



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



**EVALUACIÓN DEL PAGO POR SERVICIOS
AMBIENTALES HIDROLÓGICOS: UNA PERSPECTIVA SOCIO-
AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, MÉXICO, D.F**

T E S I S

Que para obtener el grado académico de

**Maestra en Ciencias
Limnología**

p r e s e n t a

BIOL. ÁNGELA PIEDAD CARO BORRERO

Director de Tesis:

DRA. LUCÍA ALMEIDA LEÑERO

Comité Tutorial:

Dr. ARTURO CARRANZA EDWARDS

Dr. ENRIQUE CANTORAL URIZA

Dr. LUIS ZAMBRANO

Dr. ALONSO AGUILAR IBARRA

México D. F. 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Se agradece ampliamente la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (240425/CONACYT), que permitió la realización del programa de maestría en el posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y al apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN219809.

El Comité Tutorial del presente trabajo de investigación estuvo integrado por:

- Dra. Lucía Almeida Leñero
- Dr. Arturo Carranza Edwards
- Dr. Alonso Aguilar Ibarra
- Dr. Luis Zambrano González
- C. a Dr. Julieta Jujnovsky Orlandini
- C. a Dr. Alya Ramos Ramos-Elorduy

Dedicatoria

En memoria de mi padre, la persona que me dio la fuerza y el tesón, la voluntad y las ganas de ir siempre más allá de mis sueños.

A ti, que tuviste la ilusión de verme alcanzar cada meta de las que juntos concebimos.

A mi madre, la persona que me da la fuerza y sabe mostrarme la luz. A ti que eres el corazón de todos mis proyectos, cada sueño cumplido tiene algo de ti.

A mi abuelita, mi alegría y mi voluntad. Mi ejemplo para dar siempre lo mejor ante las adversidades. A ti, que eres la persona con la que siempre puedo contar.

A mis hermanos, porque son una parte fundamental en mi vida, son el impulso y las ganas. A ellos, que siempre sueñan conmigo, gracias por estar en cada momento de felicidad y también en cada día de tristeza.

A mis tíos, por darme una gran familia donde siento todo el apoyo y el amor. A ellos, porque mis logros siempre los hacen suyos.

A mi cómplice, por ser el socio de mis sueños y enseñarme que en la vida no hay coincidencias, todo es parte del destino. A ti, porque has dado y darás cualquier cosa por verme feliz.

En memoria de mi abuelito Tito, un gran ejemplo de perseverancia.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por el conocimiento y todas las facilidades que me ha dado a lo largo de mi formación académica.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por todo el apoyo y la disponibilidad, gracias Lupita, Chantal, Diana y Gaby, por ayudarme en cada cosa que necesite.

A la Dra. Vilaclara, excelente directora del posgrado y mucho mejor amiga. Gracias Gloria, porque más allá de todo el apoyo académico que siempre me diste, tu forma de ver la vida me dio una perspectiva maravillosa de la mía.

A la Dra. Almeida, mi directora de tesis. Gracias por confiar y creer en mí, por apoyarme en todo y por dejarme ser. Gracias por darme las herramientas y permitirme crecer en lo académico y en lo personal.

A Javier, porque fue un gran inspirador y el mejor maestro que he tenido, por ser la persona que me enseñó el increíble mundo de la limnología. Gracias por siempre creer en mí. Te admiro profundamente.

Al Dr. Aguilar, todo mi agradecimiento por siempre creer en este proyecto, gracias por llevarme al mundo de la economía ambiental, me abrió las puertas de la interdisciplina.

Al Dr. Carranza, un gran compañero de proyectos académicos, gracias por el apoyo en cada nuevo reto que me propongo.

Al Dr. Zambrano, gracias por confiar en mis capacidades para llevar esta investigación, por creer en proyectos de esta naturaleza y siempre estar dispuesto.

Al Dr. Cantoral, gracias por los acertados comentarios que permitieron que este manuscrito fuera mejor.

A Julieta y Alya, mis dos increíbles asesoras externas. Gracias por ser mis guías cuando más lo necesite, por estar ahí para darme el apoyo y el empuje. Gracias a las dos porque más que mis asesoras han sido mis grandes amigas, gracias por todo este tiempo juntas, ha sido maravilloso.

A Tere, gracias por ayudarme y por esa gran disposición para todo. Gracias por la amistad y por todos los buenos consejos.

A Daniel y Christoph, gracias a mis dos compañeros de aventuras económicas, Dani, por enseñarme tantas cosas y compartir esta investigación. Chris, por todo el apoyo, por estar siempre dispuesto a que esta investigación se llevará más allá de la tesis.

A mis encuestadores favoritos, mi madre y mi hermano Edgar, a Sebas mi gran admirador. A todas las personas del laboratorio de ecosistemas de montaña que de alguna manera se involucraron con esta investigación.

A toda la comunidad MAGDALENA ATLITIC, por su gran disposición para contribuir al estudio y desarrollo de investigación en la Cuenca del río Magdalena. Sin su ayuda este trabajo no hubiese sido posible de realizar.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO CONCEPTUAL	5
2.1 Servicios ecosistémicos	5
2.2 Servicios hidrológicos	7
2.3 Economía ambiental	8
2.4 Pago por servicios ambientales hidrológicos	13
2.5 Actores sociales y su percepción	16
3. ÁREA DE ESTUDIO	17
3.1 La cuenca	17
4. ANTECEDENTES	19
4.1 Valoraciones económicas de servicios ecosistémicos	19
4.2 Pago por servicios ambientales dentro de la cuenca del río Magdalena (CRM)	21
5. JUSTIFICACIÓN	23
6. OBJETIVOS	24
7. MÉTODO	25
7.1 Descripción socio-ambiental de la cuenca	25
7.2 Valoración costo/reemplazo	26
7.3 Participación y Conocimiento del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)	29
8. RESULTADOS	33
8.1 Descripción socio-ambiental de la cuenca	33
8.2 Valoración costo/reemplazo	41
8.3 Participación y Conocimiento del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)	46
9. DISCUSIÓN	61
9.1 Descripción socio-ambiental	62
9.2 Valoración económica	63
9.3 Participación y Conocimiento del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)	65
10. CONCLUSIONES	72
11. LITERATURA CITADA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Servicios que prestan los ecosistemas	6
Figura 2. Economía circular de los recursos naturales	9
Figura 3. Valor económico total de un ecosistema	11
Figura 4. Ubicación de la cuenca de la cuenca del río Magdalena (CRM)	18
Figura 5. Esquema metodológico	25
Figura 6. Situación legal dentro de la cuenca del río Magdalena, D.F.	35
Figura 7. Componentes del ciclo Hidrológico en la CRM	38
Figura 8. Conocimiento de participación en el PSA	47
Figura 9. Asistencia a las asambleas generales en un año	47
Figura 10. Jefes de hogar y su edad promedio	48
Figura 11. Influencia de las casas y comercios cercanos al río	48
Figura 12. Influencia de los criaderos de truchas sobre el río	49
Figura 13. Cantidad de bosque en los últimos 7 años	49
Figura 14. Importancia de la CRM	50
Figura 15. Diversos usos dados al agua del río por la comunidad	50
Figura 16. Miembro de algún grupo organizado	51
Figura 17. Confianza en las instituciones	51
Figura 18. Comparativo participación pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH)	52
Figura 19. Congruencia en las respuestas	52
Figura 20. Nombre del programa que lo apoya	53
Figura 21. Características que deben tener las tierras	53
Figura 22. Tipo y cantidad de apoyo que le da el programa	54
Figura 23. Suficiencia del apoyo	54
Figura 24. Beneficios: productos forestales	55
Figura 25. Beneficios: Productos forestales no maderables (PFNM)	56
Figura 26. Beneficios: Agricultura	56
Figura 27. Beneficios: Crianza de animales	56
Figura 28. Otros beneficios	57
Figura 29. Ingreso mensual promedio	57
Figura 30. Bienestar	58
Figura 31. Conflicto sobre el terreno	58

Figura 32. Problemas de la vida cotidiana	59
Figura 33. Factores que influyen el funcionamiento del PSAH dentro de la cuenca del río Magdalena, D.F.	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Servicios ecosistémicos hidrológicos	8
Tabla 2. Valoraciones económicas de servicios ecosistémicos	20
Tabla 3. Estudios sobre el pago por servicios ambientales hidrológicos en México	22
Tabla 4. Variables explicativas del modelo econométrico	31
Tabla 5. Características ambientales por comunidades vegetales en la CRM	40
Tabla 6. Características de las tecnologías propuestas para la valoración	43
Tabla 7. Deflactación de los costos de las tecnologías propuestas	44
Tabla 8. Tasa de descuento de los costos de las tecnologías propuestas	44
Tabla 9. Comparativo de valoraciones económicas	46
Tabla 10. Resultados del modelo econométrico	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Demostración matemática de la fórmula al infinito de la tasa de descuento	82
Anexo B. Encuesta piloto para aplicar en la comunidad de la Magdalena Contreras	84
Anexo C: Opinión de expertos	90
Anexo D: Resultados de la encuesta	92

ABREVIATURAS

ANP	Área Natural Protegida
BSA	Bienes y Servicios Ambientales
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CORENA	Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal
CRM	Cuenca del Río Magdalena
DF	Distrito Federal
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INPC	Índice Nacional de Precios al Consumidor
MA	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
MIC	Manejo Integrado de Cuencas
PMRRN	Plan Maestro de Rescate del Río Magdalena
PSA	Pago por Servicios Ambientales
PSAH	Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos
SE	Servicios Ecosistémicos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SWAT	Soil Water Assessment Tools

RESUMEN

En México el estudio de los servicios ecosistémicos y la implementación de políticas públicas asociadas van en aumento. Prueba de ello es la creación del esquema nacional de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), iniciativa del gobierno mexicano como respuesta a la deforestación y creciente escasez de agua. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), elaboró las reglas de operación del programa nacional ProÁrbol que involucran los servicios ecosistémicos de captura de carbono, desempeño hídrico, conservación de la biodiversidad y belleza escénica. La implementación de dichos programas requiere la valoración económica de los servicios ecosistémicos por los que se va a pagar. Estas herramientas son un tema importante en el ámbito de la protección al ambiente y el desarrollo sustentable. El objetivo de este trabajo es evaluar el funcionamiento del PSAH en una cuenca peri-urbana desde la perspectiva social, ambiental y económica, a través del servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial de agua y la percepción de los dueños de la tierra sobre el pago. Se escogió como modelo de estudio, la Cuenca del río Magdalena (CRM), ubicada en el SO del D.F., con una superficie de 30 km². Ya que posee uno de los últimos abastecimientos hídricos superficiales del D.F. y forma parte de los remanentes del suelo de conservación de la Ciudad de México. Esta cuenca peri-urbana se encuentra dentro de la segunda ciudad más grande del mundo, y su tenencia de la tierra es de tipo comunal (comunidad la Magdalena Atlitlic). Su importancia radica en la provisión de agua dulce, 20 millones de m³ al año contribuyendo con un 50% en el abasto superficial del D.F. La comunidad, participa desde el 2008 con vigencia hasta el 2012 en el programa de PSAH con un área de cobertura de bosque de 1,450.49 ha. Se llevo a cabo una evaluación desde la perspectiva bio-física, económica y social. El análisis bio-físico consistió en la caracterización de la cuenca con base en la integración de la información generada por estudios previos a lo largo de ocho años de investigación. La caracterización social consistió en describir la tenencia de la tierra y la organización y vida comunitaria. La valoración económica, se realizó por medio del método de costo de reemplazo, el análisis de percepción se realizó a los comuneros mediante 41 encuestas semi-estructuradas, para analizar las variables socio-económicas que están determinando la participación en el PSAH dentro de la CRM. Otra parte de la caracterización socio-ambiental se hizo por medio de un modelo logit, que determinó que las variables: confianza en la institución que implementa el pago, presencia de corrupción en sus actividades diarias, nivel de educación, edad, actitud hacia la conservación y nivel de ingreso determinan si una persona conoce y/o decide participar en el PSAH. La caracterización bio-física permitió conocer a fondo los procesos que permiten la existencia del servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial de agua, así como llevar a cabo la elección del sustituto dentro de la valoración económica tomando en cuenta las características particulares de la cuenca. El valor económico del servicio de escurrimiento subsuperficial de agua, identificado mediante la sustitución del servicio con pozos de infiltración, es muy alto, y refuerza la idea de que las valoraciones económicas, son un instrumento que permite darle un precio a los servicios ecosistémicos que no tienen un mercado, tomando en cuenta que el objetivo principal es fomentar la conservación de áreas prioritarias como es el caso de la CRM.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, cuenca peri-urbana, PSAH, valoración económica, modelo percepción social

ABSTRACT

Study of ecosystem services and the public policy related to its management in Mexico is increasing. An evidence of this is the creation of the national scheme called Payment for Environmental and Hydrological Services program (PSAH in Spanish), representing an initiative of the Mexican government as a response to counteract the ever increasing deforestation and water supply problems in the country. The Secretariat for the Environment and Natural Resources (SEMARNAT), through its National Forestry Commission (CONAFOR) developed the operation guidelines of the ProÁrbol national program which involves ecosystem services such as carbon capture, hydrological assessment, biodiversity conservation and scenic beauty. Implementation of such policies requires a proper economic valuation of the ecosystem services which is intended to pay for. The main goal of this work is to assess how the PSAH is performing in a peri-urban basin following a social, environmental and economic perspective, focusing on the ecosystem subsurface water runoff service and the landowners perspective of the payment given. The selected study model for this work was the Magdalena river basin, located in the southwest of Mexico City, covering a 30 km² area. This basin holds one of the last surface water supplies in Mexico City, and represents one of the remaining soil conservation zones still available for the city. The basin is located in the second largest city in the world and the main land ownership mode or tenure found is common property or common shareholders (Magdalena Atlitic community). Through its contribution of 20 million cubic meters a year, the basin's main significance relies on water supply, providing 50% of the total surface water provision of Mexico City. The Magdalena Atlitic community has been participating in the PSAH scheme since year 2008 finishing up till year 2012, covering a forest area of 1,450.49 Ha. An evaluation of the biophysical, economic and social traits of the area and the community was conducted. The biophysical analysis consisted on a characterization of the basin based on a review of the knowledge gained through eight years of previous research studies. The social traits were assessed through an analysis of the land ownership modes and the community organizational methods. Economic valuation was performed through a replacement cost method, in order to assess the socio-economic variables that influence the community involvement in the PSAH scheme, 41 semi-structured surveys were conducted as an analysis of the people's perception of the program. Another method conducted to evaluate socio-economic traits was a logit model, which allowed to observe if the traits for trust in the institution in charge to distribute payments, corruption within the community, schooling, age, perspectives towards natural resource conservation and income levels, had an influence in the community members willingness to participate in the PSAH. The biophysical characterization of the basin allowed to achieve a better understanding of the processes involved in the subsurface water runoff ecosystem service provision, as well as the necessary background knowledge of the basin to choose the proper replacement for the economic valuation. The economic value of the ecosystem service provided by the basin, determined by the replacement of the service through injection wells, turned out to be very high, thus supporting the belief that economic valuation allows to assign a value to non-market goods, such as natural resources, considering that the main goal is to preserve key zones such as the Magdalena river basin.

Keywords: Ecosystem services, peri-urban catchment, PSAH, economic valuation, social perception model

1. INTRODUCCIÓN

A pesar del uso cotidiano del agua, la sociedad no tiene presentes los procesos hidrológicos que se relacionan con su abastecimiento y por ello resulta difícil transformar las actitudes individuales, en potenciales cambios colectivos. Las situaciones de escasez y/o estrés hídrico, no sólo responden a políticas de manejo inadecuadas, sino a procesos sociales tales como el crecimiento demográfico, la densificación de zonas urbanas y la migración a zonas donde la disponibilidad de agua es baja, que ejercen presión adicional a los acuíferos y a las fuentes superficiales de agua (Sánchez, 2007).

Según cifras de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, por sus siglas en inglés) (Millennium Ecosystem Assessment) (2003) alrededor de 1,100 millones de personas en el mundo no tienen acceso a un suministro de agua adecuado y más de 2,600 millones de personas carecen de acceso a servicios seguros de saneamiento. La escasez de agua afecta de unos 1,000 a 2,000 millones de personas en todo el mundo.

En México, en los últimos 55 años se ha cuadruplicado la población, pasando de 25 millones de habitantes en 1950 a 112 millones de habitantes en el 2010 (INEGI, 2011). Asimismo en este periodo, la disponibilidad de agua por habitante por año ha disminuido considerablemente, pasó de ser de 18,035 m³/hab./año a 4,416 m³/hab./año.

La Ciudad de México, edificada sobre el lecho de una cuenca endorreica hace 500 años, de lo que antaño fue un sistema de cinco lagos y de los cuales quedan hoy día algunos vestigios en Xochimilco, Chalco y Zumpango (Jujnovsky, 2006), enfrentan un acelerado proceso de crecimiento poblacional y una situación paradójica de desabastecimiento de agua, puesto que se requirieron tres siglos para la extracción y actualmente se pagan altos costos para exportarla de zonas aledañas (Jujnovsky, 2006). La solución a estos problemas no puede seguir siendo la explotación de acuíferos cada vez más lejanos, sino asegurar las fuentes de abastecimiento local a largo plazo, protegiendo las fuentes de captación del recurso hídrico con planes de manejo sustentable y de conservación.

En este sentido, el estudio de los servicios ecosistémicos (SE) que relacionan el bienestar del hombre con los ecosistemas y la implementación de políticas públicas encaminadas a la conservación, van en aumento. El gobierno mexicano como respuesta a la deforestación y la escasez de agua implementó un esquema nacional de PSAH (Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos). Estos pagos son un instrumento que requiere de la valoración económica de los servicios ecosistémicos, que es importante en el ámbito del desarrollo sustentable y la conservación, así como su correcta aplicación en el pago.

La Ciudad de México, aún cuenta con un abastecimiento de agua superficial que debe ser conservado, por lo que se eligió como sitio de estudio la cuenca del río Magdalena (CRM), porque provee 20 millones de m³ de agua dulce al año, contribuyendo con un 50% al abasto superficial de la ciudad (Álvarez-Sánchez, 2005-2007; Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Jujnovsky *et al.*, 2007) beneficiando a 21 colonias de la Delegación Magdalena Contreras (González-Martínez, 2008). La mayor parte del área, corresponde a los bienes comunales de la comunidad Magdalena Atlitic; quienes al conservar el bosque, permiten la generación de diversos servicios ecosistémicos.

Debido a la importancia de la cuenca en cuanto a la generación de servicios ecosistémicos, particularmente hídricos y su estado de vulnerabilidad derivado de su condición peri-urbana, aunado a la posibilidad de contar con datos de estudios anteriores que facilitan el conocimiento de los servicios ecosistémicos, este trabajo pretende evaluar desde la perspectiva socio-ambiental de la comunidad Magdalena Atlitic el programa de PSAH.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Servicios ecosistémicos (SE)

Los ecosistemas se han venido reconociendo, como productores de servicios ecosistémicos y como componente fundamental del bienestar y soporte de la vida en la Tierra. El hombre ha tenido conciencia de ello desde siempre, puesto que veían como la naturaleza le proporcionaba lo necesario para subsistir (Mooney y Ehrlich, 1997). En la literatura, nociones tempranas de servicios ecosistémicos se remontan a publicaciones de Perkins Marsh en “Man and Nature” en 1864, citadas por Ehrlich y Mooney (1997), el cual es el primer libro en refutar la idea de que los recursos son infinitos, siendo uno de los primeros autores en describir los beneficios que la naturaleza le brinda al hombre; igualmente Leopold (1949) citado por estos mismos autores, casi un siglo más tarde es uno de los primeros en reconocer la imposibilidad de substituir satisfactoriamente los servicios de los ecosistemas.

El concepto de servicios ecosistémicos, surge entre los años 60 y 70 como un término pedagógico y resalta la relación que tienen las sociedades humanas con los ecosistemas y la importancia de estos para sustentar nuestras vidas (Costanza *et al.*, 1997). Daily (1997) los define como las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que hacen parte de él, sostienen y nutren la vida humana. De Groot *et al.* (2002), definen los servicios ecosistémicos como el subconjunto de funciones del ecosistema que están estrechamente relacionados con la capacidad de satisfacer directa o indirectamente las necesidades de las poblaciones humanas. En los años 90 se incrementa el interés por darles un valor económico, el concepto permea en la agenda política y se hacen esfuerzos para introducir los servicios en los mercados reales (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010).

Sin embargo; es hasta el reporte del Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2003), cuando el concepto se posiciona en la agenda política y los estudios incrementan exponencialmente (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010), por lo cual la

definición propuesta por este grupo interdisciplinario es actualmente la más usada en términos de políticas ambientales y será la usada en este trabajo debido a que la amplitud del concepto permite que se utilice en investigaciones de índole interdisciplinaria como esta. El MA define los servicios ecosistémicos como: “*Los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas*” (Fig. 1). Se dividen según el MA (2005) en cuatro grandes grupos:

1. **Culturales**: son aquellos beneficios intangibles y públicos que las personas obtienen de los ecosistemas, tales como el enriquecimiento espiritual-religioso, la belleza escénica, diversidad cultural, valores estéticos, educativos, la recreación y el ecoturismo.
2. **Provisión/aprovechamiento**: son directamente extraíbles de los ecosistemas, por ejemplo comida, agua, fibra, combustible, recursos genéticos y bioquímicos.
3. **Regulación**: Beneficios obtenidos a partir de los procesos que llevan a cabo los ecosistemas; por ejemplo la regulación del clima, mantenimiento de la calidad del agua y del aire, regulación del ciclo hídrico, control biológico y de enfermedades humanas, polinización, protección contra desastres naturales, control de la erosión e inundaciones.
4. **Soporte**: Necesarios para la producción del resto de los SE. Difieren de los tres primeros en que sus impactos en las personas son indirectos u ocurren a escalas de tiempo muy grandes para el ser humano. Como: la formación de suelo, producción primaria, producción de oxígeno atmosférico y reciclaje de nutrientes.

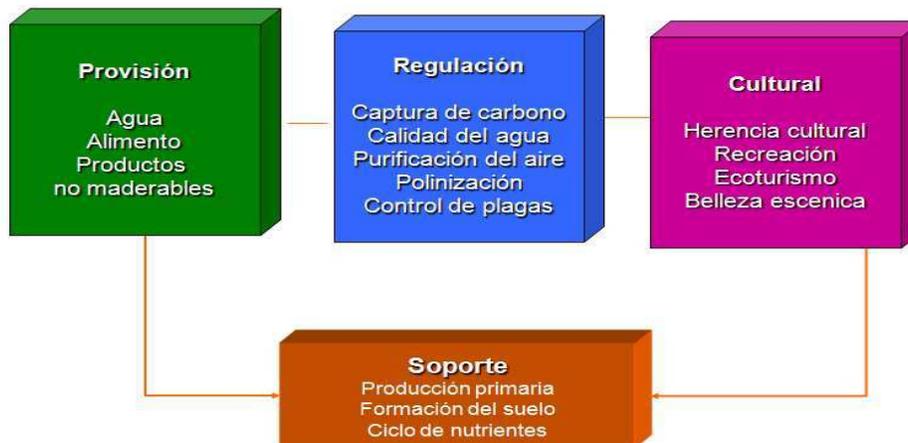


Figura 1. Servicios ecosistémicos que presta los ecosistemas.

2.2 Servicios hidrológicos

Los servicios de corte hidrológico son generados dentro de unidad geográfica llamada cuenca hídrica, la cual está delimitada por la divisoria de las aguas y se conoce también con el nombre de *parteaguas*. Abarca un territorio sujeto a interacciones sistémicas entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio (considerando las actividades económicas, el grado de tecnificación, la organización social e identidades culturales de la zona) y las instituciones existentes (INE, 2006a). Las cuencas desde el punto de vista ambiental, poseen una importante capacidad de conectar y empalmar ecosistemas costeros, terrestres y dulceacuícolas, por lo que proveen una amplia gama de servicios ecosistémicos (Postel y Thompson, 2005). Son escenarios multidimensionales y multifuncionales ideales para el desarrollo de nuevos marcos conceptuales que promuevan el análisis sintético, conjunto y transdisciplinario de procesos biofísicos y sociales (Toledo, 2006). Se reconocen como unidad espacial para la planeación, que posibilita la gestión de los recursos naturales en un marco de transversalidad de políticas sectoriales (INE, 2006b). En México la gestión de las cuencas se realiza a través de las regiones hidrológico-administrativas, existen 13 regiones y está última corresponde al Valle de México, donde se encuentra la zona de estudio.

Los servicios ecosistémicos hidrológicos son todos aquellos resultantes del ciclo hidrológico y dependen de las características bio-físicas de la cuenca, producto de la capacidad de los ecosistemas para captar agua y así mantener la oferta hídrica disponible para el beneficio de las sociedades humanas (INE, 2006b). El suplemento y la purificación del agua que bebemos es de los servicios más tangibles y valorados, su reducción pone en riesgo la salud humana a través de la disminución en la calidad, además de los costos implicados en abastecer de agua las poblaciones pobres y la disminución de productividad de las hidroeléctricas cuando el flujo de agua es menor (Postel y Thompson, 2005).

Los servicios hidrológicos se pueden dividir en cuatro categorías (Postel y Thompson, 2005): a) infiltración, purificación y provisión de agua, b) regulación estacional de los flujos de agua, c) control de la erosión y la sedimentación y, d)

preservación del hábitat. Los servicios hidrológicos culturales son: el valor espiritual, la apreciación estética, y el turismo (Brauman *et al.*, 2007) (Tabla 1). Según estos autores, cada uno de estos servicios puede ser definido por atributos de calidad, cantidad, localización y permanencia del flujo de agua. Este trabajo valorará económicamente el servicio de escurrimiento subsuperficial de agua, que pertenece al primer grupo de la clasificación mencionada.

Tabla1. Servicios ecosistémicos hidrológicos

Categoría de Servicio	Servicio ecosistémico
Provisión	<p>Suministro de agua para uso municipal, agrícola, comercial, industrial y generación de energía termoeléctrica (usos extractivos, todos aquellos que dependen de la extracción directa de agua del río).</p> <p>Generación de energía hidroeléctrica, recreación, transporte y criadero de peces (usos <i>in situ</i>).</p>
Regulación	<p>Mitigación de inundaciones</p> <p>Control de la sedimentación y la erosión en los cuerpos de agua</p> <p>Mitigación de la salinización del subsuelo</p> <p>Regulación del ciclo hidrológico</p> <p>Estabilización del clima</p>
Culturales	<p>Usos espirituales</p> <p>Apreciación estética e inspiración</p> <p>Turismo</p>
Soporte	<p>Agua y nutrientes para mantener diferentes hábitats</p> <p>Mantenimiento del ciclo hidrológico</p>

Modificado de Postel y Thompson. 2005 y Brauman *et al.* 2007.

2.3 Economía ambiental

Aun cuando el concepto de servicios ecosistémicos relaciona los ecosistemas con el bienestar humano, estos no son completamente captados en los mercados o adecuadamente cuantificados en términos comparables con servicios económicos y capital manufacturado, por lo que a menudo tienen muy poco peso en las decisiones políticas, aún cuando esto puede comprometer la sustentabilidad (Costanza *et al.*, 1997), es por ello que surgen ramas de la economía que contemplan en los mecanismos de producción a los recursos naturales. La *Economía Circular* (concepto propuesto inicialmente por Pearce y Turner, 1990) a diferencia de la economía tradicional, que extrae el mayor beneficio del recurso pensando en maximizar la función de utilidad, está involucra en el análisis económico los bienes y servicios ambientales (Barzev, 2002). La lógica de dicha economía se observa en el diagrama de Pearce y

Turner (1990) (Fig. 2) donde los recursos naturales constituyen el insumo de cualquier actividad productiva y estos pueden ser renovables o no renovables, en los primeros la sustentabilidad depende de la tasa de extracción, puesto que si ésta es mayor que la tasa de renovación, entonces el recurso tiende a la extinción y cuando es menor es sustentable su explotación. En el segundo caso, el de los recursos no renovables, la sustentabilidad va a depender exclusivamente de la velocidad de extracción y del nivel tecnológico en el aprovechamiento (Barzev, 2002).

Asimismo, el consumo de los recursos implica una generación de desechos, que impactan negativamente al ecosistema que los asimila y como consecuencia se reduce la capacidad de regeneración de los recursos. Si la generación de desechos es mayor que la capacidad de carga del ecosistema, este se satura y reduce la capacidad de producir Bienes y Servicios Ambientales (BSA).

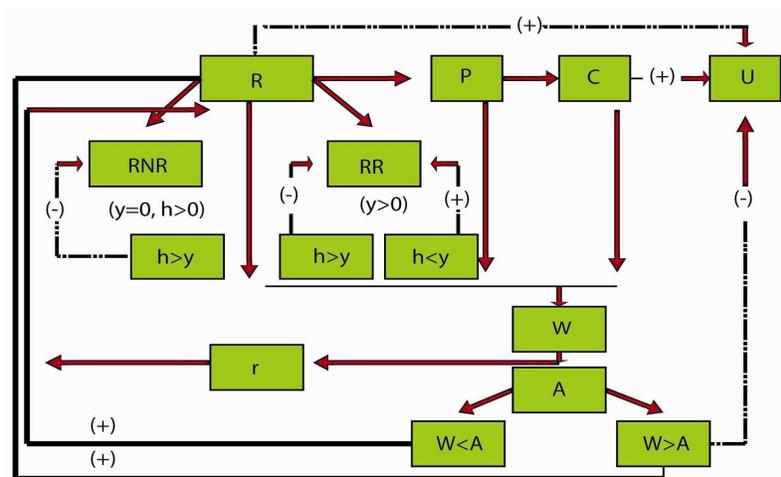


Figura 2. Economía circular de los recursos naturales. Modificado de Barzev, 2002. R: recursos naturales, RR: recursos naturales renovables, RNR: recursos naturales no renovables, h: tasa de extracción, y: tasa de renovación, W: desechos, A: capacidad de carga

Valoración económica

El desarrollo de los servicios ecosistémicos como parte de la agenda de investigación fue impulsado por el Programa de Biodiversidad del Instituto Beijer a principios de los años 90, lo que derivó en publicaciones como las de Constanza *et al.* (1997) y en un incremento del uso y desarrollo de las valoraciones monetarias de los servicios posicionándolos en la agenda política

(Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). Entre los años 90 y 2000 se realizaron esfuerzos para poner en los mercados los servicios que se habían valorado, por lo que se inicio el desarrollo de mercados basados en incentivos económicos para la conservación de los ecosistemas y sus servicios, tomando como premisa que las decisiones económicas son la fuerza más importante de transformación y uso de los recursos naturales.

Las valoraciones han sido usadas como herramientas para comunicar el valor de la biodiversidad, se pueden entender como la búsqueda de acción política para frenar la pérdida de los ecosistemas (García-Baggethun *et al.*, 2010). El uso de los recursos debe tener un compromiso inter e intra generacional ya que son finitos. Sin embargo; en el momento de incluir los servicios en un mercado surge el problema de que no son sujetos de transacción en un mercado formal y muchos de ellos son bienes públicos que presentan las propiedades de no- rivalidad, que se refiere a que si un individuo consume un bien ambiental no está reduciendo la cantidad disponible de éste para otros individuos y de no exclusión que, se refiere a que ninguna persona puede ser privada del consumo de un bien público (Barzev, 2002 y Sundberg, 2004).

Por las características de los bienes públicos, como es el caso del agua, el mercado falla al tratar de asignarles un precio correcto, lo que a menudo resulta en un abuso de los bienes ambientales, donde cada individuo trata de maximizar su utilidad obtenida a partir de un bien ambiental, considerando que su precio es cero (Barzev, 2002 y Sundberg, 2004). El valor económico total (Fig. 3) capta todos los elementos de valor de los ecosistemas incluyendo aquellos productos que desde siempre han sido valorados (Sanjurjo-Rivera e Islas-Cortes, 2007), se compone de dos valores: los de uso activo, son aquellos que la gente obtiene, por ejemplo, por el uso del recurso de la cuenca hidrográfica y los de uso pasivo, que se da mediante una interacción directa con el ecosistema, como lo es el consumo de agua u ocasionar el uso no consuntivo como lo son los valores obtenidos del transporte de agua, recreación y turismo (Francke, 1997).

Los valores de *uso activo presente*, se dividen a su vez, en valores de uso directo, que son de consumo o disfrute directo. Los de *uso indirecto*, se refieren

a los beneficios donde el usuario no requiere del acceso físico al recurso natural, pero sí de que este recurso exista físicamente y esté en buenas condiciones. Estos valores, son derivados de las funciones de protección y de apoyo que la cuenca hidrográfica proporciona aguas abajo a las propiedades, la tierra y las actividades económicas, como puede ser la agricultura. Los valores de uso futuro, se refieren a aquellos bienes que en la actualidad no tiene ningún uso aparente pero que en el futuro puede que lo tengan (Sanjurjo-Rivera e Islas-Cortes, 2007).

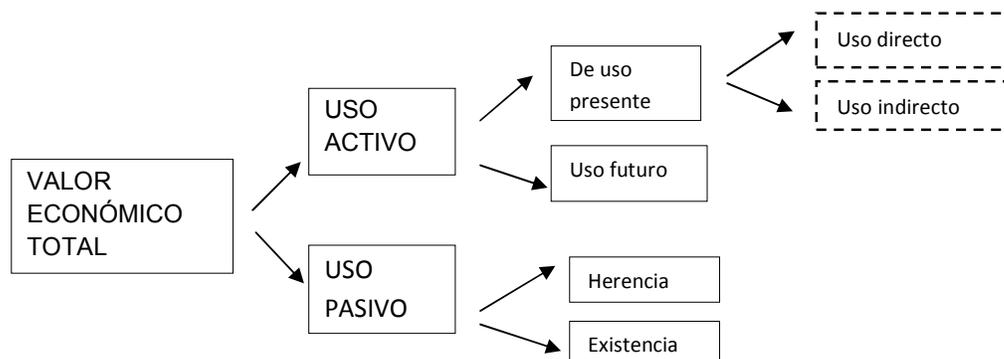


Figura 3. Valor económico total de un ecosistema. Sanjurjo-Rivera e Islas-Cortes (2007).

El valor de uso pasivo se divide en: 1. El *valor de herencia*, es el deseo de que las futuras generaciones gocen de una cierta dotación de recursos naturales. 2. El *valor de existencia*, que se asocia simplemente con el conocimiento de que el recurso existe. Este es independiente de los planes que tenga el individuo de utilizar el recurso en el futuro y se basa principalmente en el altruismo (Francke, 1997).

Metodologías de valoración

Las metodologías de valoración económica son diversas, y se pueden dividir en dos amplios grupos: las que se usan para estimar la demanda y las que se usan sin estimar la demanda. Las primeras estudian el comportamiento y decisiones de los individuos para entender como los bienes ambientales son 'intercambiados' por otros bienes como el dinero, por lo que permiten obtener el valor verdadero de la disposición al pago por el bien ambiental. Dentro de esta categoría hay dos divisiones: las de preferencias expresadas (PE) y las de preferencias reveladas (PR), las primeras están basadas en respuestas a

preguntas sobre un mercado hipotético, dentro de estas, el método mejor conocido es el de Valoración Contingente (VC). Que es la disponibilidad a pagar o ser compensado por un servicio ambiental que usualmente no tiene un precio en el mercado o el precio no refleja los verdaderos costos de conservación (Sundberg, 2004).

Las segundas, de preferencias reveladas, son una medida del valor ambiental, usando mercados subrogados, de tal manera que el valor de los bienes ambientales es puesto por las personas de manera implícita al incurrir en un costo por trasladarse o conservar un lugar determinado. Dentro de este tipo de valoración se encuentran métodos como el costo de viaje (Sundberg, 2004).

Las metodologías de valoración sin estimar la demanda, es decir aquellas que no toman en cuenta las preferencias de los individuos sobre los bienes y servicios ambientales, se encuentra la de costo de reemplazo, que será la utilizada en este trabajo.

Valoración costo/ reemplazo

Este método asume que es posible encontrar sustitutos perfectos para los bienes y servicios ambientales. El costo de reemplazar una función de un sistema ecológico por un sistema tecnológico se usa para medir el valor económico de la función del ecosistema en sí mismo. El método intenta dar lugar a una aproximación correcta del valor, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones (Shabman y Batie, 1978):

-La tecnología provee funciones que son equivalentes en calidad y cantidad a los servicios ecosistémicos (*Sustitutos perfectos*).

-El o los sistema(s) tecnológico(s) elegidos son la alternativa menos costosa para reemplazar el servicio ambiental en cuestión (*Costo-efectividad*).

-Los individuos en conjunto pueden incurrir en estos costos, sí el servicio ambiental no se encuentra disponible (*Disponibilidad a pagar*).

El costo de inversión y el costo de mantenimiento de la tecnología también son incluidos en el costo de reemplazo.

Sustitutos perfectos: hace referencia a la existencia de un sustituto perfecto para el servicio ecosistémico a valorar. Esta condición es a menudo difícil de cumplir, puesto que no es fácil encontrarlos, en muchos casos los sustitutos cercanos sí existen y son utilizados para encontrar un valor aproximado del ecosistema. Esta dificultad, es la principal crítica a este método de valoración, además de que muchos investigadores concuerdan en que reemplazar la función no compensa la pérdida (Sundberg, 2004). El método sólo puede ser utilizado para establecer el valor económico de un solo servicio ecosistémico (Sundberg, 2004).

Costo-efectividad: implica que la técnica de reemplazo utilizada para la valoración es la alternativa más rentable dentro de todas las posibles opciones examinadas (Sundberg, 2004).

Disponibilidad a pagar: debe existir evidencia substancial de que el servicio puede ser requerido por la sociedad, si este fuese proveído por una alternativa de menor costo. Esta condición asegura, de que los costos de reemplazo no están exagerando el valor del servicio ecosistémico y que no exceden la disponibilidad a pagar por parte de los usuarios del servicio, por ello el método se puede combinar con algún método de preferencias expresadas (PE) (Sundberg, 2004).

2.4 Pago por servicios ambientales hidrológicos

El programa federal de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), fue iniciado en el 2003 como respuesta del gobierno mexicano para atender los problemas de escasez de agua y deforestación. A través del PSAH, el gobierno compensa a los participantes de este esquema con pagos directos para que protejan las áreas de recarga del acuífero, específicamente para mantener la cobertura vegetal y realizar prácticas de manejo que favorezcan el cumplimiento de los objetivos ambientales. El financiamiento del esquema se hace mediante los pagos de los grandes usuarios de agua, donde se destina el 2.5% al PSAH; aproximadamente 97.3 millones de dólares para el año 2007 (González, 2008). Los pagos van desde trescientos ochenta y dos pesos (Mx\$382/ha/año) hasta mil cien pesos (Mx\$1,100/ha/año) para el bosque de niebla, considerado de mayor importancia hidrológica (SEMARNAT, 2010). La

determinación del monto se hizo mediante el costo de oportunidad por cultivos de maíz (Alix-García *et al.*, 2010). Los pagos son anuales después de verificar que no ha ocurrido ningún cambio en el uso de suelo mediante imágenes de satélite y pocos casos con verificación en campo, con posibilidad a renovarse el contrato cada cinco años (Muñoz-Piña *et al.*, 2008; Kosoy *et al.*, 2008; Rolón-Sánchez *et al.*, 2011). La elegibilidad está determinada mediante el análisis prioritario de los diferentes tipos de bosques, clasificados por la importancia en la recarga del acuífero y de la cuenca hidrográfica, por el criterio de bienes comunes que hace más énfasis en la distribución social de los beneficios favoreciendo más a los pobres que la adicionalidad ambiental (Kosoy *et al.*, 2007; Pascual *et al.*, 2010).

La SEMARNAT a través de la CONAFOR, elaboró las reglas de operación que a partir del 2006, involucran los servicios ambientales de captura de carbono, desempeño hídrico, conservación de la biodiversidad y belleza escénica, todos ellos se encuentran fusionados bajo el nombre de servicios ambientales y forman parte del programa ProÁrbol. En 2009 se elaboraron las nuevas reglas de operación, definiendo los servicios ambientales hidrológicos, los lineamientos generales y los beneficiarios del programa, así como los criterios de elegibilidad y priorización de las zonas para el pago. Se hace obligatorio que los dueños de las tierras tengan un plan de manejo para el área y que cuenten con un técnico capacitado por la misma institución para dar seguimiento al cumplimiento de las metas propuestas dentro del programa.

Dentro del área de estudio existe un esquema de PSAH, a cargo de la CONAFOR, en el que participa la comunidad Magdalena Atlitic, con un área de cobertura de bosque de 1,450.49 ha desde el año 2008 al 2012, cabe resaltar que ya habían participado en este mismo esquema del año 2003 a 2007, con 1,362.89 ha.

Para entrar en este esquema la comunidad debió cumplir con los siguientes criterios técnicos, según aparecen publicados en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 03 de octubre de 2003:

I. Que presenten un porcentaje de cubierta forestal igual o mayor al 80% de la superficie total, correspondiente a bosques y selvas; II. Que estén localizadas

en zonas críticas para la recarga de acuíferos, catalogadas como sobreexplotadas mediante el Acuerdo emitido por la Comisión Nacional del Agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 31 de enero de 2003; o en zonas con aguas superficiales donde haya problemas de escasez, de calidad del agua, de sedimentos, o en zonas de riesgo de desastres hidrológicos, y III. Que estén vinculadas con el abastecimiento de agua a centros poblacionales de más de 5,000 habitantes.

Para la elección de los beneficiarios se consideran los siguientes puntos, con misma fecha de publicación que los criterios técnicos:

I. Que el área forestal comprometida por beneficiario no exceda las 4,000 hectáreas; II. Que el área bajo manejo forestal maderable en recuperación o reposo no exceda de 200 ha por beneficiario; III. Que en caso de tratarse de tierras de uso común de un núcleo agrario, los órganos de representación cumplan con los requisitos de organización que marca la Ley Agraria; que la decisión de participar en el proceso para ser aceptado en el Programa sea tomada por acuerdo de la asamblea general del núcleo agrario y, que las superficies comprometidas y propuestas para entrar en el Programa no se encuentren involucradas en ningún litigio agrario, y en caso de predios de propiedad particular, que no exista un litigio sobre la legal propiedad o posesión del bien inmueble o cualquier otro y IV. Que presenten sus solicitudes debidamente.

Los objetivos de este programa publicados en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 20 de febrero de 2007, son:

- Disminuir los índices de pobreza y marginación en áreas forestales, mediante la inducción a un manejo y uso adecuado de sus recursos naturales.
- Generar desarrollo y expansión económica a partir de la valoración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos de los bosques, selvas y la vegetación de las zonas áridas.
- Impulsar la planeación y organización forestal, incrementar la producción y productividad de los recursos forestales, su conservación y restauración, así como elevar el nivel de competitividad del sector para contribuir a mejorar la calidad de vida de los mexicanos.

- Dar cumplimiento a las atribuciones otorgadas a la Comisión Nacional Forestal por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento, el Programa Nacional Forestal y el Programa Estratégico Forestal.

Una de las reglas más importantes para poder entrar en el programa es poder acreditar la tenencia de la tierra con títulos de propiedad. Igualmente se establece que la comunidad debe asistir por única ocasión a recibir capacitación por parte de la CONAFOR, sobre las reglas de operación del programa. Las nuevas reglas de operación exigen que los recursos otorgados por el programa sean invertidos en el cumplimiento de las metas establecidas en el mismo.

2.5 Actores sociales y su percepción

Desde el punto de vista social, es importante entender como los actores sociales clave percibe, valoran y usan los servicios ecosistémicos en la zona de estudio. Los actores sociales son definidos como “Individuos, grupos, asociaciones o instituciones generadoras de acción o relación social que dan a sus acciones un sentido propio, consciente o inconscientemente. El actor social opera siempre con orientaciones, motivos, expectativas, fines, representaciones y valores, dentro de una situación determinada” (Quétier *et al.*, 2007).

La comunidad Magdalena Atlitic (250 comuneros que participan de forma activa según Ramos (2008) y A. Juárez com. pers.), dentro de este estudio son los actores sociales clave, pues son los oferentes de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico por los cuales reciben el PSAH.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1 La cuenca del río Magdalena (CRM), se encuentra en su mayor parte dentro de la delegación Magdalena Contreras ubicada en el SO del Distrito Federal, en el margen inferior del Cerro de las Cruces, formada por un conjunto de estructuras volcánicas (Delegación Magdalena Contreras, D.F., 2010). Se localiza a los 19°15'00'' N y 99°17'30'' W, con una superficie de 30 km² (Jujnovsky, 2006). Para este estudio, la cuenca, será la extensión de terreno donde las aguas producto de la precipitación drenan hacia un colector común o río, que es el Magdalena.

El río Magdalena, nace en la Sierra de las Cruces, en la delegación Cuajimalpa, al SW del Distrito Federal a 3 600 msnm (Fig. 4) (PMRRM, 2008) forma parte de la cuenca hidrológica del río Pánuco (Bojorge-García, 2006) y es alimentado por numerosos manantiales y afluentes, lo que hace que sea perene (Delegación Magdalena Contreras, D.F., 2010 y Jujnovsky, 2006). Una porción de esta agua es captada por la planta de tratamiento localizada en el Primer Dinamo en la parte baja de la cuenca, y la otra parte es entubada y dirigida hasta unirse al río Mixcoac y formar parte del río Churubusco, que continua su recorrido por el canal de desagüe y finalmente sale de la Cuenca del Valle de México por el tajo de Nochistongo, Estado de México, para incorporarse al río Tula en el Estado de Hidalgo. Sobre el río se construyó la Presa de Anzaldo y su cauce forma el lindero con la Delegación Tlalpan (Delegación Magdalena Contreras, D.F., 2010). 14.8 km están en suelo de conservación, 8.8 km están a cielo abierto y 4.6 km se encuentran entubados (PMRRM, 2008).

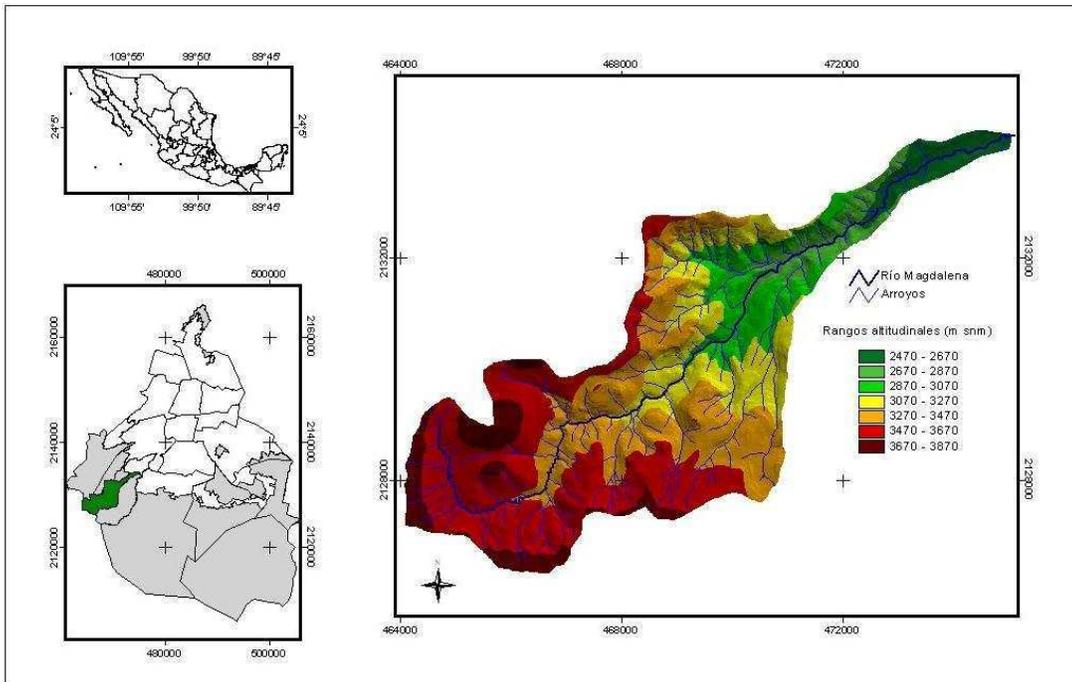


Figura 4. Ubicación de la cuenca del río Magdalena, D.F. Elaboró: Aguilar Zamora.

Clima, se presentan dos subgrupos climáticos determinados por la temperatura, la precipitación, la altitud y el tipo de vegetación: el templado (Cb) y el semifrío (Cb') (Dobler, 2010). En la clasificación climática de García (1988), se identificaron los climas por el gradiente altitudinal: desde la parte urbana y hasta los 3,050 msnm el clima es templado subhúmedo, el más húmedo de los húmedos C (w2)(w)b(i''), y en la parte que comprende las altitudes que van desde los 3,100 a los 3,800 msnm, el clima es semifrío (C(b') (w) b i).

Biodiversidad, la CRM se encuentra en la zona media de la Faja Volcánica Transmexicana, donde hay una gran diversidad de flora y fauna, se han registrado 487 especies de plantas, 113 especies de algas y 158 especies de vertebrados, además de numerosos hongos (PMRRM, 2008). La mayor diversidad de especies por grupos se encuentra en el bosque mixto y de *Quercus*, seguido por el bosque de *Pinus hartwegii* y por último el de *Abies religiosa* (PMRRM, 2008).

4. ANTECEDENTES

4.1 Valoraciones económicas de Servicios Ecosistémicos

Desde el estudio de Costanza y colaboradores publicado en 1997, donde se proponía un valor para los ecosistemas del mundo asociado a los beneficios que proveen a las sociedades humanas, se han generado muchos estudios en relación a este tema, los cuales pretenden dar un valor en términos monetarios a los ecosistemas y sus servicios de manera particular. Lo importante de estos estudios consiste en el llamado a la conservación de los ecosistemas, pues no es posible sustituir capital natural por tecnología. A continuación se presentan trabajos de valoraciones de diversos servicios ecosistémicos a múltiples escalas y diferentes metodologías.

Tabla 2. Valoraciones económicas de servicios ecosistémicos

Referencia	Zona de estudio	Descripción del estudio
Costanza <i>et al.</i> , 1997	Todo el mundo	Mantener el capital natural es esencial para el bienestar humano, el capital humano y manufacturado requiere de este para su construcción. A través de la valoración económica pretenden mostrar como un cambio en la calidad y cantidad de los servicios están asociados a cambios en las actividades humanas y costos de las mismas. El valor de los ecosistemas en el mundo es en promedio 33 trillones de dólares.
Byström, 2000	Suecia	Estiman el valor de uso de los humedales por la reducción de contaminación con nitrógeno si se usan como sumideros, debido a prácticas agrícolas. El valor estimado se hace con la metodología de reemplazo, definido como la diferencia entre dos métodos para reducir de manera costo efectivas la contaminación agrícola con nitrógeno: una que usa los humedales como sumidero de nitrógeno y la que no. El uso de los humedales reduce en un 30% la contaminación por nitrógeno.
Guo <i>et al.</i> , 2001	China	Valúan los servicios directos e indirectos que proveen los bosques, estimando un valor económico anual de algunos de los SE usando modelos de simulación y sistemas de información geográfica que ayudan a analizar los efectos de la vegetación, suelo y pendiente en la provisión de servicios. Los productos forestales se valoraron en 6.53 millones de dólares. Los servicios de regulación de gases, fijación de carbono y suplemento de oxígeno fueron valuados en 63.7 millones de dólares.
Xue y Tisdell, 2001		Se valora la conservación de la biodiversidad para un bosque que es reserva natural. Los servicios valorados: conservación del agua, protección del suelo, fijación de dióxido de carbono, ciclaje de nutrientes, descomposición, y control de plagas y enfermedades. El valor obtenido es a través del costo de oportunidad y costo de reemplazo. El bosque se valuó en 61.68 millones de dólares/año, siendo 10 veces más alto que el costo de oportunidad por producción de madera.
Sanjurjo-Rivera y Welsh, 2003	México	Resaltan que los manglares han sido sistemas destruidos para ser reemplazados por la acuicultura y el turismo, y que gran parte de los bienes y servicios que ofrecen no son comerciales en mercados establecidos. Este estudio realiza la compilación de los valores económicos encontrados por estudios de otros autores.
Tong <i>et al.</i> , 2007	China	Se evalúa el valor potencial de los humedales en la provincia China de Sanyang, zona de importancia por su rápida expansión económica. Lo anterior trajo en la región un gran crecimiento poblacional acompañado de agricultura intensiva. Para enfocar las políticas de protección que el gobierno esta implementando los autores determinan el valor actual en 5 807 yuan/ha/año y el valor potencial en 55 332 yuan/ha/año.
Aburto-Oropeza <i>et al.</i> , 2008	México, Golfo de California	Identifican que la acuicultura y el turismo son dos actividades que han generando externalidades negativas para la conservación de los manglares. Estos proveen refugio y alimentación para muchas especies de peces comerciales. Se determino su valor económico medio anual en 37 500 dólares/ha/franja de manglar. Resaltando que las valoraciones económicas son útiles para tomar decisiones respecto al uso más eficiente de los manglares.

4. 2 Análisis de pagos por servicios ambientales

Las experiencias de PSA en México y en el mundo han sido ampliamente analizadas, pues en muchos casos de países en vía de desarrollo se cuestiona que cumplan con los objetivos de conservación sociales. Un análisis de 25 experiencias en Latinoamérica refleja los puntos clave que hacen que un programa sea exitoso (Mayrand y Paquín, 2004):

- Están basados en evidencia científica clara y consensuada que relaciona los usos de suelo y la provisión de servicios.
- Definen claramente los servicios que serán provistos.
- Los contratos y los pagos son flexibles, continuos y sin restricciones.
- Los costos de transacción no exceden los beneficios potenciales.
- Se apoyan en fuentes de ingresos múltiples que aportan un flujo de dinero suficiente y sostenible en el tiempo.
- Los cumplimientos, los cambios en los usos del suelo y la provisión de servicios son cuidadosamente vigilados, y
- Son los suficientemente flexibles para permitir ajustes que mejoren su efectividad y eficiencia así como su adaptación a condiciones cambiantes.

Algunos estudios de experiencias mexicanas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Estudios sobre el PSA en México

Referencia	Zona de estudio	Descripción del estudio
Kosoy <i>et al.</i> , 2008	México, Selva Lacandona	Comparación entre cuatro ejidos participantes y cuatro no participantes. La participación en el programa tiene déficits desde el entendimiento de las reglas de operación y la imposibilidad de participar por factores como la tenencia de la tierra. Identifican que existen factores que promueven la participación a tres niveles: procedimiento y manejo (inherentes al programa), a nivel comunidad (reglas internas, valores de conservación) y a nivel de comunero (contribución al ingreso del hogar, consolidación y diversificar actividades productivas).
Wunder <i>et al.</i> , 2008	Comparativo entre estudios del mundo, incluido México	Compara los PSA financiados por los usuarios y por el gobierno como es el caso de México. Encontrando que los primeros tienen una mayor capacidad financiera, tienen una mayor condicionalidad de continuar en los pagos. Pero abarcan cuencas muy pequeñas a diferencias de los gubernamentales. Además los del gobierno abarcan mayor número de servicios aunque son más flexibles.
Muñoz-Piña <i>et al.</i> , 2008	México	Análisis del PSAH mediante la descripción del programa, desde las reglas de operación, financiamiento y la evaluación preliminar del funcionamiento. El pago se hace en áreas con un bajo riesgo de deforestación, aun cuando trata de beneficiar a los pobres, no llega ellos, por los costos de transacción. Resaltan el hecho de que el PSAH en México no funciona como mercado, el gobierno es el único comprador y por lo tanto se convierte en un monopolio.
Corbera <i>et al.</i> , 2009	México, San Bartolomé Loxicha, Oaxaca,	Análisis desde la base institucional del PSA, llegando a las conclusiones de que no es posible tener un solo diseño institucional debido a la diversidad de socio-ecosistemas. Se basa en el servicio de captura de carbono, que ha mostrado ser bien recibido en las comunidades rurales y ha contribuido con el aumento del ingreso familiar.
Alix-García <i>et al.</i> , 2010	México	Evaluación de la efectividad del pago en México, concluyendo que el programa es más eficaz en reducir la deforestación en propiedades privadas que en ejidos porque se manejan a menor escala y la deforestación se traslada a zonas vecinas, por lo que el pago debe ser manejado a mayor escala.
Rico <i>et al.</i> , 2011	México, Chiapas en la Reserva de la Biósfera Sepultura	Evaluación de la equidad, la adicionalidad y la percepción de los actores clave del esquema dentro de un área protegida. En términos económicos el pago tiene un efecto diferencial entre los ejidatarios con derechos de propiedad claros y los pobladores que carecen de ello. En términos de conservación la mayor parte del ejido conservaría sin necesidad del pago, una percepción más asentada en los ejidatarios de mayor edad y con menor nivel de educación.

5. JUSTIFICACIÓN

La cuenca del río Magdalena, forma parte de los bosques remanentes al suroeste de la Ciudad de México abarca 3,000 ha del suelo de conservación. Es un importante refugio de biodiversidad, presenta especies endémicas a México, y una cobertura vegetal predominantemente conservada que está estrechamente relacionada con la provisión de servicios de corte hidrológico (PMRRM, 2008). Además, brinda una amplia gama de servicios ecosistémicos, como la purificación del aire, el almacén de carbono en los bosques. Como herencia cultural presenta vestigios arqueológicos y santuarios. Por su belleza escénica es un sitio de importancia para la recreación y el ecoturismo. El río Magdalena abastece el 50% de la provisión de agua superficial del D.F., por lo que su conservación y mantenimiento es prioritaria. Situación que hizo posible la participación de la comunidad Atlitic dentro del programa nacional de PSAH, que funciona con deficiencias.

La información generada a lo largo de ocho años de estudios por investigadores de la UNAM, principalmente de la Facultad de Ciencias, permiten el entendimiento del sistema y remarcar la importancia de la cuenca como generadora de agua. Este trabajo pretende evaluar el funcionamiento del PSAH de manera integral en un contexto ambiental, económico y social, con el fin de contribuir al diseño de este tipo de esquemas (valoración socio-económica) fundamentales para la toma de decisiones que influyen en el mantenimiento, manejo y conservación de la CRM.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el valor económico de la cuenca con respecto al servicio de flujos de agua subsuperficial?
- ¿Conocen los dueños de la tierra el esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos? ¿Cuál es su disposición a continuar en él?

6. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el funcionamiento del pago por servicios ambientales hidrológicos dentro de la cuenca del río Magdalena de acuerdo a sus características socio-ambientales.

Objetivos particulares

- Integrar la información socio-ambiental en torno al servicio ecosistémico de flujos de agua subsuperficial.
- Valorar el costo del servicio ecosistémico de flujos de agua subsuperficial a partir del método de costo-reemplazo.
- Identificar si el pago corresponde con el costo del servicio ecosistémico que se ofrece.
- Conocer la estructura interna de la comunidad y determinar si reconocen el esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos.

7. METODOLOGÍA

El diagrama metodológico de la Figura 5, resume las etapas del trabajo realizado. Se divide en tres etapas y la integración de las mismas da como resultado la evaluación del PSAH desde la perspectiva socio-ecológica.



Figura 5. Esquema metodológico.

7.1 Descripción socio-ambiental de la cuenca

Se integró toda la información relevante desde la perspectiva social en cuanto a la tenencia de la tierra y la vida comunitaria, puesto que la historia socio-cultura de la comunidad explica la forma en como se relacionan y usan sus recursos, lo cual esta directamente relacionado con el funcionamiento del PASH.

De igual manera se integró la información ambiental disponible en la literatura del servicio de escurrimiento de agua subsuperficial, con el objetivo de conocer los datos biofísicos para realizar la valoración económica.

En este caso se tomo el escurrimiento, como la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales perennes, intermitentes o efímeras y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. El escurrimiento de acuerdo con las partes de la superficie terrestre donde se realice se divide en subsuperficial y subterráneo, ambos hacen parte de la infiltración. El escurrimiento total de un río esta formado por el escurrimiento directo (superficial y subsuperficial rápido) y el base (subsuperficial lento y subterráneo) (Maderey-Rascón, 2005).

El escurrimiento subsuperficial es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Parte de éste escurrimiento entra a formar parte rápidamente de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo unirse a ellas (Maderey-Rascón, 2005).

Debido a que la infiltración profunda es despreciable, menos del 1% por la geología de la cuenca, toda el agua que se infiltra en la superficie del suelo es parte del escurrimiento base (Jujnovsky *et al.*, 2010 y Jujnovsky (aceptado)), que se tomará como el componente del ciclo hidrológico que corresponde al flujo subsuperficial.

El balance hídrico dentro de la cuenca fue realizado con el método de SWAT (Soil Water Assessment Tools), que toma en cuenta los datos de las estaciones hidrométricas existentes, y para los puntos que no presentan datos interpola estos valores (Jujnovsky, aceptado). Este modelo incluye datos de vegetación, edafología e hidrología (estaciones meteorológicas). Divide la cuenca en subcuencas que son de tamaño arbitrario y se llaman *unidades de escurrimiento*, que sólo tienen información hidrológica y estas a su vez se dividen en *unidades de respuesta hidrológica* que incluyen información de suelo y vegetación (Jujnovsky, aceptado).

7.2 Valoración costo/reemplazo del servicio ecosistémico de flujos de agua subsuperficial

a-Revisión bibliográfica/cotización- De la bibliografía especializada se obtuvieron las características y costos de las tecnologías, para reemplazar el servicio de escurrimiento subsuperficial. Con estos datos, se elaboró una tabla

comparativa con cada uno de las tecnologías, incluyendo su capacidad de infiltración, los costos y el año de publicación. Para obtener los costos de la tecnología elegida, también se optó por cotizaciones con empresas mexicanas (Servicios Hidráulicos del Bajío S.A. de C.V.) basados en las especificaciones que corresponden a las características biofísicas de la cuenca.

b- Uniformización del tipo de cambio- Las tecnologías encontradas en la bibliografía, enlistan los costos en dólares y en rupias (moneda de la India). Para tener un valor uniforme de todas las tecnologías en pesos mexicanos, se realizaron las conversiones respectivas para cada tipo de moneda: en el caso de los dólares, el cambio para el año 1997 en promedio fue de 7.91. El cambio para el año 1999 en promedio fue de 9.55, para el 2000 en promedio fue de 9.45 y para lo que va del año 2011 fue de 11.88. Respecto a las rupias, en promedio el cambio para el año 2000 fue de 1 dólar = 45.06 rupias. El cambio utilizado en el caso de los dólares, fue obtenido promediando los datos anuales de todos los días hábiles del año que se consulta, publicados por el Banco de México (disponible en: <http://www.banxico.gob.mx/portal-mercado-cambiario/material-educativo/tipo-cambio-historico.html>). En el caso de las rupias, se tomaron los datos publicados en la revista The Economist del año 2000, de la sección de indicadores económicos, se promediaron los datos de las publicaciones semanales disponibles, en este caso se cuenta con la información de 31 de las 52 semanas del año, obteniéndose en promedio que un dólar para el año 2000 equivalía a 45.06 rupias.

c- Deflactación- Se hace con el fin de corregir los precios de las tecnologías del año de publicación a la actualidad. Se utilizó el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), indicador económico que tiene como finalidad medir a través del tiempo, la variación de los precios de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo de los hogares mexicanos (Spiller y Gosman, 1988; y www.banxico.org.mx).

Para quitar el efecto inflacionario sobre los precios se realiza la deflactación, la inflación es la tasa de crecimiento promedio de los precios de la canasta básica de bienes y servicios de un período a otro (www.banxico.org.mx). Mediante los índices generales de precios, los INPC, los montos en monedas registrados en

un punto particular en el tiempo pueden re-expresarse en monedas en cualquier otro punto del tiempo, estas monedas representan montos variables de poder de compra cuando ocurre la inflación o deflación en general, ya que las monedas no son constantes (Spiller y Gosman, 1988). Se empleó la siguiente fórmula de conversión:

$$X_a/X_t * PT = PC$$

Donde:

Xa: INPC de diciembre de 2009

Xt: INPC del año X del que se tiene el precio de la tecnología

PT: precio de la tecnología en el año X

PC: precio corregido y actualizado

Este procedimiento se llevó a cabo para cada una de las tecnologías que se caracterizaron en el paso uno. Cabe resaltar que los valores de INPC que se tomaron en cuenta son los del mes de diciembre del año 2009.

d- Tasa de descuento- Se utilizó para ver el valor a futuro, es una forma en la que los economistas descuentan beneficios futuros netos de los recursos naturales (Lyon, 1996). En los pasos anteriores, se obtuvo el precio actualizado de las tecnologías, que son un valor indirecto del servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial, pero es necesario ver su valor a futuro.

La tasa de descuento analiza las elecciones inter-temporales y hace referencia a la definición de desarrollo sustentable “satisfacer las necesidades presentes sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, hay que decidir entre invertir en el presente o en el futuro (Lyon, 1996 y Brent, 1996). Esta cuestión inter-temporal es fundamental en el manejo de los recursos naturales, la sociedad tiene preferencias y valora de manera diferente los beneficios que se pueden obtener de forma inmediata y los que se pueden obtener a futuro, por lo general, los inmediatos se valoran más. La tasa de descuento es una forma de comparar esta dicotomía entre la elección presente o a futuro (Lyon, 1996).

Cuanto más alta es la tasa de descuento menos importancia se le da al futuro y los recursos naturales son más rápidamente agotados, por el contrario, una

tasa de descuento baja implica más sacrificios para las generaciones presentes pero un mayor beneficio para las generaciones futuras (Lyon, 1996).

Ajustar el precio de las tecnologías encontradas a futuro se hizo con el valor obtenido a partir de la deflactación, con la siguiente fórmula matemática (Brent, 1996). Cabe resaltar que como se verá en la demostración de esta fórmula (Anexo A), en este caso se asume un tiempo infinito y no fijo como la expresión inicial del descuento, se utiliza así porque se piensa en la conservación permanente del servicio ecosistémico y no a un tiempo determinado; como sería el caso de una inversión en infraestructura.

$$\text{VNP: } PC / i$$

Donde:

VNP: valor neto presente

PC: Valor actual

i: tasa de descuento

e- Elección del sustituto- Una vez que se eligió la tecnología que reemplaza el servicio de flujos subsuperficiales de agua, con base en los supuestos citados por Sundberg (2004), entre los cuales se incluyen el costo y la comparación de la capacidad artificial de la tecnología, con la capacidad natural de la cuenca, lo que permitió saber cuántas unidades de la tecnología elegida se deberían instalar para sustituir el servicio ecosistémico. Éste es un estimado monetario del costo indirecto del servicio.

7.3 Participación y conocimiento del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos

Se llevaron a cabo encuestas semi-estructuradas a los comuneros (Anexo B), las cuales fueron probadas en un piloto (5 encuestas). Del total actual (800-900) de comuneros de la Magdalena Atlitica (A. Juárez Com.pers.) entre 250 y 300 son la población activa que asiste regularmente a las asambleas. Se tomo en cuenta que la muestra representativa debería de ser de por lo menos el diez por ciento de esta población, es decir, entre 25 y 30 encuestas, lográndose obtener 41.

El tamaño de la muestra se determinó por dos factores, el primero por el tiempo, puesto que el proceso de diseño y ejecución tomó seis meses y el segundo por la limitante de los recursos tanto económicos como humanos para llevar a cabo por más tiempo la encuesta.

El diseño de la encuesta estuvo basado en la literatura revisada en los antecedentes y su construcción fue guiada por el concepto de “Sustainable Livelihood Approach” (SLA), debido a que la aplicación de este concepto ayudaba a entender mejor la complejidad de las interrelaciones existentes dentro de la comunidad en relativamente corto tiempo y requiriendo bajo esfuerzo por parte de la comunidad. Se enfocó en conocer las condiciones y medios de vida de la comunidad y los aspectos que pueden influir en su participación en el PSAH tales como: socio-económicos, organización al interior de la comunidad, conocimiento de los procesos biológicos relacionados con la provisión de agua e importancia y utilización de los bienes comunales. Debido al concepto bajo el que fue creada la encuesta, sus apartados se encuentran nombrados por capitales: humano, natural, social, físico y financiero.

Análisis econométrico- Para realizar el análisis del conocimiento tanto de la institución como del programa que opera la CONAFOR, bajo el nombre de pro-Árbol, se utilizaron las 41 encuestas obtenidas en campo. El análisis se realizó a través de un modelo logístico utilizando el paquete econométrico Stata 10.

Se escogió una variable dependiente binaria (1 para el acierto y 0 para el fracaso) para contestar la pregunta de investigación relacionada con el conocimiento del PSAH. Al tener un gran conjunto de posibles variables independientes explicativas, era necesario hacer una selección de las mismas, por lo que se recurrió en primera instancia a un análisis de correlación y en segunda instancia a un análisis factorial. Ambas instancias permitieron reducir el número de variables, perdiendo la menor cantidad de información e identificando aquellas con un mayor potencial estadístico de interpretación. Simultáneamente a esta selección estadística, se recurrió a literatura sobre participación en el PSAH en casos similares para lograr un análisis más completo (Tognetti *et al.*, 2004; Zbinden y Lee, 2005; Martínez, 2008; Asquith y

Wunder, 2009; y Echeverría, 2010). Las variables independientes elegidas para este modelo, se presentan en la siguiente tabla:

Variable dependiente: ¿Usted participa actualmente en un esquema de PSA? (1 (sí) y 0 (no)) (A.10).

Tabla 4. Variables explicativas del modelo econométrico

Variable independiente	Tipo de variable/Descripción
Número de veces que participa al año en las asambleas generales (ASAMBLEA) (A.1)	Cuantitativa discreta. Esta variable hace referencia al número de veces que el comunero asistió en un periodo de un año a las asambleas, el número máximo posible era 12.
Confianza en la CONAFOR (CONAFOR) (E.3.5)	Dicotómica (Transformada). Esta variable pedía identificar en un rango de 1 a 5 que tanta confianza le generaba al comunero las actividades realizadas por esta institución.
Sí piensa que la corrupción es un problema dentro de su vida (CORRUPCIÓN) (H2.10)	Dicotómica. Esta variable pretendía dar a conocer si la persona, pensaba que en las actividades de la vida diaria sentía que existía corrupción tomada como malos manejos de dinero y administrativa.
Nivel de ingreso (INGRESO) (H.3.4)	Cuantitativa discreta (rangos de salario). Esta variable se midió teniendo como base el salario mínimo mensual vigente del D.F. Se pregunto por un aproximado de ingreso mensual familiar dentro de los rangos propuestos.
Edad (EDAD) (A.8)	Cuantitativa discreta. Variable que tomaba el número de años cumplidos.
Educación (EDUCACIÓN) (B.4)	Cuantitativa discreta (Se agruparon por niveles de educación). El comunero decía su nivel máximo de estudios concluidos.
Trabaja o cultiva un predio o parcela dentro del polígono (TRABAJA/CULTIVA) (C.1)	Dicotómica. Podían tener una parcela cultivada, o trabajar dentro de la cuenca con un restaurante, criadero de truchas o alguna actividad lucrativa que realizara dentro del polígono comunal.
Sí cree que el agua del río se puede acabar (RÍO) (C.12)	Dicotómica. El comunero respondía si pensaba o no que el agua del río algún día se podría acabar y daban una posible explicación.

Nota: Entre paréntesis en las variables independientes aparece en mayúscula la abreviación, como aparecen en las corridas del modelo binomial. Además frente a cada variable aparece la sección de la entrevista a la que pertenecen y que se puede revisar en los anexos.

Algunas variables independientes fueron transformadas para poder ser incorporadas dentro del modelo binomial de la siguiente forma:

Variables dadas en puntajes de 1 a 5. Se tomo como un acierto la calificación 4 y 5 y fracaso del 1 al 3.

Variables con tres opciones: AFECTA, INDIFERENTE y NO-AFECTA. AFECTA se tomo como acierto y NO-AFECTA e INDIFERENTE como fracaso. Las variables que tenían varias opciones fueron convertidas a dicotómicas, se les asigno el éxito si habían señalado alguna de las opciones propuestas y el fracaso si no habían señalado ninguna.

Este estudio usa un análisis de regresión logística binaria para modelar la variable dependiente Y, que toma valores entre cero y uno, el modelo estima la probabilidad de Yi condicionada a un conjunto de variables explicativas. Los modelos no lineales como el logit, se usan para explicar el comportamiento de una variable binaria que tiene la siguiente forma:

$$Y = f \left(\underbrace{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n}_{\text{Componente sistemático de la variable}} \right) + \underbrace{\xi_j}_{\text{Componente aleatorio}}$$

Donde:

Y: variable dependiente dicotómica

β_0 : constante

β : proporción en la que varia la variable dependiente cuando cambia la variable independiente

ξ : Componente aleatoria

f es la función logística

En este tipo de modelos, no resulta posible interpretar directamente las estimaciones de los parámetros β , ya que son modelos no lineales, se interpreta el signo de los estimadores. Si el estimador es positivo, significará que incrementos en la variable asociada causan incrementos en P (Y = 1) (aunque se desconozca la magnitud de los mismos). Por el contrario, si el estimador tiene signo negativo, ello supondrá que incrementos en la variable asociada causarán disminuciones en P (Y = 1).

El análisis en el paquete econométrico Stata 10, arroja una tabla de regresión logística que muestra los valores estimados para los coeficientes del modelo (los diferentes β desde 1 hasta n), junto con sus p-valores asociados; para un nivel de significación $\alpha = 0.05$, rechazaremos la hipótesis nula de que dichos coeficientes son nulos. Los coeficientes β se interpretan como el cambio que se produce en el término Logit al incrementarse en una unidad la variable explicativa asociada.

8. RESULTADOS

8.1 Descripción socio-ambiental en torno al servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial de agua

8.1. a Descripción social

Tenencia de la tierra y vida comunitaria- La CRM presenta títulos desde 1,535 pero fue en el siglo XX con el reparto agrario que se reconocieron los bienes a la comunidad. Las primeras solicitudes se hicieron en 1945, sin embargo la Resolución Presidencial de Confirmación de Bienes Comunales se dio hasta 1,975 a 1,779 comuneros donde se restituyen 2,393 ha que corresponden casi a toda la extensión de la CRM). Existen zonas en litigio con otros núcleos agrarios y 111.8 ha de la zona conocida como La Cañada son propiedad del Distrito Federal (Ramos, 2008).

Los criterios utilizados en el censo comunal de 1975 son poco claros, lo que trajo como consecuencia la inclusión de gente externa y exclusión de gente nativa, esta es una de las principales causas de conflictos en la comunidad. Como consecuencia se reconocen dos tipos de comuneros, los de derecho, censados y registrados en el Registro Nacional Agrario, y los de hecho, que pueden ser nativos no censados o sucesores sin legalizar el traspaso.

La comunidad se organiza de forma autónoma mediante asamblea general (se reúne una vez por mes), máxima autoridad comunal y donde se toman mediante voto todas las decisiones. Es una comunidad con poca participación a causa de la desconfianza (Ramos, 2008). De los 1,779 comuneros, solamente 250 asisten a las asambleas de forma regular y 800 se presentan a las votaciones. Esta situación es uno de los principales problemas para la toma de decisiones ya que es necesario que se obtenga el voto del 50% más uno (Ramos, 2008).

Otro problema son los asentamientos irregulares que durante los años 70 llegaron a la zona, según el comisariado de bienes comunales, la gran mayoría de las personas que se ubican como irregulares no pertenecen a la comunidad y son llamados localmente “paracaidistas”, además después de intentar varias

diligencias legales de desalojo, no ha sido posible reubicarlos (Ramos, 2008). De estos asentamientos, casi la mitad de las viviendas censadas en 1997 no contaban con drenaje, por lo que sus descargas de aguas residuales representan un peligro para la contaminación de los acuíferos y por lo tanto para la provisión de los servicios ecosistémicos hidrológicos (Eguiarte *et al.*, 2000).

Situación legal como Área Natural Protegida (ANP). La CRM cuenta con un acuerdo y un decreto; el primero corresponde a la declaratoria de Zona Protectora Forestal los Bosques de la Cañada de Contreras, D.F. del 27 de junio de 1932, en el cual se establece una superficie de 3,100 ha, correspondientes a terrenos forestales de la Hacienda de la Cañada y del Pueblo de la Magdalena. El segundo, es un decreto presidencial a favor de la creación de la Unidad Industrial de Explotación Forestal para la fábrica de papel Loreto y Peña Pobre y se declara Zona de Protección Forestal del río Magdalena de fecha 19 de mayo de 1947. Dicha región abarca una faja de 12 kilómetros de longitud desde el nacimiento del río aguas abajo con una anchura de 500 metros a cada lado del cauce (Eguiarte *et al.*, 2000) (Fig. 6). Según este mismo autor, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, contradice al acuerdo y al decreto mencionados ya que como área natural protegida establece una superficie de 215 ha con categoría de zona protectora forestal. Además de esta situación, el área natural protegida del río Magdalena presenta un traslape con una presunta propiedad privada, el predio La Cañada de 111.8 ha. Allí existe un uso indiscriminado del predio por parte de comerciantes y paseantes, una fuerte presión de los asentamientos humanos irregulares de San Nicolás Totolapan (Cazulco) y Magdalena Contreras (Ladera de Sayula) que de forma acelerada y desordenada han invadiendo terreno de las zonas forestales en áreas de alto riesgo.

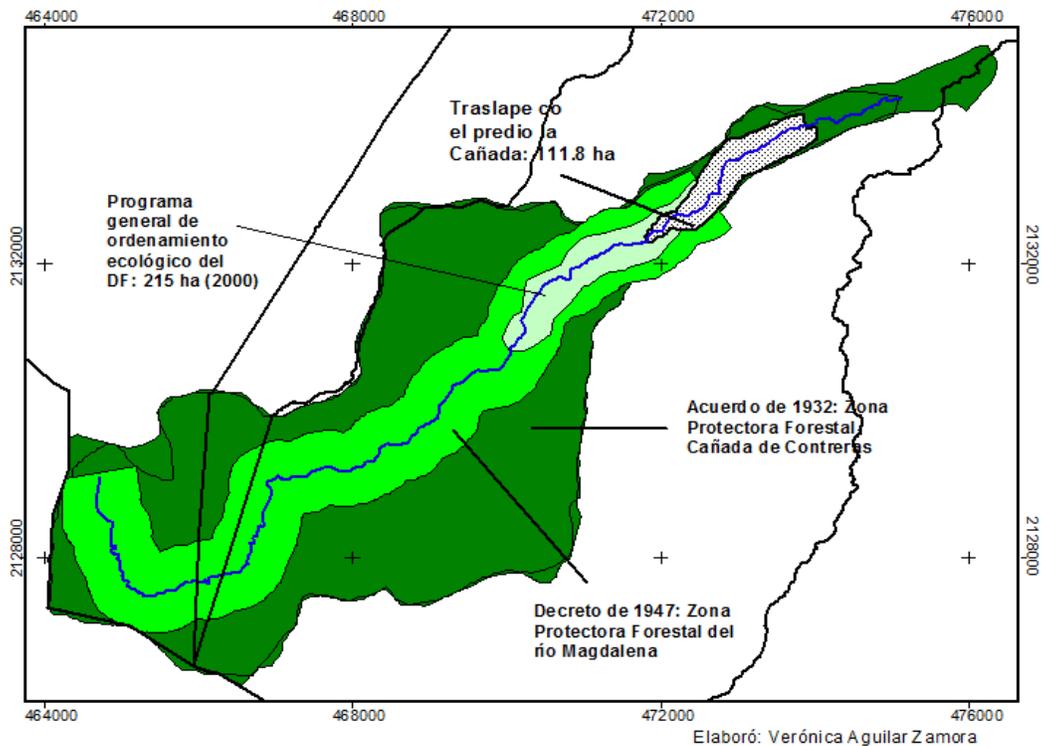


Figura 6. Situación legal dentro de la cuenca del río Magdalena, D.F. Elaboró: Verónica Aguilar Zamora.

Actividades productivas dentro de la cuenca- La actividad agrícola es la que tiene mayor peso, aunque con poco desarrollo debido a las pendientes pronunciadas del terreno y la cercanía con la ciudad de México, donde laboran la mayor parte de la población económicamente activa (Jujnovsky, 2006). Sin embargo, se cultiva papa, avena, y haba; también se practica la agricultura de temporal con los cultivos de maíz y avena en los parajes de Cazulco y Xixalpa, los Llanos de Acopilco, Temamatla y los Cajones, donde de acuerdo al Programa General de Ordenamiento Ecológico Territorial del Distrito Federal, esta actividad no está permitida. Bajo invernadero se producen principalmente gladiolos y claveles (González-Martínez, 2008).

Respecto a la ganadería, esta actividad se da en las áreas forestales, donde hay suficiente vegetación herbácea que alimente los rebaños, ésta se desarrolla de manera extendida y desordenada causando problemas a otras actividades como la silvicultura. El ganado predominante es ovino, caprino y vacuno (Jujnovsky, 2006).

8.1.b Descripción ambiental

Comunidades vegetales e hidrogeología

De acuerdo al análisis de la cobertura vegetal de la cuenca, realizado por el PMRRM (2008) los bosques se dividen en conservados, los cuales cubren una superficie de 1,997.6 ha (66.7%) y los deteriorados con una superficie de 426.7 ha (14.3%), la superficie restante (19%) corresponde a las otras categorías de vegetación. Dentro de la cuenca, se reconocen tres tipos de comunidades vegetales:

La comunidad de *Pinus hartwegii* se desarrolla en la parte alta de la cuenca (3,500-3,870 m snm), ocupa una extensión de 943 ha. Los suelos son de tipo Andosol húmico y ócrico. Es poco permeable con valores de 30 cm/h y una conductividad hidráulica de 93.5 $\mu\text{m/s}$ (Jujnovsky *et al.*, 2010). En esta zona nace el río, hay mayor precipitación y menor evapotranspiración. Los servicios ecosistémicos generados son: provisión de agua, calidad y regulación del agua sub-superficial y basal, control de erosión y mantenimiento del suelo. Posee los suelos más permeables y por lo tanto contribuye en gran medida a la infiltración, pero es la más vulnerable por su alta erodabilidad (0.36) (Jujnovsky, 2006).

La comunidad vegetal de *Abies religiosa* corresponde a la parte media de la cuenca (3,000-3,500 m snm), ocupa una extensión de 1469 ha. Los suelos son de tipo Andosol húmico (Jujnovsky *et al.*, 2010). Es poco permeable con valores de 12 cm/h y una conductividad hidráulica de 80.5 $\mu\text{m/s}$. Esta unidad es la que más servicios ecosistémicos genera: provisión de agua, aunque la precipitación es menor que en la parte alta el escurrimiento es mayor por su gran extensión; provisión de alimento representado por criaderos de truchas, control de la erosión y mantenimiento de suelo (Jujnovsky, 2006).

La comunidad de bosque mixto y de *Quercus*, se desarrolla en la parte baja de la cuenca (entre los 2,500 y 3,000 m snm) con una extensión de 482 ha. Corresponde a la zona de influencia humana de la cuenca (Jujnovsky *et al.*, 2010). Es poco permeable, con valores de 6.9 cm/h y una conductividad hidráulica de 75 $\mu\text{m/s}$. Al estar en contacto con la zona urbana es donde se

consumen la mayor parte de los servicios ecosistémicos, tales como, la recreación y el ecoturismo (Jujnovsky, 2006).

Los pastizales, ocupan 105 ha, se encuentran distribuidas a lo largo de toda la cuenca. La vegetación que les caracteriza es la herbácea. Los comuneros aprovechan estas zonas para el pastoreo y tienen un grado de influencia antropogénica mucho mayor que las otras unidades (Jujnovsky, 2006).

Hidrología y servicios ecosistémicos

El balance hídrico (Jujnovsky, aceptado) (Fig. 7), muestra que la precipitación es de 1,109 mm anuales. El agua que queda de la precipitación y que fluye por gravedad, que no se infiltra de manera profunda y que no se evapotranspira (lo cual representa la peculiaridad de que la infiltración coincide con la provisión), representa el escurrimiento total que es de 640 mm, este escurrimiento a su vez se divide en escurrimiento base, que es el escurrimiento observado a la salida de la cuenca de drenaje durante periodos largos en los que no se producen precipitaciones, hace que el río sea perene y es de 542 mm, este escurrimiento tiene dos componentes el subsuperficial y el subterráneo, el primero va por las capas subsuperficiales antes de la zona vadosa, luego sale al río y es de 530 mm; el subterráneo es aquel que va por el acuífero no confinado, es decir por la zona vadosa y es de 12 mm. Este escurrimiento base, que corresponde en mayor parte al agua que corre como escurrimiento subsuperficial, es la medida para conocer un valor aproximado de éste servicio ecosistémico; sin embargo, aun cuando en términos bio-físicos el agua infiltrada en su mayoría corresponde al agua que va por el caudal, cabe aclarar que no son los mismos servicios. Uno es el escurrimiento subsuperficial y otro es el escurrimiento superficial.

El escurrimiento superficial, es la parte del agua de lluvia que entra rápidamente en el cauce de las corrientes (De la lanza-Espino, 1999); es decir, que corre por las capas superficiales del suelo y en algún momento desemboca en el cauce del río y está asociado a eventos de tormentas, dentro de la cuenca es de 98 mm (Jujnovsky, aceptado). La producción de agua dentro de la cuenca de acuerdo al balance hídrico por comunidad vegetal es de 6,878,000 m³ al año para la de *Pinus hartwegii*, de 10,994,800 m³ al año para

la comunidad de *Abies religiosa* y de 3,217,500 m³ al año para la comunidad de bosque mixto y de *Quercus*, para una provisión total de 21 millones de m³ al año, aproximadamente el 50% de la demanda de agua superficial de la ciudad de México (Jujnovsky, aceptado).

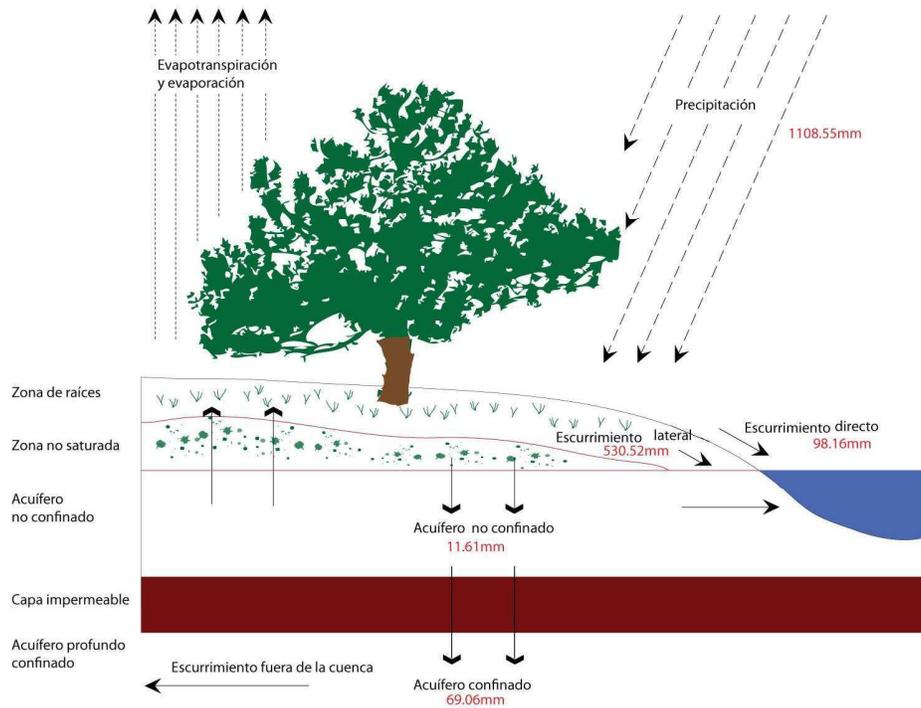


Figura 7. Componentes del ciclo hidrológico en la CRM. Elaboro: Jujnovsky-Orlandini.

Calidad del agua- es excelente en el área natural pero se va degradando de forma paulatina conforme se acerca a la zona urbana, con un cambio progresivo en las características físico-químicas asociado a la presencia de puestos de alimento, estanques de truchas, presencia de fauna doméstica (caballos y perros) y el incremento de visitantes en la zona (Bojorge-García, 2006 y Morales-Luque, 2010). La contaminación fecal es el principal problema a resolver, los desechos humanos y animales no son adecuadamente colectados y tratados. Esta situación es más crítica en la zona urbana donde el crecimiento de la población ha excedido la velocidad del desarrollo de los sistemas de drenaje y tratamiento (PMRRM, 2008).

Distribución y consumo- El agua se consume directamente del río por los comuneros que tienen puestos de comida en la zona, para los servicios de la vivienda, estanques de engorda de trucha y para actividades relacionadas con negocios *in situ* (PMRRM, 2008). En la zona urbana, el agua ya potabilizada la consumen principalmente los habitantes de la porción NW de la delegación Magdalena Contreras, los pueblos de San Bernabé y San Jerónimo Lídice. El servicio de provisión de agua, únicamente se genera en las partes altas de la cuenca, mientras que en la zona urbana se da el consumo (Jujnovsky *et al.*, 2010).

En la delegación el suministro de agua se compone de varias fuentes (PMRRM, 2008):

1. Sistema río Magdalena que aporta un gasto de 200 l/s.
2. Un sistema de manantiales conformado por Rancho Viejo, Tepozanes, Los Pericos, Las Ventanas, Malpaso, Las Palomas, El Ocotal, El Sauco, Ojo de Agua, Apapaxtla y El Potrero, que aporta un caudal de 120 l/s.
3. Sistema Lerma Sur que cuenta con un gasto total de 200 l/s.
4. Sistema de Pozos que son: pozo Anzaldo; pozo Padierna y pozo Pedregal II. Aportan 80 l/s.

De acuerdo con lo anterior, el caudal total empleado para el suministro de agua potable en la delegación es de 600 l/s. El río contribuye con 200 l/s, la tercera parte del abasto total de la delegación.

Tabla 5. Características ambientales por comunidades vegetales en la CRM.

Comunidad Vegetal/ Características	Suelo	% materia orgánica	Ph	Conductividad Hidráulica (µm/s)	Permeabilidad (cm/h)	Erodabilidad	Precipitación anual (mm)	Escorrentia anual (mm)	Escurrimiento total anual (m ³)	% de agua generado
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> 3 500-3 870 msnm 943 ha	Andosol húmico y ócrico	15-30	41-4.5	93.5	30	0.36	1 175	742	6,878,000	32
Bosque de <i>Abies religiosa</i> 3 000-3 500 msnm 1 469 ha	Andosol húmico	13-30	4.6-5.1	80	12	0.27	1 225	754	10,944,800	51
Bosque Mixto y de <i>Quercus</i> 2 500-3 000 msnm 482 ha	Andosol húmico mezclado con Litosol	4-8	5.2-6.1	75	6	0.19	1 100	621	3,217,500	15
Pastizales Distrib. En toda la Cuenca 105 ha										2

8.2 Valoración costo/reemplazo del servicio ecosistémico de flujos de agua subsuperficial

Se presenta la descripción de las tecnologías propuestas para reemplazar el servicio de escurrimiento subsuperficial (Tabla 6). Cabe resaltar que la literatura que reporta información de sustitutos para infiltración de manera completa incluyendo los costos era poca y en muchos casos incompletos, por lo que no fue posible incluirlas en este estudio.

Depósitos y canales de infiltración: Esta tecnología puede aplicarse de dos formas; 1) con cuencas de infiltración que son de aproximadamente 200 m x 90 m y 1.2 m de profundidad y 2) una combinación de las cuencas con 9.3 ha de canales de infiltración. El sistema más eficiente es el de canales, por la alta velocidad de circulación que impide el asentamiento de material fino y además tiene mayores tasas de infiltración. Requiere mínimo mantenimiento, solo es necesario evitar la sedimentación excesiva y prevenir la erosión de los bancos del canal. Diseñado para acuíferos no confinados (Freshwater augmentation, 1997).

Trampas de agua: Son usadas para aumentar la infiltración en cauces, las trampas son presas de tierra de altura variable (1 a 3 m) construidas con materiales locales, normalmente son perpendiculares a la orilla del río, están en función de las características del sistema de corrientes del río. Construidas a lo largo de 1 km del río con intervalos de 70 a 100 m (Freshwater augmentation, 1997).

Pozos de inyección en la zona vadosa: Tecnología que combina las ventajas de la recarga de la cuenca y la inyección directa a pozos. Se requiere la presencia de un acuífero no confinado con amplia capacidad de almacenamiento, y que antes de la recarga sean removidos los sólidos (Fox, 1999).

Pozos de inyección directos: Inyectan agua tanto en acuíferos confinados como no confinados, siendo capaces de inyectar agua directa y simultáneamente a varios acuíferos. Esta tecnología es costosa, requiere tecnología avanzada de pre-tratamiento y mantenimiento (Fox, 1999).

Tanque de percolación: Son estructuras más eficaces en formaciones de roca dura donde la roca está muy fracturada y erosionada. Son útiles para recargar los acuíferos más profundos donde las formaciones poco profundas son impermeables. Eficacia del 91%. Debe existir una amplia zona vadosa que dé lugar a la recarga (CGWBMWR, 2000).

Tapones de cemento: Se construyen a través de pequeños arroyos con pendiente suave y son viables en roca dura y zona de aluvión. Donde se construye debe haber una cama permeable de suficiente espesor que permita la recarga del agua almacenada en la estructura. La altura debe ser inferior a 2 m y el ancho es igual al del cauce, el exceso de agua puede fluir por encima de la estructura. La cuenca debe tener entre 40 y 100 ha. Tiene una eficacia del 94%. Ayudan a que el agua se queda más tiempo en zonas permeables (CGWBMWR, 2000).

Estructuras de gavión: Es una presa de contención, las rocas localmente disponibles se confinan con un alambre de acero y se coloca en el cauce del río. La altura debe ser de 0.5 m en arroyos entre los 10 y 15 m de ancho.

Tabla 6. Tecnologías propuestas para la valoración

Tecnología	Tiempo de vida	Capacidad	Costo (1. dólares y 2. pesos mexicanos)	Referencia
Depósitos y canales de infiltración	>100 años.	Recargan 1000.000 m ³ 1000-20,000 m ³ /ha-día	Inversión inicial de \$31300 dólares \$247,770.8 pesos	Freshwater augmetation, 1997 Fox, 1999
Trampas de agua	Entre 20 y 25 años	Almacenan entre 250 y 400 m ³	133 a 167 dólares \$1,052.828 a \$1,321.972 pesos	Freshwater augmetation, 1997
Pozos de inyección en la zona vadosa	5 a 20 años.	1000-3000 m ³ /pozo/día	Costo capital 100,000-150,000 dólares por pozo \$955,300 a \$1,432, 950 pesos	Fox, 1999
Pozos de inyección directos	25-50 años.	2000-6000 m ³ /pozo/día 665 l/seg	Costo capital \$100,000-1,500,000 dólares por pozo/ \$955,300 a \$ 14,329,500 pesos 1 300 000 pesos/pozo	Fox, 1999 Servicios Hidráulicos del Bajío S.A. de C.V, 2011
Tanque de percolación	25 años.	Recarga adicional de agua de 298.4 mil m ³	El costo de construcción es 3,468.926 dólares/\$ 32,804. 939 pesos. La inversión anual para la construcción es 138,756 dólares/\$1,312,195.48 pesos La inversión anual total es 15,263,174.73 dólares/\$144,331,632.8 pesos	CGWBMWR, 2000
Tapones de cemento	12 años.	La recarga adicional de agua es de 58.70 mil m ³ .	El costo de construcción es 41,997,038.4 dólares/\$397,132,394.5 pesos. La inversión anual para la construcción es 3, 499,858.34 dólares/\$33, 095,360.46 pesos. La inversión anual total es 3,849,803.62 dólares/\$36,404,513.01 pesos	CGWBMWR, 2000
Estructuras de gavión	No disponible		El costo es de 450.61- 6,391,615.79 dólares \$4,261.058 - \$60,440,397.25 pesos.	CGWBMWR, 2000

Para cada una de las tecnologías se realizó el proceso de deflactación y tasa de descuento (Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Deflactación de los costos de las tecnologías propuestas

Tecnología/Año	PT(pesos mexicanos)	Xa	Xt	PC
Depósitos y canales de infiltración/1999	\$247,770.8	138.541	85.58	\$401,103.22
Trampas de agua/1997	\$1,052.828 a \$1,321.972	138.541	64.24	\$2,270.545 a \$2,850.986
Pozos de inyección en la zona vadosa/1999	\$955,300 a \$1,432,950	138.541	85.58	\$1,546,485.362 a \$2,319,728.043
Pozos de inyección directos/1999	\$955,300 a \$ 14,329,500	138.541	85.58	\$1,546,485.362 a \$23,197,280.43
Tanque de percolación/2000	\$144,331,632.8	138.541	93.248	\$214,395,502.2
Tapones de Cemento/2000	\$36,404,513.01	138.541	93.248	\$54,087,140.07
Estructuras de gavión/2000	\$4,261.058- \$60,440,397.25	138.541	93.248	\$6,330.765 a \$89,797,883.87
Pozos de inyección directos / 2011 Servicios Hidráulicos del Bajío S.A. de C.V.	\$ 1,300 000			\$ 1,300 000

Donde: Xa: INPC de diciembre de 2009; Xt: INPC del año X del que se tiene el precio de la tecnología; PT: precio de la tecnología en el año X y PC: precio corregido y actualizado.

Con base en un análisis de factibilidad técnica realizado por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2010) que incluye estudios de caracterización geológica, hidrológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica, además de la opinión de dos expertos en el área de hidrogeología (Anexo C). La tecnología escogida para reemplazar el servicio ecosistémico de escurrimiento subsuperficial de agua, es la de los pozos de inyección directa.

Tabla 8. Tasa de descuento de los costos de las tecnologías propuestas.

Tecnología/Año	PC	VNP(i=0.01)	VNP (i= 0.05)	VNP (i= 0.1)
Depósitos y canales de infiltración/1999	\$401,103.22	\$40,110,322	\$8,022,064.4	\$4,011,032.2
Trampas de agua/1997	\$2,270.545 a \$2,850.986	\$227,054.6 a \$285,098.6	\$45,410.9 a \$57,019.72	\$22,705.45 a \$28,509.86
Pozos de inyección en la zona vadosa/1999	\$1,546,485.362 a \$2,319,728.043	\$154,648,536.2 a \$231,972,804.3	\$30,929,707.24 a \$46,394,560.86	\$15,464,853.62 a \$23,197,280.43
Pozos de inyección directos/1999	\$1,546,485.362 a \$23,197,280.43	\$154,648,536.2 a \$2,319,728,043	\$30,929,707.24 a \$463,945,608.6	\$15,464,853.62 a \$231,972,804.3
Pozos de inyección directos/ 2011	\$ 1,300,000	\$ 130,000,000	\$26,000,000	\$ 13,000,000
Tanque de percolación/2000	\$214,395,502.2	\$21,439,550,220	\$4,287,910,044	\$2,143,955,022
Tapones de Cemento/2000	\$54,087,140.07	\$5,408,714,007	\$1,081,742,801	\$54,087,140.07
Estructuras de gavión/2000	\$6,330.765 a \$89,797,883.87	\$633,076.5 a \$8,979,788,387	\$126,615.3 a \$1,795,957,677	\$63,307.65 a \$89,797,883.87

Donde: PC: precio corregido y actualizado; VNP: valor neto presente; i: tasa de descuento. Se tomaron tres tasas de descuento que se encuentran cercanas a la tasa de interés actual del Banco de México (es de 0.045).

El valor elegido es el obtenido mediante cotización con la empresa Servicios Hidráulicos del Bajío S.A. de C.V. Para infiltrar 21 Mm³/ año que equivalen a 665 L/s (estimado del escurrimiento base (Jujnovsky, aceptado) se requieren 10 pozos de inyección con las siguientes características (Anexo C):

- 10 pozos a una profundidad estimada de 100 m.
- En toda su profundidad deberán llevar tubería ranurada para favorecer la infiltración en todos los puntos.
- Diámetro del ademe de 12 pulgadas
- Los 100 m llevarían filtro de grava y un sello sanitario de unos 10 m de profundidad.

Costo de los pozos (Servicios Hidráulicos del Bajío S.A. de C.V., 2011):

Costo unitario de los pozos	\$ 1, 300, 000 pesos
Costo de los 10 pozos	\$13, 000, 000 pesos
Costo estandarizado (CE) (costo del total de pozos/No ha)	CE = \$13, 000, 000pesos/ 3,000 ha CE= \$ 4, 333 pesos/ ha

El valor obtenido de los pozos, estandarizado por hectárea por año se presenta en la siguiente tabla, en donde además se muestran otras valoraciones económicas de servicios ecosistémicos en diferentes partes del mundo y México.

Tabla 9. Datos comparativos de diferentes valoraciones económicas de servicios ecosistémicos en el mundo

Fuente	Región	Servicio evaluado	Valor en USD/ha/año
Costanza <i>et al.</i> (1997)	Todo el mundo	Todos	9, 900
Rönnbäck (1999)	Thailandia	Todos	27, 264- 35, 921
Sathirathai y Barbier (2001)	Todo el mundo	Todas las pesquerías	750- 11, 280
Guo <i>et al.</i> (2001)	Xingshan, provincia de China	Conservación del agua por el bosque	7.63 (millones de dólares a 1997)
Aburto-Oropeza <i>et al.</i> (2008)	México	Crianza de peces en manglares	37, 500
CONAFOR citado en Aburto-Oropeza <i>et al.</i> (2008)	México	Manglares	1, 020
Schuyt y Brunder (2004,WWF)	Brasil	Provisión de agua, humedal el pantanal (1994)	5, 322.58
	Malawi	Agua dulce, humedal lago Chilwa (2002)	435, 668
	Sri Lanka	Humedal Muthurajauela, provisión de agua a pobladores locales (2003)	39, 191
Este estudio	México, CRM	Escorrentamiento subsuperficial de agua	365 4,333 pesos/ha/año

8.3 Participación y conocimiento del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos

Se presentan los resultados de las encuestas que están relacionados con la participación, el conocimiento y la apropiación del esquema de PSAH por parte de la comunidad Atlitic. Los resultados se presentan en el mismo orden en el que esta diseñada la encuesta.

Parte 1: Identificación/Filtro y capital humano

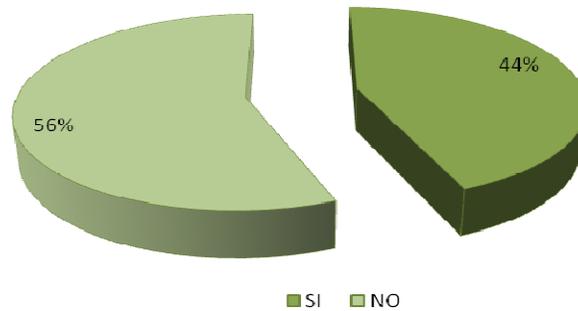


Figura 8. Conocimiento de participación en el PSA

El 56% de los comuneros dice no participar en un esquema de PSAH, en este apartado se preguntó sólo por el nombre del programa y no se dio ninguna descripción del mismo.

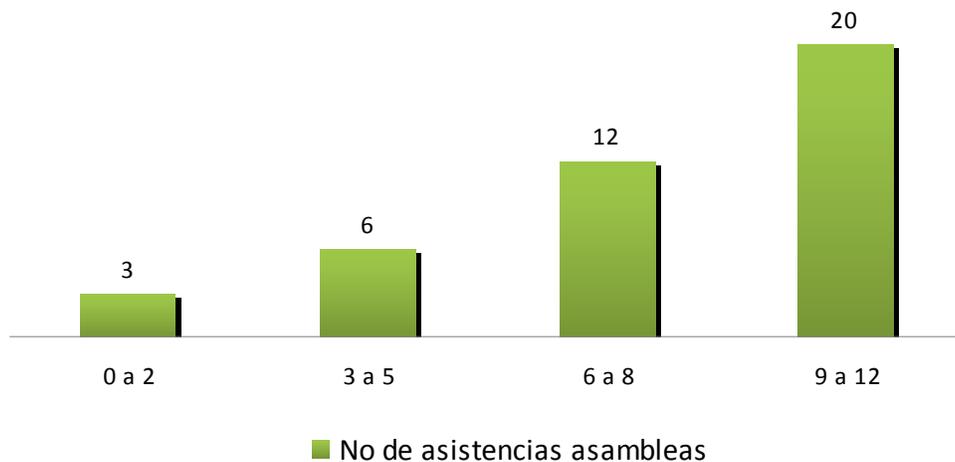


Figura 9. Asistencia a las asambleas generales en un año

La mayor parte de los comuneros entrevistados participan frecuentemente en las asambleas generales, en un año 32 comuneros dijeron participar más de 6 veces y 20 entre 9 y 12 veces que es el máximo posible ya que son de carácter mensual. En su mayoría los comuneros activos asisten de manera regular a todas las asambleas, por lo que constituyen un buen medio de comunicación.

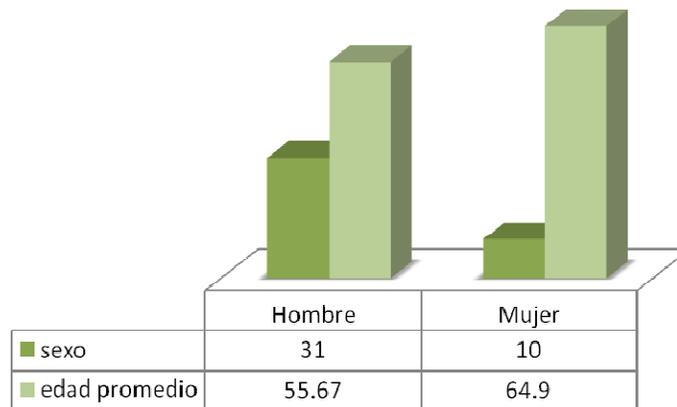


Figura 10. Jefes de hogar y su edad promedio

Más de la mitad de los jefes de hogar son hombres de 56 años, las mujeres que participaron en el estudio eran comuneras por sucesión con una edad promedio de 65 años, por lo que existe un bajo nivel de empoderamiento de las mujeres dentro de la comunidad.

Parte 2: Capital natural

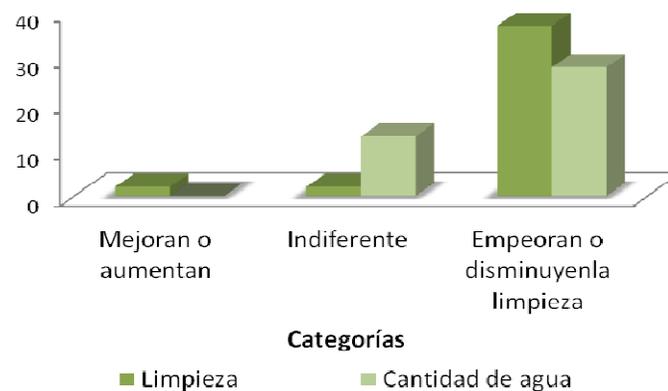


Figura 11. Influencia de las casas y comercios cercanos al río

La mayoría de los comuneros están de acuerdo en que la cercanía de casas y comercios al río provocan que este se encuentre más sucio por las descargas de aguas residuales y basura, así mismo piensan que la cantidad de agua que lleva el río se ve afectada por esta cercanía.

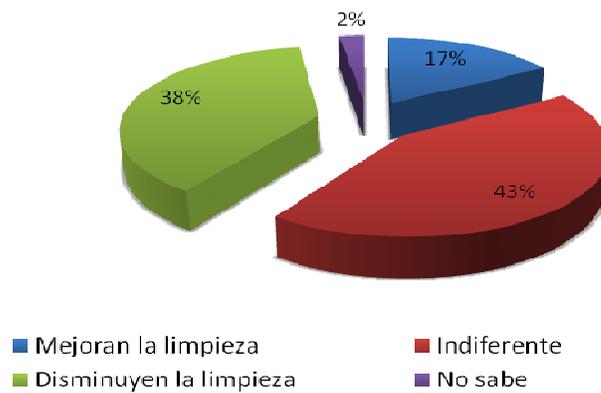


Figura 12. Influencia de los criaderos de truchas en la limpieza del río

El 38% de los comuneros perciben que las truchas disminuyen la calidad del agua del río por sus desechos; sin embargo el 43% piensan que son indiferentes en cuanto a las alteraciones a la calidad del agua. Cabe resaltar que muchos dependen de los criaderos para sus restaurantes y aún así reconocen la contaminación del río por la crianza de estos animales.

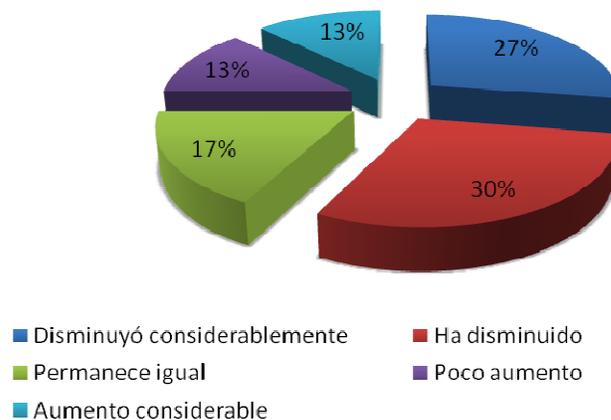


Figura 13. Cantidad bosque en los últimos 7 años

La percepción generalizada (57%) sobre la disminución de la cobertura forestal en los siete años que llevan participando en el esquema de PSAH e incluso que es considerable, apunta a que se tienen problemas con el manejo del bosque y que actividades como la reforestación no están siendo efectivas tomando en cuenta estos resultados. Solo el 26% piensa que la cobertura ha aumentado y el 17% que permanece igual que antes de la implementación del programa.

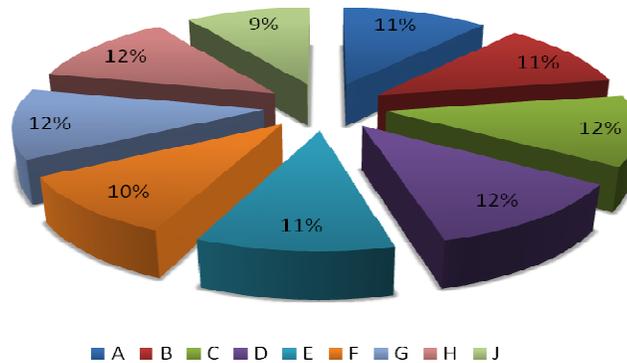


Figura 14. Importancia de la CRM. **A:** cantidad de plantas y animales, **B:** Sitio de recreación y actividades turísticas, **C:** Mantener limpio el aire del D.F., **D:**Mantener limpio el aire de la tierras comunales, **E:** como fuente de agua para las viviendas del D.F., **F:** Como fuente de agua para las viviendas de la delegación M.C., **G:** Como fuente de agua para usos dentro de los bienes comunales, **H:** Porque aquí tengo mis raíces y mi familia siempre ha vivido aquí, **I:** porque mi sustento y el de mi familia provienen de actividades dentro de la cuenca.

En cuanto a la importancia de la cuenca, la mayoría reconocen todos los beneficios que se obtienen no sólo para los habitantes de la cuenca y la delegación Magdalena Contreras sino para todo el D.F. El beneficio menos reconocido fue el de sustento económico proveniente de la cuenca, lo cual es congruente con la característica de área natural protegida y la veda permanente que no les permite extraer ningún recurso.

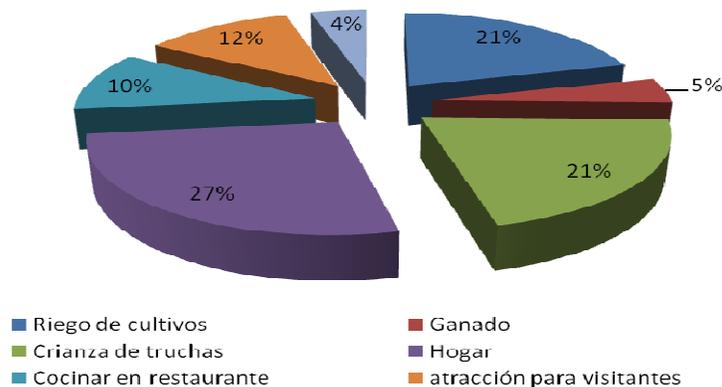


Figura 15. Usos del agua del río

La mayoría de las personas usa el agua del río en sus hogares (27%) que concuerda con la ubicación de sus viviendas dentro de la cuenca y en los restaurantes (21%), esta última actividad obtuvo el mismo número de respuestas que los criaderos de truchas, lo cual resulta congruente pues es en los restaurantes es donde se comercializan las truchas.

Parte 3: Capital social y físico

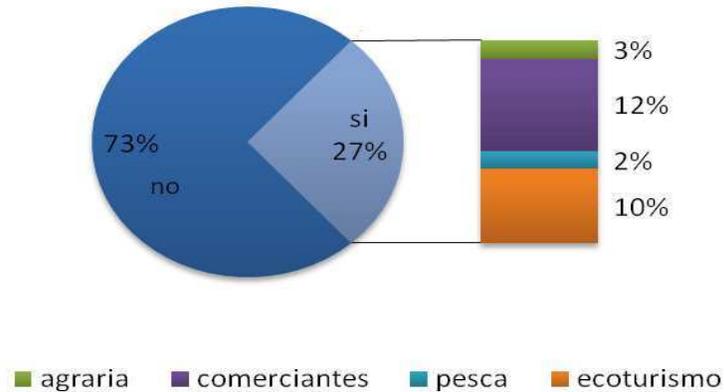


Figura 16. Miembro de algún grupo organizado

El 73% no pertenece a ningún grupo organizado dentro de la comunidad, como las cooperativas. Aquellos que dijeron pertenecer a un grupo o cooperativa, en su mayoría hicieron referencia a la asociación de comerciantes (12%) y al grupo de ecoturismo (10%), ambas son las actividades lucrativas con mayor desarrollo dentro de la zona.

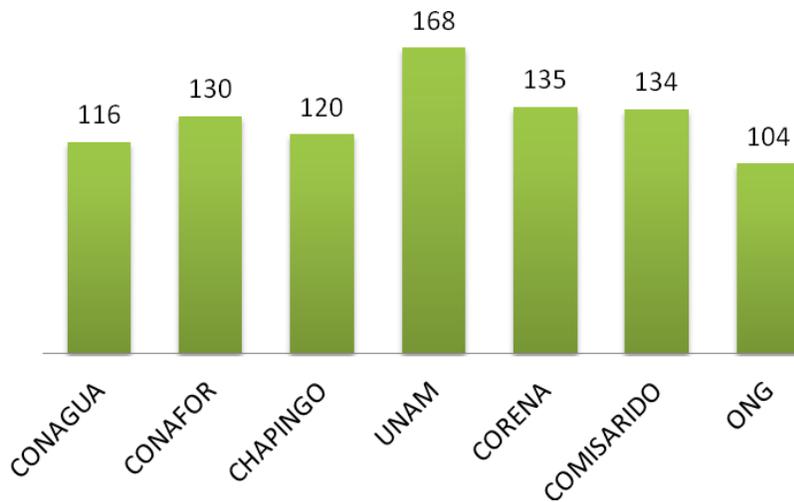


Figura 17. confianza en las instituciones

Puntaje acumulado de confianza en las diferentes instituciones que intervienen con la comunidad, donde la máxima calificación posible por comunero eran 5 puntos. A excepción de la UNAM, las instituciones presentan un puntaje acumulado similar, que representa un bajo nivel de confianza.

Parte 4: Capital financiero/ PSAH

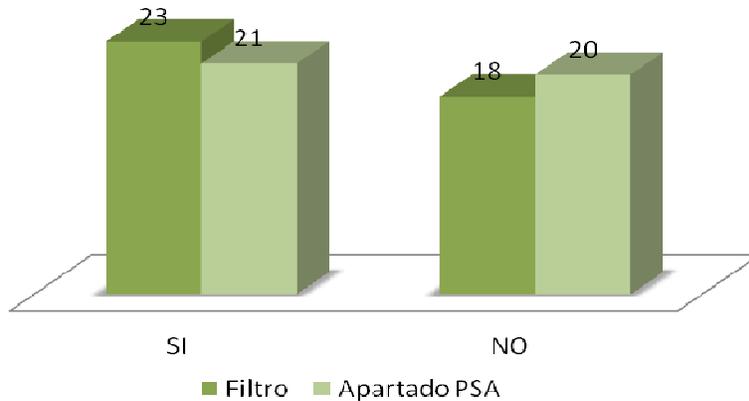


Figura 18. Comparativo de la participación en el PSAH

Número de comuneros que dijo participar en un esquema de PSAH. En el filtro la pregunta se realizó por el nombre del programa y en el apartado por la definición del mismo, en ninguno de los dos casos se tiene clara la participación en el esquema, no se reconoce ni el nombre ni la definición del mismo.

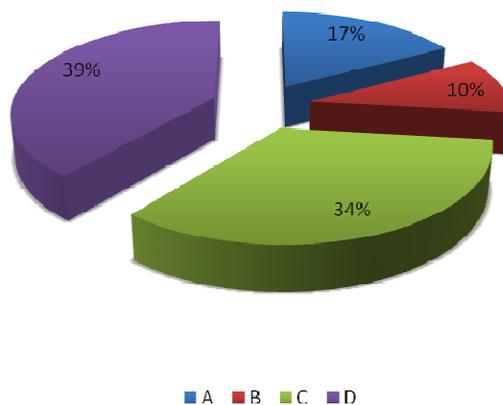


Figura 19. Congruencia en las respuestas. A. Dijo sí tanto en el filtro como en el apartado, B. Dijo no tanto en el filtro como en el apartado, C. Dijo no en el filtro y sí en el apartado.

Porcentaje de personas que respondieron de forma congruente en los dos apartados (A y B) y de las incongruencias (C y D). La mayoría (34%) respondieron incongruentemente, negando su participación cuando se les preguntaba por el nombre del programa y afirmándola cuando se les daba la definición.

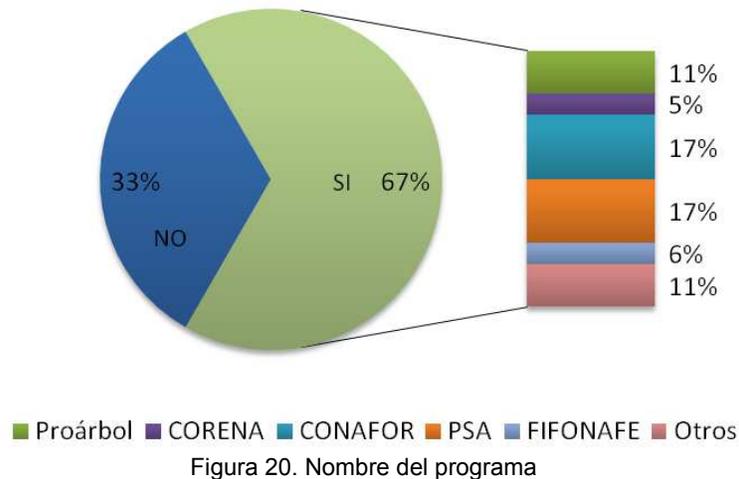


Figura 20. Nombre del programa

Porcentaje de personas que decían conocer el nombre del programa que los apoyaba y como se nombra. El 67% dijo conocerlo aun cuando sólo el 11% menciona el nombre correcto. Existe una gran confusión al tratar de asociar los programas con la institución correspondiente, pues muchas instituciones están interesadas en el área.



Figura 21. Características de la tierra

Porcentaje de personas que conocen (74%) o no (26%) las características de los terrenos para ser elegibles dentro del PSAH. En caso de conocer las características mencionaban cuales eran estas, el 53% piensa que con que este conservado el bosque es suficiente, Lo cual revela que no conocen las reglas de operación del programa.

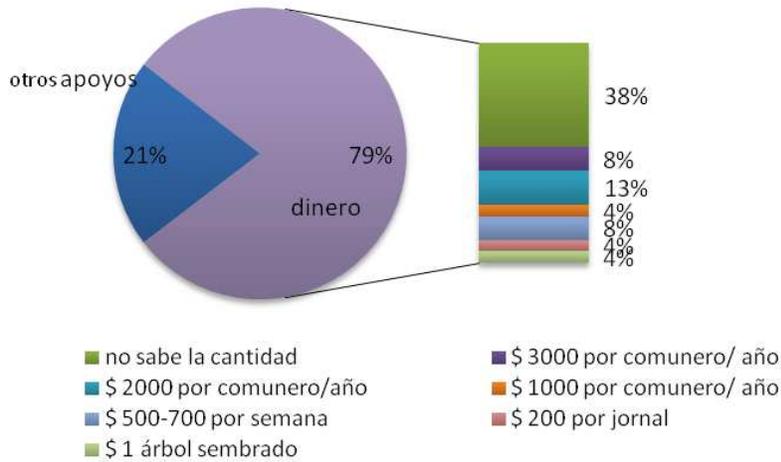


Figura 22. Tipo y cantidad de apoyo

El porcentaje de personas que dijo saber en qué consistía el apoyo del programa, nombro dos modalidades de pago en especie (21%) y dinero (79%). Quienes respondieron que el apoyo era en efectivo, se pregunto por la cantidad que recibían, los montos fueron muy variables y no saben exactamente la cantidad, puesto que confunden el programa con otras actividades de conservación.

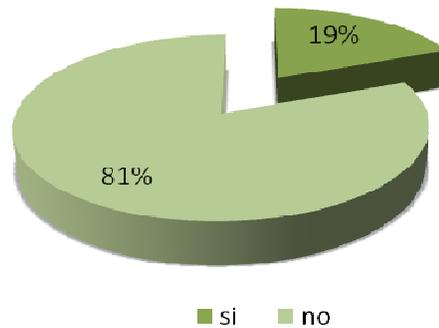


Figura 23. Suficiencia del apoyo

EL 81% de los comuneros piensa que el apoyo recibido por parte del programa es insuficiente, no es percibido como parte importante de los ingresos familiares; sin embargo, es una característica del programa que desearían cambiar aumentando la cantidad del apoyo.

Parte 5: Estrategias

Las siguientes figuras (24, 25, 26, 27 y 28) muestran la percepción de la comunidad en cuanto al potencial de la cuenca como proveedora de diferentes servicios, los productos que actualmente son de autoconsumo y cuales forman parte de las actividades lucrativas. La figura 24 hace referencia a los productos forestales, la 25 a todos los productos forestales no maderables, la 26 a los productos derivados de actividades agrícolas dentro de la cuenca, la 27 a los beneficios derivados de la crianza de animales y la 28 a otros beneficios derivados de la condición de ser propietarios de la cuenca.

Los comuneros en su mayoría reconocen que de la cuenca se podrían obtener muchos beneficios potenciales, la madera fue el más reconocido por todos los entrevistados, seguido de la leña, el agua y los hongos comestibles. En cuanto a las actividades lucrativas el tener un puesto de comida, vender truchas y ser empleado dentro de la cuenca fueron las actividades más reconocidas como parte de un servicio que les brinda la cuenca. Aunque están concientes de muchos de los beneficios de la cuenca, los comuneros tienen claro que no se puede hacer uso de ellos debido a que es área natural protegida y las actividades extractivas están prohibidas.

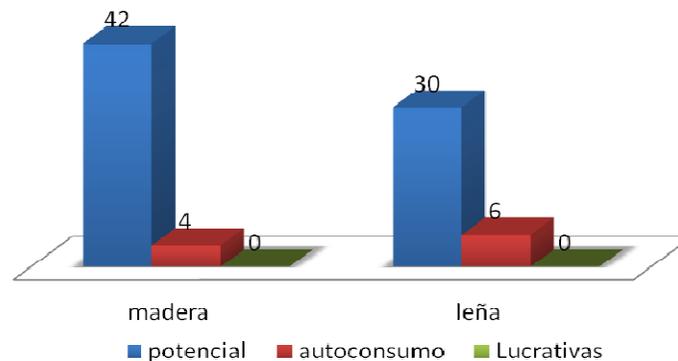


Figura 24 Beneficios de la cuenca: productos forestales

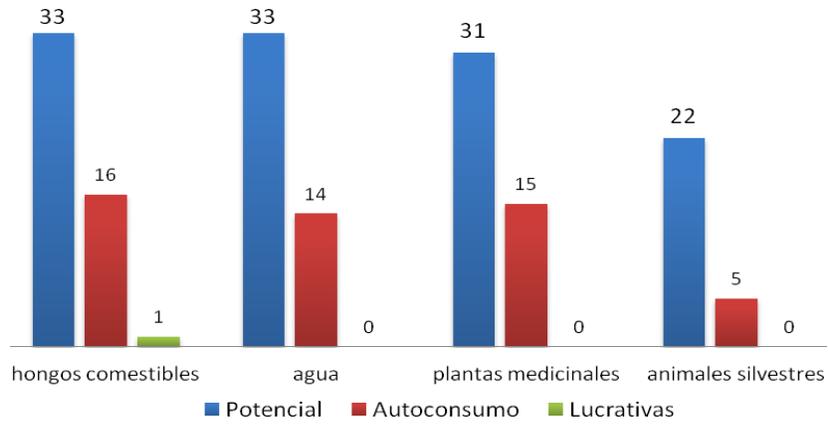


Figura 25. Beneficios de la cuenca: Productos forestales no maderables

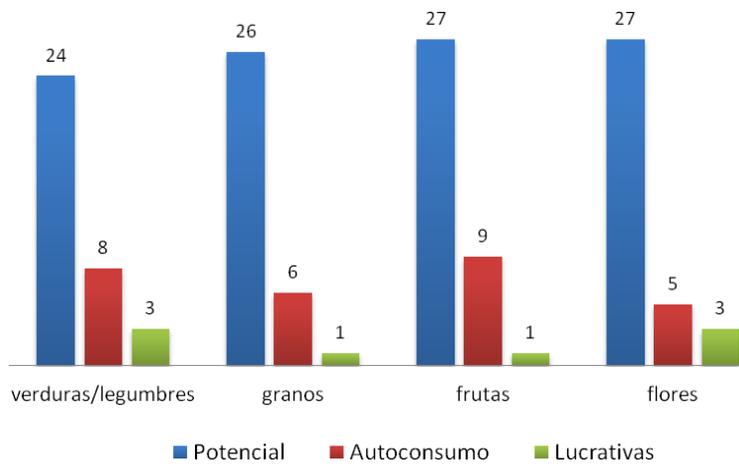


Figura 26. Beneficios de la cuenca: productos Agrícolas

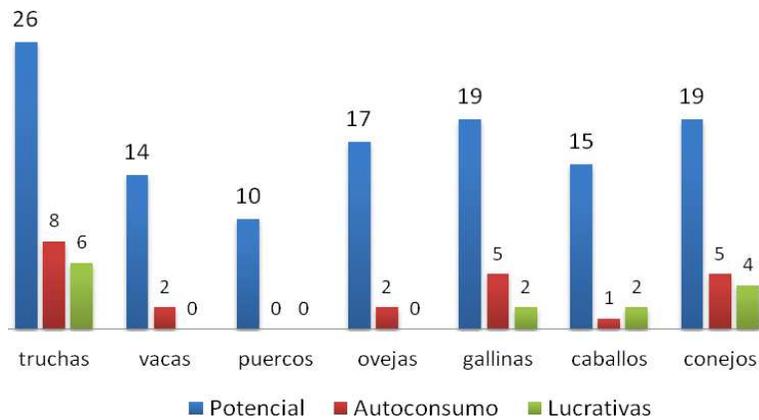


Figura 27. Beneficios de la cuenca: Crianza de animales

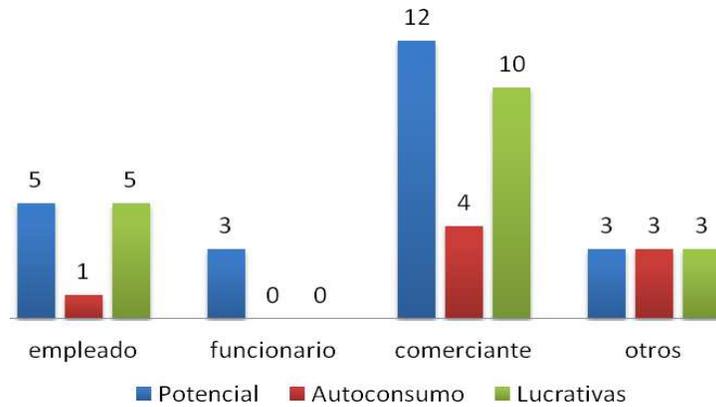


Figura 28. Otros beneficios de la cuenca

Parte 6: Medios de vida

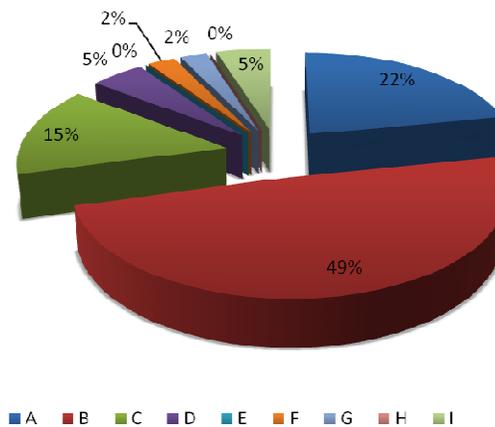


Figura 29. Ingreso mensual .A. Menos de \$1,700, B. \$1,701 - \$3,400, C. \$3,401 - \$5,100, D. \$5,101 - \$6,800, E. \$6,801 - \$8,500, F. \$8,501- \$10,200, G. \$10,201 - \$11,900, H. Más de \$11,901, I. No contestó.

El 49% de los comuneros mensualmente obtiene un ingreso entre Mx\$ 1,701-\$3,400 resultado que es importante para ponderar la contribución del pago al ingreso familiar, aunque la mayoría gana el salario mínimo el PSAH es poco reconocido como componente importante del ingreso.

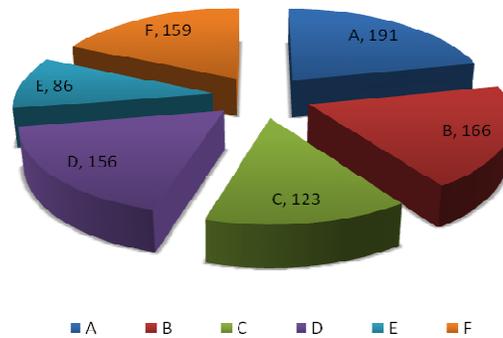


Figura 30. Bienestar. **A:** Orgulloso de ser miembro de la comunidad, **B:** participación activa en la toma de decisiones de la comunidad, **C:** Herencia cultural está siendo respetada y aceptada por la sociedad y el estado, **D:** Vivir en la comunidad es seguro, **E:** Los miembros de mi casa se enferman frecuentemente, **F:** La basura dentro de la cuenca me afecta.

La mayoría están orgullosos de hacer parte de la comunidad, pero sienten que su herencia cultural no esta siendo respetada por la sociedad ni el estado, parte de esta herencia corresponde a sus tradiciones de manejo de la tierra y que ahora se ven perdidas por diferentes instrumentos de política ambiental.

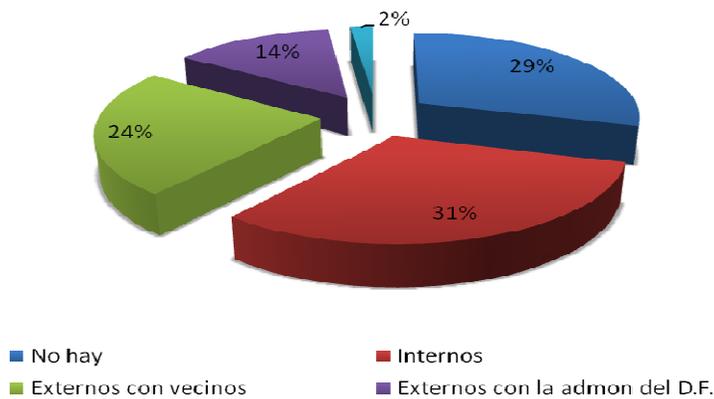


Figura 31. conflictos sobre el terreno

El 70% de los comuneros perciben que hay conflictos sobre la tenencia de la tierra, ya sean al interior de la comunidad, con los núcleos agrarios vecinos o con la administración del D.F., la incertidumbre de la tenencia de la tierra limita aspectos como la incorporación de más hectáreas en el PSAH.

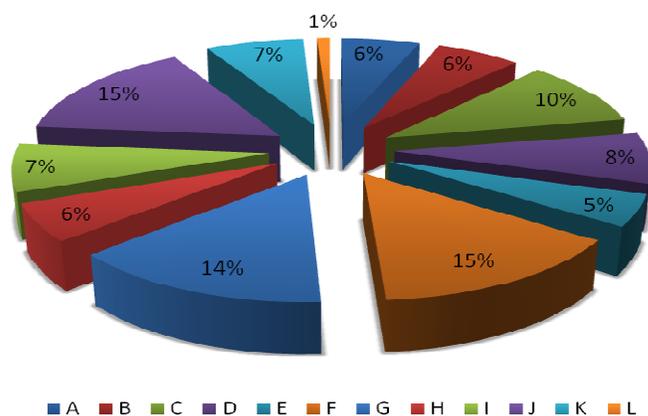


Figura 32. Problemas de la vida cotidiana. A. Catástrofe natural, B. Conflictos de terreno, C. Incertidumbre sobre precios D. Cambios de clima, E. Pestes y plagas, F. Seguridad (delincuencia), G. Oportunidades económicas, H. Discriminación, I. Salud, J. Corrupción, K. Intervención del estado, L. Otros.

La mayor parte de la comunidad percibe que tanto la delincuencia como la falta de oportunidades económicas son sus mayores problemas de la vida diaria, aunado a los cambios climáticos pues estos están relacionados con la afluencia de visitantes y afectan directamente sus actividades económicas.

Modelo econométrico

La estimación del modelo econométrico, determinó las variables que influyen en el conocimiento de la comunidad Magdalena Atlitica en el esquema de PSAH.

Tabla 10. Resultados del modelo econométrico

Variable	Coefficiente	Probabilidad P> z	Intervalo de confianza [95% C.I.]	
Corrupción	-0.287420	0.046	-0.56947	-0.00536
Ingreso	0.380022	0.004	0.12216	0.63788
Asamblea	0.053293	0.108	-0.01169	0.11828
CONAFOR	-0.653098	0.001	-1.02526	-0.28093
Edad	0.017714	0.073	-0.00166	0.03709
Trabaja/Cultiva	-0.367429	0.133	-0.84647	0.11161
Educación	0.240183	0.017	0.04303	0.43733
Río	0.301267	0.298	-0.26659	0.86912
Pestes/plagas	0.392673	0.010	0.09479	0.69055

Número de observaciones: 41. Pseudo R2: 0.4816

Ocho de las nueve variables independientes fueron significativas al 10% (corrupción, ingreso, asamblea, CONAFOR, edad, trabaja/cultiva, educación y pestes/plagas) y de éstas, cinco fueron significativas al 5% (corrupción, ingreso, CONAFOR, educación y pestes/plagas), sólo una variable fue significativa al 30% (Río). Esta última no fue retirada del modelo a pesar de su baja significancia por que el pago se hace justamente por conservar el agua del río y se relaciona directamente con la variable dependiente. Los resultados de los coeficientes de las variables de manera individual se analizan en la discusión.

9. DISCUSIÓN

Se presenta la discusión de los marcos conceptuales de servicios ecosistémicos, la información socio-ambiental sintetizada, base de la valoración económica del servicio ecosistémico de escurrimiento de agua subsuperficial. Posteriormente, se reconoce la percepción social y se presenta un análisis detallado del PSAH a través de la estimación del modelo econométrico

Se manejó el concepto de servicios ecosistémicos desde el punto de vista no mercantilista, lo que permite crear una conciencia de los beneficios de los ecosistemas y la importancia de su conservación; sin dejar de reconocer que se han usado ampliamente para la expansión de mercados y monetarización de los servicios (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). Bajo este marco conceptual se analizó el funcionamiento del pago, desde la importancia de las funciones del ecosistema traducidas en servicios y sus beneficios económicos y sociales que a menudo son consideradas como gratuitos, lo que resulta en la degradación de los ecosistemas (Bastian *et al.*, 2011). Autores como de Groot (2010), sostienen que el enfoque de servicios ecosistémicos permite cambiar la forma de concebir la conservación, la gestión y la adecuada implementación de políticas públicas; ya que está relacionado con la planeación, el manejo y la toma de decisiones en materia ambiental. Mientras, que autores como Wallace (2007) consideran que es necesario replantear el concepto ya que no se relaciona con los valores humanos.

La evaluación del escurrimiento de agua subsuperficial, bajo este enfoque, permitió un análisis interdisciplinario manteniendo la conexión entre los ecosistemas y el bienestar humano. Al ser la cuenca un ecosistema peri-urbano, se reconoce la importancia de generar servicios ecosistémicos locales que contribuyen a la calidad de vida de los ciudadanos. Los ecosistemas y en particular los ríos dentro de las ciudades son indispensables tanto por los servicios como por ser un componente ético y educativo en la sociedad (Bouland, 1999; Gutman, 2007; Niemelä *et al.*, 2010).

9.1 Descripción socio-ambiental

Los esquemas de PSAH deben construirse desde el conocimiento, manejo tradicional de los recursos y la participación de la comunidad con las autoridades gubernamentales. Requieren seguimiento a través del monitoreo para conocer las respuestas del sistema a los programas ambientales. Para el área de estudio se han propuesto monitoreos participativos que han sido aceptados por la comunidad (A. Ramos, com. pers.). Experiencias en otras comunidades mexicanas demuestran su efectividad, desarrollando una mayor conciencia ambiental al interior de las mismas (Manson, 2008). La carencia institucional de personal y recursos por parte de la CONAFOR (Corbera *et al.*, 2009; Muradian *et al.*, 2010), afianza la idea de apoyarse en las comunidades para fortalecer la relación con el bosque y verificar los cumplimientos, los cambios en los usos del suelo y la provisión de servicios (Mayrand y Paquín, 2004; y Wunder, 2008).

La cuenca como parte del suelo de conservación del D.F, no ha controlado los asentamientos irregulares que representan un problema tanto de contaminación de acuíferos como de cambio de uso de suelo (Eguiarte *et al.*, 2000). A pesar de ser una zona con muy bajo riesgo de deforestación, no puede controlar a través del pago, el establecimiento de estos asentamientos que son el verdadero impulsor de cambio. Del 30% al 70% de los pagos en México se dirigen a zonas con estas características (González, 2008), aunque se consideran útiles porque fortalecen el conocimientos de las comunidades y refuerzan las practicas de manejo amigables con el ecosistema (Corbera *et al.*, 2007).

Los datos biofísicos del balance hídrico, permitieron identificar que la mayor parte del escurrimiento de agua subsuperficial forma parte, en algún momento, del escurrimiento superficial, lo cual permite valorar correctamente la cuenca en términos hidrológicos. Por lo que los esquemas de PSAH deben estar basados en evidencia científica que permita tomar en cuenta las características propias de las cuencas y no en supuestos (Mayrand y Paquín, 2004; Muradian *et al.*, 2010).

En México se asume una relación entre la cobertura forestal y la cantidad y calidad del agua, aun cuando sólo está probada para algunos bosque de niebla en zonas tropicales (Kosoy *et al.*, 2007; Farley y Costanza, 2010; Muñoz-Piña *et*

al., 2008) por lo que se desconoce la adicionalidad en la provisión de los servicios (Wunder, 2008; Pattanayak *et al.*, 2010; Pascual *et al.*, 2010). Los datos hidrológicos permiten establecer una línea base para comparar en el tiempo la cantidad, atributo poco considerado por la dificultad de las mediciones en comparación con las de calidad (Kosoy *et al.*, 2007).

9.2 Valoración económica

En torno a los métodos de valoración, existen discusiones que se enfocan en la pertinencia tanto a nivel ecológico, económico y social (de Groot *et al.*, 2010). Las valoraciones económicas son sólo aproximaciones, puesto que los ecosistemas son complejos, están altamente interconectados y tienen interacciones no lineales entre las variables a diferentes escalas de tiempo y espacio, que no son posibles de incluir (Cheen, 2004). Son herramientas importantes para evitar la sobreexplotación, promover el desarrollo sustentable, (Xue and Tisdell, 2001) y para determinar los impactos, que pequeños cambios en los ecosistemas ocasionan en el bienestar humano (Constanza *et al.*, 1997).

El agua como servicio ecosistémico es un bien económico con disponibilidad limitada e irregular, lo cual fundamenta su carácter de bien escaso, por lo que debe estar sujeta a regulaciones que garanticen su suministro e impidan su desperdicio (Montecillo y Puchet, 2000). En este sentido, la cuenca como unidad integral provee muchos más servicios hidrológicos que deben valorarse, con el fin de mantener la protección bajo el esquema de suelo de conservación y área protectora forestal.

El método de costo de reemplazo, permitió basar la valoración en datos físicos de la provisión y no en las preferencias sociales, aunque el total cumplimiento de los supuestos no es posible debido: 1. La condición de un sustituto perfecto no se cumple totalmente, puesto que no existe una tecnología que reemplace la complejidad del sistema (Sundberg, 2004); aunque la información del balance hídrico permitió que esta elección fuera más cercana a la realidad. 2. La condición de costo-efectividad se cumplió comparando las tecnologías propuestas, por lo que se escogieron los pozos de inyección, a pesar de que funcionarían con dificultades por las características geológicas de la cuenca (IMTA, 2010). 3. La condición de la disponibilidad a pagar por el agua, no fue

medida en este estudio y se asume que en caso de que faltará la sociedad estaría dispuesta a incurrir en costos para seguir contando con el servicio. Las implicaciones sociales de perder el río junto con la cultura y el patrimonio que para la comunidad representa, deberían contemplarse en este método.

Esta valoración cumplió con el objetivo de proponer un método alternativo al usado por la CONAFOR, que basa sus pagos en el costo de oportunidad por cultivos de maíz (Muñoz-Piña *et al.*, 2008; Alix-García *et al.*, 2010), situación que Kosoy *et al.* (2007) ha criticado, ya que, como en el caso de la cuenca esta actividad no es factible y la ganancia económica para los beneficiarios es limitada y poco congruente con su verdadero costo de oportunidad, como ocurre en otras comunidades (Corbera *et al.*, 2007). El valor económico para el servicio de escurrimiento de agua subsuperficial (Mx\$4,333 ha/año), toma solamente el valor de uso activo rebasando el pago actual aproximadamente 10 veces, por lo que la decisión de conservar el bosque o cambiar el uso del suelo, no es un proceso lineal, unidimensional, que se pueda definir exclusivamente por el peso específico de un incentivo monetario; aún así el pago influirá en alguna medida en la decisión de los propietarios y ayudará a contrarrestar las presiones que la ciudad y el mercado ejercen en favor de la conversión del uso del suelo (Murillo-Hernández, 2008 y Barrantes-Moreno, 2006).

Para representar el *tradeoff* asimétrico de las elecciones inter-temporales, se utilizó la tasa de descuento más baja porque permite valorar el servicio diez veces más que con la tasa más alta, permitiendo una equidad inter-generacional (Carpenter *et al.*, 2009). De lo contrario las personas preferirían agotar rápidamente el recurso sin importar el futuro, condicionando los principios del desarrollo sustentable (Lyon, 1996).

9.3 Participación y conocimiento del esquema de PSAH

Los programas de pagos por servicios ambientales no son la panacea para resolver la escasez de agua y la deforestación; sin embargo, son una herramienta novedosa que se puede adicionar a otras políticas ambientales. Permiten definir los derechos de propiedad de los servicios ecosistémicos a favor de los dueños de las tierras, e inducen la internalización de las externalidades positivas (Muñoz-Piña *et al.*, 2005).

La encuesta reveló que la comunidad está liderada por hombres y las mujeres tienen un bajo nivel de participación, derivado de su organización social como ocurre en otras comunidades del país (Alix-García *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2011). La permeabilidad del pago al interior de la familia, se logra por la edad avanzada de muchos comuneros que delegan funciones a sus hijos y esposas y/o por la sucesión de derechos. Este relevo genera un cambio de pensamiento de lo rural a lo urbano, poniendo en riesgo la continuidad de las prácticas tradicionales y la herencia cultural de la comunidad, que son factores importantes para la conservación (Zbinden, 2005; Kosoy *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2011).

Aún cuando la comunidad participa desde el año 2003 en el pago, existe un desconocimiento, lo que se explica por: la falta de asistencia a las asambleas, medio de comunicación entre las instituciones y la comunidad; la falta de comunicación directa entre la CONAFOR y la comunidad en general, lo que se ha reportado en otras comunidades, reflejando dificultades para explicar a los potenciales beneficiarios de los pagos los principios del PSA (Kosoy *et al.*, 2008; Corbera *et al.*, 2009); el bajo interés en participar y a que no existen suficientes talleres para explicar los objetivos del programa. Esta situación es atribuible a sus capacidades financieras, pues sólo usan el 4% de sus fondos para administrar, evaluar y supervisar los programas (Kosoy *et al.*, 2008).

Conservar las tradiciones de manejo ancestral, como cultivar y mantener el patrimonio son incentivos mayores que los económicos en los núcleos agrarios mexicanos (Kosoy *et al.*, 2008; Rico *et al.*, 2011), por lo que se debe tomar en cuenta el contexto histórico-cultural, ya que muchas intervenciones se contraponen con sus usos y costumbres. Los pagos deben realizarse como un estímulo a mantener las prácticas de manejo ancestrales que permiten la

provisión de servicios ecosistémicos y que los esquemas de PSA funcionen como una transferencia de recursos más que como un mercado (Muradian *et al.*, 2010).

Los comuneros reconocen que los factores que desencadenan un cambio negativo en la calidad y cantidad del agua del río son: la presencia de casas y comercios (incluso por los mismos dueños), mientras que no se reconoce daños como la compactación del suelo o contaminación del agua por heces fecales (Bojorge-García, 2006 y Morales-Luque, 2010) derivada de la crianza de ganado.

A pesar de que la cuenca es parte del suelo de conservación y participan no solo en el PSAH, sino también en programas de reforestación de la CORENA, la percepción generalizada es que el bosque disminuye por la tala clandestina de núcleos agrarios vecinos. Lo que se explica debido a que estos programas no son monitoreados, y la reforestación según reporta la comunidad se realiza con especies exóticas. Este es un indicador de riesgo de deforestación que debe ser considerado para maximizar la adicionalidad de los servicios hídricos y aumentar la condicionalidad de los pagos (Wunder, 2008; Corbera *et al.*, 2009). El incumplimiento de las reglas del programa se deriva de esta confusión.

La comunidad no está organizada y carece de lazos de confianza con las instituciones involucradas, según Ostrom *et al.* (2001), es deseable la acción colectiva que les permita alcanzar objetivos. Los esquemas de PSA dependen de las habilidades de los promotores e intermediarios para establecer estructuras de gobernanza y lazos de confianza (Kosoy *et al.*, 2008). Estas dos características determinan en gran medida el éxito del programa (Muradian *et al.*, 2010). En este sentido, el mayor reto del manejo de los recursos comunes es la gran inversión que los miembros de la comunidad deben hacer en términos de tiempo, organización y capacidades para la construcción de instituciones (reglas del juego) consensuadas, creíbles, eficaces y con la suficiente legitimidad y fuerza para cumplirse (Murillo-Hernández, 2008). Las actividades exigidas dentro de las reglas de operación como el patrullaje y la reforestación, se pagan con parte de los ingresos obtenidos por el pago, lo que genera desconfianza hacia las autoridades comunales, por la forma en cómo se eligen las personas

que las llevarán a cabo, esta situación es reportada en otros núcleos agrarios (Corbera *et al.*, 2009).

La mayor parte de los ingresos adicionales de la comunidad son subsidios del gobierno y en conjunto son un componente importante del ingreso familiar, constituyen una alternativa de sustento debido a la pérdida de usos tradicionales, lo que es un fuerte incentivo de participación (Kosoy *et al.*, 2008; Pattanayak *et al.*, 2010). Muchas comunidades en el país tienen la misma situación y por ello la participación en el PSA es deseable (Rico *et al.*, 2011). Existe una confusión y conflicto respecto al monto y la distribución del apoyo ya que se realiza entre los participantes a la asamblea general y no entre toda la comunidad, sin especificar de qué programa provienen. Este apoyo se percibe como insuficiente y es menor al costo de oportunidad, pero aunque estén inconformes con el programa, no lo conozcan y no sepan que actividades se deben llevar a cabo renovarían su participación. Por lo que este caso es también un ejemplo de que usar sólo el dinero como incentivo de conservación puede traer problemas futuros en lugares donde el costo de oportunidad no se midió de manera adecuada (Kosoy y Corbera, 2010).

La categoría de suelo de conservación es un instrumento de comando y control que todos reconocen y saben que los usos alternativos están muy limitados. Esta característica ha generado debates académicos que por un lado consideran que el esquema falla al asignar recursos a zonas ya protegidas (Engel *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2009; Pattanayak *et al.*, 2010) o como es el caso de la zona de estudio se piensa que el esquema refuerza la conservación cuando existen presiones tan fuertes como la inmobiliaria (Corbera *et al.*, 2007; Muñoz- Piña *et al.*, 2008).

La participación en el pago está limitada por la incertidumbre sobre la tenencia de la tierra (Pagiola *et al.*, 2005; Muradian *et al.*, 2010), en la comunidad está relacionado principalmente con los comuneros intestados (Jujnovsky, 2006 y Ramos, 2008). De resolverse estos litigios la comunidad podría incorporar más hectáreas al programa para la conservación y aumentarían sus recursos económicos.

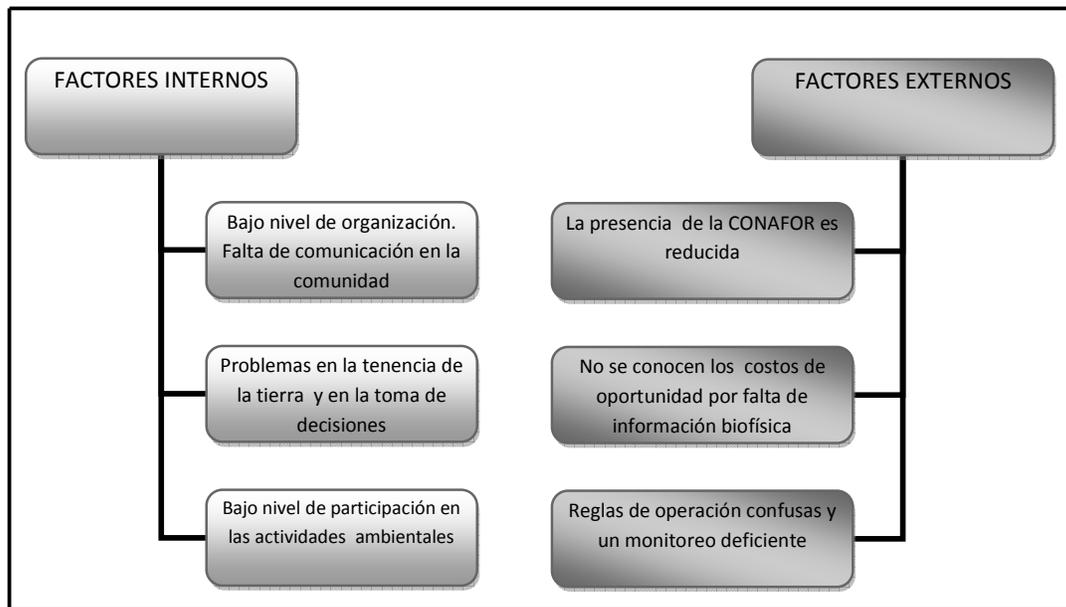


Figura 33. Factores que influyen el funcionamiento del PSAH dentro de la cuenca del río Magdalena, D.F.

Modelo econométrico: participación PSAH

CORRUPCIÓN (-0.2874)

El nivel de participación está determinado por el nivel de confianza de la comunidad hacia las instituciones. Un aumento del 100% en la percepción de que la corrupción afecta sus actividades diarias, reducirá en un 28% la probabilidad de que participen en el programa. Esto corrobora lo encontrado por Ramos (2008), que menciona que la comunidad desconfía de las autoridades y está mal organizada. Un factor en contra de la participación es que la comunidad percibe que el agua de la cuenca es llevada a colonias de niveles socio-económicos más altos (A. Juárez com. pers.). El pago no sólo debe basarse en una transacción monetaria sino en la construcción de lazos de confianza entre los beneficiarios, los usuarios y los intermediarios (Cobera *et al.*, 2007).

INGRESO (+0.3800)

El ingreso promedio es de Mx\$3,500 mensuales, un aumento en un 100% incrementaría en un 38% la probabilidad de que conozcan el programa. Los

ingresos por su participación en el PSAH, son un subsidio que complementa el gasto familiar, este factor es determinante para los comuneros, ya que diversifican sus actividades productivas sin cambiar la estructura productiva del hogar (Corbera *et al.*, 2007; Kosoy *et al.*, 2008). Aunque no siempre se traduce en una mejora de bienestar (Pascual *et al.*, 2010).

Mientras que las personas que perciben menos recursos no les interesa participar, lo que se contrapone con uno de los objetivos secundarios del programa, reducir la pobreza (del 72 al 92% del pago se destina a zonas con altos o muy altos niveles de marginalización (González, 2008). En este sentido, una menor importancia a los incentivos económicos refleja un mayor peso en las motivaciones intrínsecas para conservar (Muradian *et al.*, 2010) como podría ser el caso de la comunidad.

ASAMBLEA (+0.0533)

Un aumento del 100% en la participación en las asambleas incrementa en un 5% la posibilidad de que conozcan el programa. Tendencia esperada, ya que en las asambleas se tratan los temas relevantes como asuntos económicos, sociales y culturales, aunque la mayor asistencia se registra en las asambleas donde se reparten los recursos (A. Juárez com. pers.).

Aun cuando la relación es positiva, el incremento del conocimiento es bajo (5%) porque la CONAFOR trasmite los principios del programa únicamente a la comisaria y no a la comunidad, lo que dificulta que se genere un vínculo entre las instituciones, los objetivos, metas y alcances de los programas. Esta falta de comunicación contribuye a que el programa no se desarrolle en los términos en los que fue concebido (Corbera *et al.*, 2009).

CONAFOR (-0,6531)

La variable confianza en la CONAFOR tiene el mayor peso y se relaciona negativamente con la variable dependiente. Un aumento del 100% en la confianza conlleva a una disminución del 65% en la probabilidad de que lo conozcan. Para la comunidad no es claro el nombre de la institución y lo relacionan con la reforestación de la CORENA.

La presencia de CONAFOR como entidad, que representa, ejecuta y monitorea dicho programa es escasa, como ocurre en otros puntos del país (Corbera *et al.*, 2009). Una mayor presencia de la institución, podría contribuir a aumentar el nivel de confianza y el conocimiento de las reglas de operación, generando los resultados esperados en materia ambiental y social. En esquemas que requieren prácticas colectivas, la confianza es un factor que contribuye a su éxito (Muradian *et al.*, 2010).

EDAD (+0.0177)

A mayor edad de los comuneros la probabilidad de conocer el PSAH aumenta en 1.7%. Esto se explica porque su capacidad de trabajar la tierra está limitada, por lo que el interés en estos programas que funcionan como subsidio aumenta. Rico *et al.* (2011) muestran que las personas de más edad son las más informadas, tienen una mayor apreciación de los servicios ecosistémicos y consideran que el bosque se puede mantener aún en ausencia del pago. Por otro lado Zbinden (2005) muestra en Costa Rica que a mayor edad hay cierta resistencia a probar métodos nuevos de conservación. En el caso de la cuenca los comuneros mayores cuentan y muestran mayor conocimiento y disposición a conservar su patrimonio natural y cultural.

TRABAJA/CULTIVA (-0.3674)

Un aumento del 100% en la realización de actividades agrícolas, reduce en un 36% el conocimiento del programa. Lo cual se explica, porque el programa limita la capacidad de producir por lo que su deseo de participar se ve disminuido (Pagiola *et al.*, 2005). La participación en estos casos puede ser forzada, ya que las decisiones no son individuales (Muradian *et al.*, 2010). Por lo que muy probablemente cuando finalice el programa estas personas expandan sus cultivos agrícolas, como se a documentado en otros casos (Chen *et al.*, 2009).

EDUCACIÓN (+0.2402)

Un aumento del 100% n en el nivel de educación incrementa en un 24% la probabilidad de conocer el programa. Para lograr un mayor compromiso, CONAFOR debe ser capaz de capacitar y formar a la comunidad en los

conceptos básicos del programa y su monitoreo, que permitan mejores prácticas de manejo de los recursos (Corbera *et al.*, 2007; Corbera *et al.*, 2009).

RÍO (+0.3013)

Un incremento en el 100% de la consciencia sobre el agua del río incrementa en un 30% la probabilidad de que conozcan el programa. La relación entre el bosque y el agua es muy clara y se reconocen los beneficios directos de mantener limpio el río, que funciona como insumo para sus actividades lucrativas en los puestos de comida, crianza de animales y/o cultivos agrícolas y es la fuente de agua en los hogares de aquellos que viven dentro de la cuenca. Los factores que afectan el bienestar de salud y económico son importantes para decidir participar en programas de conservación.

PESTES/PLAGAS (+0.3927)

Un incremento del 100% en la percepción de que las pestes y las plagas afectan el bosque, hace que la probabilidad de conocimiento aumente en un 39%. El programa representa una fuente de financiamiento y un seguro ante cambios que no pueden controlar. Aunque, se confunden las actividades de saneamiento del bosque realizadas por CORENA, fundamentales para el mantenimiento del bosque con las del pago de CONAFOR, que son esquemas de incentivos directos que pueden funcionar financiar prácticas sustentables (Zeller *et al.*, 2001 y Henry *et al.*, 2003).

10. CONCLUSIONES

Descripción socio-ambiental

La concepción del agua como un servicio ecosistémico en la cuenca del río Magdalena, ha permitido la implementación de programas como el PSAH, aunque este no garantiza la coordinación institucional a diferentes escalas para asegurar su conservación.

La comunidad Atlitic posee un capital natural, que requiere que su organización vaya más allá de la asamblea y la comisaría de bienes comunales para su manejo y conservación.

La generación de una línea base y el desarrollo de indicadores para monitorear este servicio debe ser un requisito para continuar y mejorar la implementación del PSAH.

Valoración económica

La valoración económica bajo el marco conceptual de los servicios ecosistémicos debe ser una referencia para su conservación y no un intento de monetarización, el río Magdalena debe mantenerse por lo menos en su estado actual sin intentar reemplazar sus funciones con bienes manufacturados.

El PASH para el servicio de flujos de agua subsuperficial, bajo la metodología de costo de reemplazo debería de ser de \$4, 333 pesos /ha/año.

Para garantizar el mantenimiento de la provisión del servicio, se debe producir un impacto real al crear las estructuras y la coordinación de actores adecuadas que no estén basadas exclusivamente en el PSAH.

El PSAH debe funcionar como una política de recompensas por prácticas ancestrales que favorezcan la provisión de servicios hídricos y no tratar de convertirse en un mercado.

Participación y conocimiento del PSAH

El PSAH funciona conjuntamente con la regulación del suelo de conservación y zona protectora forestal; sin embargo, ninguno de estos instrumentos ha detenido la degradación ambiental por la presencia de asentamientos irregulares.

Las variables que determinan el nivel de conocimiento en el PSAH son: confianza en la institución, presencia de corrupción en sus actividades diarias, nivel de educación, edad, actitud hacia la conservación y nivel de ingreso.

11. LITERATURA CITADA

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra., G. Danemann., V. Valdez., J. Murray., y E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. PNAS. Vol. 105. No 30. Pp. 10456-10459.

Alix-Garcia, J.M., E.N. Shapiro., K.R.E. Sims. 2010. The environmental effectiveness of payments for ecosystem services in Mexico: Preliminary lessons for REDD. Draft Paper. Department of Agriculture and Applied Economic, University of Wisconsin, Madison.

Almeida-Leñero, L., M. Nava., A. Ramos., M. Espinosa., M. J. Ordóñez., y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Gaceta ecológica. Número especial 84-85. Pp. 53-64.

Álvarez-Sánchez, J. 2005-2007. Cuenca del río Magdalena (Distrito Federal). En: MEDH (Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano). UNAM. México. En: http://www.iztacala.unam.mx/mmrq/mega/info/info_MEDH.pdf.

Asquith, N., y S. Wunder (Eds.). 2009. Pagos por servicios hídricos. Las conversaciones de Bellagio. Fundación Natura. La paz, Bolivia.

Barrantes-Moreno, G. 2006. Economic Valuation of Water Supply as a Key Environmental Service Provided by Montane Oak Forest Watershed Areas in Costa Rica. Pp. 437-446. In: M. Kappelle (Eds.). Economic Valuation of Water Supply as a Key Environmental Service Provided by Montane Oak Forest Watershed Areas in Costa Rica. Ecology and conservation of Neotropical Montane Oak Forest. Ecological Studies. Vol. 185.

Barzev, R. (Ed.). 2002. Guía metodológica de valoración económica de bienes, servicios e impactos ambientales. Un aporte para la gestión de ecosistemas y recursos naturales en el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM). Serie técnica 04. Mangua, Nicaragua.

Bastian, O., D. Hase., y K. Grunewald. 2011. Ecosystem properties, potentials and services - The EPPS conceptual framework and an urban application example. Ecol. Indicat. doi:10.1016/j.ecolind.2011.03.014.

Bojorge-García, M. 2006. Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F. Tesis de Maestría en Biología Ambiental. Facultad de Ciencias. UNAM. México. Pp. 62.

Bouland, P., y S. Hunhammar. 2009. Ecosystem services in urban areas. Ecological economics 29, 293-301. Daily, G.C. (Ed.), 1997. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington DC. Pp. 392.

Brauman, K.A., G.C. Daily., T.K. Duarte, y H.A. Mooney, 2007. The nature and value of ecosystem services highlighting hydrologic services. *Annual Environmental Resources*. Vol. 32. Pp. 67-98.

Brent, J.R. 1996. Applied cost-benefit analysis. Edward Elgar. Pp. 400.

Byström, O. 2000. The replacement value of wetlands in Sweden. *Environmental and Resource Economics*. Vol. 16. Pp. 347-362.

Carpenter, S.R., H.A. Mooney., J. Agard., D. Capistrano., R.S. Defnes., S. Díaz., T. Dietz., A.K. Duraiappah., A. Oteny-Yeboah., H.M. Pereira., C. Perrings., W.V. Ried., J. Sarukhan., R.J. Scholes., y A. Whyte. 2009. Science for managing ecosystem srvides: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS*. Vol. 106. No. 5. Pp. 1305-1312.

Central Ground Water Board Ministry of Water Resoruces (CGWBMWR). 2000. Guide on artificial recharge to ground water. New Delhi.

Cheen, Y.E. 2004. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation*. No 120. Pp. 549-565.

Chen, X., Lupi, F., He, G., Ouyang, Z., Liu, J., 2009. Factors affecting land reconversion plans following a payment for ecosystem service program. *Biological Conservation* 142, 1740-1747.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. Reglas de operación ProÁrbol 2010. Gobierno Federal, SEMARNAT y CONAFOR.

Corbera, E., N. Kosoy., M. Martinez-Tuna. 2007. Equity implications of marketing ecosystem services in protect areas and rural communities: Case studies from Meso-America. *Global Environmental Change*. Vol. 17. Pp. 365-380

Corbera, S., C. González-Soberanis., y K. Brown. 2009. Institutional dimensions of payments for ecosystem services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. *Ecological Economics*. Vol. 68. Pp. 743-761.

Costanza, R., R. D'Arge., R.S. de Groot., S. Farber., M. Grasso., B. Hannon., K. Limburg., S. Naeem., R.V. O'Nelly., J. Paruelo., R.G. Raskin., P. Sutton., and M. Van den Belt. 1997. The value of the World's ecosystem services and natural capital. *Nature*. Vol. 387. Pp 253-260.

Daily, G. C. (Ed.). 1997. *Nature's services*. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press. EUA. Pp. 392.

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

De Groot, R., R. Akemede., L. Braat., L. Hein., y L. Willemen. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*. No 7. Pp. 260-272.

De la lanza Espino, G. 1999. *Diccionario de hidrología y ciencias afines*. Plaza y Valdez. Pp. 286. México.

Delegación Magdalena Contreras, D.F. 2010 En: <http://www.mcontreras.df.gob.mx/geografia/geomorfo.html>.

Dobler-Morales, C.E. 2010. Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F., México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. UNAM, México. Pp. 50.

DOF. Acuerdo que establece las Reglas de Operación para el otorgamiento de pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos. 3 de octubre de 2003. *Diario Oficial de la Federación*, 2003. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=688512&fecha=03/10/2003.

Echeverría, J. 2010. Guía práctica para el establecimiento de esquemas de pagos por servicios ambientales y otros instrumentos económicos para la gestión del riesgo en las cuencas hidrográficas, PREVDA. EPYPSA.

Eguiarte, F.A., C.F. Uribe., R.I. Ramírez., B. Apolinar., y M.A. Vázquez. 2000. Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos. INE (Instituto Nacional de Ecología). www.ine.gob.mx.

Ehrlich, P.R., and H.A. Mooney. 1983. Extinction, substitution, and ecosystem services. *American Institute of Biological Sciences. Bioscience*. Stanford University, Stanford. Vol. 33. No 4. Pp. 248-254.

Engel, S., S. Pagiola., S. Wunder. 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*. Vol. 65.Pp. 663-674.

Farley, J., R. Costanza. 2010. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics*. Vol. 69. Pp. 1060-2068.

Fox. P. 1999. Augmentation of Groundwater Resources through Aquifer. On line: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/ReportSeries/IETCRep9/4.paper-D/4-D-fox1.asp>.

Francke, S. 1997. *Economía ambiental y su aplicación a la gestión de cuencas hidrográficas*. Gobierno de Chile, Environmental Resources Management and Department for International Development. Santiago de Chile, Chile.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad autónoma de México, México. Pp. 217.

Gómez-Baggethun, E., R. de Groot., P.L. Lomas., C. Montes. 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payments schemes. *Ecological Economics* 69, 1209-1218.

González, M.J. (Coord.), 2008. Evaluación externa de los apoyos de los servicios ambientales. Ejercicio fiscal 2007. COLPOS-CONAFOR. http://148.223.105.1882222/gif/snif_portal/administrator/sistemas/evaluaciones/12232641675_PSA_2007.pdf.

González-Martínez, T. 2008. Modelación hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en la microcuenca del río Magdalena, Distrito Federal. Tesis de Maestría en gestión integrada de cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro. México, Querétaro.

Guo, G., X. Xiao., Y. Gan., y Y. Zheng. 2001. Ecosystem functions, services and their values- a case study in Xingshan Country of China. *Ecological Economics*. Vol 38. Pp. 141-154.

Gutman, P., 2007. Ecosystem services: Foundations for a new rural-urban compact. *Ecological Economics* 62, 383-387.

Henry, C., M. Sharma., C. Lapenu., and M. Zeller. 2003. Microfinance Poverty Assessment Tool. Technical Tools Series 5, The World Bank (WB), Consultative Group to Assist the Poor (CGAP) and International Food Policy Research Institute (IFPRI).

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2010. Proyecto piloto de recarga controlada al acuífero zona metropolitana de la Ciudad de México. Disponible en: http://imtanet.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=513%3ARecarga-controlada-al-acuifero-zona-metropolitana-del-df&catid=53%3Amar-nostrum&Itemid=1.

INE (Instituto Nacional de Ecología).2006a. Economía y política ambiental. Pp. 195-225. En: *La investigación ambiental para la toma de decisiones*. INE. 2001-2006. México, DF. Pp. 319.

INE (Instituto Nacional de Ecología).2006b. Planeación territorial. Pp. 11-49. En: *La investigación ambiental para la toma de decisiones*. INE. 2001-2006. México, DF. Pp. 319.

INEGI (Instituto nacional de Estadística y Geografía). 2011. Resultados preliminares del censo de población y vivienda 2010. www.censo2010.org.mx.

Jujnovsky, J. 2006. Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría en Biología Ambiental. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Jujnovsky, J., A. Ramos., M.J. Ordóñez., y L. Almeida-Leñero. 2007. La Cuenca del río Magdalena. *Ciencia y Desarrollo*. Vol. 33 No 208. Pp. 24-29.

Jujnovsky, J., L. Almeida-Leñero., M. Bojorge-García., Y.L. Monges., E. Cantoral-Uriza., y M. Mazari-Hiriart. 2010. Hidrologic ecosystem services: water quality and quantity in the Magdalena river, México city. *Hidrobiológica*. Vol. 20 No 2. Pp. 117-13.

Jujnovsky, J., T. González-Martínez., E. Cantoral-Uriza., y L. Almeida-Leñero. (Accepted). Assessment of water supply as ecosystem service in a rural-urban watershed in southwest Mexico City. *Environmental Management*.

Kosoy, N., M. Martínez-Tuna., R. Muradian., J. Martínez-Alier. 2007. Payments for environmental services in watersheds: insights from a comparative study of three cases in Central America. *Ecological Economics*. Vol. 61. Pp. 446-455.

Kosoy, N., E. Corbera., y K. Brown. 2008. Participation in payments for ecosystem services: case studies from the Lacandon rainforest, Mexico. *Geoforum*. No 39. Pp. 2073-2083.

Kosoy, N., E. Corbera. 2010. Payments for ecosystem services as commodity fetishism. *Ecological Economics*. Vol. 69. Pp. 1228-1236.

Lyon, K.S. 1996. Why economists discount future benefits. *Ecological Modelling*. Vol. 92. Pp. 253-262.

Maderey-Rascon, L.E. 2005. Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie de textos universitarios, Número 1. México. Pp. 105.

Manson, R. 2008. Efectos del uso de suelos sobre la provisión de servicios ambientales hidrológicos. Monitoreo del impacto del PSAH. INE. México. www.ine.gob.mx/dgipea.

Martínez, R. 2008. Guía conceptual y metodológica para el diseño de esquemas de pagos por servicios ambientales en latino América y el Caribe. DDS y OEA.

Maynard, K., y M. Paquin. 2004. Payments for environmental services: a survey and assessment of current schemes. For the commission for the environmental cooperation of North America. Unisfera international centre. Montreal, Canada.

Millennium Ecosystem Assessment (MA). 2003. Ecosystems and human well-being, Chap 2: Ecosystem and their services. Millennium Ecosystem Assessment.

Millenium Ecosystem Assesment (MA). 2005. Ecosystems and human well-being. Chap 2: Ecosystem and their services. Millennium Ecosystem Assessment.

Montecillo, J.L., y M. Puchet. 2000. El agua como bien económico y la necesidad de determinar su precio. Comercio Exterior. Vol. 50 No. 3. México, D.F.

Mooney, H. A., y P.R. Ehrlich. 1997. *Ecosystem Services: A Fragmentary History*. EN: Daily, G. C. (ed.): *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Washington D.C. Island Press. Pp. 11-19.

Morales-Luque, G. 2010. Evaluación de la calidad del agua como servicio ecosistémico mediante la cuantificación de los sólidos suspendidos y disueltos en el río Magdalena, México, D.F. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Muñoz-Piña, C.A., J.M. Guevara., J.M. Bulas., Torres and J. Braña. 2005. *Paying for the Hydrological Services of Mexico's Forests: analysis, negotiations and results* (pdf) Working Paper, Instituto Nacional de Ecología, México. Presented at workshop on "Payments for Environmental Services: Methods and Design in Developing and Developed Countries" Titisee, Germany, June 15-18 2005, sponsored by CIFOR and ZEF, Bonn

Muñoz-Piña, C.A., J.M. Guevara., Torres., y J. Braña. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forest: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*. Pp. 725-736.

Muradian, R., E. Corbera., U. Pascual., N. Kosoy., P.H. May. 2010. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics* 69, 1202-1208.

Murillo-Hernández, R. 2008. El Programa de Pago de Servicios Ambientales y su aplicación en un núcleo agrario con manejo comunitario del bosque. Tesis de Doctorado. Facultad de Economía. UNAM. México, D.F.

Niemelä, J., S.R. Saarela., T. Söderman., L. Kopperoinen., V. Yli-Pelkonen., S. Väre., D.J. Kotze. 2010. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodiversity and conservation*. Vol. 19. Pp. 3225–3243.

Ostrom, E., C.G. Sujai Shivakymar., y K. Andersson. 2001. Aid, Incentives, and Sustainability: An Institutional Analysis of Development Cooperation. SIDA Studies in Evaluation 02/01. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden

Pagiola, S., A. Arcenas., y G. Platais. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and evidence to date from Latin America. *World Development*. No 33. Vol. 2. Pp. 237-253.

Pascual, U., R. Muradian., L.C. Rodríguez., A. Duraiappah. 2010. Exploring the links between equity and efficiency in payments for environmental services: A conceptual approach. *Ecological Economics*. Vol. 69. Pp. 1237-1244.

Pattayanka, S.K., S. Wunder., P.J. Ferraro. 2010. Show me the money: Do payments supply environmental services in developing countries?. *Review of Environmental Economics and Policy*. Vol. 4. Pp. 254-274.

Pearce, D., y k. Turner. 1990. *Economics of natural resources and the environment*. Harvester Wheatsheaf. Gran Bretaña. Pp. 378

PMRRM. 2008. Plan maestro de manejo integral y aprovechamiento sustentable de la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. En: www.sma.df.gob.mx.

Postel, L.S., y B.H. Thompson Jr. 2005. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*. Vol. 29. Pp. 98-108.

Quétier, F., E. Tapella., G. Conti., D. Cáceres., y S. Díaz. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. Pp. 17-27. *Gaceta Ecológica*. Número especial 84-85. INE(Instituto Nacional de Ecología)-SEMARNAT(Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) México. México, D.F. Pp. 123.

Ramos, A. 2008. Propuesta de reclasificación y zonificación participativa de la zona protectora forestal Cañada de Contreras, Distrito Federal, México. Tesis de maestría en Biología ambiental. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Rico García-Amado, L., M. Ruíz-Pérez., F. Reyes-Escutia., S. Barrasca-García., E. Contreras-Mejía. 2011. Efficiency of payments for environmental services: Equity and additionality in a case study from a Biosphere Reserve in Chiapas, Mexico. *Ecological Economics*. In press.

Rolón-Sánchez, J.E., Salas-Boucher, I. and Islas-Cortés, I., 2011. The Mexican PES Programme: Targeting for Higher Efficiency in Environmental Protection and Poverty Alleviation In: B. Rapidel., F. DeClerck., J.F. Le Coq and J. Beer (Eds.). *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment*. Earthscan, London, UK, pp. 289-304.

Rönnbäck, P. 1999. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. *Ecological Economics*. Vol. 29. Pp. 235–252.

Sánchez, O. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. Pp. 11-36. En: *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Sánchez, O., M. Herzig., E. Peters., y L. Zambrano (Eds.). Pp. 293.

Sanjurjo-Rivera, E., e I., Islas-Cortes. 2007. Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. Pp. 93-105. *Gaceta Ecológica*. Número especial 84-85. INE (Instituto Nacional de Ecología) -SEMARNAT México. México, D.F. Pp. 123.

Sathirathai, S., y E.B. Barbier. 2001. Valuing mangrove conservation in Southern Thailand. *Contemporary Economics Policy*. Vol. 19. Pp. 109–122.

Schuyt, K., y L. Brunder. 2004. The economic values of the world's wetlands . WWF. Gland, Amsterdam.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. *Servicios ambientales y cambio climático*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.

Shabman, L.A. and Batie, S. 1978. Economic Value of Natural Coastal Wetlands: A Critique. *Coastal Zone Management Journal*. Vol. 4. Pp. 231-247.

Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean. 1997. UNEP - International Environmental Technology Centre United Nations Environment Programme. Washington, D.C. On line: <http://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea59e/begin.htm#Contents>.

Spiller, E.A., y M.L. Gosman. 1988. *Contabilidad financiera*. Cuarta edición. Mc Graw Hill. México.

Sundberg, S. 2004. Replacement Costs as economic values of environmental change: A review and an application to Swedish sea trout habitats. Swedish Environmental Protection Agency. Naturvardsverket. Report 5360.

Tognetti, S., G. Mendoza., B. Aylward., D. Southgate., y L. Garcia. 2004. *Guía para el desarrollo de opciones de pago por servicios ambientales (PSA) de las cuencas hidrológicas*. Departamento de Ambiente del Banco Mundial, Bank-Netherlands Watershed Partnership Program. Washington, D.C. Disponible en: http://www.flowsonline.net/data/pes_assmt_guide_sp.pdf.

Toledo, A. 2006. Agua, hombre y paisaje. Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Tong, C., R. A. Feagin., J. Lu., X. Zhang., X. Zhu., W. Wang., W. He. 2007. Ecosystem service values and restoration in the urban Sanyang wetland of Wenzhou, China. *Ecological Engineering*. Vol. 29. Pp. 249–258.

Wallace, K.J. 2007. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*. No 139. Pp. 235-246.

Wunder, S. 2008. Necessary Conditions for Ecosystem Service Payments. Conference paper for economics and conservation in the tropics: A strategic dialogue january 31 - february 1, 2008, Center for International Forestry Research.

Wunder, E., S. Engel., y S. Pagiola. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*. Vol. 65. Pp. 834-852.

Xue, D., y C. Tisdell. 2001. Valuing ecological functions of biodiversity in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve in Northeast China. *Biodiversity and Conservation*. Vol. 10. Pp. 467-481.

Zbinden, S., y D.R. Lee. 2005. Paying for environmental services: An analysis of participation in Costa Rica's PSA program. *World development*. Vol. 33, No 2. Pp 255-272.

Zeller, M., M. Sharma, C. Henry, and C. Lapenu. 2001. An operational tool for evaluating poverty outreach of development policies and projects. Discussion Paper 111, Food Consumption and Nutrition Division - International Food Policy Research Institute (IFPRI).

ANEXO A: Demostración matemática de la formula al infinito de la tasa de descuento

El ajustar el precio de las tecnologías encontradas a futuro se hizo con la siguiente fórmula matemática (Brent, 1996)

$$VPN: -C + B / i$$

Donde:

VPN: valor presente neto

C: costos

B: Beneficios

i: tasa de descuento

$$1/i = S$$

Asumiendo que los costos C, ocurren en un periodo corriente de tiempo (t=0) y que estos representan un flujo de beneficios B_t, donde t representa los años, t= 1 hasta el año terminal t=T. la suma de los beneficios netos descontados es:

$$VPN= -C+ B_1/(1+i)^1 + B_2/(1+i)^2 + \dots + B_T/(1+i)^T \quad (1.1)$$

Ahora, si asumimos que los beneficios son los mismos para cada año, B es igual, por lo que la formula queda:

$$VPN= -C+ B/(1+i)^1 + B/(1+i)^2 + \dots + B/(1+i)^T \quad (1.2)$$

Factorizando en términos de B:

$$VPN= -C+ B [1/(1+i)^1 + 1/(1+i)^2 + \dots + 1/(1+i)^T] \quad (1.3)$$

S, se le llamará a todas las sumas de las tasas de descuentos, por lo que:

$$S= 1/(1+i)^1 + 1/(1+i)^2 + \dots + 1/(1+i)^T \quad (1.4)$$

Si usamos S, en la ecuación 1.3, tenemos

$$VPN= -C+ B [S] \quad (1.5)$$

Ahora se necesita resolver para S.

Multiplicando a ambos lados de la ecuación por la tasa de descuento 1/(1+i)

$$S [1/(1+i)] = (1/(1+i)) * [1/(1+i)^1 + 1/(1+i)^2 + \dots + 1/(1+i)^T]$$

$$S [1/(1+i)] = 1/(1+i)^2 + 1/(1+i)^3 + \dots + 1/(1+i)^{T+1} \quad (1.6)$$

Ahora restamos 1.6 de 1.4

$$S-S[1/(1+i)] = \frac{1/(1+i)^1 + 1/(1+i)^2 + 1/(1+i)^3 + \dots + 1/(1+i)^T}{1/(1+i)^T} - \frac{1/(1+i)^2 + 1/(1+i)^3 + \dots + 1/(1+i)^{T+1}}{1/(1+i)^T} = 1/(1+i)^1 - 1/(1+i)^{T+1} \quad (1.7)$$

Ahora dividimos ambos lados de la ecuación por 1- [1/(1+i)]

$$S [1 - 1/(1+i)] = 1/(1+i)^1 - 1/(1+i)^{T+1}$$

$$1 - [1/(1+i)] = 1 - [1/(1+i)]$$

$$S = \frac{1/(1+i)^1 - 1/(1+i)^{T+1}}{1 - [1/(1+i)]}$$

PARTE A

$$\frac{1/(1+i)^1}{1 - [1/(1+i)]}$$

PARTE B

$$\frac{1/(1+i)^{T+1}}{1 - [1/(1+i)]}$$

Resolviendo PARTE A

$$\frac{1}{(1+i)^1} = \frac{1}{1+i} \left(\frac{1+i}{1+i-1} \right) = \frac{1+i}{1+i-1} = \frac{1+i}{i} = \frac{1+i}{i} = 1/i$$

Resolviendo PARTE B

$$S = 1/i \quad (1.9)$$

$$\frac{1/(1+i)^{T+1}}{1 - [1/(1+i)]} = \frac{\frac{1}{(1+i)^{T+1}}}{\frac{1+i-1}{1+i}}$$

$$= \frac{1+i}{(1+i)^{T+1} (1+i-1)} = \frac{1+i}{(1+i)^T (1+i-1)}$$

(i)

$$= 1/(1+i)^T i$$

Finalmente:

$$S = 1/i - 1/(1+i)^T i \quad (1.8)$$



La expresión señalada cuando T, tiende al infinito se hace muy pequeña y prácticamente se hace cero, por lo que S, finalmente se expresa de la siguiente forma:

ANEXO B: Encuesta que se aplicó en la comunidad de la Magdalena Contreras.

CUESTIONARIO UNAM

Encuesta socio-económica en la Comunidad Magdalena Atlitic

Introducción

Buenos (días) tardes. Somos estudiantes de la UNAM colaborando con la Dra. Lucía Almeida quien ha trabajado en la cuenca y con la comunidad desde hace diez años. Somos parte de proyectos de investigación académica, cuyo objetivo es la conservación de los dinamos, en colaboración con la comunidad.

Su participación es voluntaria y **estrictamente confidencial**. Los datos se procesarán para ser presentados de forma general y **anónima** en asamblea con la comunidad y en un trabajo de tesis. Por esto le solicitamos su colaboración para que la información que nos entregue, corresponda a su pensamiento y actitud, ya que el resultado de esta entrevista dará información importante sobre la situación en la Cuenca. Muchas gracias!

Notas para el encuestador:

- *En general las preguntas hacen referencia a los últimos 12 meses (1 año). En caso contrario será señalado.*
- *Se utilizarán los siguientes códigos genéricos, aunque no se especifique en cada pregunta:*
 - *El código **NA** indica que la pregunta “no aplica” a las circunstancias del entrevistado.*
 - *El código **NS** será utilizado para la alternativa “no sé” o “el encuestado no sabe”.*
 - *El código **NQ** será utilizado cuando el entrevistado “no quiera” contestar.*
- *La encuesta es exclusivamente a comuneros (ó el cónyuge / la cónyuge) que se encuentran en el Registro Agrario.*

A. Filtro / Identificación

Nota: La mayoría en esta sección se puede llenar antes de empezar con la entrevista.

1. # de entrevista:	2. Nombre del entrevistador:		
3. Fecha:	4. Duración:	:	-
5. Nombre del entrevistado y/o # de registro (opcional):	6. NIP		
7. Hombre (0) / Mujer (1)	0 / 1	8. Edad	
9. Usted vive en:		10. ¿Usted participa actualmente en un esquema de PSA?	
a. Dentro del polígono de los bienes comunales	1		Sí-0
b. Fuera del polígono, pero dentro de la delegación M-C	2		
c. Fuera del polígono, en otra delegación	3		No-1
11. ¿Cuántas veces en este año usted o un miembro de su hogar Participó en la asamblea general?	0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11 / 12		

B. Composición del hogar / Capital humano

¿Quiénes son los miembros del hogar actualmente?

Nota: Miembros son todos aquellos que viven y trabajan la mayoría del año en la comunidad.

1) *Códigos: 1=jefe de hogar; 2=esposa/o; 3=hijo/a; 4=yerno/nuera; 5=nieto/a; 6=madre/padre; 7=suegro/a;*

1. Número de identificación personal (NIP); en relación con el jefe de hogar ¹⁾	2. Año de nacimiento (aaaa)	3. Sexo (0=masc./1=fem.)	4. Educación Nivel ²⁾

8=hermano/a; 9=cuñado/a; 10=tío/a; 11=sobrino/a; 12=entendados/hijos adoptivos; 13=otros familiares; 14=no emparentados

2) *Códigos: 0=Ninguno; 1=Preescolar; 2=Primaria; 3=Secundaria; 4=Preparatoria o bachillerato; 5=Normal; 6=Carrera técnica o comercial; 7=Profesional; 8=Maestría; 9=Doctorado*

C. Percepción de servicios / capital natural

Conteste a las siguientes preguntas:

1. ¿Usted trabaja o cultiva un predio o parcela dentro de la comunidad?	Sí=1/No=0
- 2. Si sí → ¿Cuántas hectáreas? _____ (ha)	
3. ¿Usted estaría a favor de vender su tierra?	
- 4. Sea no o sí → ¿Por qué?	

C.1 Servicios de provisión

1. ¿Usted o su familia bebe agua del río o de manantial?	Sí=1 / No=0
- 2. Si sí → podría indicarnos de que parte del río bebe(n) agua y de que parte no lo hacen. <i>Nota: Ubicación por dínamos.</i>	
- 3. Si sí → ¿Alguna vez se ha enfermado por tomar agua del río?	Sí=1 / No=0
- 4. Si sí → Explique por favor.	

5. ¿Usted piensa que la presencia de casas y comercios cercanos al río:

Mejoran la limpieza del agua del río?	1	Indiferente	2	Empeoran la limpieza del agua del río?	3
--	---	-------------	---	---	---

6. ¿Usted piensa que la presencia de casas y comercios cercanos al río:

Mejoran la cantidad de agua del río?	1	Indiferente	2	Empeoran la cantidad de agua del río?	3
---	---	-------------	---	--	---

7. ¿Usted considera que los criaderos de truchas:

Mejoran la limpieza del agua del río?	1	Indiferente	2	Empeoran la limpieza del agua del río?	3
--	---	-------------	---	---	---

8. ¿Usted considera que la presencia de ganado dentro de los bienes comunales:

Afectan de manera positiva?	1	Indiferente	2	Afectan de manera negativa?	3
------------------------------------	---	-------------	---	------------------------------------	---

9. En los últimos 7 años ¿usted considera que el bosque dentro de los bienes comunales?

Ha disminuido considerablemente	1	Ha aumentado poco	4
Ha disminuido	2	Ha aumentado considerablemente	5
Ha permanecido igual	3		

10. ¿Usted considera que tiene relación la presencia del bosque con la cantidad del agua del río?

No tiene ninguna relación	1	Se relaciona muy poco	2	Se relaciona estrechamente	3
¿Por qué?					

11. ¿Considera que el bosque está relacionado con que el agua del río está más limpia?

No tiene ninguna relación	1	Se relaciona muy poco	2	Se relaciona estrechamente	3
¿Por qué?					

12. ¿Cree que el agua del río Magdalena se puede acabar algún día?

	Sí=1 / No=0
- Sea no o sí → ¿Por qué?	

13. ¿Para qué utiliza el agua del río?

Nota: Respuestas múltiples son posibles.

- riego de cultivos	1	- limpiar y cocinar alimentos en el restaurante	5
- el ganado	2	- atracción para los visitantes del restaurante	6
- la crianza de truchas	3	- otro (nombrar)	7
- en el hogar	4		

Por favor señale si está de acuerdo con las siguientes afirmaciones (**puede ser contestado por el comunero sin ayuda**):

La cuenca / el río es importante	Sí=1/No=0
- 14. por su número (cantidad) de plantas y animales.	
- 15. como sitio de recreación y actividades (calidad) turísticas.	
- 16. para mantener limpio (calidad) el aire de la ciudad de México.	
- 17. para mantener limpio (calidad) el aire de las tierras comunales.	
- 18. como fuente (cantidad) de agua para las viviendas en el Distrito Federal.	
- 19. como fuente (cantidad) de agua para las viviendas en la Delegación M.- Contreras.	
- 20. como fuente (cantidad) de agua para usos dentro de las tierras comunales.	
- 21. porque aquí tengo mis raíces culturales y mi familia siempre ha vivido aquí.	
- 22. porque mi sustento y el de mi familia proviene de actividades dentro de la cuenca.	

D. Capital físico

1. Disponibilidad de agua - ¿En su vivienda / casa tiene agua de: *Nota: Respuestas múltiples son posibles.*

la red pública dentro de la vivienda?	1	una pipa?	5
la red pública fuera de la vivienda, pero dentro del terreno?	2	un pozo?	6
una llave pública (o hidrante)?	3	un río, arroyo, lago u otro?	7
otra vivienda?	4		

2. Drenaje - ¿Su vivienda tiene drenaje o desagüe conectado a:

la red pública?	1	una tubería que va a dar a una barranca o grieta?	3	¿No tiene drenaje?	5
una fosa séptica?	2	una tubería que va a dar a un río, lago o mar?	4		

E. Capital social

1. ¿Usted tiene algún cargo dentro de la comunidad?

Nota: Respuestas múltiples son posibles.

Comisariado	1	Miembro de comisión auxiliar del comisariado	2	Otro (nombrar)	3
-------------	---	--	---	----------------	---

2. ¿Usted o un miembro de su hogar es miembro de algún grupo organizado?

Nota: Respuestas múltiples son posibles.

Cooperativa agraria	1	Cooperativa de ganadería	5	Grupo de mujeres	9
Cooperativa forestal	2	Cooperativa de artesanía	6	Partido político	10
Cooperativa de comerciantes	3	Cooperativa de flores	7	Otro (nombrar)	11
Cooperativa de pesca	4	Cooperativa de embotelladora	8		

3. Por favor indique en una escala del 1 al 5 [1=muy en desacuerdo, 2=desacuerdo, 3=indiferente, 4=de acuerdo, 5=muy de acuerdo) si las siguientes instituciones son de confianza:

Nota: Utiliza la hoja con la escala en el anexo.

4. La CONAGUA	1	2	3	4	5
5. La CONAFOR	1	2	3	4	5
6. La Universidad de Chapingo	1	2	3	4	5
7. La UNAM	1	2	3	4	5
8. La CORENA	1	2	3	4	5
9. El Comisariado de Bienes Comunales	1	2	3	4	5
10. Una ONG verde	1	2	3	4	5

F. Capital financiero

F.1 Pago por Servicios Ambientales

Pregunta	Sí=1/ No=0
1. ¿Ha recibido algún apoyo o pago para no tirar árboles, cuidar el bosque / agua dentro de los bienes comunales?	
2. ¿Sabe el nombre del Programa que le ha apoyado? - Si sí → ¿Cuál es el nombre? _____	
3. ¿Sabe si el apoyo viene del Gobierno o de otro tipo de organización? - Si sí → Nombre de la dependencia u organización que opera el programa: _____	
4. ¿Sabe que características debe tener el terreno que recibe el pago por servicios ambientales? - Si sí → Características del terreno para entrar al programa: _____ _____ _____	
5. ¿Se hacen cosas diferentes a partir de que recibe la comunidad el apoyo? - Si sí → Especifique: _____ _____ _____	
6. ¿Sabe porqué le interesa al programa apoyar a usted para cuidar los árboles del bosque y el agua aquí? - Si sí → ¿Por qué?: _____ _____ _____	
7. ¿En qué consiste el apoyo que le da el programa? - Dinero _____ - Si sí → ¿Cuánto es? Indica si es por hectárea ó familia ó total. _____ - Otros apoyos _____ - Si sí → ¿En qué consiste? _____ _____ _____	
8. ¿Usted considera que el apoyo que recibe es suficiente? - Sea si o no → Explique: _____ _____ _____	
9. ¿El programa es lo que usted esperaba o le dijeron que sería? - Si no → ¿Por qué? _____ _____ _____	
10. ¿Sabe por cuánto tiempo recibirá apoyo del programa? - Si sí → Número de años: _____	
11. ¿Volvería a renovar su participación en el programa? - Sea si o no → ¿Por qué? _____ _____ _____	
12. ¿Sabe que actividades se deben realizar en el bosque para recibir el PSA? - Si sí → ¿Qué puede hacer en su terreno? _____ _____ - Si sí → ¿Qué no puede hacer en el terreno? _____ _____ - ¿Cuáles de las que nombre si se realizan realmente? Nómbrelas. _____	
13. ¿Si usted pudiera, a que dedicaría su terreno? - Conservar el bosque _____ - Dedicarlo a algún cultivo (maíz o lo que sea) _____ - Utilizar el terreno para ganado _____	

H. Resultados medios de vida

H.1 Bienestar

1. Usted se siente o considera en una escala del 1 al 5 [1=muy en desacuerdo, 2=desacuerdo, 3=indiferente, 4=de acuerdo, 5=muy de acuerdo] que...

Nota: Utiliza la hoja con la escala en el anexo.

1. Estoy orgulloso de ser miembro de su comunidad.	1	2	3	4	5
2. Participo activamente en la toma de decisión de su comunidad.	1	2	3	4	5
3. Mi herencia cultural está siendo respetada y aceptada por la sociedad y el estado.	1	2	3	4	5
4. Vivir en la comunidad es seguro.	1	2	3	4	5
5. Los miembros de mi casa se enferman frecuentemente.	1	2	3	4	5
6. La basura dentro de la cuenca me afecta.	1	2	3	4	5

2. ¿Hay tendencias de conflicto sobre el terreno en la comunidad?

Nota: Respuestas múltiples son posibles

No hay	0	Externo con vecinos	2	Otros (nombrar):	4
Interno	1	Externo con la administración del DF	3		

H.2 Contexto de vulnerabilidad

1. Para su familia ¿cuáles son los problemas principales de la vida cotidiana?

Nota: Respuestas múltiples son posibles.

Catástrofe natural	1	Pestes y plagas	5	Salud	9
Conflictos de terreno	2	Seguridad (delincuencia)	6	Corrupción	10
Incertidumbre sobre precios	3	Oportunidades económicas	7	Intervención del estado	11
Cambios de clima	4	Discriminación	8	Otros (nombrar):	12

H.3 Situación económica

3. ¿Dentro de un año, hay meses en los que varían los ingresos familiares?

Sí=1 / No=0		Sí sí → ¿Cuándo y por qué?	
-------------	--	----------------------------	--

4. ¿Cuál es el ingreso mensual promedio (dinero disponible) en su hogar?

Nota: Utiliza la hoja con los rangos en el anexo.

Menos de \$1,700	1	\$5,101 - \$6,800	4	\$10,201 - \$11,900	7
\$1,701 - \$3,400	2	\$6,801 - \$8,500	5	Mas de \$11,901	8
\$3,401 - \$5,100	3	\$8,501 - \$10,200	6	No contestó	9

Anexo C: Opinión de expertos

1. Dr. Antonio Hernández Espriu / División de ingeniería en ciencias de la tierra- Grupo de hidrogeología- Facultad de ingeniería UNAM

El Dr. Hernández de acuerdo a la información obtenida del IMTA, y los datos del estudio de Jujnovsky *et al.* (2010) dio su opinión de cuantos pozos se requieren y las características específicas que deben tener, a continuación su opinión.

El caudal que requieren inyectar, según lo que hemos platicado es de 21 Mm³/año, que equivalen a 665 L/s.

La idea es recargar este caudal a la Formación Tarango, una mezcla de basaltos, lavas intermedias y depósitos lacustres. El IMTA reporta que la transmisividad (T) de este acuífero en la zona del río Magdalena es de 6×10^{-4} a 2×10^{-3} m²/s, que en promedio y en unidades consistentes es de 112.32 m²/d.

Una manera rápida de calcular el caudal de recarga al acuífero es por medio de una simplificación de la ecuación de Theis (1935) que generó Galofré (1966), donde se relaciona el caudal específico de un pozo y la transmisividad del acuífero. Aunque la ecuación está hecha para determinar cuál es el abatimiento (s) que el nivel del agua tendrá debido a un caudal (Q) de extracción, se puede utilizar para analizar cuánto subiría el nivel del agua (ascenso) cuando se inyecte el caudal. Este dato será necesario para saber hasta qué profundidad se necesita perforar (el objetivo no es inyectar agua y que se desborde por la superficie del terreno).

La ecuación de Galofré en su manera más simplificada es:

$$T = \frac{Q(l/s)}{s(m)} \cdot 100. \text{ Sustituimos } s \text{ por el ascenso (a) y si suponemos que requerimos 10 pozos}$$

para inyectar el caudal necesario (665 L/s), se necesitarían 10 pozos para inyectar 66 L/s/pozo. Entonces, con la T reportada por el IMTA, el ascenso que se generará en el interior del pozo debido a la inyección será $a = 100 \cdot (Q/T)$, que es del orden de **58.7 m**. Esto implica que por cada 66 L/s que se inyecte, el nivel va a subir desde donde esté, cerca de 58 m.

De acuerdo al Sistema de Información Geográfico que tenemos del Distrito Federal, uno de los pozos más cercanos a los Dinamos es el pozo "**Pedregal 2**" con coordenadas X = 478,371 y Y = 2, 140,390 (UTM, elipsoide WGS84). Este pozo tiene una profundidad del nivel del agua medida en 2010 de 110 m aproximadamente. Se va a suponer que esta es la profundidad donde se encontraría el nivel del agua si se perforan los 10 pozos necesarios para la inyección.

Propongo entonces lo siguiente: perforar sondeos a 100 m de profundidad cada uno, para tener un colchón de 10 m entre la parte más profunda del pozo y el nivel (en pozos de inyección siempre es necesario tener este colchón entre el nivel y la profundidad máxima). Cada pozo inyectaría 66 L/s y el nivel subiría a los 52 m aproximadamente.

En resumen los pozos deberían tener las siguientes características:

- 10 pozos a una profundidad estimada de 100 m.
- En toda su profundidad se colocará **tubería ranurada** para favorecer la infiltración en todos los puntos. Ya se verificó el corte litológico del pozo Pedregal 2 y esto es factible, porque este pozo (y por lo tanto los pozos de recarga que se perforarían) atraviesan basaltos y conglomerados, que son materiales permeables, por lo que es posible infiltrar el agua desde la superficie a través de una tubería ranurada de 100 m.
- Propongo un diámetro del ademe de 12 pulgadas.
- Los 100 m llevarían filtro de grava y propondría un sello sanitario de unos 10 m de profundidad.

2. Ing. Héctor L. Macías González / División de ingeniería en ciencias de la tierra- Facultad de ingeniería UNAM

A juicio del maestro Macías, las tecnologías propuestas no podrían reemplazar la función ecosistémica de infiltración, pero si tuviera que escoger una de las tecnologías esta sería los pozos de inyección directa. Los pozos de inyección en la zona vadosa, no serían adecuados porque en esta zona la infiltración es lenta y más aún porque en la Magdalena esta zona está saturada, de ahí que el río es perene, entonces se perdería agua por evaporación. Las demás

tecnologías no le parecen adecuadas porque son de almacenamiento superficial en su mayoría, y en la Magdalena el agua tarda mucho en infiltrarse ya que las fracturas en la zona están llenas de material granular.

Los pozos de inyección directa, en opinión del Ing. Macías si bien no son la solución por las características del terreno y los problemas sociales, piensa que sería la opción correcta para tratar de darle al agua que provee el río este valor de uso indirecto. El agua que se recargará con estos pozos va al acuífero y como el agua del río viene limpia, el tratamiento previo sería mínimo. Aunque para la instalación de esta tecnología es necesario conocer bien a qué profundidad se encuentra el manto freático porque es allí donde se perfora.

Respecto al lugar, el terreno posee pendientes muy inclinadas que hacen imposible poner los pozos en la parte alta y media, por lo que el primer dínamo sería la opción, donde los costos de excavación serían menores, debido a la menor profundidad. Sin embargo, en la parte baja de la cuenca el nivel freático se encuentra muy poca profundidad por lo que los pozos estarían infiltrando muy poco, y arriba si se hicieran presas la evaporación no permitiría mayor infiltración se convertirían en zonas secas, azolvadas y cuando vengan las avenidas van a llevar material granular hasta el periférico.

Si los pozos se cavaran más profundo, como a 200 o 300 mts, sería como hacer un río subterráneo y sería aún más costoso. Otro problema es que estos pozos deben estar cercados y vigilados las 24 horas del día, lo que implicaría un costo adicional, además del problema social que implicaría poner estos pozos en terreno comunal.

3. IMTA

Instituto Mexicano de tecnología del agua

PROYECTO PILOTO DE RECARGA CONTROLADA AL ACUÍFERO ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Edgar Yuri Mendoza-Cázares, Carlos Gutiérrez-Ojeda, Ismael Mata-Arellano
Coordinación de Hidrología, Subcoordinación de Hidrología Subterránea. Publicado el 15 de julio de 2010.

http://imtanet.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=513%3Arecarga-controlada-al-acuifero-zona-metropolitana-del-df&catid=53%3Aamare-nostrum&Itemid=1

Según los datos obtenidos por el IMTA, quienes realizaron un estudio de factibilidad, los pozos de absorción son la tecnología indicada para la recarga en la zona de la Magdalena. Los estudios indican por el cauce del río Magdalena escurren, en la época de lluvias, 0.934 m³/s en promedio; el agua superficial se caracteriza por una familia de agua del tipo bicarbonatadas/magnésicas-sódicas (HCO₃ /Mg-Na) y presenta un porcentaje de coliformes fecales disueltos, producto de actividades antropogénicas. Las rocas superficiales, predominantes en la cuenca, son andesitas y dacitas y, en el subsuelo, existe una secuencia de estas rocas con fracturamiento, que se intercalan con rocas volcanoclásticas correspondientes a la formación Tarango. Lo que sugiere, según el IMTA que ambas unidades de roca existen buenas posibilidades para infiltrar el agua de lluvia. Los análisis isotópicos permiten inferir que las aguas superficiales del río Magdalena y manantiales son de reciente infiltración.

Según estos estudios el IMTA sugiere que el sitio potencial para perforar un pozo de absorción se localiza en el dínamo número dos, recomendando perforar a una profundidad entre 350 a 400 m, para infiltrar 100 lps del agua superficial que escurre por el lecho del río Magdalena.

Sin tomar en cuenta el proceso por el cual se infiltra el agua al subsuelo es necesario contar con: la disponibilidad de agua; para ser infiltrada, un almacenamiento; superficial o subterráneo y la infraestructura para aprovechar el agua infiltrada.

Anexo D: Resultados de la encuesta/ Parte 1: Identificación/Filtro

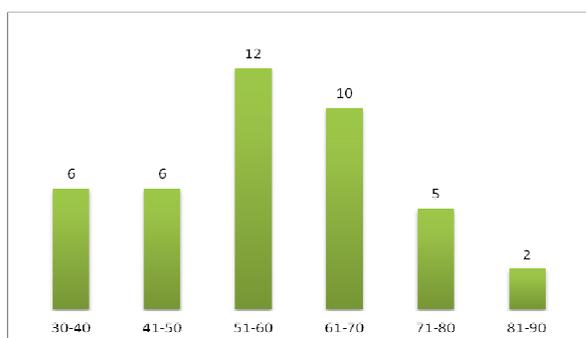


Figura 1 . Distribución de edades

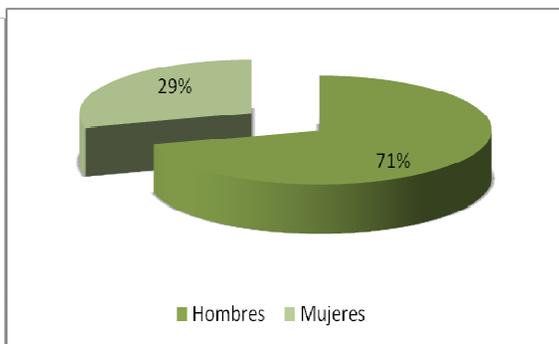


Figura 2. Distribución por sexo

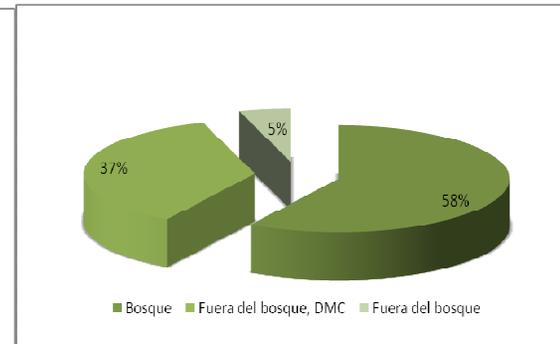


Figura 3. Residencia respecto a la cercanía con la cuenca

Parte 3: Capital natural

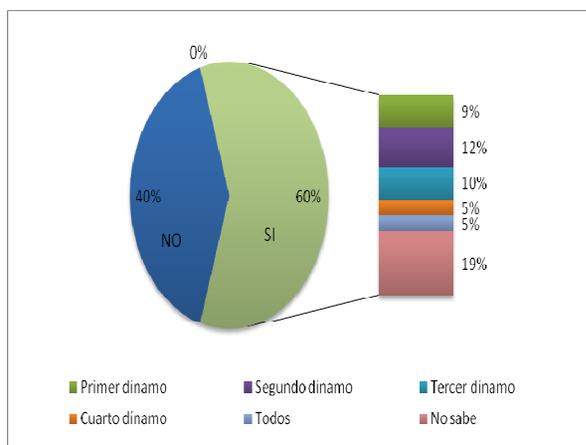


Figura 4. Consumo de agua del río y lugar

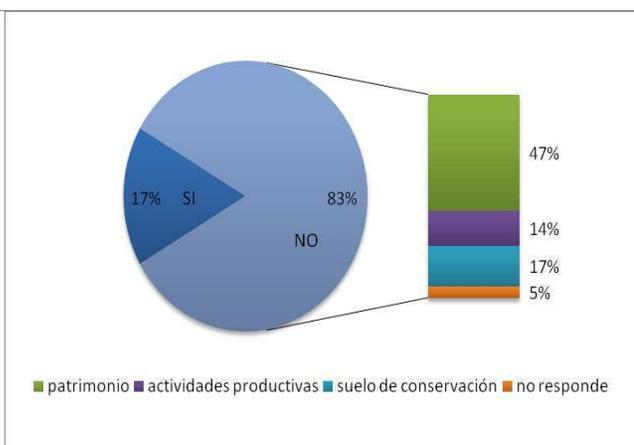


Figura 5. Disposición a vender la tierra y causas

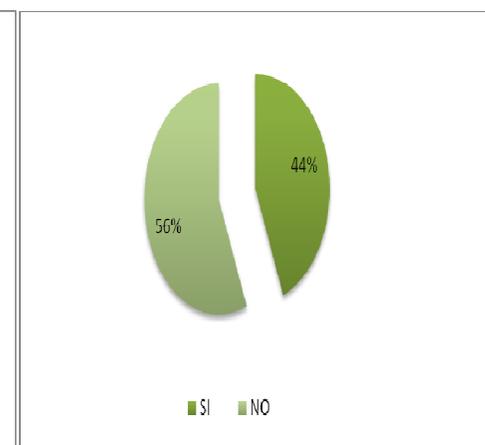


Figura 6. Porcentaje de comuneros que trabajan la tierra

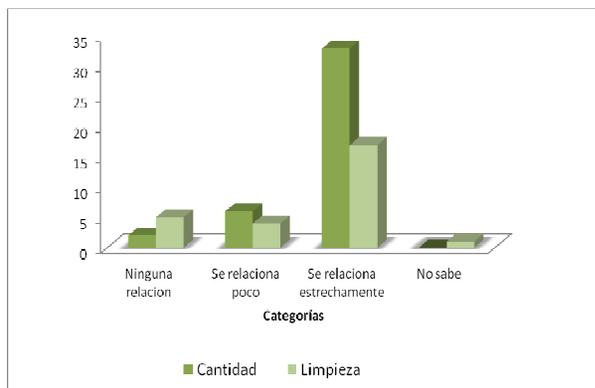


Figura 7. Relación agua-bosque

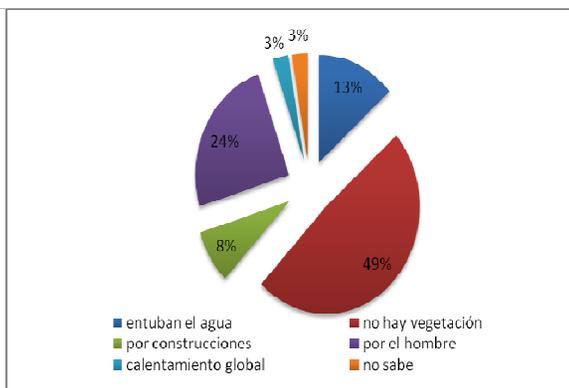


Figura 8. Razones por la que se acabar el agua del río

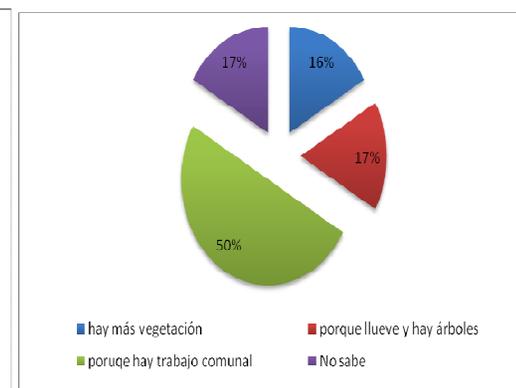


Figura 9. Razones por las que no se acaba el agua del río

Parte 4: Capital social y físico

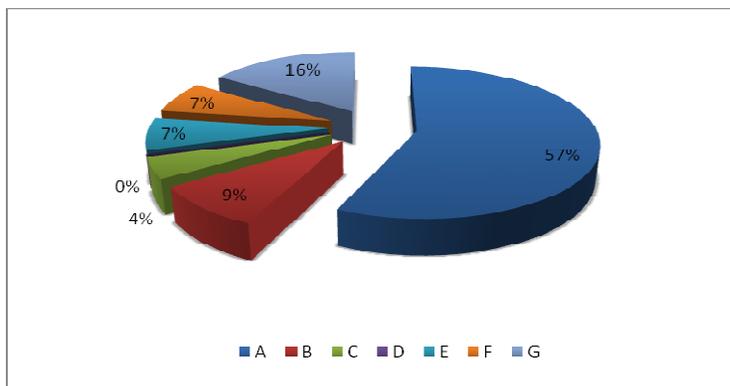


Figura 10. Disponibilidad de agua en la vivienda. A.Red pública dentro, B. Red pública fuera, C. llave hidratante, D. Otra vivienda, E. Pipa, F. Pozo, G. Río

Parte 5: Capital Financiero/PSA

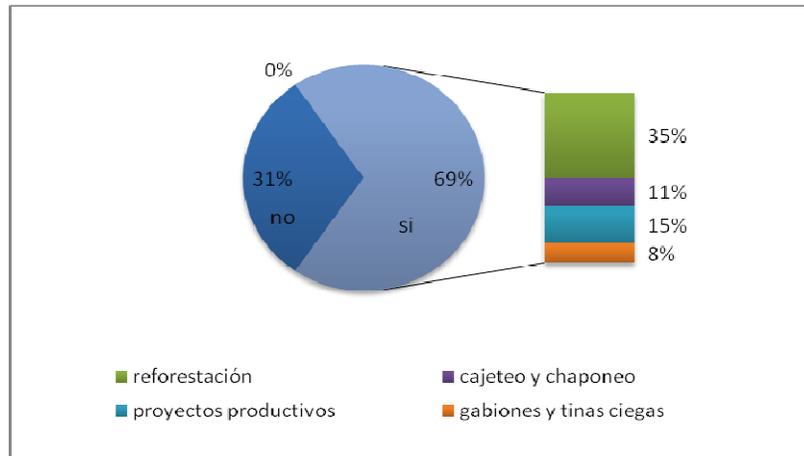


Figura 11. Actividades que se realizan a partir del pago

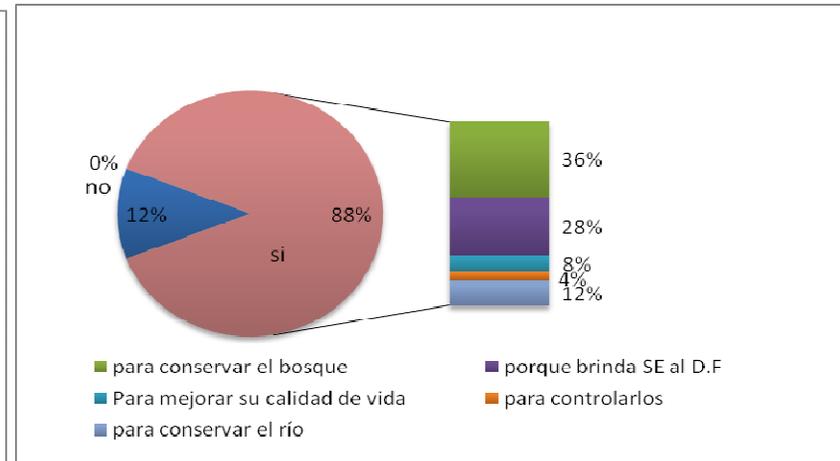


Figura 12. Conocimiento del porque los apoyan

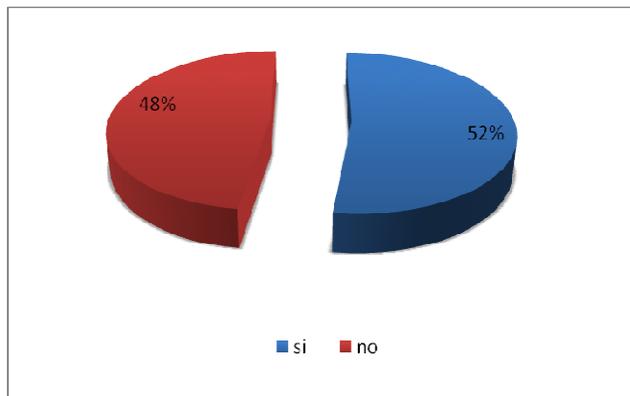


Figura 13. El programa cubrió sus expectativas

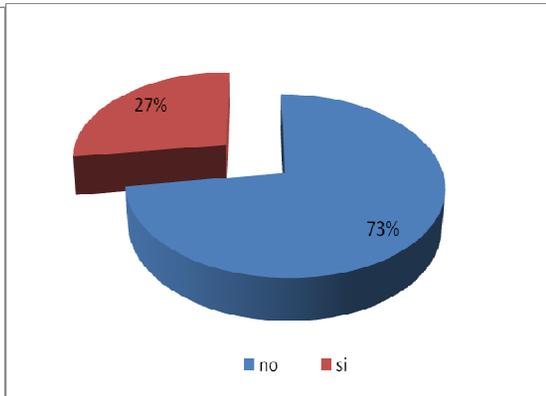


Figura 14. Conoce el tiempo de participación

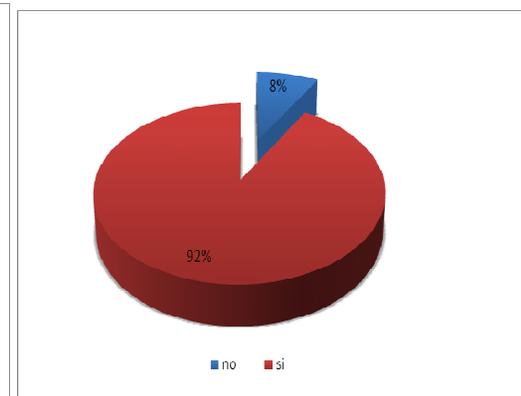


Figura 15. Conocimiento de las actividades que puede realizar

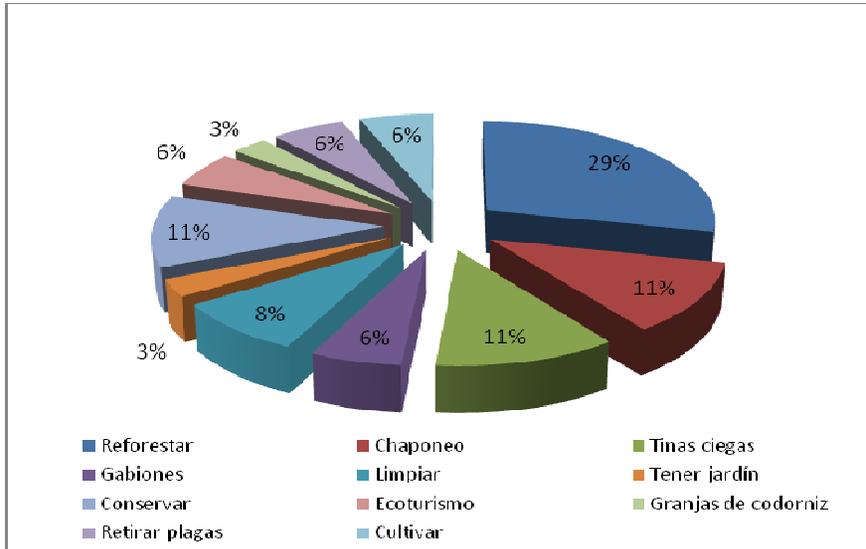


Figura 16. Actividades permitas dentro del terreno

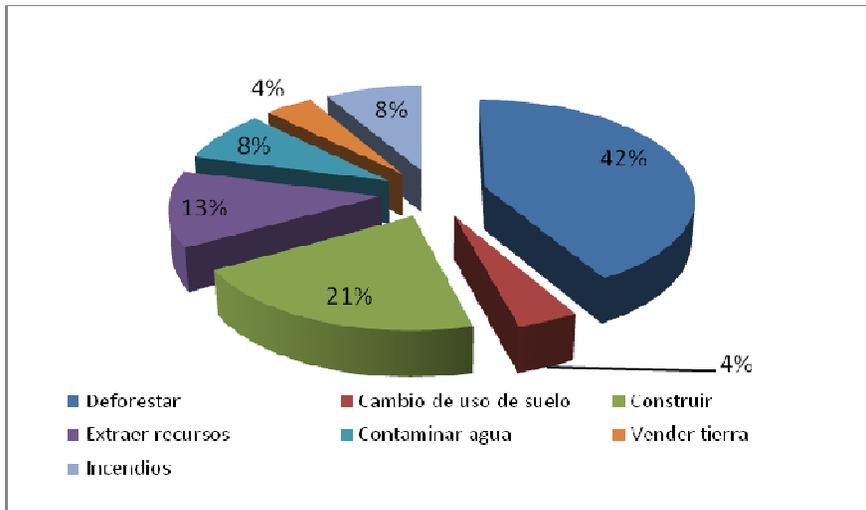


Figura 17. Actividades prohibidas dentro del terreno

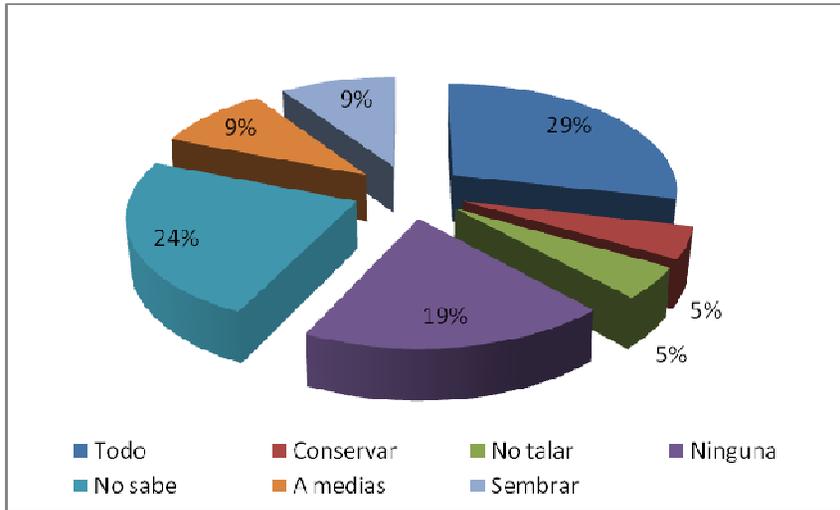


Figura 18. Actividades que realmente se llevan a cabo con el pago

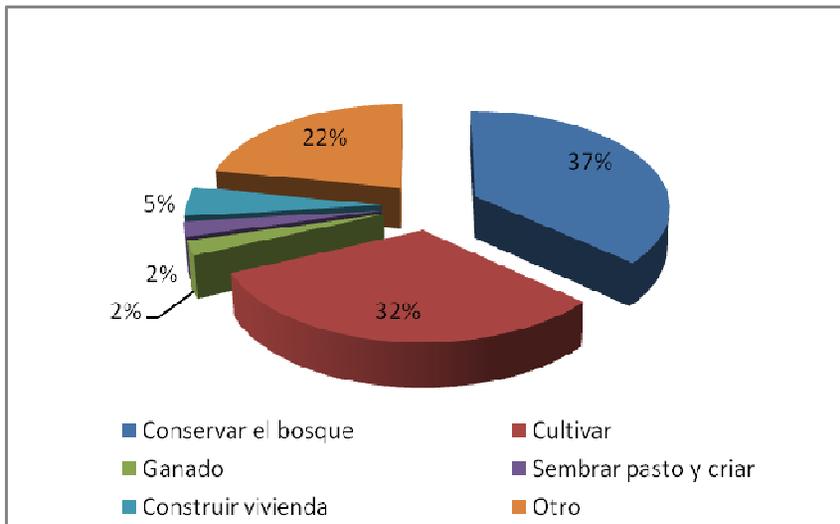


Figura 19. Si pudiera, a que dedicaría su terreno