagiola, S., Arcenas, A., & Platais, G. (2005). Can Payments for Environmental Services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development*, 33, 237–253. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011>
- Pineda, R., Domínguez, M., Hernández, L., & Ventura, E. (2005). *Microcuencas y Desarrollo Sustentable: Tres Casos en Querétaro*. (Universidad Autónoma de Querétaro & SEMARNAT, Eds.). México.
- Pizarro, R., Tapia, M., Román, L., Jordán, C., & Farías, C. (2006). Coeficientes de escorrentía instantáneos para la cuenca del río Tutuvén , VII Región del Maule , Chile. *Bosque*, 27(2), 83–91.
- Pompa, M., & Sigala, J. (2017). Variación de captura de carbono de especies forestales en México: una revisión. *Madera y Bosques*, 23(2), 225–235. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321512>
- Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, D., & Díaz, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales . Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica*, (84–85), 17–26.
- Rozas, D., Fürst, C., & Geneletti, D. (2019). Integrating ecosystem services in spatial planning and strategic environmental assessment : The role of the cascade model. *Environmental Impact Assessment Review*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106291>

- Santillán, M. (2013). Manejo integral de cuencas hidrográficas para evitar problemas de agua. *Ciencia UNAM*.
- Sosa, V., Iglesias, L., & Alanís, J. (2007). *Las Políticas Públicas para Instrumentar Programas de Pago por Servicios Ambientales: Logros y Avances Servicios Ambientales Forestales*.
- Soto, C., Cambrón, H., & Renaud, R. (2019). Atributos de las especies arbóreas y su carbono almacenado en la vegetación del municipio de Querétaro, México. *Madera y Bosques*, 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511699>
- Sukhdev, P., Wittmer, H., & Miller, D. (2014). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB): Challenges and Responses*. <https://doi.org/10.1093/acprof>
- Swallow, B., Mienzen, R., & Miene, V. (2006). *Cómo localizar la demanda y la oferta de servicios ambientales: interacciones con derechos de propiedad, acción colectiva y bienestar social de pequeños propietarios. El manejo de los recursos de uso común: Pago por servicios ambientales*.
- Tapia, S. (2014). Queretanos demandan más recursos naturales. *El Financiero*.
- TEEB. (2018). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*.
- Torres, J., & Guevara, A. (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica*, (63), 40–59.
- Turner, K., Georgiou, S., & Fisher, B. (2008). *Valuing Ecosystem Services. The Case of Multi-functional Wetlands*. Earthscan.
- Vázquez, C., Mata, E., Palma, D., López, A., & Márquez, G. (2011). *Valoración económica de los bienes y servicios ambientales en zonas con influencia petrolera en Tabasco*.
- Vázquez, R., Ventura, E., Oleschko, K., Hernández, L., Parrot, J., & Nearing, M. (2010). La erosión del suelo y la escorrentía en diferentes parches de vegetación semiárido del centro de México. *Cadena*, 80(3), 162–169.
- Verduzco, E. (2016). *Crecimiento basal de especies arbóreas de la Península de Yucatán de acuerdo a un gradiente en la disposición de agua*. Colegio de la Frontera Sur.
- Villalón, H. (1922). *Peso específico básico aparente y humedad de la madera de 26 especies del matorral del noreste de México*. México.
- Walker, J., Dowling, T., & Veitch, S. (2006). An assessment of catchment condition in Australia. *Ecological Indicators*, 6, 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.020>
- Wallace, K. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, (139), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>
- Wunder, S. (2006). *Pagos por Servicios Ambientales: principios básicos esenciales*. Centro Internacional de Investigación Forestal.

- Wunder, S., Wertz, S., & Moreno, R. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Instituto Nacional de Ecología*, (007), 39–5. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2010.12.013>
- Yerena, J., Jiménez, J., Aguirre, O., & Treviño, E. (2012). Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso , en el matorral espinoso tamaulipeco , en México. *Bosque*, 33(2), 145–152. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200004>
- Zarco, V., Valdez, J., Ángeles, G., & Castillo, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal agua blanca , macuspana , tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 1–17.
- Zimmermann, E., & Bracalenti, L. (2014). *Reducción de riesgo de inundación urbana mediante incremento de áreas para la agricultura y la forestación urbana y periurbana (UPAF)* (Climate an). Reino Unido.

Anexos

Anexo 1. Apéndice Normativo “A” de la NOM-011-CNA-2015

TABLA 1 VALORES DE K, EN FUNCIÓN DEL TIPO Y USO DE SUELO

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		
USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:	0,24	0,27	0,30
En Hileras	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,14	0,20	0,28
Pastizal:	0,20	0,24	0,30
% del suelo cubierto o pastoreo	0,24	0,28	0,30
Más del 75% - Poco -	0,07	0,16	0,24
Del 50 al 75% - Regular -	0,12	0,22	0,26
Menos del 50% - Excesivo -	0,17	0,26	0,28
Bosque:	0,22	0,28	0,30
Cubierto más del 75%	0,26	0,29	0,32
Cubierto del 50 al 75%	0,27	0,30	0,33
Cubierto del 25 al 50%	0,18	0,24	0,30
Cubierto menos del 25%			
Zonas urbanas			
Caminos			
Pradera permanente			

Anexo 2. Infografía El Nabo



Anexo 3. Encuesta

¿QUÉ ES LO QUE LA NATURALEZA ME BRINDA?

¿Sabías que? Cuando llueve el agua que debería infiltrarse al suelo, escurre y baja a la ciudad con mayor fuerza, lo que aumenta el riesgo de inundaciones, esto es debido a que el suelo se encuentra en mal estado y existe una disminución de vegetación siendo una de las causas del aumento de temperatura.

La Zona Occidental de Microcuencas (ZOM) es un Área Natural Protegida (ANP), esta es muy importante para el desarrollo de la ciudad de Querétaro, ya que protege las partes altas donde se capta el agua de lluvia, nos da aire limpio, espacios de recreación, previene de inundaciones y nos provee agua.

Los que vivimos en la ciudad nos beneficiamos de ella, por lo que es necesario encontrar alternativas que ayuden a su conservación, restauración y buen aprovechamiento de los recursos naturales para mejorar nuestra calidad de vida.

Como parte de un proyecto de investigación te agradeceríamos mucho si pudieras responder algunas preguntas. Puedes dejar de responder en cualquier momento y solicitarnos que no usemos las respuestas, incluso después de responder las preguntas, si así lo deseas. Las respuestas de guardarán de forma segura y anónima. Si después tienes alguna pregunta o deseas saber más sobre el estudio, puedes contactarte con Dora Beatriz Palma Hernández al correo: palmyux@gmail.com

1. ¿Qué edad tienes?: _____
2. Escolaridad:
 - ___ Ninguna
 - ___ Primaria
 - ___ Secundaria
 - ___ Bachillerato
 - ___ Profesional
 - Otro (especifica) _____
3. ¿Cuánto tiempo tienes viviendo en Querétaro?
 - ___ Menos de 1 año
 - ___ De 1 a 10 años
 - ___ De 10 a 25 años
 - ___ Más de 25 años

4. ¿En qué colonia vives?
- _____
5. En tu casa, ¿Cuánto pagan por el servicio de agua al mes?
- ___ \$100-\$200
- ___ \$200-\$400
- ___ \$400-\$800
- ___ \$800-\$1500
- ___ más de \$1500
6. Consideras que ese pago es
- ___ Poco
- ___ Razonable
- ___ Mucho
7. ¿Qué importancia tiene para ti el cuidado del medio ambiente?
- ___ Mucha
- ___ Regular
- ___ Poca
- ___ No sé
8. ¿Conoces la Zona Occidental de Microcuencas?
- ___ Sí _____ No (Dirígete a la pregunta 11)
9. ¿Sabes si la Zona Occidental de Microcuencas te da algún beneficio?
- Sí (menciona alguno) _____
- ___ No
10. ¿Cuáles de estos servicios ecosistémicos crees que son más importantes de la Zona Occidental de Microcuencas? siendo 1 el de mayor importancia
- ___ Regulación de clima y agua
- ___ Mejora de la calidad de aire
- ___ Control de la erosión
- ___ Brinda recreación y turismo
- ___ Muestra belleza paisajista
11. ¿Has sido afectado por alguna inundación debido a las lluvias extremas que se han presentado en los últimos años en Querétaro?
- ___ Sí _____ No
12. De ser afirmativa tu respuesta anterior, ¿Aproximadamente de cuánto fue tu pérdida económica debido a esta afectación?
- ___ \$500 ___ \$1000 ___ \$2500 ___ \$5000 ___ \$10000 ___ más (especifica)
13. ¿Has pensado cambiarte de domicilio debido a algún problema ambiental (inundación, mala calidad del aire, cambio climático)?
- ___ Sí ___ No

14. Para ayudar a la regulación del clima y del agua, ¿Crees que es necesario realizar obras para conservar, restaurar y aprovechar adecuadamente los recursos naturales?

___ Sí ___ No

Antes de continuar con la encuesta, te pedimos que observes detenidamente los mensajes de la siguiente imagen:

*(La imagen es un soporte para que el encuestado pueda entender de manera visual las desventajas de no cuidar los recursos naturales y los beneficios que podrían tener si realizan una aportación económica).



15. ¿Estarías dispuesto(a) a pagar para que se realicen obras de conservación?

___ Sí ___ No (Dirígete a la pregunta 18)

16. ¿Cuál es la máxima cantidad al mes que consideras poder aportar para implementar obras de conservación?

___\$10 ___\$20 ___\$50 ___\$100 ___\$150 ___\$200 ___otra (especifica)

17. ¿Cuál consideras la mejor forma para realizar la aportación?

En el recibo de servicios (luz, agua, predial)

Directamente a un FIDEICOMISO

Otra (especifica) _____

18. Si no estás dispuesto a pagar, señala el ¿Por qué?

No me interesa la propuesta

Crees que tú no debes pagar

Motivos económicos

Otro, especifica _____

19. Si no estás dispuesto a pagar, indica ¿Quién debería de hacerlo y por qué?

20. ¿Apoyarías de otra manera?

No

No estoy seguro

Participación en reforestación y actividades

Compra de productos naturales provenientes de la ZOM

Otro (especifica) _____

21. ¿Tienes algún comentario que quisieras compartir?

¡GRACIAS POR TU COLABORACIÓN!