



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Economía

**Análisis del impacto de la extracción de agua en las poblaciones de
estromatolitos en el Valle de Cuatrociénegas**

Presenta Martha Gabriela Alatraste Contreras

que para obtener el grado de

Especialista en Economía Ambiental y Ecológica

Bajo la dirección del Dr. Alonso Aguilar Ibarra



Ciudad Universitaria, Octubre 2009



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.

Dedicatoria

Como todos los logros en mi vida, dedico este trabajo a mi madre.

Gracias por tu incondicional apoyo y amor.

Igor, también es tuya.

Agradecimientos

Agradezco enormemente la dirección y apoyo de mi tutor de tesina el Dr. Alonso Aguilar Ibarra.

Quiero agradecerle a Igor Lugo Olmos todos sus comentarios, observaciones y recomendaciones. Gracias por tu apoyo amor.

Agradezco también el apoyo del Dr. Gerardo Fujii durante la elaboración de la tesina como durante los dos semestres de la Especialización.

Quisiera agradecerle al Dr. Benjamín García Páez por su apoyo.

Eli, muchas gracias por todo.

Índice

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 5 |
| Introducción | 6 |
| 1. Marco teórico | 9 |
| 1.1 Momento de extracción | 11 |
| 1.2 Condiciones de acceso | 16 |
| 1.3 Impacto de las externalidades no monetarias en los ecosistemas | 19 |
| 2. Análisis de la generación de externalidades en la población de estromatolitos | 25 |
| 2.1 Presiones generales del Valle de Cuatrociénegas | 28 |
| 2.2 Externalidades en la población de estromatolitos | 31 |
| 3. Recomendaciones de manejo | 35 |
| 4. Conclusiones | 37 |
| Bibliografía | 40 |

Resumen

El presente trabajo tiene el objetivo de analizar el impacto en la población de estromatolitos en las pozas de Cuatrociénegas, provocado a partir de la generación de externalidades no monetarias de la extracción no sustentable de agua. Para tal efecto se ha dividido la investigación en las siguientes partes. En primer lugar se ha expuesto el marco teórico, desarrollando dos principales ideas: los conceptos básicos de la economía de los recursos naturales y el concepto de externalidad no monetaria. La siguiente sección detalla las características del Valle de Cuatrociénegas y las principales problemáticas, haciendo hincapié en la generación de externalidades en la población de estromatolitos. En la tercera sección se hacen algunas recomendaciones de manejo al Área Natural Protegida con base en los resultados del análisis. Por último, el trabajo finaliza con algunas conclusiones.

Análisis del impacto de la extracción de agua en las poblaciones de estromatolitos en el Valle de Cuatrociénegas

Martha Gabriela Alatríste Contreras

Introducción

Cuatrociénegas es un área especialmente particular localizada en la zona central del Estado de Coahuila, México. Se decretó como Área natural protegida (ANP) en la categoría de Área de Protección de flora y fauna en 1994 (INE).¹ El valor de Cuatrociénegas radica en que cuenta con una gran variedad de endemismos, especies de flora y fauna, así como cuerpos de agua y yacimientos minerales que hacen de este valle un espacio rico en biodiversidad. Adicionalmente, el Valle es considerado uno de los humedales más importantes en México debido a los servicios ambientales que provee (ie., biodiversidad, cuerpos de agua, sales, entre otros). Esta característica, al mismo tiempo que es extremadamente valiosa, es una vulnerabilidad.

Este valle pertenece a la lista de los humedales más importantes del mundo, elaborada en la Convención de humedales celebrada en Ramsar, Irán. En esta convención se estipuló que los humedales son de los medios más productivos y más biodiversos, y tiene como objetivo central el uso sustentable de éstos. La lista pretende servir para fomentar la conservación de áreas ricas en

¹ El Programa de Áreas Naturales Protegidas de México establece que el manejo de un área natural protegida puede definirse como el conjunto de decisiones y estrategias tendientes a combinar las funciones de conservación, investigación, desarrollo económico y recreación asignadas a estas áreas. Asimismo, es la conciliación entre el aprovechamiento y la conservación.

biodiversidad y para promover el desarrollo sustentable de los países donde se encuentren dichos humedales; (Ramsar Convention on Wetlands, Ramsar, Irán, 1971).

La conservación de los humedales consiste en el buen uso (*wise use*; Ramsar Convention on Wetlands, Ramsar, Irán, 1971), de sus recursos manteniendo su carácter ecológico, en el contexto de un desarrollo sustentable. Este enfoque es consistente con el concepto de sustentabilidad fuerte, el cual establece que se tendrán que conservar los recursos naturales de forma que las generaciones futuras tengan el mismo nivel de bienestar; asimismo, en este enfoque, no es aceptable la sustitución de capital natural (recursos naturales) por capital físico (infraestructura), ya que esto significaría la pérdida, no sólo del recurso en cuestión, sino de las relaciones fisicobioquímicas que se dan entre los organismos del ecosistema. Se aplica este concepto en el análisis ya que los humedales tienen varias funciones para la humanidad, lo que le da su gran valor. Entre los beneficios que brindan los humedales se encuentran el ser hábitat de numerosas especies de flora y fauna, en ser suministro de agua, acervo de peces para pesca, proveer de nutrientes y agua para la agricultura, medio de transporte, permitir la realización de actividades recreativas y turísticas, entre otras. Las funciones y beneficios de los humedales pueden conservarse sólo si se permite que sus procesos ecológicos sigan funcionando adecuadamente. El cambio de uso de suelo, la contaminación, la sobreexplotación y la introducción de líneas de drenaje, ponen en riesgo el importante rol de estos ambientes (Ramsar Convention on Wetlands, Ramsar, Irán, 1971).

Los asentamientos humanos establecidos en el Valle de Cuatrociénegas y sus alrededores han usado los recursos naturales de esta área para llevar a cabo actividades económicas. Sin embargo, la utilización de flora, fauna, agua y minerales no ha sido sustentable, es decir, se ha llevado a una sobreexplotación y degradación ambiental y ecológica que tiene consecuencias negativas. Una de ellas, es la pérdida de biodiversidad. Se han registrado cambios en las poblaciones de los organismos que viven en los ambientes acuáticos, en la cubierta vegetal, así como en los endemismos. Muchas especies de la zona se encuentran en la lista del Gobierno de México de especies en peligro o amenaza de extinción.

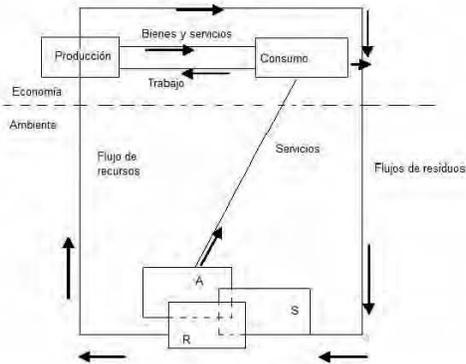
El objetivo de este trabajo es el de analizar el impacto en la población de estromatolitos, organismos microbiales endémicos del valle y forma de vida más primitiva que existe, resultado de la generación de externalidades no monetarias por la extracción no sustentable de agua de las pozas de Cuatrociénegas.

La estructura del trabajo es la siguiente. La primera sección expone los conceptos de la Economía de los Recursos Naturales que se utilizarán para el análisis, a saber: las características de una extracción sustentable de un recurso natural y la generación de externalidades por la extracción de agua de las pozas del Área Natural Protegida. En la segunda sección se detallan las principales problemáticas del Valle de Cuatrociénegas. El análisis del impacto de la generación de externalidades en la población de estromatolitos se expone en la tercera sección del trabajo. Por último, se concluye con algunas recomendaciones de manejo.

1. Marco teórico

La realización de este trabajo se hará con base en la economía de los recursos naturales. Esta disciplina clasifica los recursos en vivos o renovables y no vivos o no renovables. Los recursos renovables existen en la naturaleza como acervos, los cuales son extraídos por medio de actividades económicas como flujos (ver figura 1). Éstos se reproducen a lo largo del tiempo, por lo que su aprovechamiento óptimo se tendrá que determinar por medio de los siguientes conceptos: cantidad de extracción sustentable (flujo de recursos), la cual debe ser igual o menor a la tasa de reposición natural del recurso; acceso al recurso a extraer, el cual dependerá del tipo de propiedad que se tenga (privada o comunal); y el momento en que es más conveniente la extracción para obtener el máximo beneficio sustentable (Pearce y Turner 1990).

Figura 1. Relaciones entre la economía y el ambiente.



R: recursos; A: amenities; S: sink; Fuente: Common, M. (1988)

La cantidad de extracción sustentable será aquella que se fije cuando el recurso a explotar registre la máxima tasa de reposición; en el caso de este trabajo, cuando la extracción permita que las pozas se recarguen de agua nuevamente y no se baje el nivel por abajo del límite mínimo. La tasa de explotación o extracción, por otro lado, será determinada por el nivel de esfuerzo escogido, es decir, la tecnología y trabajo aplicado a la extracción de agua de las pozas y el acervo del recurso existente (litro de agua):

$$(1) H = EX,$$

donde H es la cantidad de extracción, E es el esfuerzo utilizado y X es el acervo existente.

Cualquier extracción que sea mayor a la sustentable, cuando las pozas no alcanzan a reponer la cantidad de agua extraída, provocará una disminución del acervo. Por el contrario, una extracción menor a la recarga natural del recurso, permitirá que el acervo de agua aumente. Bajo esta lógica, el esfuerzo aplicado a la extracción será el instrumento de manejo para no disminuir el nivel de agua o del recurso en cuestión. La relación de extracción-esfuerzo antes descrita determina los costos de la persona que utiliza el agua. Si se asume que el esfuerzo es el único factor involucrado en esta relación, entonces el costo total (TC), será igual al nivel de esfuerzo multiplicado por el precio del mismo. De igual forma, a partir de la relación extracción-esfuerzo se pueden determinar los ingresos totales (TR), lo cuales serán el nivel de extracción (H : litros de agua) por su precio (P). El beneficio de la extracción será la diferencia entre los ingresos y los costos (Pearce y Turner 1990).

$$(2) TR = PH,$$

donde TR son los ingresos totales, P es el precio y H el nivel de extracción.

Momento de extracción

El momento en el que es más conveniente hacer la extracción se determina al tomar en cuenta el factor tiempo en el análisis. Bajo esta perspectiva, la cantidad de extracción sustentable y el momento en el que se decide hacer uso del recurso se ven afectadas por la tasa de descuento, la cual pone en términos actuales los beneficios que se obtendrían o dejarían de obtener en el futuro. Las condiciones necesarias para maximizar el valor presente de los beneficios resultado de la extracción del recurso tomando simultáneamente una extracción igual a la tasa de reposición están representadas en (5). La solución provee un estado estable o estacionario, en donde la tasa de extracción es igual a la tasa de reposición (Pearce y Turner 1990).

$$(3) F'(X) - \frac{C'(x)F(x)}{P-C(x)} = S_r,$$

donde el primer elemento del lado izquierdo de la ecuación representa los ingresos y el segundo los costos, a valor presente; s_r es la tasa de reposición del recurso (lado derecho)

El nivel de beneficio que puede ser sustentable a un nivel x de recurso, estarán determinados por el valor presente de la diferencia de los ingresos menos los costos. Si R es el nivel de beneficio sustentable, entonces:

$$(4) \frac{\partial}{\partial x} [R(x)] = s[P - C(x)] \text{ ó } \frac{1}{s} \cdot \frac{\partial R}{\partial x} = P - C(x),$$

donde, el lado izquierdo de la igualdad representa el nivel de beneficio marginal el cual será igual a los ingresos marginales a valor presente, o sea, $s(P-C(x))$

De la ecuación (4) se deduce que, si reducimos el nivel del acervo al extraer una cantidad pequeña del recurso, habrá una ganancia inmediata del tamaño $P - C(x)$, pero se tendrá una pérdida de ingreso sustentable futura del tamaño $\frac{\partial R}{\partial x}$, el valor presente. Esto sucede por la extracción de acervo nuevo o, dicho en otras palabras, de la cantidad de agua que se repuso. Así, (6) reafirma la regla fundamental del uso sustentable de un recurso renovable al expresar que el beneficio marginal inmediato en la extracción actual del recurso ($\frac{\partial}{\partial x} [R(x)]$), debe de ser igual al valor presente de las pérdidas futuras en ingresos generadas por el cambio en el acervo ($s[P - C(x)]$) (Pearce y Turner 1990).

Por otro lado, $C'(x)F(x)$ mide el incremento en los costos de extracción futuros debido a una reducción en el acervo actual producto de un aumento en la tasa de extracción. Como consecuencia, esta expresión representa el efecto marginal en el acervo o, dicho en otras palabras, el efecto directo del bienestar en el acervo. Esta última idea se puede ver como $U' = \frac{\partial U}{\partial x}$, el cambio marginal en el nivel de utilidad. Por tanto, $P - C(x)$ es la utilidad neta de consumir o extraer el recurso ahora. De lo anterior se deriva lo que se conoce como la Regla de Ramsey:

$$(5) F'(x) + \frac{U'(x)}{U(U')} = s,$$

donde $F'(x)$ representa al producto marginal del recurso, $\frac{U'(x)}{U'(U)}$ la proporción entre los niveles de utilidad del recurso y de su extracción y s la tasa de descuento.

La ecuación (5) denota que la tasa de regeneración neta de un recurso natural debe de ser igual a la tasa de descuento. Ésta es, al mismo tiempo, mayor que el producto marginal del recurso $F'(x)$ si $U'(x) > 0$, es decir si un incremento en el acervo del recurso genera alguna utilidad, y menor si $U'(x) < 0$. En términos generales, $U'(x)$ será positiva para los recursos naturales y negativa para los acervos de "males" como la contaminación.

De lo anterior se puede deducir que la regla para los recursos naturales renovables cuando los precios cambian será:

$$(6) F'(x) - C'(x)F(x) = s - \frac{\dot{p}}{p - C(x)}$$

donde, $F'(x)$ es equivalente al producto marginal del recurso, por ejemplo la tasa de crecimiento natural del acervo, y $\frac{\dot{p}}{p}$ es la tasa de incremento en el precio real del recurso extraído. Extraer el recurso después y no ahora, le generará una ganancia al dueño del recurso a través del incremento en los precios.

La expresión:

$$(7) F'(x) + \frac{\dot{p}}{p} = s$$

indica que la productividad marginal del recurso más el incremento en los precios o aumento en la ganancia, cuando los costos de extracción son cero, deberá

equivaler a la tasa de descuento; idea ya expuesta anteriormente. Mientras el valor del acervo esté incrementándose, es recomendable detener la extracción del recurso y dejarlo crecer. El valor de x que resuelve la ecuación (9) es la cantidad de acervo óptima. De esto se desprenden dos reglas para los recursos renovables:

1. Si el acervo inicial es menor al óptimo, entonces será recomendable dejar el recurso, no extraerlo y permitir que crezca a su tasa natural para asegurar ganancias futuras.
2. Si el acervo inicial es mayor al óptimo, se aconseja extraer el recurso natural al punto en que el primero se aproxime al segundo.

Si en la ecuación (7), $s = 0$ entonces $\frac{\partial R}{\partial x} = 0$ de forma que la renta sustentable es maximizada, ya que la tasa de descuento es cero. En otras palabras, cualquier ganancia futura producto de una reducción actual de la tasa de extracción del recurso, durará indeterminadamente y, como el dueño del recurso es indiferente entre el valor presente y el futuro ($s = 0$), un sacrificio actual en el acervo siempre valdrá la pena. En el otro extremo, si $s = \infty$ el ingreso tiende a cero, ya que la tasa de descuento es infinita. Operar con este tipo de tasa es análogo al caso de "acceso libre" donde la renta es disipada entre todas las personas que extraen el recurso.

Si el beneficio marginal en la extracción del recurso ($\frac{\partial R}{\partial x}$) se asume que disminuye al aumentar el acervo del recurso, en ese caso la cantidad sustentable en el sentido social de un recurso renovable representa el tamaño de la población

del acervo del recurso X^* . Bajo este último supuesto los resultados que se obtendrían son los siguientes:

1. El acervo óptimo será menor cuanto más alta sea la tasa de descuento.
2. El acervo óptimo será menor cuanto menor sea el costo por unidad de extracción del recurso.
3. El acervo óptimo será menor cuanto mayor sea el precio unitario del recurso extraído.

Bajo la misma línea, si la tasa de descuento es una función directa del producto marginal del recurso e indirecta de la relación entre el costo de extracción y los ingresos percibidos, entonces la tasa de descuento queda expresada en términos de la productividad marginal del recurso, el ingreso de la persona que lo extrae y sus costos.

Si los costos por unidad extraída son cero, entonces el producto marginal del recurso será igual a la tasa de descuento s . El producto marginal de recurso será también la tasa de cambio del acervo x . Para cualquier acervo dado X_0 , $F(X_0)$ nos indica la adición al acervo en el próximo periodo. Si x es un poco mayor a X_0 , el incremento en el acervo de X_0 a X_1 será asociado con un incremento en la adición al acervo de $F(x_1) - F(x_0)$. $F'(x)$ es entonces el cambio porcentual en el tamaño de la población en cada periodo; es la tasa de regeneración del recurso. Si los costos no están relacionados con el tamaño del acervo del recurso, el acervo sustentable es alcanzado cuando la tasa de regeneración del recurso es igual a la tasa de descuento.

El producto marginal del recurso a extraer será igual a cero cuando se alcance la extracción máxima sustentable. Por consiguiente, este nivel de extracción será el indicado para el diseño de una política óptima si: a) los costos no están relacionados al tamaño del acervo y b) la tasa de descuento es cero. Si estos dos últimos puntos no se cumplen y los costos si dependen del tamaño del acervo, la tasa de regeneración del recurso debe de ser menor a la tasa de descuento. De igual forma, si la tasa de descuento se mantiene por arriba del producto marginal del recurso, entonces será conveniente el asegurar ingresos y transferir el monto de la inversión destinada a la extracción a otra actividad; conforme el acervo disminuye, su productividad marginal aumentará. El uso de tasas de descuento que excedan las tasas de retorno de un recurso renovable tendrá la tendencia de eliminar al recurso o a la especie en cuestión (Pearce y Turner 1990).

Condiciones de acceso

Las condiciones de acceso modificarán la cantidad sustentable a extraer y el momento de hacerlo de acuerdo al tipo de propiedad que se tenga, i.e. si los recursos naturales pertenecen a un solo propietario o en propiedad común. Para ello se tienen que definir primero que son los derechos de propiedad. Éstos son títulos que definen los derechos, privilegios y limitaciones de la persona que ha obtenido el uso exclusivo del recurso. La estructura de los derechos de propiedad tiene tres características principales: 1) exclusividad, 2) transferibilidad, y 3) cumplimiento. Una persona con derechos de propiedad bien definidos sobre un

recurso tiene el incentivo de hacer un uso eficiente, porque de lo contrario tendría una pérdida (Tietenberg 2000).

En el caso contrario, cuando los recursos naturales son de propiedad común, si los propietarios actúan colectivamente, el recurso será manejado para maximizar los beneficios de la extracción; sin embargo, éstos serán disipados con la entrada de nuevas personas, ya que los derechos de propiedad no están bien definidos. Consecuentemente, la cantidad de recurso extraído no es sustentable; el nivel del acervo disminuye a tal grado que se generan externalidades. Se alcanzará un nivel de extracción sustentable cuando no existen derechos de propiedad (solución de acceso libre), si los beneficios son disipados entre los usuarios y cada uno de ellos asegura un nivel normal de beneficios, más no el máximo. Si se genera un nivel de beneficios menor, es decir, si los ingresos totales son menores a los costos totales, algún usuario tendrá que dejar de extraer el recurso. De igual forma, si se están captando niveles de beneficios anormales, el ingreso total es mayor a los costos totales, y entrarán a la actividad nuevas personas; la solución será la de "acceso libre". En esta solución, el acervo del recurso es menor a la asociada con la maximización de beneficios y la tasa de extracción será más baja. En general, un nivel excesivo de extracción ocurre cuando los recursos son de "acceso libre" porque los individuos no se pueden apropiar de los beneficios generados por la escasez. El costo de oportunidad de sobreexplotar un recurso no forma parte del proceso de decisión; por consecuencia, en condiciones de "acceso libre", no hay incentivos para conservar los recursos naturales (Pearce y Turner 1990; Tietenberg 2000).

Cabe señalar que la solución de "acceso libre" es diferente a la de propiedad común. En esta última, el recurso pertenece a un grupo definido de personas (una comunidad). La maximización del beneficio en este caso puede ser óptima sólo en el sentido social, ya que las preferencias de los conservacionistas pueden implicar un valor de preservación cero del recurso. La forma en que los efectos colaterales de un grupo de individuos afectan a otro puede ser analizada económicamente a través de las externalidades y de los costos externos totales (TEC) (Pearce y Turner 1990).

Las externalidades son fallas del mercado en donde se violan los derechos de propiedad o éstos no existen y surgen cuando un agente no absorbe las consecuencias de su toma de decisiones; así, el bienestar de un agente no depende únicamente de sus actividades, sino también de las de otros (Tietenberg, 2000). La adición de las externalidades al análisis sugiere lo siguiente: a) la cantidad de recurso óptima se dará cuando el objetivo sea maximizar el beneficio neto comparado con la maximización de los beneficios simples; b) cuando los costos externos son considerablemente altos, el recurso será manejado óptimamente si no se explota y se le deja llegar a su equilibrio natural; c) la introducción de los costos sociales no significa particular atracción en la deseabilidad social de mantener los niveles del recurso en los sustentables (Pearce y Turner 1990).

Paralelo al problema de la generación de externalidades, también existen los generados por la existencia de bienes públicos. Éstos se caracterizan por ser no rivales y no exclusivos, es decir, el que una persona consuma este tipo de

bienes no disminuirá el consumo de otra y nadie es excluido de su consumo. La belleza escénica y la biodiversidad son ejemplos de bienes públicos. Si no están establecidos derechos de propiedad sobre estos dos ejemplos, la sobreexplotación de los recursos es probable que ocurra, lo que puede tener como consecuencia la destrucción de la belleza escénica o la reducción en la biodiversidad (Tietenberg 2000).

A partir del marco anteriormente expuesto se concluye que la extracción sustentable de un recurso es cuando no se reduce el capital natural con el que se cuenta, es decir, no disminuye el acervo, tomando en cuenta las características naturales del recurso y las condiciones de acceso a éste. Esta idea es consistente con el concepto de sustentabilidad fuerte anteriormente definido. Asociado a la generación de externalidades a partir de un nivel de extracción no sustentable de un recurso, existe el impacto de presiones en el ecosistema, el cual queda fuera del sistema de precios. A este último se le denomina externalidad no monetaria. A continuación se desarrolla este concepto.

1.2 Impacto de las externalidades no monetarias en los ecosistemas

En esta sección se expone, por medio del concepto de externalidades no monetarias, los impactos de la extracción no sustentable de recursos en un ecosistema. Es particularmente importante profundizar en este tema, ya que la presente investigación analiza el impacto de la sobreexplotación de las pozas en Cuatrociénegas, en el ecosistema del cual forman parte las poblaciones de estromatolitos. Como ya se mencionó, el valor del Valle radica principalmente en

su gran biodiversidad y en los servicios ambientales que provee el humedal. Si los ecosistemas son apropiadamente conservados, pueden proveer esta clase de bienes y servicios por periodos indefinidos de tiempo. Si, de lo contrario, se deterioran, el daño ecológico y ambiental conllevará importantes pérdidas de bienestar.

La biodiversidad se refiere tanto a la cantidad de variabilidad genética entre individuos de la misma especie como al número de especies dentro de una comunidad de organismos. La primera es crítica para la sobrevivencia de las especies en el mundo natural y es importante para el desarrollo de nuevos acervos de recursos naturales y capital natural. La segunda es primordial en la interdependencia de especies en comunidades ecológicas; cualquier especie en particular tiene un valor en la comunidad que va más allá del intrínseco. Ciertas especies contribuyen al balance y estabilidad de su comunidad ecológica al proveer fuentes de energía (Tietenberg, 2000). Las intervenciones locales en ecosistemas por parte de las personas crean externalidades al ejercer presiones en cadenas alimenticias, cambios en la biodiversidad, aumento en las densidades de población humana y ajustes geoquímicos. Estas externalidades resultan de los cambios en los equilibrios de los ecosistemas que afectan la utilidad o los procesos de producción de otras personas. Lo que convierte a estas externalidades particularmente dañinas es su sentido indirecto. La externalidad tradicional es formulada con la decisión de un agente teniendo un impacto en la función de otro. En el caso del ecosistema, la intervención de un agente impacta el bienestar de otro vía una serie de ajustes internos del ecosistema pero externos al

sistema de precios. Este tipo de externalidades presentan dos problemas: en primer lugar debe de haber información biológica adecuada para entender las interacciones del ecosistema. En segundo lugar, debe de haber un marco económico para usar la información en un análisis económico (Crocker y Tschirhart, 1982).

El marco teórico desarrollado por Crocker en Milon y Shogren (1995), supone que una disminución en la calidad de los ecosistemas incrementa el costo de acceso de los elementos que conforman al capital humano; también incrementa el de los recursos básicos para la vida y los insumos utilizados para la fabricación de bienes y servicios que los ecosistemas, vistos como capital natural, proveen. Un aumento en el costo de acceso reduce la capacidad de acumulación de capital humano de una persona, debido a que se reduce la eficiencia técnica y de asignación de recursos.

Para los ecosistemas, los costos de acceso son los que se tendrán que pagar por el uso de los recursos naturales para realizar las funciones de neutralización de desechos, conversión de la energía solar, provisión de materiales para la fabricación de bienes y de lugares de descanso, entre otros. Para el capital humano, incluyen dificultades para desarrollar la capacidad de funcionar como, por ejemplo, el costo de educación. La acumulación de daños ambientales incrementa los costos de acceso de las funciones del capital natural y del capital humano y, por lo tanto, reduce los incentivos de invertir en ellos. El consecuente aumento de los costos de acceso, provoca la sobreexplotación de

recursos, que se encuentran fuera el sistema de precios, utilizados para proveer los bienes y servicios esenciales para la vida (Crocker en Milon y Shogren 1995).

De acuerdo a Crocker (1995), la demanda de los individuos por actividades a las cuales el ecosistema es sensible, dependerá del nivel de utilidad que éstas les reporten. Dependiendo de las preferencias de los individuos, serán las externalidades que se generen. Por ello el problema del impacto en el ecosistema por actividades antropogénicas se puede modelar como la maximización de la utilidad individual sujeta a una restricción presupuestaria:

$$(8) U(r, s, g),$$

donde, r son actividades a las cuales la capacidad de carga del ecosistema es insensible; el capital físico es el insumo dominante en este tipo de actividades. Las actividades a las cuales la capacidad de carga del ecosistema es sensible quedan representadas por s . Por último, g representa los acervos efectivos de capital humano o, visto de otro modo, la proporción del potencial actual de un individuo a realizarse, dada su carga genética, su historia y las instituciones dentro de las cuales vive. Esta última variable será una función de las restricciones no ecosistémicas (h), y del potencial de cada individuo (H):

$$(9) g(h, H),$$

donde las parciales de g con respecto a h y con respecto a H serán negativas.

El individuo maximiza su utilidad sujeto a la restricción presupuestaria (Crocker en Milon y Shogren 1995):

$$(10) X + c(Q)g(h, H) = p(Q)s + r,$$

donde X es la riqueza monetaria, c el costo de acceso a los medios necesarios para desarrollar el potencial humano, Q es la capacidad de carga del ecosistema y p es el costo de acceso de las actividades sensibles a la capacidad de carga. La expresión $c(Q)g(h, H)$, implica que la riqueza individual incrementa con el aumento de los acervos de capital humano y en el costo de acceso que otras personas tienen de los mismos acervos. El precio de r es normalizado a la unidad.

El costo de acceso de las actividades a las cuales la capacidad de carga es sensible se incrementa con las pérdidas de resiliencia, resistencia, estabilidad y persistencia del ecosistema, de tal modo que $p' < 0$ y $p'' > 0$.

La capacidad de carga del ecosistema que va a preferir un individuo es:

$$(11) Q^* = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right) p' + \left(\frac{\partial V}{\partial c}\right) c' = 0,$$

que representa que un individuo desea acceso de tal manera que la contribución marginal de utilidad por unidad monetaria gastada es igual en actividades a las cuales la capacidad de carga del ecosistema es sensible y en desarrollo de capital humano potencial. Para que esto suceda se requiere que $c' < 0$ ya que $p' < 0$, $\frac{\partial V}{\partial p} > 0$ y $\frac{\partial V}{\partial c} > 0$. El nivel de capacidad de carga preferida, Q^* implica que algún incremento en la capacidad de carga del ecosistema reduce los costos de poder desarrollar el potencial humano.

La demanda por actividades a las cuales la capacidad de carga del ecosistema es sensible se expresa por medio de la expresión:

$$(12) \frac{\partial S}{\partial Q} = \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right) p' + \left(\frac{\partial S}{\partial c}\right) c'$$

donde $\frac{\partial S}{\partial Q}$ es la demanda por actividades a las cuales la capacidad de carga el ecosistema es sensible, $\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right) p'$ son los costos de acceso de las actividades sensibles a la capacidad de carga y $\left(\frac{\partial S}{\partial c}\right) c'$ son los costos de acceso a los medios necesarios para el desarrollo del potencial humano.

Esta demanda aumentará como resultado del impacto de la capacidad de carga en los costos de acceso de las actividades sensibles a la capacidad de carga y sobre los costos de acceso de los medios necesarios para el desarrollo del potencial humano. Dado que la demanda por actividades a las cuales la capacidad de carga de los ecosistemas es sensible se puede ver como la demanda de la capacidad de carga de los mismos, la expresión (16) implica que la demanda por capacidad de carga es influenciada por los costos de acceso al capital humano. Como las actividades a las cuales la capacidad de carga es sensible son bienes normales, es decir, si disminuye su precio aumenta su demanda, el término $\frac{\partial S}{\partial c}$ tiene que ser negativo o cero, si una reducción en los costos de acceso de capital humano aseguraría un incremento en el valor individual, será atribuido a la capacidad de carga del ecosistema. Si se cumple el primer caso, el capital humano y las actividades a las cuales la capacidad de carga es sensible y, por lo tanto, la capacidad de carga del ecosistema son complementos. Si de lo contrario, son sustitutos, reducciones en el costo de acceso de los medios para aumentar el capital humano desalentarán la demanda de capacidad de carga. En resumen,

shocks exógenos inducen cambios en la capacidad de carga del ecosistema, lo que alentará o desalentará la demanda de más cambios de acuerdo a si la capacidad de carga y el capital humano son complementos o sustitutos (Crocker en Milon y Shogren 1995).

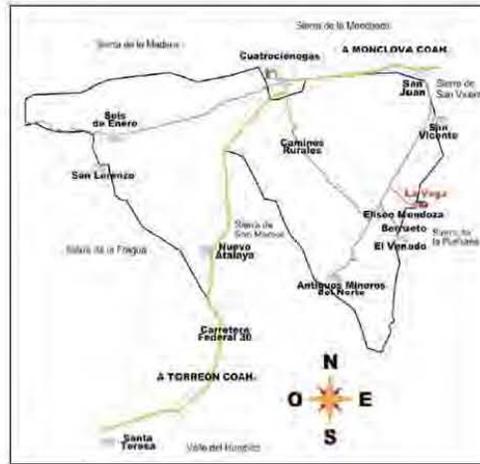
Para medir el bienestar de los sistemas naturales y económicos, la adaptación que un sistema lleva a cabo en respuesta a un cambio en el otro puede inducir más cambios en el sistema que detonó el cambio inicial. Los cambios netos en cualquiera de los dos sistemas generalmente no pueden ser explicados independientemente de los factores que influyen en los procesos de adaptación de ambos sistemas.

En la siguiente sección se detallan las presiones en el Valle de Cuatrociénegas y se profundiza en la generación de externalidades por la sobreexplotación de agua de las pozas en la biodiversidad, particularmente en la población de estromatolitos.

2. Análisis de la generación de externalidades en la población de estromatolitos

El valle de Cuatrociénegas está localizado en la zona central del Estado de Coahuila, México. Se encuentra en la región conocida como alliplano septentrional o desierto chihuahuense, localizado al este de la Sierra Madre Oriental y al oeste de la Sierra Madre Occidental. Cuatrociénegas cuenta con una superficie de 84,347 ha. Tiene un clima muy seco semi-cálido, con muy bajo porcentaje de lluvias invernales.

Mapa 1. Cuatrociénegas



Fuente: SEMARNAT. Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatrociénegas.

La combinación de aislamiento y condiciones extremas de sequedad, humedad y salinidad, junto con la presencia de suelos yesosos, hacen que en el valle de Cuatrociénegas subsistan más de 70 especies endémicas.² Algunos de los grupos más estudiados de taxas endémicos son: Carcinofauna (diversidad crustáceos), Malacofauna (moluscos terrestres y acuáticos), Ictiofauna (importantes grupos de peces), Ornitofauna (avifauna), Mastofauna (mamíferos), por el lado de la fauna. Por el lado de la flora, la vegetación del valle se reparte entre pastizal halófilo y vegetación acuática; plantas gypsófilas en las dunas de yeso, matorral xerófilo y

² Algunos de los grupos más estudiados de taxas endémicos son: Carcinofauna (diversidad crustáceos), Malacofauna (moluscos terrestres y acuáticos), Ictiofauna (importantes grupos de peces), Ornitofauna (avifauna), Mastofauna (mamíferos).

matorral submontano en las partes más elevadas. En el valle hay más de 800 especies de plantas vasculares y se reportan 23 taxas endémicos.

| Cuadro 1. Peces de Cuatrociénegas | | |
|--|---------------------------------|---------------------|
| Nombre común | Nombre científico | Distribución |
| Sardinita de Cuatrociénegas | <i>Cyprinella xantacara</i> | Endémico |
| Cachorrito del Bolsón | <i>Cyprinodon atrorus</i> | Endémico |
| Cachorrito de Cuatrociénegas | <i>Cyprinodon bifasciatus</i> | Endémico |
| Espada de Cuatrociénegas | <i>Xiphophorus gordoni</i> | Endémico |
| Dardo de Cuatrociénegas | <i>Etheostoma lugoi</i> | Endémico |
| Mojarra de Cuatrociénegas | <i>Cichlasoma minckleyi</i> | Endémico |
| Pez mosquitero | <i>Gambusia longispinis</i> | Endémico |
| Sin nombre | <i>Lucania interioris</i> | Endémico |
| Perrito de Agua | <i>Astyanax mexicanus</i> | Nativo |
| Lisa o Carpa del Bravo | <i>Dionda episcopa</i> | Nativo |
| Bagre Azul | <i>Ictalurus lupus</i> | Nativo |
| Bagre o Pintonle | <i>Pylodictis olivaris</i> | Nativo |
| Pez Mosquitero | <i>Gambusia marshi</i> | Nativo |
| Lobina o Robalo | <i>Micropterus salmoides</i> | Nativo |
| Mojarra del Sol | <i>Lepomis megalotis</i> | Nativo |
| Mojarra del Río Bravo | <i>Cichlasoma cyanoguttatum</i> | Nativo |
| Carpa | <i>Cyprinus carpio</i> | Exótico |
| Pez Joya | <i>Hemicromis bimaculatus</i> | Exótico |
| Cachorrito del Bolsón | <i>Cyprinodon atrorus</i> | Amenazado |
| Cachorrito de Cuatrociénegas | <i>Cyprinodon bifasciatus</i> | Amenazado |

| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| Espada de Cuatrociénegas | <i>Xiphophorus gordonii</i> | En peligro de extinción |
| Mojarra de Cuatrociénegas | <i>Cichlasoma Minckleyi</i> | En peligro de extinción |
| Lisa o Carpa del Bravo | <i>Dionda episcopa</i> | En peligro de extinción |
| Pez mosquitero | <i>Gambusia longispinis</i> | Amenazado |
| Mojarra del Sol | <i>Lepomis megalotis</i> | Amenazado |
| Sin nombre | <i>Lucania interioris</i> | En peligro de extinción |
| Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)-Instituto Nacional de Ecología, World Wildlife Fund y PROFAUNA, A.C. 2000. <i>Guía de Peces de Cuatrociénegas</i> . | | |

2.1 Presiones generales del Valle de Cuatrociénegas

La situación actual de Cuatrociénegas presenta síntomas de sobreexplotación. La cantidad extraída de recursos naturales disponibles en el área está provocando una disminución del acervo natural. Bajo la lógica de la economía de los recursos naturales se tendrá que estimar cuál será la cantidad sustentable que se puede aprovechar sin que esto suceda. Esta evaluación dependerá de las características biológicas de cada especie en riesgo. Es decir, la cantidad de extracción sustentable será diferente para la alfalfa (forrajera; ver cuadro 2), el mezquite, las cactáceas, para el acervo pesquero (las especies más pescadas son: bagre, róbalo, mojarra y carpa), o para la extracción de agua de las pozas. Así, las personas que realizan estas actividades económicas en busca de un beneficio tendrán que tomar en cuenta esto para determinar qué cantidad se extrae, y cuándo.

| Cuadro 2. Producción de alfalfa (ciclo 2007) | | |
|--|-----------------|-----------------------|
| | Coahuila | Cuatrociénegas |
| Superficie sembrada (ha) | 23,100 | 2,800 |
| Superficie sembrada (%) | 100 | 12.12 |
| Producción (ton) | 1,820,981.2 | 153,608 |
| Valor producción (miles de pesos) | 652,308.7 | 89,092.6 |
| Fuente: SAGARPA, Anuario estadístico de la producción agrícola | | |

Las presiones al valle incluyen explotación no sustentable de agua, especies invasoras, desarrollo industrial, un aumento rápido del turismo y el crecimiento de la población. Debido a la exportación del agua fuera del valle y su uso dentro, se provocaron disturbios como la interconexión artificial de los manantiales, la disminución de las áreas inundadas dentro del valle y cambios en los niveles de agua en algunas pozas. La extracción anual de agua es de 49 millones de m³ y la recarga es de 25 millones de m³, por lo que su condición en el acuífero es de sobreexplotación.

En el área natural protegida como en las áreas vecinas, las especies de interés cinegético, especialmente de caza mayor, han sido sobreexplotadas y en

algunos casos extirpadas de la región (caso del borrego cimarrón cuya venta sin permiso se realiza por hasta \$50 mil dólares). Por otro lado, las especies vegetales de mayor importancia desde el punto de vista económico son las que sirven como forraje al ganado caballar (principalmente alfalfa), así como el mezquite, que es explotado comercialmente en forma de leña (precio por unidad de leña de mezquite es de \$1.50). Algunas especies del matorral desértico, especialmente las cactáceas, enfrentan dos presiones: la sustracción total de la vegetación para abrir tierras al cultivo y por otra parte la colecta especializada para coleccionistas (en el comercio ilegal los precios varían de \$2 a \$2000 dólares). Adicionalmente, en el valle de Cuatrociénegas existen tres fuentes de contaminación importantes: 1) desechos sólidos, 2) aguas residuales, y 3) fugas del ferrocarril. Aunado a estas fuentes, los incendios, que son frecuentes, causan la destrucción directa de la vegetación y la fauna, la pérdida de sitios de refugio y anidamiento de los animales.

Por otro lado, a raíz del reparto agrario, en el valle coexisten ejidos y propiedades privadas, dando lugar a un mosaico complejo de tenencia de la tierra. La mezcla de propiedades comunales y privadas, tiene como consecuencia un aprovechamiento de los recursos naturales muy heterogéneo. En estas tierras se sigue practicando la agricultura, se practica la ganadería extensiva, el aprovechamiento de madera para leña y la extracción de sales, especialmente magnesio. El acceso a los recursos está así determinado por su localización en cada tipo de propiedad. Donde se encuentra mayor problema es en las propiedades comunales. La cantidad de extracción sustentable de un recurso, en

términos biológicos y económicos, dependerá entonces de su acceso y será diferente en propiedad privada y en propiedad comunal.

A continuación se profundiza en el impacto de la extracción no sustentable de agua de las pozas de Cuatrociénegas en la población de estromatolitos y se hace hincapié en la importancia de los mismos para el ecosistema, razón suficiente para la conservación ecológica del Valle.

2.2 Externalidades en la población de estromatolitos

Dentro de las pozas del Valle de Cuatrociénegas se encuentran los estromatolitos, acumulaciones de sedimentos carbonosos formados por una comunidad microbial, principalmente por cianobacterias, ubicadas en la zona fótica de medios acuáticos; son la forma más primitiva de vida que existe. Estos organismos fijan CO₂ atmosférico en forma de CaCO₃, realizan fotosíntesis oxigénica y liberan O₂ a la atmósfera. Los estromatolitos son extremadamente sensibles a cambios en niveles de agua, pues al quedar expuestos a la superficie mueren, y al pisoteo del fondo de las pozas, resultado de las actividades recreativas ligadas al agua (INE 1999). Los estromatolitos son endémicos del área, por lo que si se continúa extrayendo una cantidad de agua no sustentable, las poblaciones de estos organismos podrían disminuir a la extinción.

Imagen 1. Estromatolitos



Izquierda: hábitat estromatolitos. Derecha: vista ampliada a microscopio de estromatolitos
Fuente: <http://www.desertfishes.org/cuatroc/organism/stromatolites.html> (Septiembre 2009)

Los cambios en los niveles de agua de las pozas son explicados por la continua extracción de agua para uso doméstico, agrícola y ganadero. Específicamente, se explota este recurso natural para la producción de forrajes y en menor escala en cultivos como avena, sorgo, maíz y frutales como el nogal (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2006).

A pesar de existir medidas de monitoreo del flujo de agua en el valle y de regulación por medio de un sistema de señalamiento, las intervenciones humanas en Cuatrociénegas antes descritas crean externalidades en los ecosistemas. Estas externalidades resultan de cambios en los equilibrios ecosistémicos dentro de las pozas y a sus alrededores. La extracción de un bien económico como lo es el agua está deteriorando el hábitat en el que viven los estromatolitos, microorganismos sin fines económicos. Esta última idea expresa la importancia de la generación de externalidades no monetarias (sensu Milon & Shogren 1995),

expuesta anteriormente. Estas externalidades son particularmente dañinas por sus efectos indirectos; la extracción de agua de los agricultores o particulares tiene un impacto no sólo en la posibilidad de extracción de otros agricultores o particulares, sino en las especies de flora y fauna que viven en las pozas. Estos impactos se dan por medio de una serie de cambios internos en el ecosistema pero que quedan fuera del sistema de precios, ya que no son incluidos en las funciones de costos de los agricultores o particulares.

El marco teórico revisado en este trabajo supone que un deterioro ambiental incrementa los costos de acceso al capital humano; también aumenta el costo de acceso a los recursos básicos para la vida e insumos que el capital natural brinda por medio de los ecosistemas. En el caso de Cuatrociénegas, la extracción excesiva de agua de las pozas incrementa los costos de acceso de agua al incrementar la escasez y al desequilibrar los ecosistemas que ahí viven. Si se parte del supuesto que el capital humano se incrementa por medio de educación, salud y bienestar, la escasez de agua está ligada a problemas que afectan directamente a las personas. El impacto de éstos radica no solamente en un posible deterioro de la salud al disminuir la capacidad de tener higiene personal por falta de agua, sino por una reducción en el bienestar humano por pérdida de biodiversidad y, por consiguiente, de capital natural. Esto se puede ver reflejado en una disminución en la cantidad y calidad de los servicios ambientales, como son la neutralización de contaminantes, la conversión de energía solar y la provisión de insumos. Adicionalmente, se pueden ver cambios en la belleza

escénica del lugar y en la composición de especies endémicas como son los estromatolitos.

Dentro del valle existen ejidos, que funcionan como propiedad comunal, y propiedad privada. En ambas se han desarrollado actividades agrícolas y de ganadería extensiva. El suelo del valle no debería de ser utilizado con fines agrícolas por sus características de salinidad, sin embargo, hay evidencias de cambio de uso de suelo para el cultivo. Las actividades agrícolas y ganaderas demandan grandes cantidades de agua, la cual se extrae de las pozas del Valle. La actividad agrícola que más se practica es el cultivo de alfalfa; cultivo que a su vez demanda grandes cantidades de agua y que suministra forraje para el ganado.

Las pozas en Cuatrociénegas se encuentran en propiedad común, donde no están bien definidos los derechos de propiedad, es decir, no existe exclusividad, transferibilidad, o cumplimiento de reglas que se puedan establecer, sin embargo, los usuarios directos del agua por medio de canales y otro tipo de infraestructura, son individuos que utilizan el agua en su propiedad privada. Como consecuencia no existen incentivos para la conservación del recurso hídrico. Los usuarios del agua de las pozas no actúan colectivamente para asegurar un nivel de extracción sustentable, sino que cada individuo o grupo explota el recurso de acuerdo a sus necesidades e intereses. Ante una situación anteriormente descrita, los costos de acceso por el uso del agua de las pozas no son absorbidos por nadie. El efecto resultante en el ecosistema es que la población de estromatolitos, organismos muy sensibles a cambios en los niveles del agua y su salinidad, se ve afectada.

Los impactos en la población de estromatolitos, ende en el capital humano y natural están íntimamente ligados a la tasa de extracción de agua que los agricultores y las personas aplican. Las condiciones de sobreexplotación de las pozas en Cuatrociénegas ya están mostrando sus consecuencias directas en la pérdida de biodiversidad y cambios en el paisaje. No se tienen un control sobre el momento en que se puede extraer el agua de modo que se asegure una explotación sustentable. La toma de decisión de extracción depende del tipo de usuario, es decir, ésta varía si el uso final del agua es doméstico o para el cultivo de forrajeros para la alimentación del ganado. Los intereses involucrados en la explotación de los recursos en Cuatrociénegas son muy heterogéneos lo que dificulta el llegar a una convención sobre el nivel de conservación que se quiere sostener.

3. Recomendaciones de manejo

Dentro de la lista de soluciones posibles para internalizar las externalidades expuestas en las secciones anteriores, hay aquellas que entran dentro de las tres categorías siguientes: 1) tecnológicas, 2) normativas, y 3) económicas³. Estas últimas son las que mejor podrían corregir las presiones bajo las cuales se encuentra el Valle de Cuatrociénegas. Dentro de las soluciones de tipo económico encontramos los instrumentos: 1) Fiscales: derechos, impuestos y estímulos; 2) Financieros: fianzas, seguros de responsabilidad civil, garantías, fondos,

³ Miguel A. Gallardo (1996). La contaminación atmosférica de fuentes industriales y los permisos comerciales como una posible solución. INE, SEMARNAT.

fideicomisos y créditos; y 3) De mercado: concesiones, autorizaciones, licencias, permisos comercializables de contaminación, sistemas depósito reembolso y sobrepagos⁴. Este conjunto de posibles instrumentos, enfatizando en los fiscales y los de mercado, es una buena opción para detener el gran deterioro que presenta Cuatrociénegas.

Los instrumentos económicos se tendrán que diseñar, desarrollar y aplicar para: 1) promover la modificación en la conducta de las personas para que los intereses de éstas sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y desarrollo sustentable; 2) fomentar la recopilación de información confiable y suficiente sobre las consecuencias, beneficios y costos ambientales al sistema de precios; 3) dar incentivos a las personas que protejan, preserven o restauren el equilibrio ecológico, así como ver que las personas que dañen el ambiente asuman los costos respectivos; 4) promover una mayor equidad social en la distribución de costos y beneficios asociados a la política ambiental; y 5) procurar la utilización conjunta con otros instrumentos de política ambiental⁵.

Aunado al problema de selección de un instrumento, encontramos los problemas de monitoreo, vigilancia y financiamiento de los mismos. Una ventaja de los instrumentos fiscales es su capacidad de recaudar recursos que podrán ser utilizados para mejorar la calidad del ambiente⁶.

⁴ Ley General de Equilibrio Ecológico, capítulo IV, sección III, artículo 22.

⁵ Ibid.

⁶ Barde, Jean Philippe (2002). Reformas fiscales ambientales: una revisión de la experiencia en países de la OCDE. INE, SEMARNAT.

Con base en este primer análisis económico, se pueden hacer las siguientes recomendaciones para el manejo del Área de Flora y Fauna Cuatrociénegas:

1. Aplicar un mayor control en las actividades recreativas permitidas y no permitidas relacionadas con las pozas de agua, por medio de reglas más estrictas y sanciones que efectivamente se lleven a cabo.
2. Tener mayor regulación del uso de suelo y cambios que se puedan dar de este de la cantidad de agua extraída para fines agropecuarios.
3. Asimismo, implantar un mejor sistema de riego y de drenaje más eficiente, que permita un mejor aprovechamiento del agua en el Valle para las actividades agropecuarias y domésticas ya existentes que demandan de estos servicios. Así como un esquema específico de uso de agua para tipo de propiedad.
4. Promover e impartir mayor conciencia sobre el valor de la biodiversidad y de los otros servicios ambientales que proporciona el Valle de Cuatrociénegas no sólo para las generaciones presentes sino también para las futuras. Este punto se puede hacer por medio de campañas y talleres de educación ambiental dados no sólo en el Área de Flora y Fauna de Cuatrociénegas, sino a nivel nacional.

4. Conclusiones

El trabajo aborda por primera vez, desde la economía de los recursos naturales y más específicamente desde el enfoque de las externalidades no monetarias, el

impacto de la actividad humana en la pérdida de biodiversidad en el Valle de Cuatrociénegas. Concretamente se analiza la disminución en la población de los estromatolitos, organismos endémicos del valle, por la extracción excesiva de agua de las pozas en donde viven y por las actividades humanas recreativas no controladas.

De acuerdo al análisis hecho en el trabajo se puede concluir que:

1. La extracción de agua de las pozas de Cuatrociénegas se da por grupos muy heterogéneos que no comparten los mismos intereses o necesidades.
2. La extracción no sustentable del agua en las pozas del Valle genera externalidades monetarias y no monetarias. Las primeras se dan al impactar negativamente en las funciones de agentes económicos (agricultores), elevando sus costos o generando pérdidas. Las segundas surgen cuando se provocan desequilibrios en el ecosistema, los cuales quedan fuera del sistema de precios.
3. La generación de externalidades no monetarias incrementa los costos de acceso e incentiva la extracción en su totalidad de ecosistemas, los cuales no tienen un precio establecido pero que son esenciales para la vida al proporcionar bienes y servicios como alimentación y recreación.
4. Como consecuencia del punto anterior, en las pozas de Cuatrociénegas, está disminuyendo la población de estromatolitos. Si no se controla el deterioro de su hábitat éstos podrían extinguirse.

5. Las condiciones de extracción de agua depende del uso final que se le dé. Es diferente la cantidad requerida para el cultivo de forrajeros que para el uso doméstico.
6. Las medidas de monitoreo y regulación así como las acciones de manejo no son suficientes para proteger el delicado ecosistema que vive en Cuatrociénegas.

Bibliografía

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2006). "Los estromatolitos del Valle de Cuatrociénegas" en *El Garabatal*, junio 2006. Núm. 4

Common, M. (1988). *Environmental and Resource Economics: an introduction*. Longman, London and New York.

Conrad, Jon y Colin Clark (1987). *Natural resource economics. Notes and problems*. Cambridge University Press

Espinosa, Laura, Ana Escalante y Valeria Souza. *El mar en el desierto y su importancia para la conservación*. Departamento de Ecología Evolutiva, Instituto de Ecología, UNAM

INE (1999), *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas*. México

Manzano, Mario. *El mezquite: su importancia en las zonas áridas y semiáridas de México*. Pronatura, Unión Forestal, INIFAP y Centro de Calidad Ambiental ITESM)
Rivera Liliana (2004). *Comercio de fauna en Colombia e información oculta: nuevos retos en la regulación para su uso sostenible*. Magister en economía del medio ambiente y recursos naturales. Bogotá, Colombia.

Milton, J.W. y J. F. Shogren (1995). *Integrating Economic and Ecological Indicators*. Praeger, Westport y London. 216 pp.

Pearce and Turner (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*.

Planeación del uso del agua en el Valle de Cuatrociénegas.
Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) Ramsar Convention on Wetlands,
Ramsar, Irán, 1971 (<http://www.wwf.org.mx>)

SAGARPA, *Anuario estadístico de la producción agrícola*

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP)-
Instituto Nacional de Ecología, World Wildlife Fund y PROFAUNA, A.C. 2000. *Guía
de Peces de Cuatrociénegas*

Souza, Valeria et al. (2006). "An Endangered Oasis of Aquatic Microbial
Biodiversity in the Chihuahuan Desert". PNAS, vol. 103, núm. 17

_____ (2004), "Cuatrociénegas, un laboratorio natural de
astrobiología". *Ciencias* núm. 75.

The Nature Conservancy y ProNatura (2001). "El Área de Protección de Flora y
Fauna Cuatrociénegas". Comunicado de prensa: *Compra y protección de un oasis
en el desierto*, 21 de noviembre de 2001.

<http://www.parksinperil.org/espanol/dondetrabajamos/mexico/areaprotegida/cuatro.html>

Tietenberg, Tom (2000). *Environmental and Natural Resource Economics*.
Addison-Wesley 5th Ed. USA

<http://www.desertfishes.org/cuatroc/organisms/stromatolites.html> (Septiembre
2009)