



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



**EL COSTO DE OPORTUNIDAD COMO
INSTRUMENTO DE APOYO PARA EL PAGO POR
SERVICIOS AMBIENTALES**

**Caso de estudio: Programa de pago por servicios
ambientales hidrológicos en el Estado de México**

Tesis presentada por

Edgar Brunett Zarza

para obtener el grado de

**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL
DEL AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México

2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de Tesis:

 Dr. Ismael Aguilar Benítez

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. _____

2. _____

3. _____

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del problema, antecedentes y delimitación.....	3
Objetivo general	7
Objetivos específicos.....	7
Hipótesis.....	7
Justificación del estudio	8
CAPÍTULO I. SERVICIOS AMBIENTALES, MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	10
1.1 Desarrollo y sustentabilidad.....	10
1.2 La economía ambiental	11
1.3 Los servicios ambientales y su valoración	13
1.4 Los programas de pago por servicios ambientales.....	18
1.4.1 Estructura de un programa de pago por servicios ambientales	21
1.4.2 Evaluación de los programas de pago por servicios ambientales.....	25
1.5 El análisis de costo de oportunidad	27
CAPÍTULO II. EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN EL ESTADO DE MÉXICO.....	32
2.1 El programa de pago por servicios ambientales en el Estado de México	32
2.1.1 Estructura del programa.....	34
2.1.2 Resultados del programa	36
2.1.3 Evaluación del programa.....	37
2.2 Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT)	39
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	45
3.1 Procedimiento para la obtención del costo de oportunidad.....	48
3.1.1 Análisis de cambios de uso de suelo	48

3.1.2 Medición de captura de carbono.....	49
3.1.3 Medición de recarga de acuíferos.....	52
3.1.3.1 Coeficiente de escurrimiento	53
3.1.4 Cálculo de rentabilidad.....	54
3.1.4.1 Rentabilidad de agricultura.....	55
3.1.4.2 Rentabilidad de bosques densos.....	56
3.1.4.3 Rentabilidad de bosques semidensos	56
3.1.4.4 Rentabilidad de bosques fragmentados.....	56
3.1.4.5 Rentabilidad de otros usos	57
3.1.5 Ingresos extras por el cambio de uso de suelo.....	58
3.1.6 Valor Presente Neto.....	58
3.2 Cálculo de la gráfica de costo de oportunidad	59
3.2.1 Matriz de costos.....	60
3.2.2 Matriz de efectos ambientales	61
3.3 Escenarios futuros	63
3.4 Análisis de resultados.....	64
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	65
4.1. Identificación de usos de suelo.....	65
4.2 Cambios de usos de suelo.....	66
4.3 Identificación de los servicios ambientales	69
4.4 Rentabilidad	71
4.5 Costo de oportunidad	72
4.6 Resultados de escenarios futuros.....	77
4.7 Discusión de resultados	81
CONCLUSIONES.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2. Mecanismos basados en el mercado para los servicios	20
Figura 2.1 Ubicación del PNNT.....	39
Figura 3.1. Cálculo de gráfica de costo de oportunidad con base en matrices.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1 El costo de oportunidad en dos actividades económicas.....	28
Gráfica 2.1 Habitantes en el Estado de México 1900-2030.....	33
Gráfica 2.2 Hectáreas forestales por habitante en el Estado de México	33
Gráfica 4.1 Cambios en la densidad forestal de los bosques PNNT (1972-2000)	68
Gráfica 4.2 Costo de oportunidad relacionado a la recarga de agua al acuífero del PNNT	76
Gráfica 4.3 Cambios en la densidad de cobertura forestal de los bosques PNNT (Escenario 2000-2020)	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resultados de convocatorias del programa de PSAHEM	36
Tabla 3.1 Responsables y/o investigadores entrevistados.....	46
Tabla 3.2. Carbono promedio capturado por tipo de bosque en el PNNT	50
Tabla 3.3. Valores de K para los diferentes tipos de suelo y coberturas forestales.	53
Tabla 3.4. Información de siembra y cosecha de un productor de papa en el PNNT	55
Tabla 4.1. Comparativo de usos de suelo en el PNNT 1972-2000	67
Tabla 4.2 Relación entre densidad de cobertura forestal y provisión de servicios ambientales.....	70
Tabla 4.3 Rentabilidad en VPN de los usos de suelo del PNNT	71
Tabla 4.4 Recarga de acuíferos y costo de oportunidad derivados del cambio de uso de suelo de los bosques del PNNT. Periodo 1972-2000	73
Tabla 4.5 Costos de oportunidad y efectos ambientales en PNNT (Escenario 2020)...	79
Tabla 4.6 Costos de oportunidad y efectos ambientales en un escenario para el 2020 donde se evitan algunos cambios de uso de suelo en el pnnt.....	80

RESUMEN

El presente trabajo muestra la utilidad de incorporar un análisis de costo de oportunidad en el diseño e implementación de un programa de pago por servicios ambientales. La metodología utilizada tiene sus bases en la economía ambiental, con la cual se calculó el costo de oportunidad del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. Se integraron variables económicas como la rentabilidad de los usos de suelo, y variables ambientales como la recarga de acuíferos y la captura de carbono que generan los bosques del parque.

Los resultados revelan que los procesos de cambio de uso de suelo y degradación forestal ocurridos en el Parque Nacional Nevado de Toluca han impactado negativamente en la dotación de servicios ambientales, además de que a medida que pasa el tiempo, aumentan los costos monetarios necesarios para evitar dichos procesos y los beneficios ambientales son cada vez menores.

La información obtenida del análisis de costo de oportunidad se puede utilizar en un programa de pago por servicios ambientales para identificar áreas prioritarias de conservación, así como para evaluar la viabilidad económica para conservar estas zonas. Los resultados de este tipo de estudios también permiten un acercamiento para conocer la disposición que tienen los dueños de terrenos forestales para ser compensados económicamente por la dotación de estos servicios. De esta manera, se concluye que los elementos estudiados contribuyen de manera importante para el diseño e implementación de políticas de gestión enfocadas a la protección de servicios ambientales.

ABSTRACT

The current study shows the core significance of incorporating an opportunity cost analysis for the design and implementation of a payment for environmental services program. The theoretical foundations of the applied methodology are related with environmental economics, which allowed to calculate the opportunity cost of the Nevado de Toluca National Park, Mexico. It considered the integration of economic variables such as the profitability of land uses, and environmental variables such as groundwater recharge and carbon sequestration by forests of the park.

Results show that the processes of land use change and forest degradation that have occurred in the Nevado de Toluca National Park, have had a negative impact on the provision of environmental services. In addition, data show that as time passes by the necessary monetary costs in order to avoid these processes have been increasing and the environmental benefits have been dwindling.

The obtained information throughout the opportunity cost analysis can be used in programs of payments for environmental services to identify priority conservation areas as well to assess the economic viability to preserve these zones. Results of these kinds of studies also offer an approach to understand the forest owners' willingness to accept compensation in return to the provision of an environmental service. Concluding remarks emphasizes that analyzed elements can contribute significantly to the design and implementation of policies aimed at the protection of environmental services.

INTRODUCCIÓN

Pese a las distintas visiones y discusiones que se tienen sobre lo establecido en el informe Brundtland en 1987, respecto a la idea de que el verdadero desarrollo debe ser sostenible en el tiempo, y que por tanto, las actividades humanas del presente no deben afectar el bienestar y la posibilidad de acceso a los recursos del futuro. Se puede decir que cada día es mayor la necesidad y el interés por cumplir con estos supuestos (Hamdouch y Zuideau, 2010).

Las diferentes cumbres internacionales, acuerdos, tratados y políticas cuyo eje principal es el medio ambiente, buscan denotar la importancia de la relación entre el ser humano y la naturaleza, por ello incorporan nuevos conceptos. Un ejemplo específico de esta conceptualización, son los servicios ambientales o ecosistémicos, entendidos estos como los beneficios que la sociedad recibe del ecosistema (Daily, *et al.*, 1997). Su reconocimiento y protección hacen eco en el discurso político internacional a partir de los conflictos y problemas ambientales sucedidos alrededor del planeta, lo cual fortalece el interés para el establecimiento y definición de programas enfocados a la gestión de los recursos naturales.

Al respecto, los programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) son mecanismos creados para dar un mejor tratamiento a los ecosistemas, y utilizados como estrategias para alcanzar el desarrollo sostenible (Landell-Mills y Porrás, 2002). La lógica que sustenta estos programas es que en la sociedad existen actores que se benefician de los servicios ambientales y que por lo tanto deberían retribuir un pago o incentivo como recompensa a los actores que conservan o restauran estos servicios.

Existen algunos casos de éxito que pueden ser una pauta para observar las ventajas que un programa de pago por servicios ambientales ofrece. Al respecto Landell-Mills y Porrás (2002) exponen un estudio donde fueron comparados programas PSA en diferentes países, los resultados muestran que un previo diagnóstico y un correcto diseño, son elementos indispensables para su implementación. En este mismo sentido, Mayrand y

Paquin (2004) revelan que los programas de PSA tienden a funcionar mejor si se basan en evidencia científica que vincule los usos del suelo con la oferta de los servicios ambientales.

De los diferentes organismos que han incorporado este tipo de políticas ambientales, se destaca el gobierno del Estado de México, el cual, mediante el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable 2005-2025, identifica la implementación de programas de pago por servicios ambientales como una medida de gestión ambiental, con el objetivo de crear acciones encaminadas a combatir los problemas de deforestación y degradación que presentan los bosques en dicho Estado.

Derivado de esta medida, surge en el año 2007 el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM) cuyo objetivo es conservar las áreas de bosque que permiten la recarga hídrica para garantizar el suministro de agua; mediante la compensación de \$1,500.00 pesos anuales por hectárea, a los dueños, poseedores y/o usufructuarios de los terrenos forestales por el servicio ambiental que ofrecen estas áreas.

En el presente estudio se proponen elementos que pudieran incorporarse en diseño e implementación del programa de PSAHEM, con la finalidad de mejorar la eficiencia de este programa. Para lograrlo, se tomaron como referencia diferentes experiencias a nivel mundial en programas similares, y se utilizó el instrumento económico de costo de oportunidad.

Se partió de la idea de que la tarifa de pago del PSAHEM, debe ser suficiente para compensar a los dueños de los terrenos forestales por las acciones de conservación realizadas, y que además, debe ser equiparada con los costos de oportunidad de otras actividades en sus terrenos, es decir, que la tarifa empate con los ingresos económicos recibidos por actividades como la agricultura o la ganadería.

En este mismo sentido, la asignación de la tarifa debe estar basada en los beneficios ambientales, como la captura de carbono y regulación hídrica, que se podrían perder en caso de no llevarse a cabo estas acciones de conservación en los terrenos forestales.

Por lo tanto, la presente investigación intenta ser un insumo que muestre a los tomadores de decisiones de programas de pago por servicios ambientales, los aportes que un análisis de costo de oportunidad puede brindar en el diseño e implementación en este tipo de políticas de gestión ambiental.

Planteamiento del problema, antecedentes y delimitación

El Estado de México cuenta con ocho acuíferos, los cuales ayudan a abastecer de agua a los más de quince millones de habitantes de la entidad (15 175, 862) (INEGI, 2010), sin embargo cinco de ellos se encuentran sobreexplotados (CONAGUA, 2011). Por lo tanto, la disponibilidad de agua para los habitantes del Estado de México es un tema de preocupación ($335\text{m}^3/\text{habitante/año}$), ya que ésta es 14 veces menor al promedio nacional. En 57 municipios, las dotaciones son menores a los 200 m^3 y en 30 municipios hay dotaciones menores a 150 m^3 (Edomexico, 2011).

Específicamente, la ciudad de Toluca con una población de 819,561 (INEGI, 2010) tiene una cobertura de agua potable del 95.8 por ciento para sus habitantes, esta agua proviene en su mayoría (89.5 %) del acuífero del valle de Toluca (Edomexico, 2011). Dicho acuífero tiene una recarga natural de 336.8 millones de metros cúbicos (Mm^3) al año, mientras que la extracción es de 422 Mm^3 , por lo que existe un déficit de 142 Mm^3 anuales. Esto se traduce a una sobreexplotación de 33 por ciento (Bastida, 2009).

La sobreexplotación del acuífero es aun más evidente cuando se observan los niveles de abatimiento que han tenido los pozos de extracción de agua administrados por la Comisión de Agua y Saneamiento del Estado de México (CAEM). Dichos pozos están ubicados tanto en zonas urbanas como en zonas rurales con la intención de bombear agua y ser distribuida a la población. El anexo 1 muestra los pozos ubicados en zonas urbanas,

así como la profundidad en donde era posible encontrar agua en el subsuelo cuando el pozo fue puesto en operación, además muestra el abatimiento de agua en metros que han tenido los pozos para el año 2006 y el año 2011.

El tema de la escasez de agua, sin duda tiene una relación directa con el crecimiento demográfico que ha tenido el Estado. No obstante entender el problema de la escasez hídrica implica considerar también otros aspectos que coadyuvan a acrecentar el problema. Tal es el caso de la deforestación, la degradación, y los cambios de uso de suelo sufridos en zonas boscosas, ya que estos factores que en su mayoría son de origen antropocéntrico, influyen en los ciclos naturales del ecosistema (Ostrom y Cox, 2010).

Los bosques del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) presentan este tipo de problemas y es de hacer notar que debido a su posición topográfica, la extensión de sus afloramientos, la alta permeabilidad de sus suelos y la generosa precipitación pluvial que llega a los 1,000 mm/año, el PNNT representa el área de recarga de acuíferos más importante del Valle de Toluca. Esto quiere decir que de los 157.7 Mm³ de agua que se infiltran en el acuífero cada año, el PNNT aporta 94.6 Mm³, el resto es aportado por otras áreas forestales como la Sierra de la Cruces (CNA, 2002).

Esta recarga en el acuífero es una función ecológica realizada por los bosques y que deriva en un beneficio para la sociedad, aunque cabe mencionar que éste no es el único servicio ambiental que brindan los bosques de la zona, ya que también realizan la función de captura de carbono y además son refugio para diferentes especies animales, lo cuales también generan un beneficio a la sociedad.

Al respecto, Franco, Regil y Ordoñez (2006), exponen que los Servicios Ambientales (SA) que provee el PNNT se han visto afectados en los últimos años por la sobreexplotación de los recursos forestales, la extracción selectiva de madera, los cambios en el uso de suelo y los incendios forestales.

Para contrarrestar este tipo de problemáticas existen diferentes propuestas dentro de las que destacan; impuestos a quien contamine, incentivos financieros por usos de tecnologías limpias, y la creación de mercados de carbono. Sin embargo, una de las propuestas que promueven de manera más directa la conservación, es la implementación de programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (Hardner y Rice, 2002; Niesten y Rice, 2004; Scherr, White y Khare, 2004). Este tipo de programas se basa en la idea de que los beneficiarios de los SA paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios y usuarios locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas (Wunder, 2005).

En este sentido, y considerando el auge que han tenido estos programas en diferentes partes del mundo, el gobierno del Estado de México en el año 2007, puso en marcha el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en el Estado de México (PSAHM), el cual es operado por “Protectora de Bosques del Estado de México” (PROBOSQUE), organismo público descentralizado encargado de la protección, conservación, reforestación, fomento y vigilancia de los recursos forestales en dicha Entidad. El programa de PSAHM va dirigido a ejidos, comunidades y pequeños propietarios que sean dueños, poseedores y/o usufructuarios de terrenos forestales en el Estado de México (Rescala, 2011).

Uno de los elementos principales que componen este programa, es el procedimiento de pago, el cual otorga a los dueños o usufructuarios de tierras la cantidad \$1,500.00 pesos anuales por cada hectárea que tenga más del 50 por ciento de cobertura forestal. Además, los participantes reciben obligaciones de protección, conservación y fomento silvícola. Sin embargo, debe considerarse que el programa es voluntario, por lo tanto incumbe únicamente a los interesados en participar, por lo que ellos tienen la opción de utilizar sus tierras para otras actividades que posiblemente podrían ser más rentables.

El programa de PSAH se encuentra financiado por capital del gobierno del Estado de México (30 millones de pesos anuales) y de un cobro que se le hace efectivo a los usuarios del servicio de agua de los municipios del Estado de México. La tarifa que se

cobra es 3.5 por ciento del total de su recibo de agua, por concepto de pago de aportaciones de mejoras por servicios ambientales (GEM, 2011). Cabe mencionar que este porcentaje no fue determinado con base en algún diagnóstico que permitiera identificar la máxima Disposición a Pagar (DAP) que tienen los usuarios del agua por la protección de los servicios ambientales hidrológicos. Este argumento es apoyado por los resultados de un estudio académico realizado durante el año 2006 en la ciudad de Toluca, el cual utilizó el método de valoración contingente para conocer la DAP. Los resultados de dicha investigación muestran que existe en promedio una disposición a pagar de \$275.00 pesos anuales para que se realicen acciones que promuevan la protección de los servicios ambientales hidrológicos que ofrece el Nevado de Toluca. Esto representa un promedio de 13 por ciento del total del pago de agua (Brunett, *et al.*, 2010).

A más de cuatro años de la puesta en marcha del PSAHEM, se ha notado un aumento de 34,218 beneficiados del 2007 a 68,517 del año 2011, esto representa casi el doble en la participación de la gente que se ha inscrito al programa (PROBOSQUE, 2011), sin embargo los cambios de uso de suelo se siguen presentando en la zona, y el abatimiento de agua en los pozos sigue aumentando.

Por todo lo anterior, en el presente estudio se considera que para lograr mejores resultados en una política de gestión ambiental, como la de un programa de PSAH, es necesario que se tomen en cuenta algunos elementos derivados de análisis con los oferentes y con los demandantes de servicios ambientales. Es decir, conocer la opinión de los usuarios de los servicios ambientales (demandantes) y que en teoría deberían pagar por los beneficios recibidos (estudio ya efectuado), y por otro lado, conocer bajo qué condiciones los dueños de terrenos (oferentes), estarían dispuestos a ser compensados por realizar actividades en sus tierras para que se brinden servicios ambientales.

Para llevar a cabo esto, la presente investigación propone incorporar en el diseño de un programa de PSA un análisis de costo de oportunidad, el cual permite conocer los beneficios que se sacrifican por realizar alguna actividad en comparación con otra (Jaeger, 2005).

Bajo este supuesto, en la presente investigación se realiza un análisis de costo de oportunidad en el PNNT (zona forestal elegible para participar en el programa del PSAHEM), con el cual se pretende mostrar los elementos que aportan los resultados de dicho análisis para el diseño e implementación en un esquema de pago por servicios ambientales.

A partir de lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué elementos aporta la inclusión del análisis de costo de oportunidad al diseño e implementación de un programa de pago por servicios ambientales?

Objetivo general

Analizar los elementos que el método de costo de oportunidad aporta para el diseño e implementación de un programa de pago por servicios ambientales en una zona forestal del Estado de México.

Objetivos específicos

- Evaluar los resultados del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México.
- Calcular los costos de oportunidad de los usos de suelo del Parque Nacional Nevado de Toluca.
- Simular mediante escenarios futuros las implicaciones ambientales y económicas que tiene la incorporación de un análisis de costos de oportunidad en un programa de pago por servicios ambientales.

Hipótesis

La incorporación del análisis de costo de oportunidad en el diseño e implementación del Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México, permite el manejo de variables económicas y ambientales para facilitar el cumplimiento de sus objetivos.

Justificación del estudio

Los sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) constituyen una solución prometedora al problema del agotamiento de los recursos naturales, el cual ha sido objeto de considerable interés durante los últimos años (Scullion, 2011). Dichos sistemas han sido aplicados en distintas escalas y objetivos en diferentes países. Ya sea en un nivel de microcuenca con un servicio muy concreto y administrado generalmente por una Organización de la Sociedad Civil (OSC), un nivel subnacional controlado por el Gobierno Estatal o bien a nivel nacional administrado por el Gobierno Federal (Baltodano, 2006).

El programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en el Estado de México es un ejemplo de un programa subnacional. Actualmente está en funcionamiento y tiene como objetivo la conservación de las superficies forestales que brindan beneficios hidrológicos. Este mecanismo es pionero en México respecto a ser un programa de pago por servicios ambientales hidrológicos a nivel de Estado. Sin embargo, estudios realizados por EDOMEXICO (2011), mostraron que un área de oportunidad de este mecanismo se encuentra en la estimación de otra tarifa de pago, la cual debe tener los incentivos suficientes para que los dueños de terrenos con potencial ambiental en el Estado de México, mantengan sus tierras en conservación absoluta.

Uno de los instrumentos que utiliza la economía ambiental para llevar a cabo estas estimaciones, es el costo de oportunidad, el cual ayuda a evaluar los beneficios económicos que se pierden (costos) tras elegir llevar a cabo una actividad en comparación con otras actividades posibles. Estos beneficios son asignados con base en la rentabilidad de las diferentes actividades posibles a realizar. Por tanto, la utilización de este enfoque en la presente investigación puede permitir cuantificar los costos a los que se incurre tras la elección de proteger los bosques, tomando como referencia la rentabilidad de otras posibles actividades como la agricultura o la ganadería.

Sin embargo para ir más allá de los valores monetarios, se propone un análisis de costo de oportunidad a un nivel más amplio, en el que se consideren no sólo valores

provenientes de la rentabilidad, sino que también se consideren las tendencias de cambio de uso del suelo y los beneficios ambientales que se dejarían de proveer en caso de utilizar los terrenos forestales para otra actividad.

Una de las ventajas de este tipo de análisis, es que brinda información a los tomadores de decisiones de programas de PSA, para saber cuál sería una compensación monetaria que desincentive a los dueños de terrenos forestales a realizar un cambio de uso de suelo. Esto considerando, que en la mayoría de los casos, los cambios de usos de suelo forestal se dan porque se quieren obtener beneficios económicos de la venta de madera y/o para utilizar los terrenos para actividades agropecuarias (White y Minang, 2011).

Cabe agregar que los costos de oportunidad pueden diferir significativamente entre países o incluso dentro del mismo país. Por ejemplo, el valor de la madera y las ganancias de actividades agrícolas y ganaderas depende de factores como el acceso al mercado, la fertilidad del suelo, además de las variables ambientales como la precipitación y temperatura, y la diferencia que puede existir en la utilización de mano de obra y maquinaria. Estas diferencias implican que deben llevarse a cabo análisis de costos de oportunidad a escalas locales, a fin de obtener valores más precisos.

En este sentido, debido a que se cuenta con datos específicos del Parque Nacional Nevado de Toluca, recopilados de varias investigaciones previas, se considera que el presente estudio cuenta con la información necesaria para poder llevar a cabo un análisis de costo de oportunidad a nivel de área, lo cual no sólo podrá aportar elementos al programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en el Estado de México, sino que también puede ser un insumo para estudios de costo de oportunidad a nivel nacional, y es que de acuerdo con Muñoz-Piña, Rivera y García (2011), a pesar de que México es uno de los países latinoamericanos con mayor aceptación en cuestiones de PSA, aún hace falta mejorar el diseño e implementación de estos programas, principalmente en la estructura de precios y en los procesos de pago, ya que estos deben ser focalizados tomando en cuenta la distribución de costos de oportunidad de los bosques.

CAPÍTULO I. SERVICIOS AMBIENTALES, MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo inicia con el desarrollo sustentable y la visión que para éste propone la economía ambiental mediante la valoración de los bienes y servicios ambientales. Se hace una contextualización de los programas de pago por servicios ambientales, tomando en cuenta su origen, las características que lo definen y las propuestas para su diseño. También se muestra el análisis de costo de oportunidad y la relación que tiene éste con la protección de servicios ambientales.

1.1 Desarrollo y sustentabilidad

A partir del informe Brundtland en 1987, que definió los principios de sustentabilidad ambiental, se motivó a los países a tener un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, el cual fue denominado como “desarrollo sustentable”. Se propuso que para lograrlo se debería de combinar la equidad social, la protección ambiental y la eficiencia económica en la creación de políticas dentro de cada país (Brundtland, 1988).

A partir de entonces, no sólo se han celebrado reuniones, cumbres y acuerdos internacionales sobre el medio ambiente, sino que además se han puesto en marcha miles de acciones con miras a lograr el desarrollo sostenible a escala local, nacional e internacional (Saz, 2008).

Dados estos sucesos, la consecuencia más notoria, ha sido la concentración del esfuerzo intelectual y gubernamental en la búsqueda de mecanismos, instrumentos, estrategias y políticas para conciliar el desarrollo económico tradicional con el medio ambiente. Al respecto, un amplio número de posiciones a favor y en contra de la aplicación de políticas para el desarrollo sustentable se suscitaron, y plantearon la existencia de una dicotomía entre los temas ambientales y los económicos.

Sin embargo, como menciona Elliot (2005), la sustentabilidad ha sido una inquietud para los economistas desde hace mucho tiempo, y un ejemplo claro se encuentra en la obra de Thomas R. Malthus “*An essay on the principle population*” publicada en 1798. En esta obra el autor planteó que mientras la población se desarrollaba en progresión geométrica o exponencial, la producción de alimentos tendía a hacerlo en progresión aritmética o lineal, por lo que en un momento dado, los alimentos resultarían insuficientes y los salarios llegarían a niveles por debajo del de subsistencia (Weeks, 1992).

Partiendo de lo anterior, y retomando la propuesta planteada en el desarrollo sustentable sobre la satisfacción de necesidades actuales sin poner en riesgo las satisfacciones futuras, es posible entender la relación que debe existir entre desarrollo y distribución eficiente de recursos, de la cual la Economía brinda el sustento teórico necesario. También conviene aclarar que esta ciencia tiene diferentes enfoques los cuales han influido en la percepción de la sustentabilidad, uno de ellos es el de la sustentabilidad débil o moderada (Pierri, 2005).

De acuerdo con Pearce y Turner (1995), desde el enfoque de la sustentabilidad débil, se acepta la existencia de ciertos límites que impone la naturaleza a la economía (lo que la separa del optimismo tecnocrático cornucopiano¹ expresado por la economía neoclásica tradicional) y se presenta teóricamente, en la llamada economía ambiental.

1.2 La economía ambiental

La característica principal de esta disciplina, es su disposición a utilizar las herramientas convencionales del análisis económico para abordar el estudio de problemas ambientales (Azqueta, 2007). Pierri (2005), menciona que esta rama de la economía, se expresa políticamente en la propuesta del desarrollo sustentable, considerando un crecimiento económico pero con márgenes de conservación de bienes y servicios ambientales².

¹ Se refiere a la idea de abundancia basada en creer en la ausencia de límites naturales para producir riqueza creciente (Pierri, 2005).

² Beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos y que contribuyen a su bienestar (Daily, 1997)

La economía ambiental analiza los elementos de la teoría económica, la cual indica que si los mercados funcionan efectivamente, cuando un bien es crecientemente escaso su precio aumenta continuamente, y en el límite, el bien escaso deja de demandarse por tener un precio infinito (Escalante y Aroche, 2002). No obstante, en el ecosistema existen características particulares como la no exclusividad y la no rivalidad³ de los bienes y servicios ambientales, lo cual impide el funcionamiento de este mecanismo (Pearce y Turner, 1995). Al respecto, la economía ambiental propone un enfoque donde los bienes y servicios ambientales sean reconocidos como activos económicos pero sin dejar a un lado las características que los componen.

Tomando en cuenta lo anterior, la economía ambiental considera que este tipo de fallas en el mercado conlleva a una valoración ineficiente de estos bienes y servicios ambientales, lo que puede derivar un efecto conocido como externalidades. Las cuáles ocurren cuando la actividad de una persona (o empresa) repercute sobre el bienestar de otra (o sobre su función de producción), sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido (Azqueta, 1994). Asimismo el autor plantea que dichas externalidades pueden ser negativas (efectos negativos sobre el entorno, por ejemplo la emisión de gases de una fábrica genera efectos negativos sobre las comunidades que viven en la zona donde se encuentra dicha fábrica), y positivas (efectos positivos sobre el entorno, por ejemplo cuando se decreta una área natural protegida existirán actividades de protección que beneficiarán no sólo el entorno natural sino a las comunidades aledañas). El resultado es en definitiva, que el sistema de mercado produce demasiadas externalidades negativas, y menos externalidades positivas.

Para los defensores de la economía ambiental, la posibilidad de asignar un valor económico a los bienes y servicios que un ecosistema brinda, es un paso para internalizar las externalidades, y en el mediano y largo plazo disminuir la sobreexplotación de los

³No exclusividad. Se refiere a que no se puede evitar que los consumidores disfruten de los bienes o servicios en cuestión, aun cuando no paguen por ello. La no-rivalidad se refiere a que cuando una persona consume un bien o servicio, ello no disminuye la cantidad disponible para los demás (Pagiola, Landell-Mills, Bishop, 2006).

recursos; y aunque es cierto que el valor que se asigna puede ser altamente subjetivo y complejo, este es considerado como una medida preventiva (Herriges y Kling, 1999).

1.3 Los servicios ambientales y su valoración

A partir de que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) emitió un informe que lleva por título; Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, por sus siglas en inglés, *Millenium Ecosystem Assessment*) (Reid, *et al.*, 2005), se enfatizó y se hizo popular la definición de los Servicios Ambientales (SA) o ecosistémicos, Definidos estos como los procesos de los ecosistemas que generan múltiples beneficios para los individuos y las comunidades (Daily,1997). Estos incluyen servicios de provisión como agua y alimentos, servicios de regulación como el control de clima, de inundaciones y de desastres, servicios de soporte como la construcción, el transporte, asimilación de residuos, y servicios culturales como son los beneficios de recreación, espirituales y religiosos (Reid, *et al.*, 2005).

De acuerdo con Costanza, *et al.* (1997), los servicios ambientales se derivan de funciones que llevan a cabo los ecosistemas y que tienen un beneficio para la sociedad. La tabla 1.1 muestra una caracterización de 17 funciones ecológicas, el servicio ambiental brindado y un ejemplo en el que ser humano es beneficiado por estas funciones

Tabla 1.1 Servicios y funciones del ecosistema

No.	Servicios	Funciones	Ejemplos
1	Regulación de gases	Regulación de la composición química atmosférica	Balace CO2/O2, ozono para protección UVB.
2	Regulación del clima	Regulación de la temperatura global, precipitación y otros procesos climáticos mediados biológicamente a escalas locales o globales.	Regulación de los gases del efecto invernadero, formación de nubes.
3	Regulación de disturbios	Capacitación e integridad de la respuesta de los ecosistemas a las fluctuaciones ambientales.	Protección contra tormentas, control de inundaciones, recuperación de sequías y otros aspectos de la respuesta del hábitat a la variabilidad ambiental, controladas principalmente por la estructura de la vegetación.
4	Regulación hídrica	Regulación de los flujos hidrológicos.	Provisión de agua para usos agrícolas, industriales o para transporte.

5	Aporte de agua	Almacenamiento y retención de agua.	Provisión de agua en cuencas, embalses y acuíferos.
6	Control de erosión y control de sedimentos	Retención de suelo dentro de un ecosistema.	Prevención de la pérdida de suelo por el viento, escorrentías u otros procesos, acumulación de sedimentos en lagos y humedales
7	Formación del suelo	Procesos de formación de suelo.	Alteración de minerales, acumulación materia orgánica.
8	Reciclado de nutrientes	Almacenamiento, reciclaje interno, procesado y adquisición de nutrientes.	Fijación de N, Ciclos de nutrientes.
9	Tratamiento de residuos	Recuperación de nutrientes movilizados y eliminación o transformación del exceso de nutrientes y compuestos xenobióticos.	Tratamiento de residuos, Control de contaminación, detoxificación.
10	Polinización	Movimiento de los gametos florales.	Provisión de polinizadores para la reproducción de plantas.
11	Control biológico	Regulación trofo-dinámica de las poblaciones.	Control de poblaciones por predadores y herbívoros.
12	Refugio	Hábitats para poblaciones residentes o en tránsito.	Hábitats de cría, hábitats para especies migratorias, hábitats regionales para especies explotadas localmente, áreas de invernada.
13	Producción de alimentos	Proporción de la producción primaria extraída como alimento.	Caza, agricultura, pesca, acuicultura, recolección.
14	Materia prima	Proporción de la producción primaria extraída como materiales.	Energéticos, construcción.
15	Recursos genéticos	Fuentes de materiales y productos biológicos únicos.	Productos de uso médico o para las ciencias de materiales, genes de resistencia a patógenos y plagas, especies ornamentales (mascotas, variedades ornamentales de plantas).
16	Recreación	Proporcionar oportunidades para actividades recreativas.	Ecoturismo, pesca deportiva, actividades al aire libre..
17	Cultural	Proporcionar oportunidades para usos no comerciales.	Valores estéticos, artísticos, espirituales, educativos y/o científicos de los ecosistemas

Fuente: Costanza, *et al.* (1997).

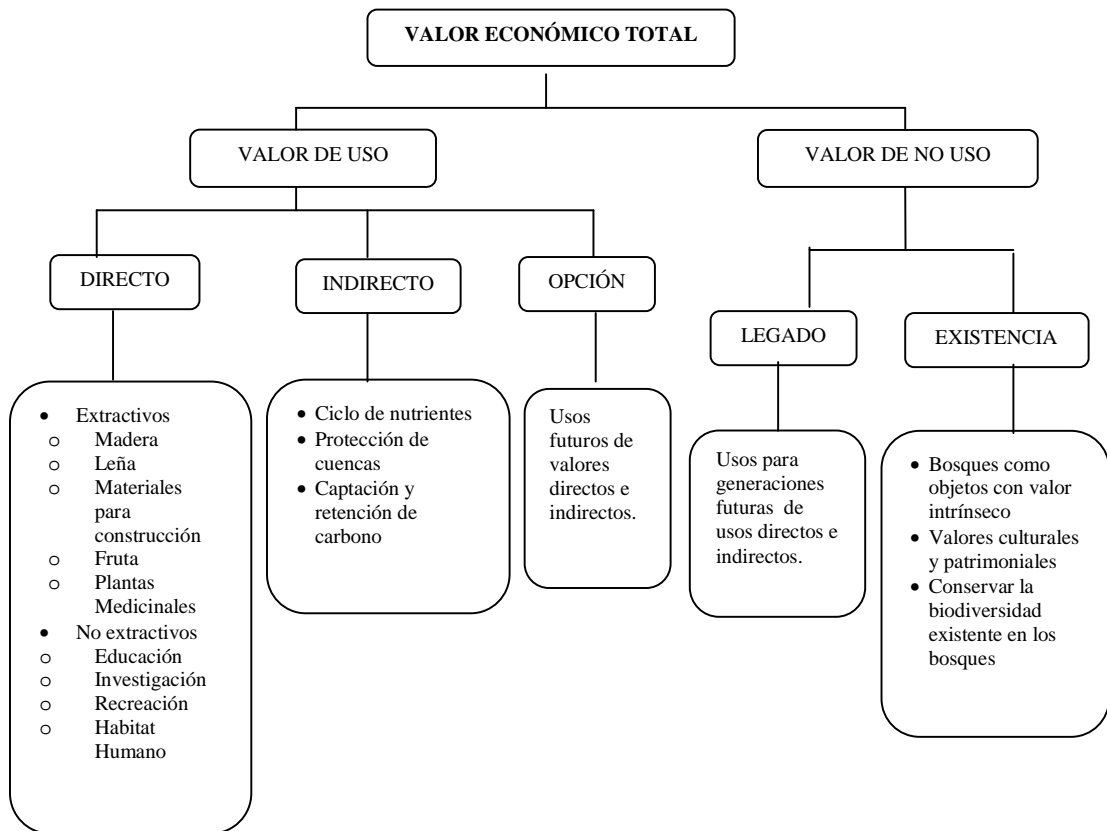
De acuerdo con lo observado en la tabla 1.1, es importante mencionar que la mayoría de estas funciones se relacionan directa o indirectamente con los ecosistemas forestales. Por lo cual, existe una tendencia por protegerlos bajo la propuesta de la economía ambiental, es decir reconociendo su Valor Económico Total (VET) (Landell-Mills y Porras, 2002; Niesten y Rice, 2004; Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

El VET se encuentra conformado por dos categorías de valores, los valores de uso y los valores de no uso, los cuales a su vez contemplan otros usos (Azqueta, 1994; Barbier, Acreman y Knowler, 1997).

El valor de uso se asocia a la utilización del medio ambiente por el hombre. Este valor puede subdividirse en tres: **El valor de uso directo**, se da al consumir el recurso sin intermediario, como por ejemplo la extracción de madera o frutos de un bosque. Cabe mencionar que este uso necesariamente resulta en el consumo material del recurso, por ejemplo, la recreación a través del ecoturismo se disfruta directamente en el sitio pero no se consume de una forma tangible el bosque y por tanto, no significa en este caso una reducción en la oferta del recurso o la transformación de éste (Mejías y Segura, 2002). **El valor de uso indirecto** que se genera cuando las funciones ecológicas y servicios ambientales apoyan o protegen actividades económicas ya sean de consumo o producción (Echevarria, 1998), por ejemplo la captura de carbono y la recarga de acuíferos. **El valor de opción** el cual incluye los usos directos e indirectos pero para usos futuros (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

Los valores de no uso son aquellos que se generan sin necesariamente hacer un uso o consumo del recurso, o sin siquiera conocerlo; estos valores tienen que ver más con la existencia misma del recurso. Dentro de estos se encuentran el **valor de legado**, el cual de acuerdo con Mejías y Segura (2002), radica en el deseo que tiene la generación actual para que el recurso exista en el futuro y pueda ser disfrutado por las siguientes generaciones. **El valor de existencia** que es aquel que se genera por la simple presencia del recurso ambiental ya sea por razones éticas, culturales o altruistas (Echevarria, 1998), por ejemplo la existencia de especies de plantas y animales que viven en un bosque. La Figura 1.1 muestra un ejemplo de los valores incluidos en la valoración económica total de un bosque.

Figura 1.1 Valor económico total de un bosque



Fuente: Adaptado de Pearce (1993).

Estos valores pueden ser estimados mediante la utilización de diferentes técnicas, como el costo de oportunidad, el método de costo de viaje, el método de valoración contingente, precios hedónicos, entre otros. Cada uno tiene diferente enfoque, parámetros de medición y aplicaciones. Para mayor información se puede consultar el anexo 2, el cual es una tabla que muestra las principales técnicas de valoración, con sus respectivos valores de medición y una posible aplicación.

La importancia de reconocer los servicios ambientales, así como la posibilidad de valorarlos recae en la preocupación de la población humana respecto a los cambios en el clima, las afectaciones en la calidad y cantidad de agua, así como en la pérdida de la biodiversidad. Cabe mencionar que debido a la relación que existe entre los ecosistemas

forestales y la dotación de servicios ambientales, gran parte de estos problemas tienen su origen en el manejo de bosques, los cuales se encuentran seriamente amenazados en muchas partes del mundo (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO por sus siglas en Inglés) (2001), durante la década de los noventa se perdieron en promedio casi 15 millones de hectáreas de bosque por año, sobre todo en las zonas tropicales. A la pérdida de la cubierta forestal, se suma la pérdida de los numerosos y valiosos servicios que proporcionan.

Estas afectaciones tienen efectos globales, por lo que han surgido múltiples iniciativas, propuestas y negociaciones derivadas de diferentes cumbres y conferencias llevadas a cabo entre diferentes países. Una de ellas es la de Reducción de Emisiones Derivadas de la Deforestación y Degradación de los bosques, mejor conocida como REDD, la cual fue una iniciativa derivada de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en el 2005. Posteriormente la iniciativa fue ampliada para tomar en cuenta el papel de la conservación de la biodiversidad y la gestión forestal sostenible y fue denominada REDD+.

La idea principal de este tipo de iniciativas es brindar apoyo a los países para que desarrollen la capacidad de reducir sus emisiones de carbono derivadas de la deforestación y de la degradación de los bosques a través de estrategias nacionales.

Dado que la mayor parte de la deforestación y degradación de los bosques sucede en los países en desarrollo, la creación de un esquema REDD como un sistema internacional de compensación, está dirigido a los dueños de las áreas forestales en esos países, lo que constituye una importante iniciativa para promover un manejo forestal sustentable a escala global que logre conservar la cubierta forestal (Parker, *et al.*, 2009).

Este tipo de iniciativas ha fomentado la implementación de políticas de gestión ambiental que contemplan los programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en diferentes países.

1.4 Los programas de pago por servicios ambientales

El principio básico que respalda este tipo de programas es que los beneficiarios de los servicios ambientales deben pagar a los propietarios de terrenos que están en posición de proporcionar servicios ambientales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas (Wunder, 2005).

De acuerdo con Mayrand y Paquin (2004), los PSA son un mecanismo que favorece las externalidades positivas gracias a las transferencias de recursos financieros entre los beneficiarios de Servicios Ambientales (SA) y los prestadores de servicios o los gestores de recursos ambientales.

En los últimos años, este tipo de programas han crecido en número alrededor del mundo, las experiencias han sido diferentes, y en muchas de ellas se habla de instrumentos que han sido bien aceptados. Algunos autores comentan que este tipo de enfoques basados en el mercado puede proporcionar incentivos poderosos y medios eficientes para conservar los bosques y los servicios ambientales que estos proveen, además de que pueden ofrecer nuevas fuentes de ingreso para apoyar a los habitantes de las zonas rurales ya que en la mayoría de los casos son ellos quienes viven y dependen del bosque (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

La literatura sobre los programas de PSA muestra que este tipo de mecanismos se concentran principalmente en tres servicios ambientales que brindan los bosques (Franco, *et al.*, 2008; Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006):

- Protección de cuencas hidrológicas. Los bosques pueden desempeñar un papel importante en la regulación de los flujos hídricos y en la reducción de la

sedimentación. Los cambios en la cobertura forestal pueden afectar la cantidad y la calidad de los flujos de agua superficial y subterránea de la parte baja de la cuenca, influyendo en la dotación de este recurso para el consumo humano.

- Conservación de la biodiversidad: Los bosques albergan un porcentaje importante de la biodiversidad del mundo. La pérdida del hábitat forestal es una de las principales causas de la pérdida de especies.
- Captura de carbono. Los bosques en pie almacenan enormes cantidades de carbono, por tanto, el ser deforestados no sólo impide que se logre función si no que también el carbono secuestrado es liberado a la atmosfera contribuyendo a los gases de efecto invernadero.

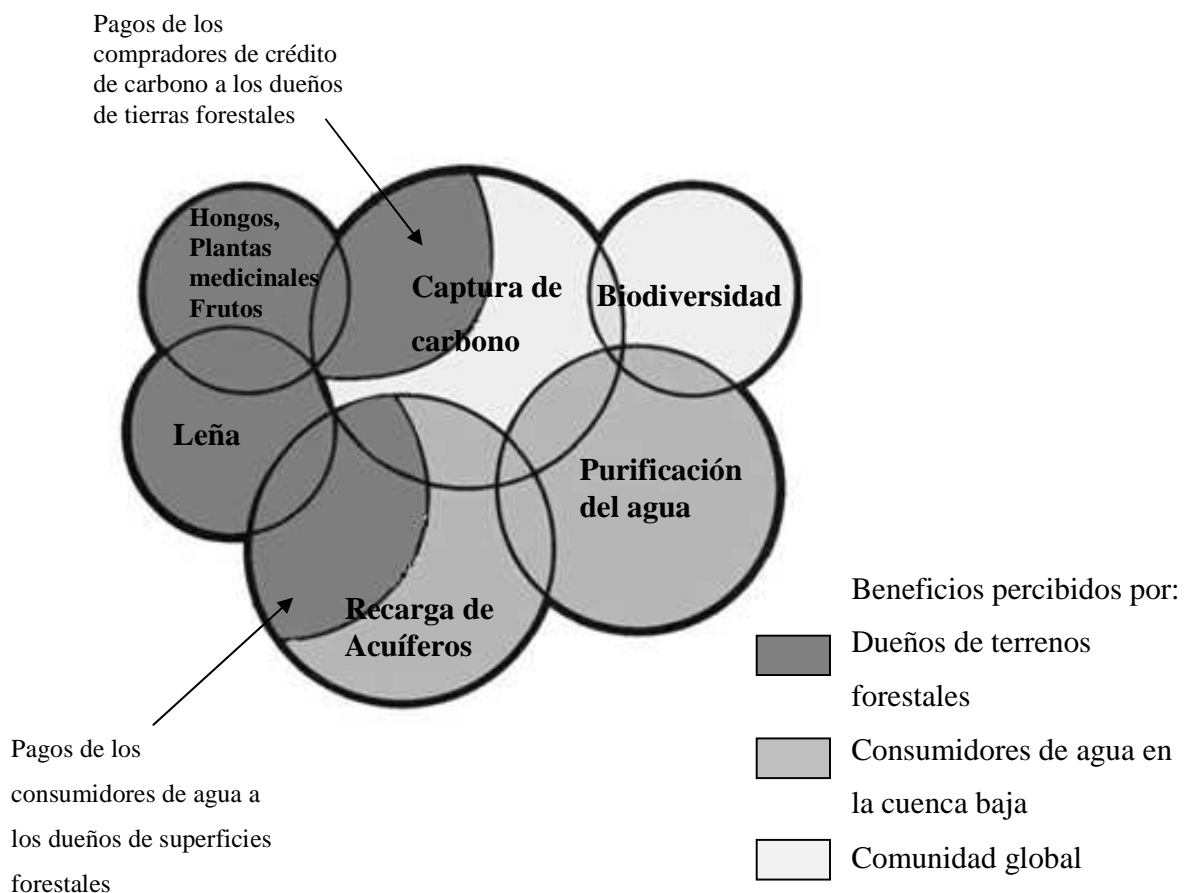
Cabe mencionar que los beneficios de este tipo de servicios, no favorecen directamente a las comunidades locales que habitan en zonas forestales, y son en la mayoría de las veces, los responsables de tomar las decisiones del uso del bosque. Por lo tanto, mientras los habitantes de estas comunidades no reciban un incentivo que los motive a realizar actividades en sus terrenos que repercutan en beneficios indirectos para otros, será poco probable que cambien su conducta respecto a los bosques (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

Los mecanismos de mercado utilizados en servicios ambientales, pretenden resolver esta cuestión mediante la venta de los servicios generados por el ecosistema a sus respectivos beneficiados, por tanto, estos mecanismos pretenden generar fondos que por un lado se utilicen para aumentar los beneficios mediante acciones de conservación y restauración, y por otro lado incentiven a los propietarios de terrenos forestales, a fin de que las acciones que realicen en los bosques resulten favorables para la dotación de servicios pero sin comprometer su propio desarrollo (Farley y Costanza, 2010).

En consecuencia, desde el punto de vista de los dueños de terrenos forestales, los beneficios totales de la conservación del bosque aumentan, por lo tanto sería más probable que los encargados de las decisiones en estas zonas decidan preservar los bosques.

Las relaciones anteriormente explicadas se muestran en la figura 1.2. Los círculos representan cada servicio brindado por un bosque. El tamaño del círculo muestra la magnitud del servicio, aunque cabe aclarar que éste es sólo un ejemplo hipotético, ya que cada bosque tendrá diferentes tipos de servicios. En el ejemplo, el bosque provee grandes servicios hídricos y de captura de carbono, respecto a biodiversidad brinda beneficios relativamente menores. El diagrama también ilustra que algunos de estos servicios se superponen en distintos niveles, así mismo pretende mostrar los beneficios obtenidos por los diferentes actores, locales e internacionales; el total de beneficios del bosque se puede obtener a partir de la suma de todos estos.

Figura 1.2. Mecanismos basados en el mercado para los servicios ambientales del bosque.



Fuente: Adaptado de Pagiola, Bishop, Landell-Mills (2006)

De acuerdo con la Figura 1.2, los dueños o administradores de terrenos que conserven la cobertura forestal no sólo se beneficiarían por los productos forestales extraídos de manera directa como hongos, frutos o leña, sino también recibirían apoyo derivado del pago de actores beneficiados, que en este caso serían las comunidades aguas abajo, que pagarían por el servicio ambiental de recarga de acuíferos, y además de los actores internacionales, que suelen ser países desarrollados que pagan a países en desarrollo para conservar sus bosques a fin de que estos capturen carbono. Se debe notar que para el caso específico de este ejemplo, los dueños de terrenos no reciben ningún beneficio monetario por la conservación de la biodiversidad presente en el bosque, sin embargo existen organizaciones, principalmente internacionales, que pagan por la conservación de especies.

1.4.1 Estructura de un programa de pago por servicios ambientales

Previo a la implementación de este tipo políticas de gestión ambiental, es necesario que el programa cuente con una estructura bien diseñada, la cual debe contar con un diagnóstico que reúna los siguientes aspectos (Landell-Mill y Porras, 2002).

- Identificación de los beneficios proporcionados por un servicio específico y determinar las actividades que ayudan a incrementar este servicio, como la forestación.
- Estudiar la viabilidad del proyecto.
- Establecer la voluntad de pago de los actores involucrados.
- Formalizar los derechos de propiedad.
- Establecer un mercado para los servicios ambientales, así como tener un mecanismo de pago e instituciones de apoyo.
- Actividades piloto y alimentación del diseño del mercado.

La identificación de los beneficios generados por los servicios ambientales, resulta fundamental para evitar incertidumbre, por ejemplo, en el caso de los servicios de protección de cuencas, la experiencia científica destaca la complejidad de establecer las

relaciones entre agua y bosques (Torres y Sanginés, 2002). Por lo tanto, el primer paso de los planificadores y tomadores de decisiones debe ser invertir en estudios que den soporte a la creación de estos mercados.

Una vez que la fase de investigación del SA queda clara, es importante llevar a cabo una evaluación transparente sobre la viabilidad del mercado. Los cálculos de viabilidad deben incluir análisis de la relación costo beneficio, con un cálculo explícito de costos de implementación y costos de transacción (Engel, Pagiola y Wunder, 2008).

Referente a establecer la voluntad de pago, es necesario conocer la opinión de los actores involucrados así como la disposición y condiciones bajo las cuales participarían en un programa de PSA. Sin embargo es importante estimular la demanda mediante la información acerca de los beneficios de los servicios ambientales y de las amenazas que se sufren por la pérdida de estos. Por el lado de los oferentes se puede estimular la participación mediante incentivos económicos que sean capaces de equiparar los beneficios económicos de otras actividades como la agricultura o ganadería (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

Respecto a la formalización de los derechos de propiedad, los autores Landell-Mills y Porras (2002) comentan que para que los beneficiarios de los servicios ambientales paguen por un determinado servicio, los proveedores deben demostrar que pueden garantizar la prestación del servicio. En la mayoría de los casos, esto supone que los proveedores tienen derechos de propiedad sobre los recursos forestales, sin embargo muchas veces estos derechos no se encuentran bien establecidos lo que puede obstaculizar la administración del programa, por lo que se sugiere crear mecanismos paralelos de regularización de la tenencia de la tierra.

La creación de mercados para servicios ambientales requiere de la interacción de una serie de actores que servirán de apoyo como agencias gubernamentales, universidades, centros de investigación, sector privado y agencias internacionales. Así mismo es necesario desarrollar mecanismos institucionales que permitan las transacciones de

mercado incluyendo un mecanismo financiero transparente y flexible (fondo de servicios ambientales). La estructura de mercado debe estar diseñada para que minimice los “polizones” o “*freeriders*”, así como los costos de transacción (Engel, Pagiola y Wunder, 2008).

Finalmente, las actividades piloto o de prueba son esenciales para verificar los mecanismos de mercado, la preparación de capacitaciones, identificación de impactos y marcar las restricciones, tales como derechos de propiedad poco definidos, o la resistencia de las partes clave involucradas en un contrato, y los impactos negativos en las comunidades de menos recursos. Las pruebas piloto son la base para poder modificar el diseño de un mercado (Landell-Mills y Porras, 2002).

Cabe hacer mención que las consideraciones anteriormente descritas, no garantizan el éxito de un programa de PSA, sin embargo, así como lo comentan los autores Landell-Mills y Porras (2002), estas consideraciones fueron el resultado de la revisión de casi 300 programas de PSA a nivel mundial y por tanto sirve como antecedente para la creación de nuevos programas.

En este sentido, también vale la pena mencionar el modelo costarricense de programa de PSA, el cual ha sido modelo a seguir por diferentes países debido al éxito conseguido en el programa (Pagiola, 2008). Costa Rica inició la creación y utilización de PSA, desde 1997, en este país, la ley forestal determinó que los usuarios de la tierra podían recibir pagos por los servicios forestales que estaban brindando creando así el Fondo Nacional Forestal (FONAFIFO). Este fondo se encuentra suministrado por los recursos financieros provenientes principalmente de impuestos a los consumidores de gasolina y recursos forestales, así como de empresas privadas, y fuentes internacionales como el Banco Mundial el cual apoyó con un préstamo de \$32.6 millones de dólares (Baltodano, 2006)

Parte del éxito de este programa ha sido la estructura del mismo, la cual está basada en cuatro importantes pilares (Pagiola, 2006):

- **Institucionalidad:** Promoviendo desde sus inicios la inclusión de diferentes actores con intereses en el desarrollo del sector forestal costarricense, tales como el sector privado, el social, el público, el académico, y organismos descentralizados.
- **Marco Legal:** A partir de 1990 se incorpora dentro de la ley de Costa Rica un cambio en el área ambiental, favoreciendo la conservación y protección de los recursos naturales.
- **Financiamiento:** Se destina 3.5 por ciento de un impuesto por el uso de combustibles para mantener el Programa de Pago por Servicios Ambientales, además de que promueve otras fuentes de financiamiento como las donaciones nacionales e internacionales.
- **Monitoreo y Evaluación:** Se crea un organismo encargado de brindar los lineamientos, procesos técnicos, estadísticas, así como de la evaluación y monitoreo del PSA.

Es importante tener presente que aunque la experiencia de Costa Rica puede replicarse en otros países como México, el programa debe ser adaptado y planificado de acuerdo a las condiciones de cada región. Además se debe tomar en cuenta la existencia de algunas barreras como la tenencia de la tierra y las prioridades de la agenda pública del país, lo que implicaría una reestructuración del esquema original de PSA. Sin embargo, el caso de Costa Rica, así como otras experiencias llevadas a cabo alrededor del mundo sobre los programas de PSA, ha permitido que la estructura general del programa planteada por Landell-Mills y Porras (2002) se fortalezca en los últimos años con la opinión de diferentes científicos en la materia, los cuáles han propuesto nuevas características necesarias para un mejor diseño de estos programas, dentro de las que destacan:

- **Identificación previa de las zonas prioritarias para el pago de servicios ambientales,** es decir tomar en cuenta aquellas con mayor posibilidad de perderse y que cuenten con una fuente importante de servicios ambientales (Pagiola, Arcenas y Platais, 2005).

- Tomar en cuenta la escala del programa, ya sea internacional, nacional o local para que las reglas de operación vayan acorde a la amplitud del programa (Tacconi, 2012).
- Se considera importante establecer sinergias entre diferentes programas de conservación de servicios ambientales con el objetivo de aumentar el financiamiento y por ende la cobertura del programas (Zhang y Pagiola, 2011).
- Se destaca la importancia de la claridad en los contratos de compra y venta de servicios ambientales para evitar corrupción, es decir que por un lado los compradores de SA estén enterados de cuánto aportan y qué beneficios reciben, y por otro lado los vendedores de SA tengan claras las recompensas recibidas por la conservación, o en su defecto las sanciones por el no cumplimiento (Ferraro, 2008).
- La asignación de la tarifa de pago por protección ambiental debe considerar los costos a los que los propietarios de las tierras incurren para proporcionar servicios ambientales (Jack, Leimona y Ferraro, 2008)
- Los programa de PSA deben tener la capacidad de irse adaptando a los nuevos conocimientos que se vayan adquiriendo, por tal motivo los programas deberán estar en constante monitoreo y evaluación con el objetivo de obtener mejores resultados (Farley y Costanza, 2010).

1.4.2 Evaluación de los programas de pago por servicios ambientales

Para poder medir el impacto que tiene la implementación de este tipo de políticas de gestión ambiental se consideran dos conceptos: eficiencia y eficacia (Landell-Mills y Porras, 2002).

De acuerdo con Mokate (2001), la eficiencia se define como el grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible. El no cumplir cabalmente los objetivos y/o el desperdicio de recursos o insumos hacen que la iniciativa resulte ineficiente (o menos eficiente). También conviene diferenciar la eficiencia técnica y la eficiencia económica. La primera examina la relación entre el resultado generado y la

cantidad de un determinado insumo utilizado en su generación. La eficiencia económica se puede relacionar con un índice de costo-efectividad. Mide el logro de los objetivos por un lado y los costos de haber producido los logros, medidos por su valor monetario.

La eficacia de una política o programa se define como el grado en que se alcanzan los objetivos propuestos, es decir que una política será eficaz si logra los objetivos para los que fue diseñada (Mokate, 2001). Cabe hacer mención que una acción gubernamental es considerada socialmente eficaz por lo que efectivamente ha hecho y por el modo como lo ha hecho, es decir, por los efectos y por los atributos de la acción, por sus productos y por las cualidades del proceso mediante el cual los ha producido (Aguilar, 2006). En su contraparte Subirats (1986) describe que la ineficacia de las políticas públicas depende en gran medida de su desarticulación respecto de otras políticas y en sí misma.

Estos dos conceptos, funcionan como indicadores que pueden mostrar los resultados de un programa de PSA, y que por tanto, la institución encargada de un programa de PSA los debe tener presentes para saber si la política de gestión ambiental está cumpliendo su objetivo.

Considerando que el objetivo fundamental de un programa de PSA es la preservación de aquellas zonas capaces de generar funciones ambientales a fin de mantener o incrementar los beneficios ambientales disfrutados por la sociedad, la eficacia estará relacionada con demostrar este incremento en los servicios ambientales. Sin embargo, debido a que la mayoría de los programas de PSA a nivel mundial son novedosos no es tan fácil evaluar esta relación. Cabe agregar que no existe evidencia científica que muestre con certeza la relación existente entre la cobertura forestal y las dinámicas del agua (Pagiola, Bishop y Landell-Mills, 2006).

En el caso de los programas de PSA se ha tratado de medir la eficiencia tomando en cuenta la amplitud que ha tenido considerando los costos invertidos, sin embargo, no debe caerse en el error de que entre mayor sean los adscritos a un programa de PSA más eficiente será el programa. Esto se debe a que no todos los terrenos ofrecen la misma

cantidad y calidad de servicios ambientales, y por lo tanto los beneficios serán diferentes. Esto se puede ejemplificar si se comparan dos proyectos de PSA en terrenos forestales, en ambos se hace la misma inversión y se inscriben la misma cantidad de personas al programa pero la única diferencia es que un proyecto cuenta con terrenos forestales con mejores características para la provisión de los servicios ambientales que el otro. Evidentemente el programa que invirtió en los terrenos con mejores características tendrá un mayor grado de eficiencia.

Otro ejemplo que conviene destacar, es cuando un programa de PSA le paga a un dueño de terrenos forestales para evitar que sean deforestados, sin embargo, puede ocurrir que esta persona no tenía intenciones de deforestar y hubiera mantenido así sus terrenos aunque no se le hubiera pagado. Esto se puede considerar como un nivel de ineficiencia, ya que se incurrieron a gastos que se hubieran podido evitar y los resultados hubieran sido iguales o incluso mejores si ese dinero se hubiera ocupado para pagar a otro dueño que si tuviera la intención de deforestar sus terrenos.

Dadas estas circunstancias anteriores, diversos autores han planteado alternativas que conlleven a mejorar la eficacia y eficiencia de los programas PSA (Adams, *et al.*, 2008; Chen, *et al.*, 2009; Ebert, 2008; Engel, Pagiola y Wunder, 2008; Horowitz y McConnell, 2003; Kirwan, Lubowski y Roberts, 2005; Porras, Grieg-Gran y Neves, 2008). Dentro de estas, contribuciones se destaca la utilización de instrumentos económicos para lograr dichas mejoras. Al respecto, autores como Porras, Grieg-Gran y Neves (2008) consideran que uno de estos instrumentos es el análisis de costo de oportunidad, el cual puede brindar al programa de pago por servicios ambientales información necesaria para el diseño y estructura del mismo.

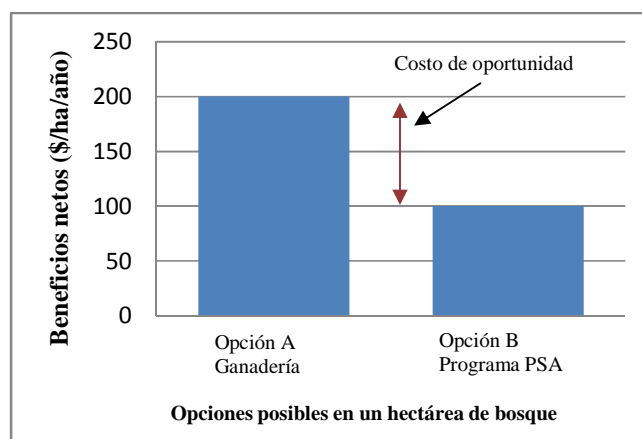
1.5 El análisis de costo de oportunidad

Es un instrumento que parte de la economía ambiental y que analiza aquello a lo que se renuncia cuando se toma una determinada acción o decisión. Es decir, los costos por la preferencia de una alternativa entre dos o más posibles (Azqueta, 1994).

En el caso específico de los programas de PSA, el costo de oportunidad pretende averiguar la posición que tienen los dueños de terrenos forestales sobre la participación en el programa. Para ello se comparan los beneficios monetarios que recibirían en el programa y los beneficios monetarios que recibirían por alguna otra actividad en los terrenos. A manera de ejemplo, se puede decir que la deforestación con todos sus impactos negativos también puede traer beneficios, es decir que la madera puede usarse para la construcción, o bien se puede vender y obtener ingresos económicos, además de que las áreas deforestadas pueden usarse para cultivos y pastoreo. De ahí que reducir la deforestación significa perder esos beneficios. Por lo tanto, el costo de dejar de percibir beneficios es conocido como “costo de oportunidad” (Pagiola y Bosquet, 2009).

La gráfica 2.1 muestra un ejemplo hipotético del costo de oportunidad. Se comparan dos posibles actividades en una hectárea de bosque. La opción A sería deforestar el bosque y utilizar el terreno para ganadería, lo cual generaría un beneficio hipotético en un año de \$300 pesos. La opción B, implica la conservación del bosque y participar en un programa de pago de PSA, de lo cual se recibiría un beneficio hipotético en un año de \$200 pesos. Por lo tanto, si se elige la opción B se incurriría a un costo de oportunidad de \$100 pesos, lo cual implica los beneficios sacrificados por haber hecho esa elección.

Gráfica 2.1 El costo de oportunidad en dos actividades económicas



Fuente: Elaboración propia.

Los defensores de la utilización de este instrumento señalan que la estimación de los costos de oportunidad es también crítico para entender las causas de la deforestación y degradación, ya que la mayoría de los agentes económicos no talan los bosques por el hecho de destruir y hacer daño, si no que lo hacen porque esperan beneficios económicos (Boucher, 2008; Pagiola y Bosquet, 2009; Parker, *et al.*, 2009; White y Minang, 2011).

Los costos de oportunidad han sido aplicados en diferentes estudios de programas de pago por servicios ambientales, tanto a nivel nacional como internacional (Boucher, 2008; Cameron, Williams y Mitchell, 2006; Kido y Kido, 2007; López, *et al.*, 2007; Vatn, 2010), los cuales han permitido reconocer a este instrumento económico como una herramienta de valoración económica ambiental.

Además, se han llevado a cabo otros estudios en donde se propone la utilización del costo de oportunidad a otra escala, es decir que en el análisis no sólo sean consideradas variables económicas, sino que también se incluyan aspectos socio-ambientales (Boucher, 2008; Strassburg, *et al.*, 2008; Widayati, Ekadinata y Tata, 2010), tales como las tendencias en el **cambio de uso de suelo**; refiriéndose a la remoción de la cubierta vegetal original, o alguna actividad desarrollada en el suelo desencadenada por diferentes actividades humanas (Ochoa, *et al.*, 2011), **la deforestación**; entendida como el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos, **la degradación**; la cual implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma y **la fragmentación**; definida como la transformación del paisaje dejando pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada (SEMARNAT, 2002).

Los estudios de costos de oportunidad en donde son incluidas estas variables son conocidos como “costos de oportunidad REDD+⁴”. Por su parte Boucher (2008) realizó una revisión global de 29 estudios empíricos con este tipo de análisis y encontró que los

⁴ Su nombre proviene de la iniciativa de la ONU para reducir las emisiones originadas por la deforestación y la degradación forestal en países en desarrollo (White y Minang, 2011).

resultados obtenidos varían dependiendo del objetivo pretendido, de la cantidad de información de campo, de la cantidad de información estimada, entre otros factores. Por tanto, los divide de la siguiente manera:

Modelos globales: Son enfoques descendentes (*top-down*) que muestran una perspectiva global de la implementación de programas dedicados a reducir deforestación y degradación de bosques. Están basados en modelos económicos dinámicos, por lo tanto, evalúan el potencial de programas REDD+ a partir de valores promedio tanto económicos como ambientales. Los estudios de este tipo han sido producidos en mayor medida por la Universidad Estatal de Ohio, El instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados de Austria y el Laboratorio Nacional Lawrence-Berkeley.

Modelos regionales empíricos: Tienen un enfoque ascendente, de modo que ofrece una perspectiva a nivel país tomando en cuenta datos empíricos subnacionales sobre el suelo y datos ambientales-económicos específicos de regiones y periodos de tiempo determinados.

Modelos basados en áreas: El enfoque es subnacional, y utilizan información local obtenida de “datos de campo” de una determinada zona, lo que los vuelve más específicos y con un menor alcance. Pueden ser utilizados para brindar datos para los modelos regionales utilizados a nivel nacional.

Estos tres diferentes tipos enfoques contribuyen a la creación de líneas de acción para la aplicación de programas que buscan detener la deforestación y degradación de bosques tales como los programas de PSA (White y Minang, 2011).

A manera de resumen, se puede decir que los mecanismos de pago por servicios ambientales, son políticas de gestión ambiental de reciente creación, sin embargo han sido diversas las experiencias llevadas a cabo en el mundo y existe una constante inquietud en la literatura por brindar nuevos aportes que contribuyan a obtener mejores resultados en la conservación de los servicios ambientales. Se debe mencionar que este

tipo de mecanismos tienen un sustento teórico en la economía ambiental, la cual propone otorgar un valor a los recursos naturales, con el objetivo de crear alianzas entre los componentes sociales, ambientales y económicos, que den pie a la creación de políticas basadas en lo establecido en el desarrollo sostenible.

Es de hacer notar la relevancia que adquiere la incorporación de variables tanto económicas como ambientales en la toma de decisiones relacionadas al manejo de recursos naturales. En este sentido, el análisis de costo de oportunidad REDD+ permite integrar ambas variables, permitiendo a un gestor ambiental definir líneas de acción para la implementación de incentivos eficientes para la protección ambiental.

CAPÍTULO II. EL PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN EL ESTADO DE MÉXICO

El presente capítulo está dividido en dos apartados. El primero presenta el contexto del programa de pago por servicios ambientales implementado en el Estado de México. Se presenta su origen, su diseño, los resultados, las fortalezas y debilidades del programa. El segundo apartado está relacionado con las características del Parque Nacional Nevado de Toluca, área prioritaria para el establecimiento de dicho programa y que es la zona de estudio de la presente investigación.

2.1 El programa de pago por servicios ambientales en el Estado de México

El gobierno del Estado de México implementó en el año 2007 un programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), cuyo principal objetivo es el de conservar las áreas de bosque que permiten la recarga hídrica para garantizar el suministro de agua de la creciente población de la entidad.

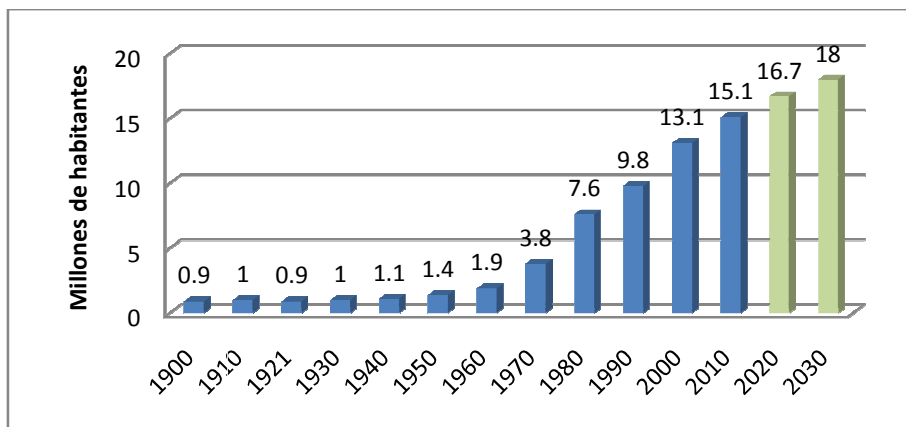
Esta necesidad de agua se manifiesta al ser la entidad federativa que ocupa el primer lugar a nivel nacional por número de habitantes (15 175,862 en el año 2010) y con mayor crecimiento en términos absolutos entre el Censo 2000 y Censo 2010 (INEGI, 2010).

Este incremento demográfico implica una mayor demanda de bienes y servicios, tales como vivienda, agua y drenaje; lo que tiene repercusiones en el patrimonio ecológico. Esto se puede observar cuando se relacionan habitantes con cantidad forestal. En 1990 en el Estado de México correspondían 10.95 habitantes por cada hectárea forestal, en el 2010 la cifra subió a 16.88, y de continuar sin cambios se espera que para el 2030 se registren 20.12 habitantes por hectárea forestal (Edomexico, 2011).

En consecuencia, la población que habita en el Estado tiene una disponibilidad de agua promedio de 335 m³/habitante/año; lo que representa una disponibilidad catorce veces menor al promedio nacional (Edomexico, 2011).

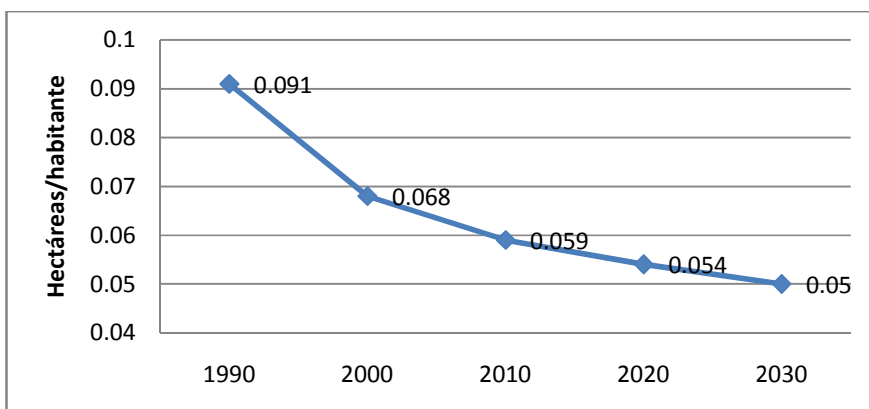
Al respecto, la gráfica 2.1 muestra la tendencia en el incremento de la población, así como las estimaciones para los años 2020 y 2030. La gráfica 2.2 muestra las estimaciones entre hectáreas forestales y habitantes del Estado de México de 1990 a 2030.

Gráfica 2.1 Habitantes en el Estado de México 1900-2030



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI

Gráfica 2.2 Hectáreas forestales por habitante en el Estado de México



Fuente: Edomexico (2011)

Las consideraciones anteriores fueron un motor que impulsó la creación del programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM), el cual actualmente sigue en funcionamiento y pretende incentivar con un apoyo económico a los

productores forestales para que mantengan, conserven o aumenten la cobertura forestal de sus terrenos. El programa fue puesto en operación en el año 2007 con bases en el programa de PSA creado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en el año 2005, así como con referentes del programa que se lleva a cabo en Costa Rica desde 1997 (Alberto-Villavicencio, 2009). Está dirigido a ejidos, comunidades y pequeños propietarios que sean dueños, poseedores y/o usufructuarios de terrenos cubiertos por cubiertas forestales en el Estado de México (GEM, 2007).

Para todos aquellos que deseen inscribirse y que sean aceptados en el programa, se les dará una compensación económica de \$1,500.00 pesos al año por cada hectárea que se encuentre con al menos el 50 por ciento de la superficie con cobertura forestal (GEM, 2011).

El instrumento financiero, es el Fideicomiso para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (FIPASAHM), se creó con un capital inicial de 30 millones de pesos 00/100 M.N, sus funciones son: asignar los recursos, evaluar las propuestas viables y asignar el pago de acuerdo al presupuesto anual, el fideicomiso puede ser complementario a subsidios o financiamiento con recursos públicos, pero ajeno a préstamos.

En los años 2008 y 2009, se aportaron otros 30 millones de pesos para cada año, cantidad que ha sido complementada con un pago que hacen los ciudadanos de los municipios del Estado de México correspondiente al 3.5 por ciento de su pago bimestral o anual del servicio de agua (GEM, 2011).

2.1.1 Estructura del programa

El programa opera con una estructura administrativa y técnica. La gestión del programa es a través del organismo descentralizado Protectora de Bosques (PROBOSQUE) de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario. El equipo técnico cuenta con herramientas y tecnología en información telemática de la Estación de Recepción México de la Constelación Spot

(ERMEX-SPOT) y técnicos expertos en sistemas de información geográfica y procesamiento de imágenes satelitales (Alberto-Villavicencio, 2011).

Para dictaminar las solicitudes, los criterios que se toman en cuenta son:

- Rangos de superficie, densidad de cobertura forestal y usos de las áreas forestales, que pueden ser: reforestación con actividades de restauración o protección (brechas cortafuego, vigilancia, letreros, cercado, control de plagas y podas, entre otras).
- Condiciones de la cuenca donde se ubica (alta incidencia de cambio de uso del suelo, acuíferos sobreexplotados).
- Si no recibe apoyos del gobierno federal o estatal por pagos similares al PSA de otro ente federal, municipal o no gubernamental.
- Condiciones de conservación del bosque; existencia de tala clandestina, ocurrencia de incendios forestales o plagas; densidad de la cobertura forestal o si corresponde a un área natural protegida.

De acuerdo con Alberto-Villavicencio (2011) En el programa se pueden identificar tres actores principales:

1. Gestores (públicos y privados) entre ellos, los administradores del programa, del fideicomiso y las entidades gubernamentales que forman parte del comité técnico. Los privados son las empresas o técnicos que asesoran a los dueños de predios forestales para realizar las solicitudes, cubren la función de intermediarios entre los receptores de pago y el organismo administrador del PSA.
2. Beneficiarios o proveedores del PSA (propiedad social y privados), son los dueños o poseedores de terrenos forestales que cumplen con los criterios técnicos establecidos en las reglas de operación. La propiedad social se compone por ejidos o bienes comunales.
3. Los usuarios del servicio ambiental. Son la población en general que cuenta con una toma domiciliaria regulada por el ayuntamiento municipal que paga el servicio

hidrológico a través del impuesto señalado en su recibo de agua como “pago de aportaciones de mejoras al pago por servicios ambientales”.

2.1.2 Resultados del programa

Hoy, a más de 4 años de la puesta en marcha del programa PSAHEM, se puede notar un aumento en la cantidad de personas inscritas en el programa, también conviene mencionar que el programa ha servido como ejemplo para otros estados de la República Mexicana.

El programa hasta el año 2011 ha apoyado a una superficie de 142,087 hectáreas de superficies forestales con cobertura del 50 al 100 por ciento en el Estado de México, lo cual implica un apoyo de 213.1 millones de pesos. Como se puede ver en la tabla 2.1, a partir del año 2007 y hasta el 2011 la cantidad de personas o comunidades inscritas en el programa (beneficiarios) ha aumentado, y por tanto el capital económico necesario ha ido en aumento también. Se puede notar que los interesados en participar son sólo de algunos de los 125 municipios del Estado, sin embargo existe la tendencia de irse incorporando más. También cabe mencionar que en el año 2010 no existen datos, esto debido a que el organismo encargado hizo ajustes en la fecha que salía la convocatoria y los trámites se recorrieron hasta el siguiente año.

Tabla 2.1 Resultados de convocatorias del programa de PSAHEM

CONVOCATORIA	2007	2008	2009	2011	TOTAL
SOLICITUDES APROBADAS	127	182	290	394	993
SUPERFICIE	16,913	25,337	47,978	51,859	142,087
MONTO (\$)	25,369,500.00	38,005,500.00	71,967,000.00	77,788,500.00	213,130,500.00
BENEFICIARIOS	34,218	45,562	70,851	68,597	219,228
EJIDOS	63	95	64	161	383
COMUNIDADES	32	37	139	66	274
PROPIEDAD PRIVADA	32	50	87	167	336
MUNICIPIOS BENEFICIADOS	51	57	71	69	248

Fuente: PROBOSQUE (2011).

2.1.3 Evaluación del programa

Durante los años que ha estado en funcionamiento el programa de pago por servicios ambientales hidrológicos, PROBOSQUE ha generado varios reportes sobre lo acontecido en el programa, así como también se ha hecho una evaluación de tipo social, en donde se realizaron diferentes entrevistas en el Estado de México que permitieron conocer la percepción de los beneficiarios del programa (Edomexico, 2011). Además, algunos estudios académicos han permitido ampliar el conocimiento respecto a la implementación del programa PSAHEM (Alberto-Villavicencio, 2009; Endara, *et al.*, 2011).

A partir de la información recopilada y por entrevistas a encargados del programa se han detectado algunas fortalezas y debilidades del programa.

Fortalezas

- Único en su tipo a nivel Nacional, ya que se encuentra descentralizado y por tanto es administrado por una entidad federativa.
- Tiene referentes de programas previamente implementados
- Se cuenta con una institución encargada de administrar y evaluar el programa.
- Se utiliza tecnología en sistemas de información geográfica lo que permite ubicar de mejor manera los predios inscritos al programa.
- El programa ha sido bien aceptado por los dueños de los predios.
- Se cuenta con personal técnico calificado.
- Se reconoce la existencia de áreas de prioridad para el pago.
- El organismo encargado está consciente de que es necesario llevar a cabo una reestructuración en el programa para mejorar su implementación.

Debilidades

- Con antelación a su puesta en marcha no se realizaron diagnósticos ambientales.
- No existió un análisis sobre la disposición a pagar por los servicios ambientales.
- No existió un análisis para conocer la disposición y las condiciones bajo las cuales, los dueños de terrenos en el Estado de México estarían dispuestos a participar.
- El establecimiento de la tarifa de pago fue establecida con base en los costos de oportunidad que representa el cultivo de maíz, a pesar de que existen otros cultivos más rentables en el Estado.
- No se incluyen actividades de manejo y control de plagas.
- No es posible verificar la producción de servicios ambientales o el impacto que han tenido debido a la ausencia de estudios previos.
- No existen pagos diferenciados.
- No hay conexión con algún otro programa de PSA.

A manera de resumen de este apartado, el Estado de México ha puesto en funcionamiento un mecanismo de pago por servicios ambientales, que si bien cuenta la institución correspondiente, no se consideró un diagnóstico previo a su implementación que permitiera conocer la disposición a pagar ni la disposición a ser compensado por la protección del servicio ambiental hidrológico.

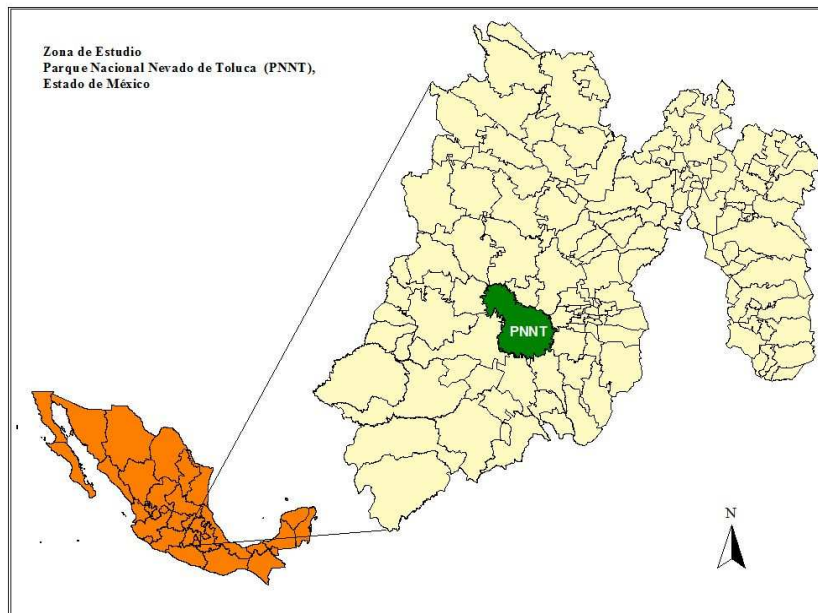
Los resultados muestran que existe un incremento en la participación de los actores dispuestos a vender servicios ambientales, pero de acuerdo con la teoría que respalda a los programas de PSA, éste no es el único parámetro para medir la eficacia y eficiencia en estos esquemas. También deben ser considerados los beneficios ambientales derivados de esta participación, sin embargo el programa es tan novedoso que esto sería difícil de evaluar. No obstante, la literatura sobre PSA ha mostrado algunos elementos clave que pueden brindar una mayor posibilidad de éxito para estos programas y que por tanto, vale la pena considerarlos a fin de que un programa como el implementado en el Estado de México resulte en una política con mayores posibilidades de cumplir sus objetivos.

2.2 Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT)

De las diferentes zonas forestales con potencial para ser parte del programa de pago por servicios ambientales del Estado de México, destaca el PNNT por sus características ecológicas, sociales y geográficas. Estas han permitido que exista un gran interés por parte de diferentes actores, tanto gubernamentales como de la sociedad civil, por conservar dicho parque.

El PNNT es un Área Natural Protegida (ANP) que forma parte de que se encuentra en la región central de México. Localizado a 22 km de la Ciudad de Toluca, capital del Estado de México (Figura 2.1). Su superficie es de 52,670 ha, dentro de la cual convergen los municipios de Zinacantepec, Toluca, Calimaya, Tenango del Valle, Villa Guerrero, Coatepec Harinas, Almoloya de Juárez, Temascaltepec y Amanalco de Becerra. Por su amplitud, el parque es considerado como una de las 65 ANP más representativas del Estado de México (CEPANAF, 2007).

Figura 2.1 Ubicación del PNNT



Fuente: Elaboración propia.

El decreto como Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) fue en el año 1936 y estuvo delimitado siguiendo la cota de los 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Investigaciones de Abasolo (2006), permiten argumentar que esta medida se debió en gran parte por un proceso de deterioro forestal derivado del auge agropecuario de finales del siglo XIX, lo que conllevó en 1900 a que se comenzaran a explotar zonas forestales bajo acuerdos y concesiones del gobierno estatal.

De acuerdo con Salinas (2010) el PNNT fue decretado en una zona de ejidos, los cuales habían sido reconocidos por el Estado como parte del reparto agrario. Con dicho decreto, delimitar el área para trabajos de conservación implicaba la expropiación de estos predios, sin embargo, esa acción nunca se llevó a cabo, ni tampoco se llevaron a cabo los trabajos de conservación.

Actualmente, el 67 por ciento del parque nacional corresponde a predios ejidales, 22 por ciento es de régimen comunal, 9 por ciento es propiedad privada, 5 por ciento es propiedad federal y 3 por ciento corresponde a la categoría de poblados (Huacuz, 2005).

De acuerdo con el INEGI, los registros censales muestran que dentro el ANP se encuentran 23 localidades: La Jarillas, San Román, San Juan Tepehuisco, Ojo de Agua, La Joya, Cruz Colorada, La Ciervita, Raíces, Loma Alta, Dos Caminos, Contadero de Matamoros, Puerta del Monte, Cerro Gordo, Buenavista, Agua Blanca, El Capulín, La Peñuela, Rosa Morada, El Varal, La Lima, Cajones, Dilatada Sur y el Capulín tercera sección. De estas localidades 6 cuentan con más de 100 viviendas. Además existen 55 localidades (28 de las cuales tienen más de 100 viviendas) que corresponden al área de influencia de 2.5 Km a partir de los límites del parque (Castañeda y López, 2009).

Franco (2009), estableció que en el año 2000 la población total ascendía a 8,634 habitantes, de los cuales el 57 por ciento de la población ocupada se dedicaba a actividades de agricultura y ganadería.

Respecto a las características geomorfológicas, el parque se encuentra caracterizado por un relieve accidentado con pendientes entre 12° y 50°. El rasgo geográfico más característico del parque, es el volcán Nevado de Toluca o Xinantecatl, cuarta montaña más alta en México con una altura de 4680 msnm.

De acuerdo con Candéau y Franco (2007), debido a la morfología del lugar, descienden numerosos arroyos que forman parte de 25 microcuencas, las cuales son parte de dos de las más grandes cuencas hidrológicas de México: La del río Lerma-Chapala-Santiago al norte, noreste y este del parque, además la cuenca del río Balsas al noreste, oeste, suroeste, sur y sureste. Estas son abastecidas de agua en mayor cantidad durante los meses de junio a septiembre, ya que es la temporada en donde se presentan más lluvias en la región. De acuerdo con el INEGI, la precipitación media anual es de 900 mm.

Los suelos presentes en el parque son de tipo andosol, los cuales se desarrollan a partir de material parental piroclásico, caracterizado por un alto porcentaje de ceniza volcánica sobre una capa de piedra pómez. Estos suelos presentan tres variantes, los suelos vítricos, que provienen de pumitas y que forman suelos sueltos, ácidos y con bajos contenidos de materia orgánica, los suelos húmicos con alto contenido de humus y materia orgánica y suelos órticos, de textura migajón-arenosa lo cual les confiere un alta permeabilidad (Franco, 2009).

Se estima que 70 por ciento del PNNT son bosques y estos representan un importante patrimonio ecológico del Estado de México. Estos suelen manifestarse como asociaciones de diferentes especies arbóreas: pino, pino-encino, pino-aile, pino-oyamel, oyamel, oyamel-pino, oyamel-aile, encino, encino-pino, encino-aile, aile, aile-pino, aile oyamel y aile-encino (Endara, 2010).

Los bosques de pino en el PNNT ocupan en conjunto el 33 por ciento de la superficie forestal del parque. La mayor parte de la superficie forestal se concentra en torno al cráter y en los picos más elevados del parque.

Los bosques de Oyamel, también representan una parte considerable del PNNT (33 %), sin embargo, este bosque se desarrolla en condiciones de mayor temperatura y de humedad, lo que le confiere una mayor diversidad de especies, y tiene una influencia positiva sobre el desarrollo de productos forestales no maderables, tales como: musgo, hongos silvestres, perlilla y plantas. Este hecho convierte a este tipo de bosque en una fuente de ingresos económicos resultado de la venta de algunos de estos productos, por lo que existe un interés de las comunidades locales por proteger esta especie (Endara, 2010).

Los bosques de latifoliadas son los bosques con menor presencia en el parque. Dentro de estos bosques se consideran los bosques de aile y los bosques de encino. Los primeros son apreciados para la producción artesanal, lo que implica que es muy común encontrar árboles extraídos con el sólo fin de aprovechar la parte más gruesa del tronco. Mientras que la leña del encino, así como la tierra a su alrededor es muy apreciada por su gran contenido orgánico (Franco y Burrola, 2009).

Los bosques del PNNT proveen una serie de bienes y servicios ambientales que son disfrutados tanto por las comunidades locales como por las ciudades circundantes e incluso podrían considerarse los beneficios internacionales que generan.

Los diferentes estudios técnicos que se han llevado a cabo en la zona, han demostrado que ésta ANP es considerada como la zona que más aporta agua al acuífero del valle de Toluca, el cual sirve de abastecimiento del líquido para los pobladores de varios municipios del Estado de México. Se tiene un estimado de que contribuye cada año con 94.6 Mm³ de agua, esto representa cerca del 60 por ciento de la entrada de agua subterránea a dicho acuífero (CNA, 2002).

De igual forma, se ha podido identificar que en el año 2000 existían 30,421.8 hectáreas de bosque, los cuáles contenían más de 4 millones de Mg de carbono (Franco, 2009). Esta función ambiental, genera beneficios internacionales, ya que es considerada una medida de mitigación del calentamiento global.

Además, dada su belleza escénica, constituye un importante destino regional para el desarrollo de diversas actividades recreativas, lo que constituye un punto de encuentro para paseantes de todo el país (Franco, 2009), lo cual ha llevado a que el volcán sea considerado como símbolo del Valle de Toluca.

A pesar de su gran relevancia, tan sólo 58 por ciento de las superficies boscosas puede considerarse como bosques densos, es decir, con un buen estado de conservación. Esto sugiere la pérdida gradual en las áreas forestales (Franco, *et al.*, 2006).

En este sentido, aunque que se estima que el 62 por ciento de las viviendas en el parque utilizan la leña como combustible para la cocina, la extracción de leña para el autoconsumo, no significa una amenaza para la conservación del bosque, lo es cuando ésta se destina a la venta, incrementando los volúmenes de extracción.

Existen datos reveladores sobre la pérdida de superficie forestal. Se tiene registro que desde que fue decretado parque nacional y hasta mediados de la década de los noventa, el parque perdió más del 50 por ciento de su masa arbórea original en procesos derivados de la tala clandestina, el escaso desarrollo de la cultura forestal entre los propietarios y posesionarios de los predios forestales y los consecuentes cambios de uso de suelo hacia actividades agrícolas y de pastoreo (GEM, 1999b). Estos procesos de degradación y de transformación del suelo han dado lugar a una continua fragmentación de los bosques que con el paso del tiempo se ha vuelto más evidente. Esto se encuentra constatado por las investigaciones de Regil (2005) donde se analiza la ocupación del suelo del PNNT del año 1972 y la del 2000. Los resultados de este análisis muestran que durante esos 28 años, ha habido un notable deterioro de la vegetación natural de los bosques del parque.

De las investigaciones más actuales, Franco (2009) establece que el parque presenta una tasa general de deforestación de 0.31 por ciento anual. Lo cual equivale a una pérdida superior a las 150 ha de bosque cada año. Esto no sólo se ve reflejado en la disminución de la cobertura forestal sino también en el decremento de biodiversidad y la capacidad de retención y filtración hídrica.

Cabe mencionar que existe una gran cantidad de estudios técnicos, ambientales, sociales y económicos que se han llevado a cabo en la zona, ya sea por organismos gubernamentales, académicos o de la sociedad civil. Este cúmulo de investigaciones representan grandes aportes para el entendimiento de la relación existente entre el PNNT y la sociedad, sin embargo, especialistas en el tema comentan que esta área, a pesar de ser de las zonas más estudiadas en el Estado de México sigue presentando un gran riesgo de perderse.

De acuerdo con todo lo anterior, se ha considerado que para la presente investigación, el PNNT es la zona de estudio adecuada para que se aplique el método de costo de oportunidad pretendido en este trabajo. Por un lado, por ser una zona prioritaria para implementar incentivos para evitar la deforestación, la degradación y los cambios de uso de suelo. Pero por otro lado, porque es un área que debido a la cantidad de investigaciones realizadas, posee una gran cantidad de información específica sobre algunas variables que resultan necesarias incorporar en la metodología de este trabajo.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los procedimientos realizados para la delimitación teórico-metodológica de la investigación y las fuentes consultadas. Se consideraron aportes de estudiosos del tema de servicios ambientales a nivel mundial. Particularmente lo relacionado al pago de estos servicios, los diferentes conceptos que los definen, y la importancia que han adquirido a través del tiempo. Para lograr esto, se recurrió a fuentes de información como reportes de investigación, libros, artículos científicos, tesis, ponencias de congreso, publicaciones periódicas y normas.

La revisión bibliográfica permitió identificar que los trabajos de servicios ambientales se encontraban sustentados en gran parte por las corrientes de la economía ambiental y la economía ecológica. Se eligió la primera, debido a que las iniciativas propuestas por la economía ambiental se encuentran más desarrolladas a nivel mundial y por tanto existen metodologías ampliamente aceptadas en el campo científico. Se identificaron los métodos propuestos por la economía ambiental encaminados a corregir las fallas que han contribuido a generar la degradación de los servicios brindados por el ecosistema.

Entre los diferentes métodos encontrados, fue posible distinguir algunos que destacan por sus aportes en programas similares al del objeto de estudio. Dentro de estos se encuentran el método de valoración contingente, el método de precios hedónicos, el método de costo de viaje y el método de costo de oportunidad. Este último, fue el seleccionado para la presente investigación por la estrecha relación que sostiene con los programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), y porque permite realizar estimaciones indirectas mediante variables económicas, mientras que los otros métodos realizan estimaciones directas y cualitativas en el lugar del estudio, lo que implica tener un contacto más estrecho con la zona de estudio, condición que en este caso no se cumplía por no radicar cerca de la zona de estudio.

Se revisaron trabajos sobre investigaciones y evaluaciones relacionadas al programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México (PSAHEM). También

se realizaron visitas a la dependencia Protectora de Bosques (PROBOSQUE), organismo encargado de administrar el programa en el Estado de México. Se obtuvo información respecto a la historia, resultados, recomendaciones, fortalezas y debilidades del programa

Se llevaron a cabo entrevistas semi-estructuradas, con expertos en temáticas como son: manejo forestal, recarga de acuíferos, programas de PSA, economía ambiental, nevado de Toluca y dotación de agua (ver tabla 3.1). Estas entrevistas brindaron diferentes puntos de vista tanto de los programas de PSA, como de la situación ambiental del Parque Nacional Nevado de Toluca.

Tabla 3.1 Responsables y/o investigadores entrevistados

Experto	Cargo y/o lugar de trabajo
Dra. Tizbe Teresa Arteaga Reyes	Investigadora del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex).
Dr. Sergio Franco Maass	Investigador del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Coordinador de Investigación y Estudios avanzados de la UAEMex.
Dr. Ángel Rolando Endara Agramont	Investigador del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, UAEMex.
Ing. Jorge González Sánchez	Comisión de Agua y Saneamiento del Estado de México.
Dr. José Emilio Baró Suarez	Profesor-investigador y coordinador de la Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos de la UAEMex.
Dra. Ángeles Alberto Villavicencio	Investigadora del Colegio de Michoacán.
Ing. Gilberto Galeote Rivera	Jefe de la unidad de conservación de suelos forestales de PROBOSQUE (Gov. del Edo. Mex).
Lic. Rubén García	Jefe del Centro de Apoyo al Desarrollo Rural CADER No 8 SAGARPA.

Fuente: Elaboración propia.

El método de costo de oportunidad seleccionado para esta investigación ha sido abordado en distintas investigaciones. Diversos resultados, mostraron que existe una tendencia para utilizar el método de costo de oportunidad en una escala mayor, es decir que no sólo se incluyan variables económicas para su análisis, sino que también se incorporen variables

ambientales y sociales. La incorporación de estas variables brinda mayor información a los tomadores de decisiones respecto al diseño, aplicación y evaluación de políticas encaminadas a conservar las áreas naturales, tales como el programa PSAHEM.

La modalidad mencionada, surge de la política internacional REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*) de la ONU. El objetivo es brindar apoyo a países en desarrollo a crear programas para frenar la deforestación y degradación de bosques. Dentro del apoyo brindado, se encuentra la publicación de artículos con información que pudiera resultar benéfica en la implementación de programas encaminados a la protección ambiental. Una de estas publicaciones es el “Manual de capacitación para la estimación de los costos de oportunidad de REDD+” (White y Minang, 2011). Documento que se consideró como base en este trabajo, ya que brinda una forma clara para obtener el costo de oportunidad con variables económicas y ambientales con la posibilidad de aplicarse a un programa de PSA.

Cabe mencionar que la metodología utilizada en dicho manual está relacionada con un programa de pago por servicios ambientales de captura de carbono. Utiliza como medida para obtener el costo de oportunidad la capacidad que tiene una hectárea de bosque para capturar carbono, expresada en toneladas por hectárea de bosque (t/ha) o (Mg CO²/ha). Con base en lo anterior, en un principio se descartó la utilización de esta metodología debido a que el objeto de estudio de la presente investigación gira en torno a un programa de pago por servicios ambientales hidrológicos, sin embargo, tras una revisión más a detalle del manual, se pudo identificar que dicha metodología podría ser utilizada para otros servicios ambientales como los hidrológicos o los relacionados a la conservación de la biodiversidad, incluso considera pertinente la incorporación de las variables de estos programas a fin de tener una percepción más amplia sobre el costo de oportunidad.

Con base en los objetivos de este trabajo, se adecuó la metodología expuesta en el manual. Es decir, las variables de captura de carbono fueron sustituidas por variables de servicios ambientales hidrológicos. Sin embargo, se consideró importante realizar

también los cálculos de captura de carbono para tener mayores elementos de análisis de los resultados encontrados.

Para la obtención de los datos implicados en el costo de oportunidad se recurrió tanto a fuentes primarias como secundarias, además de bases de datos digitales del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Comisión Nacional de Población (CONAPO) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Se eligió como zona de estudio el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), debido a que la dotación de servicios ambientales que brinda esta área son particularmente reconocidos en el programa de PSAHEM, además de que cuenta con diversos estudios técnicos de corte ecológico, social y económico, antecedentes importantes para un estudio como el presente.

3.1 Procedimiento para la obtención del costo de oportunidad¹

Para estimar el costo de oportunidad hay cuatro aspectos que son necesarios: Análisis de cambios del uso de suelo, medición de la captura de carbono (MgC/ha), cálculo de rentabilidad (dólares por hectárea) y el cálculo de la gráfica de costo de oportunidad. Para fines de este estudio, se incorporó la medición de recarga de acuíferos.

3.1.1 Análisis de cambios de uso de suelo

Para llevar a cabo éste proceso, primero se delimitaron los usos de suelo presentes del PNNT. Estos fueron obtenidos de las investigaciones de Regil (2005). Se categorizaron 14 diferentes usos de suelo: agrícola, bosque de oyamel denso, bosque de oyamel semidenso, bosque de oyamel fragmentado, bosque de cedro denso, bosque de cedro semidenso, bosque de cedro fragmentado, bosque de pino denso, bosque de pino

¹ Manual de capacitación de estimación de los Costos de Oportunidad de REDD+ (White y Minang 2011).

semidenso, bosque de pino fragmentado, bosque de latifoliadas denso, bosque de latifoliadas semidenso, bosque de latifoliadas fragmentado, otros usos no forestales (anexo 3).

Una vez establecidos los usos de suelo, se utilizaron los estudios de Franco, *et al.*, (2006) para conocer los cambios que se han dado en los 14 usos de suelo del PNNT en un periodo de tiempo. Los resultados se muestran en una matriz de transición, la cual es una tabla en donde es posible identificar los cambios sufridos por tipo de cobertura forestal, expresados en hectáreas, para el periodo de 1972-2000 (anexo 4). En esta tabla, las columnas representan las superficies en el año 2000 y los renglones representan las superficies en el año 1972. Por ejemplo, si se requiere saber cuántas hectáreas fueron las que cambiaron de pino denso a agricultura, se ubica el uso de suelo “pino denso” en los renglones de la tabla y después se ubica el uso de suelo “agricultura” en las columnas, la casilla donde convergen ambas será el valor. En este caso los datos muestran que se cambiaron 202.2 hectáreas de pino denso a agricultura en el PNNT durante los años 1972-2000.

3.1.2 Medición de captura de carbono

Los cálculos sobre la cantidad de carbono capturado por los bosques del PNNT fueron recabados de investigaciones realizadas por Franco (2009). En este trabajo el autor estima un índice de carbono capturado para cada tipo de bosque presente en el nevado de Toluca obtenido con base en el levantamiento de información *in situ* y cálculos matemáticos respecto al tipo, tamaño de arboles, biomasa aérea y volumen del bosque (anexo 5).

Estos valores de carbono capturado fueron reclasificados a fin de apearse a los 14 usos de suelo anteriormente descritos. Para explicar este proceso se utilizarán como ejemplo las claves y valores de oyamel, vegetación secundaria y bosque de aile mostrados en el anexo 5.

En la tabla del anexo 5 se muestra una clave como “FBC (A)” se refiere a que es un bosque de oyamel únicamente (100 %). Si son dos claves como “FBC(A) – S(Mi)”, se refiere que es un bosque de oyamel en 75 por ciento y vegetación secundaria en 25 por ciento. Si son tres claves como “FBC(A) - S(Mi) - FBL(Al) quiere decir que es un bosque de oyamel en 50 por ciento, vegetación secundaria 15 por ciento, y bosque de aile en un 10 por ciento (Franco, 2009).

Una vez que se logró el reconocimiento de cada una de las claves de dicha tabla, se realizó la reclasificación y se calculó el promedio de carbono capturado por hectárea para cada uno de los tipos de bosque (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Carbono promedio capturado por tipo de bosque en el PNNT

Tipo de Bosque	MgC/ha	Carbono Promedio en MgC/ha	Tipo de Bosque	MgC/ha	Carbono Promedio en MgC/ha
OYAMEL DENSO			PINO FRAGMENTADO		
FBC(A)	163.62	146.83	Pi-FBC(P)	43.17	31.03
FBC(A)-FBL(Al)	146.58		Pi-FBC(P)-FBL(Al)	27.85	
FBC(A-P)	141.57		Pi-FBC(P)-FBL(Al)-S(Mi)	25.89	
FBC(A-P)-FBL(Al)	135.57		Pi-FBC(P)-S(Mi)	23.75	
			Pi-FBC(P-A)	31.19	
			Pi-FBC(P-A)-S(Mi)	35.22	
OYAMEL SEMIDENSO			Pi-FBC(P-Cu)	40.34	
FBC(A)-Pi	71.41	86.36	S(Mi)-FBC(P)	23.75	
FBC(A)-S(Mi)	71.41		S(Mi)-FBC(P)-FBL(Al)	25.89	
FBC(A)-S(Mi)-FBL(Al)	93.45		S(Mi)-FBC(P)-Pi	14.25	
FBC(A-P)-Pi	94.8		S(Mi)-FBC(P-A)	35.22	
FBC(A-P)-S(Mi)	67.22		S(Mi)-FBC(P-Cu)	11.61	
FBC(A-P)-S(Mi)-Pi	70.78		S(Mi)-Pi-FBC(P)	9.5	
FBC(A)-FBL(Al)-Pi	110.91		S(Mi)-Pi-FBC(P)-FBL(Al)	21.14	
FBC(A)-FBL(Al)-S(Mi)	110.91		S(Mi)-Pi-FBC(P-A)	14.09	
			Pi-FBC(Al)-FBC(P)	129.04	
OYAMEL FRAGMENTADO			Pi-S(Mi)-FBC(P)	9.5	
			Pi-S(Mi)-FBC(P-A)	14.09	
S(Mi)-FBC(A)	40.91	30.46	Pn-FBC(P)	50.07	
S(Mi)-FBC(A)-FBL(Al)	36.18		Pn-FBC(P-A)	35.22	

S(Mi)-FBC(A-P)	35.39				
Pi-FBC(A-P)	35.39			BOSQUE DE LATIFOLIADAS DENSO	
Pi-FBC(A-P)	35.39				
Pi-FBC(A)	40.91			FBL(Al)	116.39 158.43
Pi-FBC(A)-FBL(Al)	27.85			FBL(Al)-Eh(m)-FBC(P)	96.79
Pi-FBC(A)-S(Mi)	40.91			FBL(Al)-FBC(A)	128.19
S(Mi)-Pi-FBC(A)	16.36			FBL(Al)-FBC(A-P)	122.68
S(Mi)-Pi-FBC(A-P)	14.16			FBL(Al)-FBC(P)	111.04
Pi-S(Mi)-FBC(A)-FBL(Al)	28			FBL(Q)	266.99
Pi-S(Mi)-FBC(A-P)	14.16			FBL(Q-Al)	266.99
CEDRO DENSO					
FBC(Cu)	192.69	143.87			
FBC(Cu-P)	95.06				
CEDRO SEMIDENSO					
BOSQUE DE LATIFOLIADAS SEMIDENSO					
FBC(Cu-P)-S(Mi)	47.53	86.32		FBL(Al)-FBC(A)-Pi	111.83 123.40
FBC(Cu)-S(Mi)	96.34			FBL(Al)-FBC(P)-Pi	101.54
FBC(Cu)-Pi	96.34			FBL(Al)-FBC(P)-S(Mi)	101.54
FBC(Cu)-Pi-S(Mi)	96.34			FBL(Al)-Pi	87.29
FBC(Cu)-FBL(Al)-S(Mi)	95.06			FBL(Al)-S(Mi)	89.47
				FBL(Al)-S(Mi)-FBC(P)	96.79
				FBL(Al)-S(Mi)-Pi	87.29
CEDRO FRAGMENTADO					
				FBL(Q)-FBC(P)-S(Mi)	214.49
S(Mi)-FBL(Q-Al)	66.75	54.36		FBL(Q)-Pi	200.24
Pi-FBC(Cu)	48.17			FBL(Q)-S(Mi)	200.24
S(Mi)-FBC(Cu)	48.17			FBL(Q-Al)-S(Mi)	66.75
PINO DENSO					
BOSQUE DE LATIFOLIADAS FRAGMENTADO					
FBC(P)	95.06	100.74		S(Mi)-Pi-FBL(Q-Al)	26.7 39.72
FBC(P)-FBL(Al)	95.01			Pi-FBL(Al)	29.1
FBC(P-A)	140.88			Pi-FBL(Al)-FBC(A)	27.85
FBC(P-A)-FBL(Al)	134.76			Pi-FBL(Al)-FBC(P)	27.85
FBC(P-Cu)	37.99			Pi-FBL(Q)	66.75
				Pi-S(Mi)-FBL(Al)	11.64
PINO SEMIDENSO					
				S(Mi)-FBL(Al)	29.1
				S(Mi)-FBL(Al)-FBC(A-P)	31.61
FBC(P)-FBL(Al)-Pi	70.09	62.32		S(Mi)-FBL(Al)-FBC(Cu)	36.73

FBC(P)-FBL(Al)-S(Mi)	69.02			S(Mi)-FBL(Al)-FBC(P)	73.02	
FBC(P)-Pi	59.91			S(Mi)-FBL(Q)	66.75	
FBC(P)-Pi-S(Mi)	47.51			S(Mi)-FBL(Q)-FBC(P)	49.55	
FBC(P)-S(Mi)	46.58					
FBC(P-A)-FBL(Al)-S(Mi)	99.54			AGRICULTURA		
FBC(P-A)-Pi	105.66					
FBC(P-A)-Pi-S(Mi)	70.44			AtpA-FBC(A)	40.91	36.36
FBC(P-A)-S(Mi)	51.74			AtpA-FBC(P)	23.76	
FBC(P-A)-S(Mi)-Pi	70.44			AtpA-FBC(P-A)	35.22	
FBC(P-Cu)-Pi	28.49			AtpA-FBL(Al)	29.1	
FBC(P-Cu)-S(Mi)	28.49			Ehf-FBL(Al)-FBC(P)	52.85	

Fuente: Elaboración propia con base en información de Franco (2009).

3.1.3 Medición de recarga de acuíferos

Debido a que no existen estudios sobre la cantidad de agua que recargan al acuífero los diferentes usos de suelo del PNNT, se obtuvo un estimado con datos de un estudio similar (Edomexico, 2011). De acuerdo con dicho estudio, una hectárea de bosque denso puede recargar al acuífero 3,621.64 m³ de agua al año. Se asumió que este valor era representativo para cualquier tipo de bosque denso que se encontraba en el PNNT.

Para calcular la recarga de los demás usos de suelo se utilizó un análisis de captura de agua o desempeño hidráulico, definido por Torres y Sanginés (2002) como el servicio ambiental que producen las áreas arboladas al impedir el rápido escurrimiento del agua de lluvia precipitada, propiciando la infiltración de agua que alimenta los mantos acuíferos y la prolongación del ciclo del agua. Este tipo de análisis permite obtener un estimado de la cantidad de agua que es infiltrada al suelo dependiendo la densidad forestal de un determinado tipo de suelo.

De acuerdo con estos autores, para obtener la captura de agua se necesita utilizar un Coeficiente de Escurrimiento (CE), el cual permite obtener un valor para cada uno de los usos de suelo presentes en una determinada zona. Para ello se toman en cuenta valores de vegetación, características del suelo y precipitación. Por lo tanto, se establece que entre

mayor sea el coeficiente de escurrimiento menor será el nivel de infiltración que tenga el suelo (Torres y Sanginés, 2002).

3.1.3.1 Coeficiente de escurrimiento

La fórmula del CE es la siguiente:

$$Ce = K (P-500) / 200 \text{ cuando } K \text{ es igual o menor a } 0.15 \text{ y}$$

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K-0.15) / 1.5 \text{ cuando } K \text{ es mayor que } 0.15$$

Ce=coeficiente de escurrimiento

K= es un factor que depende de la cobertura arbolada (ver tabla 3.3)

P= Precipitación media anual, en mm.

Tabla 3.3. Valores de K para los diferentes tipos de suelo y coberturas forestales.

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO		
	A (permeable)	B (medianamente permeable)	C (poco permeable)
Cultivos	0,24	0,27	0,30
Pastizal: (% del suelo cubierto con vegetación)			
Más del 75 % - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75 % - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50 % - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75 %	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75 %	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50 %	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25 %	0,22	0,28	0,30

Fuente CNA (2002a).

Para el cálculo del CE se consideró que los bosques densos del PNNT contenían una densidad de cobertura forestal de más del 75 por ciento, los bosques semidensos entre 50-75 por ciento y los bosques fragmentados entre 25 y 50 por ciento, también se asumió

que la vocación del suelo de “otros usos no forestales” era pastizal excesivo. Además se establece que el tipo de suelo es permeable debido a que la clasificación taxonómica del suelo en el PNNT considera que existe una predominancia de suelo andosol, el cual tiene altas capacidades de permeabilidad. Esto permitió establecer un valor de K para cada uno de los usos de suelo en la zona de estudio.

Siguiendo el estudio de Torres y Sanginés (2002) una vez que se obtuvieron los valores del CE, para todos los usos de suelo fue posible estimar el Volumen de Captura de Agua (VAC). Asumiendo que del total de agua que cae en una zona por efecto de la precipitación, una parte escurre (CE) y el resto se queda capturada en la superficie. Esto quiere decir que si el valor de CE es .023, representa el 23 por ciento del volumen de agua escurrida, mientras que el 77 por ciento restante representa el (VAC).

Una vez determinado el VAC de cada uso de suelo, se estableció que el valor del bosque denso representaba el máximo valor posible de agua capturada, por lo tanto, mediante cálculos de porcentaje se obtuvieron los valores de recarga de agua de los demás usos de suelo.

Cabe señalar que este tipo de estimaciones son preliminares ya que no se consideró la evapotranspiración causada por diferentes densidades de cobertura vegetal, no obstante, estos valores fueron útiles para poder identificar las variaciones hidrológicas entre los diferentes usos de suelo (Torres y Sanginés, 2002).

3.1.4 Cálculo de rentabilidad

El cálculo de la rentabilidad implicó para este estudio conocer la ganancia neta de los 14 usos de suelo que se encuentran en el PNNT. Por lo tanto, fue necesario considerar los beneficios económicos netos de la agricultura, el bosque denso, bosque semidenso, bosque fragmentado y pastizal.

3.1.4.1 Rentabilidad de agricultura

De los cuatro cultivos predominantes en el PNNT (papa, cebada, maíz y haba), se eligió para calcular su rentabilidad el cultivo de la papa, por ser éste el que tiene una mayor inferencia en la zona a causa de su alta productividad económica.

Se tomaron en cuenta los costos de producción del cultivo con base en Morales, *et al.* (2011). En el estudio se identifica un costo de 211 dólares por cada tonelada de papa cultivada. Este valor contempla el uso de fertilizante, fungicida, insecticida, semilla, combustible, además de labores manuales, labores mecanizadas, materiales diversos y tierra (anexo 6).

Respecto a los precios de venta, se utilizaron los estipulados por el Centro de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER). Organismo perteneciente a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que mantiene la información actualizada sobre el comportamiento de precios de productos agropecuarios, así como información sobre insumos tales como la semilla, fertilizantes, pesticidas.

Para la obtención del volumen cosechado por hectárea, se utilizaron datos de un productor dedicado al cultivo de papa en una comunidad dentro del PNNT. La tabla 3.4 muestra la superficie sembrada, la superficie cosechada, el rendimiento esperado, el obtenido, y además el precio pagado por cada tonelada papa a dicho productor.

Tabla 3.4. Información de siembra y cosecha de un productor de papa en el PNNT

CULTIVO	SUPERFICIE PROGRAMADA (HA)	SUPERFICIE SEMBRADA (HA)	SUPERFICIE COSECHADA (HA)	RENDIMIENTO (TON/HA)		PRODUCCIÓN (TONELADAS)		Precio pagado por tonelada
				ESPERADO	OBTENIDO	ESPERADA	OBTENIDA	
Papa alpha	19.5	19.5	19.5	25	18	500	351	\$5,500.00

Fuente: Elaboración propia con base en CADER (2011).

Con los datos sobre la productividad del cultivo de papa en el PNNT (tabla 3.4), y con los costos de producción de cada tonelada, fue posible estimar la ganancia por cada hectárea cultivada en el PNNT. Para utilizar las mismas unidades monetarias la ganancia se convirtió a dólares a un tipo de cambio de \$12.55 (promedio anual 2011).

3.1.4.2 Rentabilidad de bosques densos

Para el cálculo de la rentabilidad de los ingresos económicos que generan los terrenos con vocación exclusivamente forestal (bosques densos), se utilizaron datos de una investigación que muestra las actividades de aprovechamiento de recursos forestales que llevan a cabo las comunidades dentro del PNNT (Espinoza y Salgado, 2009). El estudio muestra que existen actividades de extracción en los bosques PNNT y gran parte de esta extracción es únicamente para autoconsumo. Sin embargo el estudio también revela que existe venta de productos forestales no maderables proveniente de los bosques de oyamel, tales como hongos, tierra de monte, musgo, por lo cual es posible considerar ingresos económicos únicamente en estos usos de suelo. Con base en este estudio, se obtuvo el estimado de \$31.86 dólares de ganancias por hectárea de bosque de oyamel al año.

3.1.4.3 Rentabilidad de bosques semidensos

Tomando en cuenta que la característica para definir a un bosque como semidenso es que se encuentra asociado con algún otro uso de suelo como pastizal o agricultura en una proporción aproximada de $\frac{1}{4}$ de su territorio (Franco, 2009), para estimar la rentabilidad de este uso de suelo se consideraron los beneficios económicos del bosque denso (anteriormente descritos) en relación al porcentaje de este uso de suelo ($\frac{3}{4}$).

3.1.4.4 Rentabilidad de bosques fragmentados

En la rentabilidad económica del uso de suelo de bosque fragmentado los valores fueron asumidos de la misma manera que en el bosque semidenso, únicamente considerando que

para este tipo de bosques la proporción dedicada al pastizal o agricultura es de $\frac{3}{4}$ partes de su territorio. Por lo tanto, sólo se consideró el valor de $\frac{1}{4}$ de bosque denso.

3.1.4.5 Rentabilidad de otros usos

Para obtener la rentabilidad económica del uso de suelo “otros usos” se tomó en cuenta lo planteado por Franco (2009) de que estos tipos de suelo se caracterizan en su mayoría por ser pastizales que pueden ser utilizados en actividades ganaderas. Por lo cual, en el presente estudio se asumió que dicho suelo estaría dedicado a prácticas de ganadería bovina.

Para realizar el estimado se tomó en cuenta el peso promedio de una cabeza de ganado que es de 450 kg y un periodo de vida del animal de 3 años (CADER, 2011). Además fue necesario obtener los costos de producción y los beneficios monetarios por hectárea de la actividad ganadera.

Respecto a los costos de producción se consideraron los estipulados por White y Minang (2011) que incluyen el pastor, las vacunas para el animal, los suplementos y el mantenimiento en general que suman la cantidad de \$58.00 dólares por cabeza de ganado. Los ingresos económicos fueron estimados con base en el precio estipulado por SAGARPA para el año 2011, el cual fue de \$36.00 por kilo (CADER, 2011).

Además, se consideró el coeficiente de agostadero² para poder tener una relación entre la actividad ganadera y el uso de una hectárea dedicada al pastizal. Cabe mencionar que de acuerdo con la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA) se necesitan al menos 5 hectáreas para alimentar cada cabeza de ganado en el Estado de México (COTECOCA, 2002).

² Número de hectáreas necesarias para alimentar una unidad animal manteniendo la máxima y óptima producción pecuaria en forma económica, permanente y sin deteriorar los recursos naturales Rivas *et al.*, 2008.

3.1.5 Ingresos extras por el cambio de uso de suelo

En los cálculos de rentabilidades existen usos de suelo que tienen un ingreso económico extra, éste es derivado del proceso de cambio de uso de suelo. Por ejemplo, el realizar un cambio de uso de suelo de bosque a agricultura implica una deforestación de la cual se pueden obtener ingresos por la venta de la madera.

Para realizar estos cálculos se utilizaron valores sobre el volumen de madera contenida en una hectárea de bosque. De acuerdo con Endara (2010) una hectárea de bosque de oyamel en el PNNT tiene un volumen de 963.25 m³/ha, el bosque de pino 231.99 m³/ha. y el bosque de latifoliadas 119.8 m³/ha.

Respecto a los precios pagados por m³ de madera se utilizaron los precios de venta de materias primas forestales establecidos por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario para la región 01 del Estado de México (SEDAGRO, 2011). De acuerdo con lo anterior 1 m³ de madera de oyamel y de pino se paga en \$950.00 pesos y el m³ de madera de bosque de aile o encino (bosque de latifoliadas) se paga en \$600.00 pesos.

Con el volumen por hectárea y el precio de venta fue posible estimar los ingresos económicos derivados de la conversión de las actuales zonas forestales del PNNT, considerando la cantidad de hectáreas de cada tipo de bosque presentadas en el anexo 4.

3.1.6 Valor Presente Neto

Una vez que fueron obtenidas las rentabilidades para los 14 usos, los autores White y Minang (2011) recomiendan utilizar rentabilidades futuras, esto debido a que pueden existir variaciones en los ingresos económicos con el paso de los años, tal es el caso de los cultivos, ya que no es posible cultivar cada año lo mismo, por tanto, las rentabilidades no serán iguales en el largo plazo.

Dadas estas circunstancias, resulta necesario calcular las rentabilidades en Valor Presente Neto (VPN). Es decir que se establezca un periodo de tiempo, se utilice una tasa de descuento para los años de este periodo y se consideren los posibles cambios de rentabilidades.

La fórmula del valor presente neto es la siguiente:

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_t}{(1+r)^t}$$

t = año

T = longitud del horizonte de tiempo

Π = rentabilidad anual de los usos de suelo (\$/ha)

r = tasa de descuento

Fuente: White y Minang (2011).

Para el cálculo del VPN se utilizó un periodo de 20 años y se aplicó una tasa de descuento del 5 por ciento, la cual es sugerida por el Banco de México en el año 2011. Cabe mencionar que de las rentabilidades del bosque, únicamente se tomó en cuenta el bosque de oyamel en sus tres diferentes categorías (denso, semidenso, fragmentado), debido a que en esta investigación se consideró que era la única especie en el PNNT que brindaba beneficios económicos. Respecto a la agricultura, únicamente se tomaron en cuenta cinco ciclos del cultivo de papa, asumiendo que a partir del sexto ciclo la rentabilidad ya no sería igual debido a la erosión de la tierra. En el uso de suelo pastizal se consideró que cada ciclo de ganadería sería de 3 años.

3.2 Cálculo de la gráfica de costo de oportunidad

Una vez que fueron obtenidos, los cálculos de cambios de uso de suelo, captura de carbono, recarga de acuíferos y rentabilidad. Se procedió a realizar el cálculo de la gráfica de costo de oportunidad.

Para ello, fue indispensable utilizar todos los valores anteriormente descritos para crear dos matrices, una **matriz de costos** que incluye los usos de suelo del PNNT, los de recarga de acuíferos y además los valores de rentabilidad. Con esta matriz es posible obtener los valores del eje vertical para la gráfica de costo de oportunidad. Y además la **matriz de efectos ambientales** que incluye los datos sobre el cambio de uso de suelo en el PNNT y sobre la recarga de acuíferos de cada tipo de suelo. Con esta matriz se obtienen los valores del horizontal de la gráfica de costo de oportunidad.

3.2.1 Matriz de costos

Para la obtención de la matriz de costos de oportunidad es necesario llevar a cabo diferentes operaciones matemáticas entre cada uno de los usos de suelo en donde exista un cambio, tomando como base la matriz de transición previamente descrita (anexo 4). Para ilustrar estas operaciones se utilizará como ejemplo un cambio de uso de suelo de bosque denso a agricultura para obtener el costo de oportunidad con base en la captura de agua.

- (a) VPN Bosque denso (\$/ha)
- (b) VPN Agricultura (\$/ha)
- (c) VPN Cambios (\$/ha) [c=b-a]
- (d) Beneficios económicos adicionales [d]
- (e) Beneficios totales [e=c+d]
- (f) Índice de recarga de acuíferos en bosque denso
- (g) Índice de recarga de acuíferos en agricultura
- (h) Cambios en los índices de captura [h=g-f]
- (i) Costos de oportunidad [g=e/h]

Para obtener el costo de oportunidad pero con base en el servicio ambiental de la captura de carbono es indispensable transformar el índice de carbono capturado (CO^2) a dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}^2 \text{ eq}$) ya que de esta forma se podrán estimar las emisiones de

carbono. Para lo cual se debe multiplicar el índice de carbono capturado por “3.67”³. Por lo tanto, las operaciones se realizan de la siguiente manera.

- (a) VPN Bosque denso (\$/ha)
- (b) VPN Agricultura (\$/ha)
- (c) VPN Cambios (\$/ha) [c=b-a]
- (d) Beneficios económicos adicionales =[d]
- (e) Beneficios totales =[c-d]
- (f) Índice de captura de carbono en bosque denso
- (g) Índice de captura de carbono en agricultura
- (h) Cambios en los índices de captura [h=g-f]
- (i) Emisiones de carbono [i=h *3.67]
- (j) Costos de oportunidad [j=e/i]

3.2.2 Matriz de efectos ambientales

Para obtener la matriz de efectos ambientales se consideran los valores del cambio de uso suelo de la matriz de transición y los valores de carbono capturado y agua capturada. Las operaciones matemáticas necesarias se presentan a continuación, se utiliza el mismo ejemplo de cambio de uso suelo (Bosque denso a agricultura) para una estimación respecto al servicio ambiental de recarga de acuíferos.

- (a) Valor en matriz de transición
- (b) Número de años contemplados en el periodo de transición
- (c) Índice de captura de agua en bosque denso
- (d) Índice de captura de agua en agricultura
- (e) Cambios en los índices de recarga de acuíferos
- (f) Cambios por área e=[d * a]
- (g) Efectos ambientales g = [e/b]

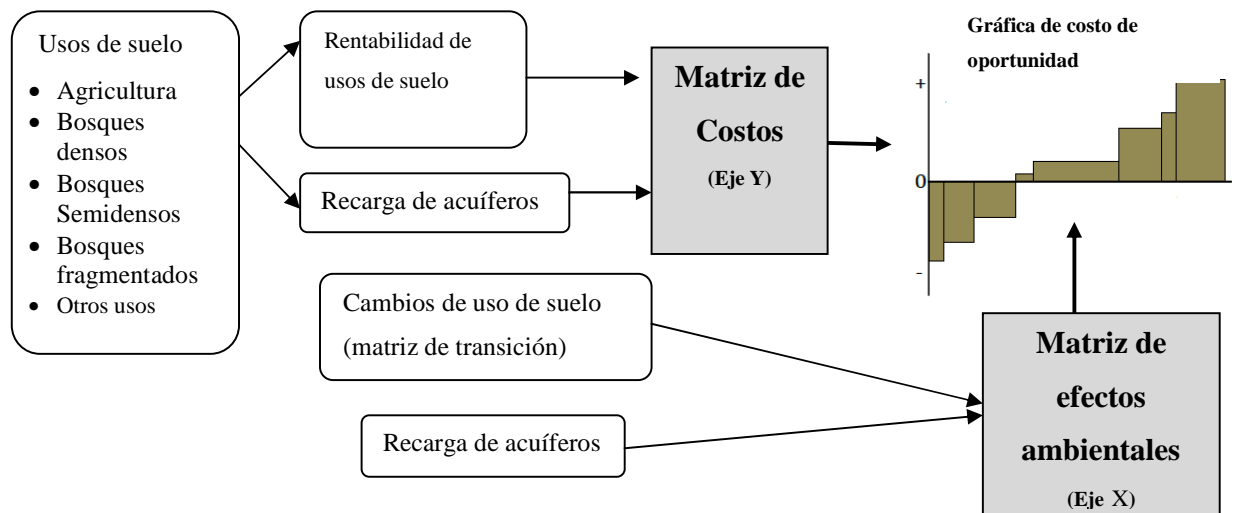
³ Este valor es universal y es obtenido considerando el peso atómico del carbono (12) y del oxígeno (16). Se realiza la operación $((12+(2*16))/12)=3,67$ White y Minang (2011).

Respecto a la estimación de los efectos ambientales respecto a la emisión de carbono, al igual que en la matriz de costos anteriormente explicada, se multiplica el índice de carbono capturado por 3.67 para obtener el valor de emisiones de carbono. Las operaciones realizan de la siguiente manera:

- (a) Valor en matriz de transición
- (b) Número de años contemplados en el periodo de transición
- (c) Índice de captura de agua en bosque denso
- (d) Índice de captura de agua en agricultura
- (e) Cambios en los índices de recarga de acuíferos [$e=c-d$]
- (f) Emisiones de carbono [$f=e * 3.67$]
- (g) Cambios por área [$g=f * a$]

Una vez que fueron obtenidos todos los cálculos de ambas matrices para cada uno de los cambios de uso de suelo, es posible realizar una gráfica, en donde sean considerados los valores de la matriz de costos para el eje Y, y los valores obtenidos en la matriz de efectos ambientales se utilizan en el eje X. La figura 3.1 muestra la relación entre ambas matrices para la elaboración de una grafica o curva de costo de oportunidad para el presente estudio.

Figura 3.1. Cálculo de gráfica de costo de oportunidad con base en matrices



Fuente: Elaboración propia, adaptado de White (2011).

El resultado es una gráfica de costo de oportunidad como la expresada en el diagrama de la figura 3.1, con la cual es posible obtener diferente información considerando los siguientes aspectos:

- Cada columna representa un posible cambio de uso de suelo, por ejemplo un cambio de una hectárea de bosque a una hectárea dedicada a la agricultura.
- La dirección de las columnas pueden ser tanto negativas (abajo del eje X) como positivas (arriba del eje X). Las columnas positivas indican que se mejoraron los beneficios económicos tras el cambio de uso de suelo. Caso contrario de las columnas negativas que indican cambios de usos de suelo a unos menos rentables.
- El ancho de la columna muestra el porcentaje de servicio ambiental que se perdería tras el cambio en el suelo, entre más ancha es la columna, mayor será la pérdida del servicio ambiental.

Cabe hacer mención, que tanto los cálculos de la matriz de costos de emisión como los cálculos de la matriz de efectos ambientales y la gráfica de costo de oportunidad se realizaron con el software REDD-Abacus. Este es un programa de computación que facilita la creación de curvas de costo y que se sugiere utilizar en el manual para estimar los costos de oportunidad REDD+ (White y Minang, 2011).

3.3 Escenarios futuros

Para la creación de escenarios futuros, se utilizó el software REDD Abacus, el cual utiliza los registros de cambio de uso de suelo en el PNNT del periodo 1972-2000 para mostrar los posibles escenarios respecto a la ocupación de este suelo en los años posteriores al 2000. Cabe mencionar que en este tipo de escenarios se asume que los valores de rentabilidad permanecen constantes y que los procesos de transformación de uso de suelo forestales continúan en un ritmo similar al ocurrido durante los 28 años de los que se tiene el registro.

Para el presente estudio, se proyectaron dos escenarios que muestran la situación de los usos de suelo forestales del PNNT para el año 2020. El primer escenario muestra qué pasaría con estos usos de suelo en caso de seguir con la misma tendencia y sin que se realice algún cambio que altere las transiciones en los usos de suelo. El segundo escenario muestra un panorama hipotético de un programa de pago por servicios ambientales, en el que se pagaría a los dueños de terrenos del PNNT una cantidad anual de \$5,600.00 pesos por hectárea forestal que se mantenga sin cambios. Esta cantidad fue establecida con base en los resultados obtenidos del análisis de costo de oportunidad del periodo 1972-2000, donde se muestra que con esta cantidad es posible evitar el cambio de usos de suelo de pino denso a pino semidenso.

Con base en los resultados obtenidos de los escenarios futuros respecto al cambio de uso de suelo en el PNNT para el año 2020 se calculó el costo de oportunidad para los servicios ambientales de recarga de acuíferos y de captura de carbono tal y como fueron calculados anteriormente.

3.4 Análisis de resultados

Finalmente, el análisis de los resultados implicó que con la información mostrada en el costo de oportunidad, como la de los escenarios futuros, se busquen elementos que puedan generar aportes para el diseño e implementación de un programa de PSA. Además son consideradas las experiencias a nivel mundial de estos mecanismos y las características que diferentes autores han reiterado que deben ser necesarias para obtener mejores resultados en los programas de PSA.

CAPITULO IV. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados que se obtuvieron en la presente investigación realizada en la zona Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT): Identificación y cambio de usos de suelo, los servicios ambientales brindados por el PNNT, rentabilidad económica de los usos de suelo, información que fue necesaria para realizar el análisis de costo de oportunidad, objetivo de la presente de investigación. Además se presentan los datos obtenidos de la proyección de dos escenarios a futuro realizados.

4.1. Identificación de usos de suelo

Como lo indican Franco, *et al.*, (2006) y Regil (2006) el Parque Nacional Nevado de Toluca puede ser categorizado por 14 usos de suelo. Estos usos varían dependiendo la especie de árbol, la densidad de cobertura forestal, actividad que se realiza.

1. Bosque de pino denso
2. Bosque de pino semidenso
3. Bosque pino fragmentado
4. Bosque de oyamel denso
5. Bosque de oyamel semidenso
6. Bosque de oyamel fragmentado
7. Bosque de cedro denso
8. Bosque de cedro semidenso
9. Bosque de cedro fragmentado
10. Bosque de latifoliadas (aile, encino) denso
11. Bosque de latifoliadas semidenso
12. Bosque de latifoliadas fragmentado
13. Agricultura
14. Otros usos (Pastizal)

4.2 Cambios de usos de suelo

Los usos de suelo del PNNT han sufrido diferentes cambios con el transcurso del tiempo, esto han sido originados principalmente por actividades antropocéntricas y algunos de ellos ocasionando perturbaciones en los bosques del parque. Al respecto, el presente estudio identificó los cambios de uso de suelo ocurridos en un periodo de tiempo, para determinar el impacto económico y ambiental de estos procesos.

El estudio realizado por Regil (2006), permite identificar de manera específica los cambios de uso de suelo que ha sufrido el PNNT en el periodo de 1972 al 2000. Al respecto, los mapas de uso de suelo mostrados en los anexos 8 y 9, muestran los procesos de degradación en las superficies forestales durante estos 28 años. Los cambios de uso más visibles son de los bosques densos a los bosques semidensos y fragmentados, principalmente en la especie de pino. También se observa la incorporación del bosque de cedro, este hecho fue derivado de plantaciones introducidas después de 1972 por lo que para el presente estudio no se consideró ésta especie.

Cabe mencionar que el uso de suelo “otros usos” en su mayoría se refiere a zonas de pastizal o matorral que generalmente son utilizadas para el pastoreo. De acuerdo con Endara (2012) esta actividad inhabilita estas zonas para una posible reforestación, debido a que el pisoteo del ganado impide que el suelo tenga las condiciones para el crecimiento del árbol.

En términos numéricos se muestran las transiciones ocurridas en el PNNT en la tabla 4.1, en donde se puede identificar los usos de suelo que disminuyeron o aumentaron la cantidad de hectáreas en el parque y el porcentaje que esto representa. Los bosques de cedro se omiten debido a que no se tienen registros de éstos en el año 1972.

Tabla 4.1. Comparativo de usos de suelo en el PNNT 1972-2000

Uso de suelo	1972	2000	Cambios	Porcentaje de aumento o disminución	
	(ha)	(ha)	(ha)		
Agrícola	8346.2	8023.1	-323.1	disminuyó:	3.9 %
Oyamel Denso	13301.4	13040.2	-261.2	disminuyó:	2.0 %
Oyamel Semidenso	1098.5	1776.2	677.7	aumentó:	61.7 %
Oyamel Fragmentado	1048.3	1348	299.7	aumentó:	28.6 %
Pino Denso	13279.3	7814	-5465.3	disminuyó:	41.2 %
Pino Semidenso	3676	5667	1991	aumentó:	54.2 %
Pino Fragmentado	2338.9	4692	2353.1	aumentó:	100.6 %
Latifoliadas Denso	859.6	1060.6	201	aumentó:	23.4 %
Latifoliadas Semidenso	1175.1	963.2	-211.9	disminuyó:	18.0 %
Latifoliadas Fragmentado	519.2	574.9	55.7	aumentó:	10.7 %
Otros Usos	7028.2	7414.4	386.2	aumentó:	5.5 %

Fuente: Elaboración propia con base en Franco, *et al.* (2006).

De acuerdo con la tabla 4.1, durante los 28 años (de 1972 a 2000) se observa una disminución de 3.9 por ciento en las zonas dedicadas a actividades agrícolas, Lo que según Franco, *et al.* (2006) puede ser debido a que son zonas agrícolas que dejan de ser productivas y se utilizan en actividades ganaderas. Por lo tanto esta disminución no ha significado una recuperación de la densidad del bosque, sino que ha favorecido la apertura de pastizales y matorrales.

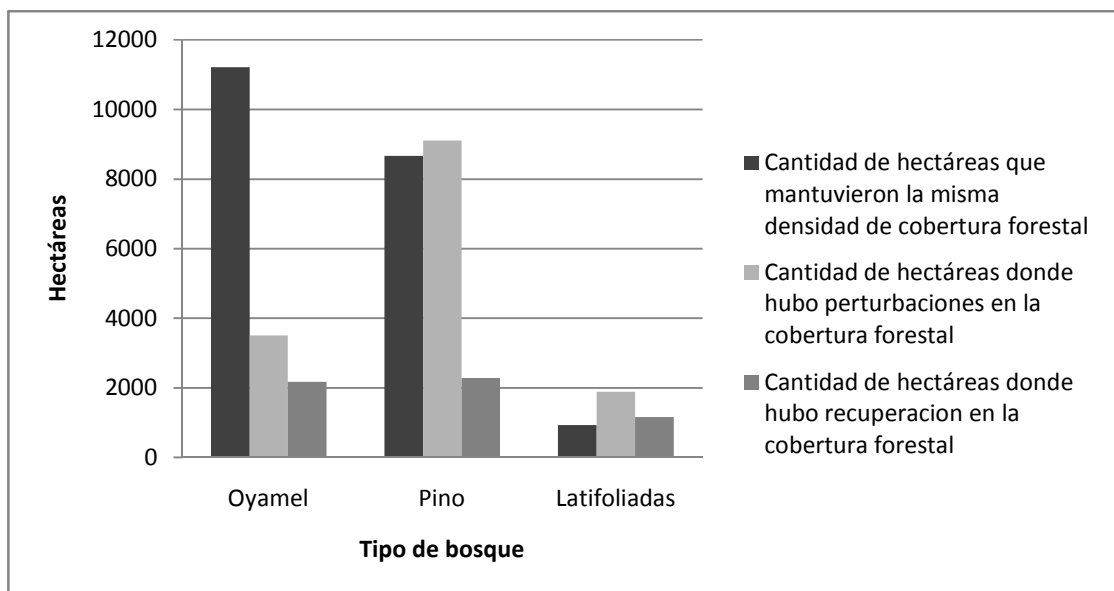
Se puede observar que la disminución del bosque de pino denso implica una pérdida de más del 40 por ciento de su superficie, esto es derivado de los constantes procesos de extracción selectiva al que han estado sujetos estos bosques (Franco, 2009), los incendios

forestales naturales e inducidos y plagas en los arboles (Endara, 2011). Cabe recalcar que la pérdida de bosques densos ha dado paso a un incremento de bosques con menor densidad de cobertura forestal. Como lo refleja el crecimiento de 100 por ciento de los bosques de pino fragmentado (ver tabla 4.1).

Respecto al bosque de oyamel, Endara (2011) comenta que los beneficios económicos y de autoconsumo de los productos forestales no maderables (principalmente hongos) que se obtienen de este bosque, han sido uno de los factores para que las comunidades conserven en mayor medida este bosque.

Aunque ha habido procesos de recuperación de los bosques en este periodo, estos son menores comparados con los procesos de degradación en las tres principales coberturas forestales del PNNT. La gráfica 4.1 muestra una comparación de estos procesos y con la cantidad de hectáreas donde no hubo cambio.

Gráfica 4.1 Cambios en la densidad forestal de los bosques PNNT (1972-2000)



Fuente: Elaboración propia con base en Franco, *et al.* (2006).

En la gráfica 4.1 se observa que en el periodo de 1972-2000, el bosque de oyamel mantuvo una mayor cantidad de hectáreas sin cambio, mientras que en el bosque de pino y en el bosque de latifoliadas, la cantidad de hectáreas que disminuyen la densidad de cobertura forestal es mayor a las que permanecen sin cambios. Este hecho los convierte en bosques con una mayor probabilidad para disminuir su superficie forestal con el paso del tiempo en el PNNT.

4.3 Identificación de los servicios ambientales

Los diferentes estudios sobre ecosistemas forestales y los resultados obtenidos en la presente investigación, dan muestra de que los procesos de degradación del bosque, disminuyen la capacidad de éstos para la realización de funciones ecológicas que derivan en servicios ambientales como la recarga de acuíferos, captura de carbono, hábitat de especies, regulación del clima entre otros. En el presente trabajo se consideraron únicamente los dos primeros.

Los valores utilizados del servicio ambiental de captura de carbono fueron obtenidos con base en estudios previos realizados en el PNNT (Franco, 2009).

Respecto a la recarga de acuíferos, en la presente investigación se obtuvo un cálculo de la cantidad de agua que pueden recargar los diferentes tipos de uso de suelo del PNNT. Cabe mencionar que los resultados obtenidos son estimaciones generales, debido a la carencia de estudios técnicos que demuestren de manera puntual la cantidad de agua que puede ser infiltrada al acuífero por un determinado uso de suelo. No obstante, los resultados fueron calculados bajo una metodología reconocida que permitió identificar la relación entre la densidad de cobertura forestal y la cantidad de agua recargada.

La tabla 4.2 muestra la relación que existe entre los diferentes usos de suelo y la cantidad de agua que recargan al acuífero y la cantidad de carbono capturado.

Tabla 4.2 Relación entre densidad de cobertura forestal y provisión de servicios ambientales

Uso de suelo	Recarga de acuíferos m ³ /ha.año	Captura de carbono MgC/ha
Bosque de pino denso	3621	100.74
Bosque de pino semidenso	1847	62.32
Bosque de pino fragmentado	1356	31.03
Bosque de oyamel denso	3621	146.83
Bosque de oyamel semidenso	1847	86.36
Bosque de oyamel fragmentado	1356	30.46
Bosque de latifoliadas denso	3621	158.43
Bosque de latifoliadas semidenso	1847	123.4
Bosque de latifoliadas fragmentado	1356	39.72
Pastizal	654	40
Agricultura	654	36.36

Fuente: Elaboración propia con base en Edomexico (2011) y Franco (2009).

Los valores mostrados en la tabla 4.2 permiten demostrar que existe una relación directa entre la densidad de cobertura forestal y la dotación de servicios ambientales. Siendo los valores más altos, tanto de captura de carbono como de recarga de acuíferos, aquellos usos de suelo con mayor densidad forestal. En este sentido, el tipo de suelo que infiltra cantidad de agua al acuífero son los bosques densos (3,621m³/ha.año), mientras que los pastizales y el suelo dedicado a agricultura infiltran únicamente 654 m³/ha.año. Lo que representa una pérdida de 2,967 m³/ha.año, es decir que más de 80 por ciento de agua deja de infiltrarse al acuífero cuando se cambia de un tipo de suelo de bosque denso a uno dedicado a la agricultura o pastizal.

El servicio ambiental de captura de carbono se comporta de manera similar. Tomando como referencia el promedio de carbono capturado por los tres tipos de bosques densos

(135.33 MgC/ha) y el promedio de los usos de suelo de pastizal de agricultura (38.18 MgC/ha), la cantidad de carbono que no sería capturado si se hace un cambio de uso de suelo de bosque denso a pastizal o agrícola sería de 97.15 MgC/ha, lo que representa más del 70 por ciento.

4.4 Rentabilidad

Respecto a las rentabilidades de los usos de suelo del PNNT, los resultados demuestran que se obtienen mayores beneficios económicos de los usos de suelo dedicados a la agricultura y del pastizal. De los bosques, únicamente se obtienen ingresos económicos de la especie de oyamel, debido a la posibilidad de obtener productos forestales no maderables en este bosque. La tabla 4.3 muestra los resultados de rentabilidades en Valor Presente Neto (VPN) para un periodo de 20 años. Para obtener más información sobre estos cálculos referirse a los anexos 10,11,12,13.

Tabla 4.3 Rentabilidad en VPN de los usos de suelo del PNNT

Uso de suelo	Rentabilidad (VPN en dólares)
Bosque de pino denso	\$0.00
Bosque de pino semidenso	\$0.00
Bosque de pino fragmentado	\$0.00
Bosque de oyamel denso	\$397.05
Bosque de oyamel semidenso	\$297.05
Bosque de oyamel fragmentado	\$99.20
Bosque de latifoliadas denso	\$0.00
Bosque de latifoliadas semidenso	\$0.00
Bosque de latifoliadas fragmentado	\$0.00
Pastizal	\$775.84
Agricultura	\$9,105.00

Fuente: Elaboración propia con base en CADER (2011), COTECOCA (2002), Maya y Hernández (2009), Morales, *et al.* (2011).

4.5 Costo de oportunidad

Con los resultados sobre cambio de uso de suelo, captura de carbono, recarga de acuíferos y rentabilidades anteriormente expuestos, se realizaron las matrices de costos y las matrices de efectos ambientales (ver anexos 14, 15, 16, 17). Con estas matrices fue posible obtener los resultados sobre el costo de oportunidad de los diferentes usos de suelo del PNNT.

La tabla 4.4 muestra un concentrado de dichos resultados. En la columna (a), se presentan los usos de suelo que se tenían en el PNNT en el año 1972, la columna contigua (b) muestra la cantidad de hectáreas con superficie forestal que fueron cambiadas a otros usos de suelo con menor cantidad forestal. Como consecuencia, estas transformaciones de suelo tuvieron efectos en la cantidad de agua que se dejó de infiltrar en el acuífero, este valor se expresa en la columna (c) en términos de m^3 por cada año.

Adicional a los efectos ambientales que se derivan de los procesos de transformación del suelo, se obtuvo el costo de oportunidad para cada uno de estos cambios, el cual se encuentra expresado en columna (d), entendiéndose éste como el precio que tiene $1 m^3$ de agua en los diferentes usos de suelo. Multiplicando dicho valor por la cantidad de m^3 que recarga una hectárea de un suelo dado, es posible obtener un estimado de la cantidad monetaria que se tendría que pagar al año por cada hectárea que se quisiera conservar en su estado original, esto se expresa en la columna (f). Los precios son convertidos a pesos y multiplicados por la cantidad de hectáreas que fueron transformadas en el periodo de 1972-2000. Con lo anterior, es posible observar un estimado, en la columna (h), de la cantidad monetaria que se tendría que invertir para evitar posibles cambios de uso de suelo similares a los ocurridos en estos 28 años.

Cabe mencionar, que aunque el servicio ambiental de captura de carbono que brindan los bosques del PNNT no forma parte del eje principal del presente trabajo, los cálculos que anteriormente se describieron fueron realizados de la misma forma pero con variables de dicho servicio ambiental. Los resultados se pueden ver en el anexo 18.

Tabla 4.4 Recarga de acuíferos y costo de oportunidad derivados del cambio de uso de suelo de los bosques del PNNT. Periodo 1972-2000

(a) Uso de suelo original Año 1972 (hectáreas)	(b) Uso de suelo transformado Año 2000 (hectáreas)	(c) Agua que dejó de infiltrarse al acuífero por el cambio de uso de suelo m ³ /año	(d) Costo de oportunidad (dólares por cada m ³ de agua)	(e) Cantidad de agua que recarga el uso de suelo original m ³ /(ha. año)	(f) Costo de oportunidad en dólares por hectárea (d) * (e)	(g) Costo de oportunidad en pesos por una hectárea (f) * 12.55	(h) Pago total de hectáreas en pesos (b) * (g)
Oyamel denso (13,301.40)	Agrícola (93.92)	9,951.72 (1.25 %)	\$4.16	3621.54	\$ 15,065.61	\$ 89,073.36	\$ 17,757,770.00
	Oyamel semidenso (1139.92)	72,241.16 (9.07 %)	\$0.46		\$ 1,655.41	\$ 20,775.34	\$ 23,682,230.67
	Oyamel fragmentado (790.96 ha)	64,000.38 (8.04 %)	\$1.08		\$ 3,911.26	\$ 49,086.35	\$ 38,825,341.90
	Pastizal (319.32)	33,840.10 (4.25 %)	\$1.36		\$ 4,925.29	\$ 61,812.44	\$ 19,737,949.85
Oyamel semidenso (1,098.50)	Agrícola (22.44)	954.405(0.12 %)	\$9.68	1847	\$ 17,878.96	\$ 224,380.95	\$ 5,035,108.47
	Oyamel fragmentado (195.64)	3,429.99 (0.43 %)	\$3.31		\$ 6,113.57	\$ 76,725.30	\$ 15,010,538.38
	Pastizal (13.32)	566.67 (0.07 %)	\$2.69		\$ 4,968.43	\$ 62,353.80	\$ 830,552.57
Oyamel fragmentado (1,048.30)	Agrícola (14.16)	356.01 (0.04 %)	\$14.13	1356	\$ 19,160.28	\$ 240,461.51	\$ 3,404,935.04
	Pastizal (230.2)	5,771.44 (0.72 %)	\$2.26		\$ 3,064.56	\$ 38,460.23	\$ 8,853,544.49
Pino denso (13,279.30)	Agrícola (202.2)	21,429.88 (2.69 %)	\$3.36	3621.54	\$ 12,168.37	\$ 152,713.10	\$ 30,878,588.56
	Pino semidenso (3749.8)	237,648.93 (29.85 %)	\$0.12		\$ 447.98	\$ 5,622.21	\$ 21,082,146.00
	Pino fragmentado (2268.9)	183,581.56 (23.06 %)	\$0.29		\$ 1,052.78	\$ 13,212.41	\$ 29,977,637.18
	Pastizal (526.8)	55,832.15 (7.01 %)	\$0.56		\$ 2,017.20	\$ 25,315.83	\$ 13,336,380.37
Pino semidenso (3,676.00)	Agrícola (166.4)	7,089.83 (0.89 %)	\$8.18	1847	\$ 15,108.46	\$ 189,611.17	\$ 31,551,299.19
	Pino fragmentado (1241.4)	21,768.84 (2.73 %)	\$0.89		\$ 1,651.40	\$ 20,725.10	\$ 25,728,143.96
	Pastizal (261.84)	11,154.55 (1.40 %)	\$1.20		\$ 2,216.40	\$ 27,815.82	\$ 7,283,294.31
Pino fragmentado (2,338.90)	Agrícola (293.12)	7,348.44 (0.92 %)	\$13.28	1356	\$ 18,007.68	\$ 225,996.38	\$ 66,244,060.08
	Pastizal (393.04)	9,853.07 (1.24 %)	\$1.42		\$ 1,925.52	\$ 24,165.28	\$ 9,497,920.08
Latifoliadas denso (859.60)	Agrícola (53.6)	5,680.72 (0.71 %)	\$3.16	3621.54	\$ 11,444.07	\$ 143,623.03	\$ 7,698,194.59
	Latifoliadas semidenso (244.48)	15,495.54 (1.95 %)	\$0.04		\$ 145.95	\$ 1,831.65	\$ 447,801.35
	Latifoliadas fragmentado (82.32)	6,659.07 (0.84 %)	\$0.09		\$ 343.32	\$ 4,308.69	\$ 354,691.44
	Pastizal (45.68)	4,843.45 (0.61 %)	\$0.36		\$ 1,295.42	\$ 16,257.58	\$ 742,646.34
Latifoliadas semidenso (1,175.10)	Agrícola (48.8)	2,079.23 (0.26 %)	\$7.81	1847	\$ 14,425.07	\$ 181,034.63	\$ 8,834,489.87
	Latifoliadas fragmentado (224.04)	3,928.00 (0.49 %)	\$0.29		\$ 538.59	\$ 6,759.24	\$ 1,514,341.08
	Pastizal (157.04)	6,689.32 (0.84 %)	\$0.83		\$ 1,532.46	\$ 19,232.32	\$ 3,020,243.78
Latifoliadas fragmentado (519.20)	Agrícola (69.52)	1,742.46 (0.22 %)	\$13.07	1356	\$ 17,722.92	\$ 222,422.65	\$ 15,462,822.35
	Pastizal (88.08)	2,208.79 (0.28 %)	\$1.21		\$ 1,640.76	\$ 20,591.54	\$ 1,813,702.67
TOTALES	12936.94	796,145.70 (100 %)			\$ 180,427.72	\$2,264,367.93	\$ 408,606,374.55

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de esta investigación

Como se puede observar en la tabla 4.4, los costos de oportunidad varían significativamente entre los diferentes procesos de cambio de uso de suelo, la razón radica tanto en las rentabilidades de los usos de suelo originales como en la de los suelos transformados. En este sentido, vale la pena destacar que los usos de suelo que son transformados a agricultura son los que presentan los costos de oportunidad más altos, es decir que cada m³ de agua en esas zonas resulta muy costoso debido a que la rentabilidad de actividades agrícolas, tales como el cultivo de papa, supera a las rentabilidades de otros usos de suelo. No obstante, las hectáreas transformadas a actividades agrícolas han sido las menos en la mayoría de los procesos de cambio de uso de suelo del PNNT, razón por la cual, los efectos ambientales negativos son bajos en estos procesos.

De acuerdo con los valores resultantes del presente estudio, el cambio de bosque de pino denso a bosque de pino semidenso del PNNT, es el proceso que genera un mayor impacto en la zona, debido a que este cambio provoca que 237,648.93 m³ de agua no sean recargados al acuífero anualmente. En términos de porcentaje esto representa un 29.8 por ciento del agua no infiltrada al acuífero a causa de los diferentes procesos de transformación de suelo forestal en el parque. Respecto a la emisión de carbono a la atmosfera, este cambio de uso de suelo genera 18,865.96 toneladas de carbono equivalente (MgCO²), lo que representa el 21.16 por ciento de las emisiones de carbono resultantes de los cambios de uso de suelo forestal en el PNNT (ver anexo18).

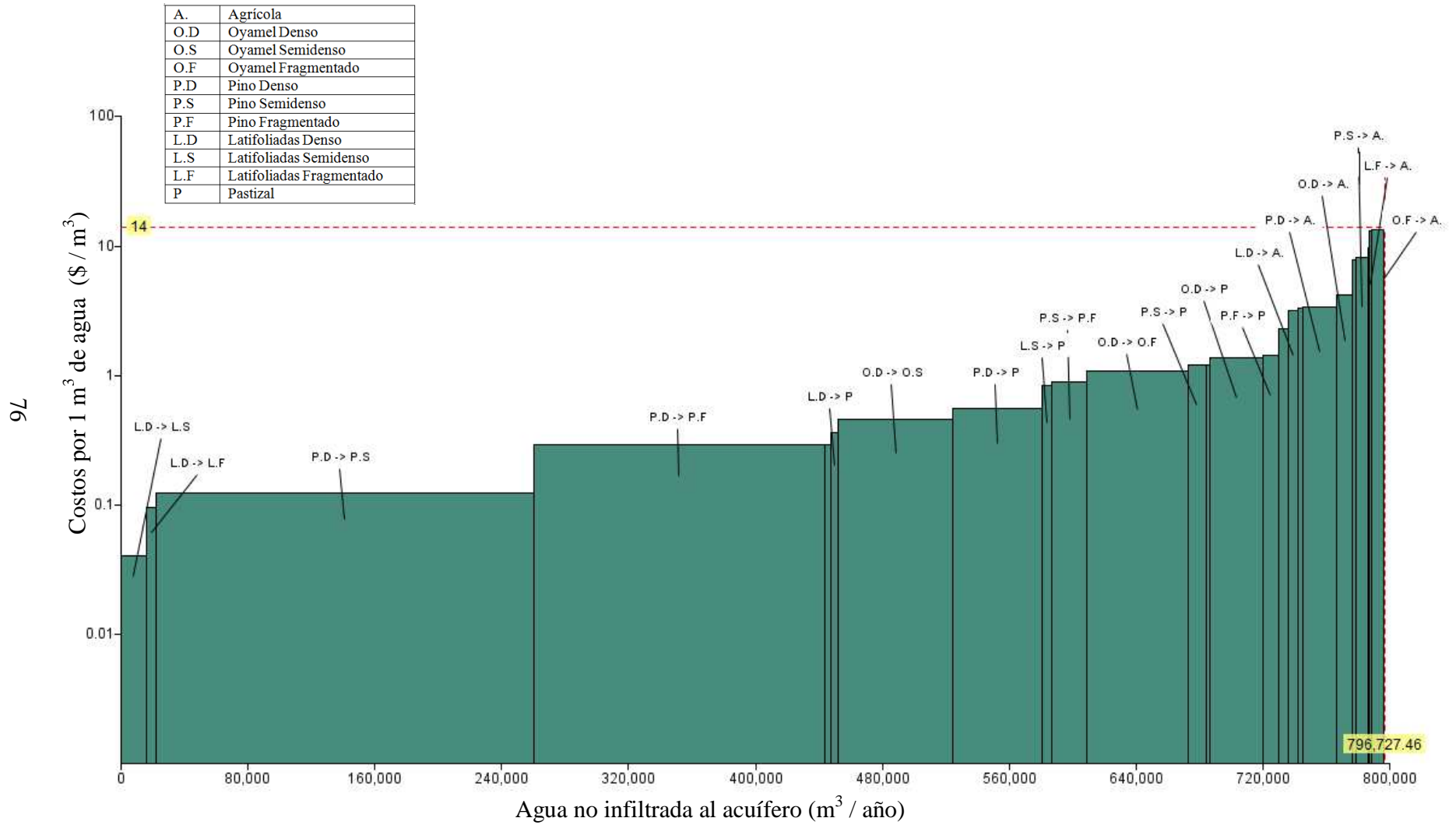
Para poder evitar el cambio de uso de suelo de bosque de pino denso a bosque de pino semidenso, en relación a la recarga de acuíferos, se necesitaría pagar a los dueños de estos terrenos al menos \$5,622.21 pesos por cada hectárea que se quisiera conservar en su estado original (bosque denso). Considerando que son 3,749.8 hectáreas las relacionadas a este cambio, se necesitarían \$21 082,146.00 pesos para evitar el cambio en todas las hectáreas.

Con base en los resultados anteriores, se presenta la gráfica de costo de oportunidad (Gráfica 4.2). Cada una de las columnas representa un cambio de uso de suelo con superficie forestal del PNNT. Estos cambios se encuentran ordenados de manera

ascendente, tomando en cuenta el costo de oportunidad de cada uno de ellos. Cabe destacar que el ancho de cada columna muestra la cantidad de m^3 de agua que no se infiltra al acuífero a causa de las transformaciones de uso de suelo forestal.

En la gráfica 4.2 se puede notar que los procesos relacionados a actividades agrícolas se encuentran en el lado extremo del gráfico, por lo tanto, son los que tienen el mayor precio por $1 m^3$ de agua, siendo 14 dólares el más alto, el cual representa a la transformación de bosque de oyamel fragmentado a un uso de suelo agrícola. Además, se puede apreciar que los procesos de cambio de bosque de pino denso a bosque de pino semidenso y fragmentado colaboran con más del 50 por ciento del total del agua que no se infiltra al acuífero a causa de las diferentes alteraciones en la superficie forestal del PNNT.

Grafica 4.2 Costo de oportunidad relacionado a la recarga de agua al acuífero del PNNT

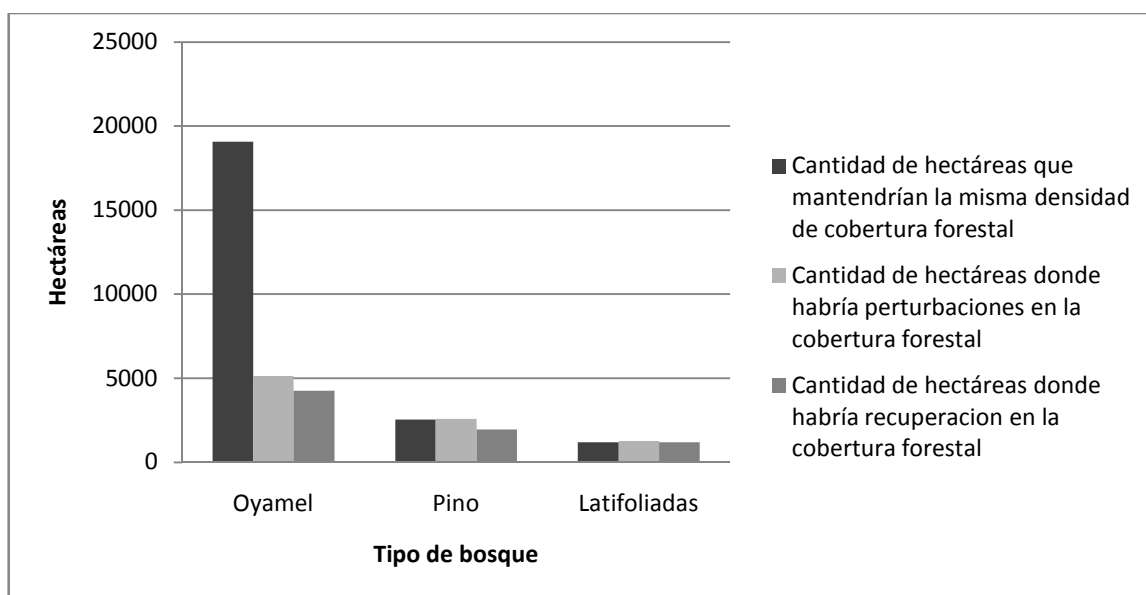


Fuente: Elaboración propia con *software* REDD Abacus

4.6 Resultados de escenarios futuros

A continuación se muestran los resultados de los escenarios a futuro realizados con base en las transiciones de uso de suelo del PNNT del periodo 1972-2000. Los valores del comportamiento del uso del suelo para el escenario a futuro se observan en una matriz de transición del año 2000 al 2020 (ver anexo 19). Respecto a las principales áreas con superficie forestal del PNNT, se observa en la gráfica 4.3 un posible comportamiento de los cambios de uso de suelo en los bosques de oyamel, de pino y de latifoliadas (encino, aile). Estos cambios se pueden comparar con los ocurridos entre 1972 y 2000 (gráfica 4.1) para observar las diferencias de densidad de cobertura forestal en los bosques del parque.

Gráfica 4.3 Cambios en la densidad de cobertura forestal de los bosques PNNT
(Escenario 2000-2020)



Fuente: Elaboración propia con base en resultados de escenario futuro 2020 (anexo 20).

Como se observa en la gráfica 4.3 el bosque de oyamel sería la especie que más abundaría en el PNNT para el año 2020, ya que la cantidad de hectáreas que se mantendrían sin cambios de cobertura forestal es casi 4 veces mayor a la cantidad de hectáreas donde se disminuirá la cobertura. A diferencia de los bosques de pino y los bosques de latifoliadas,

donde la superficie forestal sin cambios es similar a la superficie forestal que disminuye, lo cual los convierte en especies forestales con una alta probabilidad de desaparecer en el largo plazo.

Considerando las posibles transiciones que tendrían los bosques del PNNT para el año 2020, se calcularon los costos de oportunidad y los efectos ambientales de estos procesos de transformación, los cuales se muestran en la tabla 4.5. La columna (a) muestra la cantidad de hectáreas con superficie forestal en el parque en el año 2000 y la columna (b) muestra el número de hectáreas que serían transformadas para otros usos de suelo con menor cantidad forestal para el año 2020. Los efectos en la recarga de agua al acuífero y en la emisión de carbono a la atmósfera en el PNNT y se muestran en la columna (c) y (d) respectivamente. La inversión necesaria para evitar que se cambie el uso de suelo en los diferentes bosques del PNNT se muestra en la columna (f).

Bajo este mismo esquema se muestra la tabla 4.6, que son los valores de un segundo escenario para el año 2020, en donde se considera que existe un pago derivado de un programa de PSA en donde se pagaría \$5,600 pesos anuales por hectárea conservada en su estado original. Con base en dicho pago, los cambios de uso de suelo que se evitarían serían los de bosque de pino denso a bosque de pino semidenso, los del bosque de latifoliadas denso al bosque de latifoliadas semidenso y los del bosque de latifoliadas denso al bosque de latifoliadas fragmentado, razón por la cual los valores de estos se muestran en cero.

Tabla 4.5 Costos de oportunidad y efectos ambientales en PNNT (Escenario 2020)

(a) Uso de suelo original Año 2000 (hectáreas)	(b) Uso de suelo transformado (ha) Año 2020 (hectáreas)	(c) Agua que dejaría de infiltrarse al acuífero por el cambio de uso de suelo m ³ /año	(d) Carbono equivalente que se emitiría a la atmósfera por el cambio de uso de suelo Mg CO ² /año	(e) Costo de oportunidad en pesos por una hectárea T.C = 12.55	(f) Inversión para evitar cambio de uso de suelo en todas las hectáreas (e) * (b)
Oyamel denso (13,040)	Agrícola (157.88)	16,732.31 (3.26 %)	2283.92	\$ 189,073.36	\$ 29,850,640.41
	Oyamel semidenso (1916.57)	121,462.56 (23.6 %)	15176.80	\$ 20,775.34	\$ 39,817,382.30
	Oyamel fragmentado (1329.95)	107,606.93 (20.99 %)	20267.08	\$ 49,086.35	\$ 65,282,228.16
	Pastizal (536.9)	56,897.00 (11.10 %)	7510.45	\$ 61,812.44	\$ 33,187,101.57
Oyamel semidenso (1,776.2)	Agrícola (61.01)	2,599.63 (0.51 %)	399.50	\$ 224,380.95	\$ 13,690,368.59
	Oyamel fragmentado (532.78)	9,342.72 (1.82 %)	3900.12	\$ 76,725.30	\$ 40,877,903.07
	Pastizal (36.23)	1,543.53 (0.30 %)	219.93	\$ 62,353.80	\$ 2,258,893.14
Oyamel fragmentado (1,347.6)	Agrícola (32.53)	815.65 (0.16 %)	N/A	\$ 240,461.51	\$ 7,822,974.13
	Pastizal (527.40)	13,222.77 (2.58 %)	N/A	\$ 38,460.23	\$ 20,284,072.14
Pino denso (7,814.4)	Agrícola (30.80)	3,263.96 (0.64 %)	259.64	\$ 152,713.10	\$ 4,703,085.77
	Pino semidenso (571.13)	36,196.06 (7.06 %)	2873.47	\$ 5,622.21	\$ 3,210,999.77
	Pino fragmentado (345.57)	27,961.12 (5.45 %)	3154.65	\$ 13,212.41	\$ 4,565,862.80
	Pastizal (80.24)	8,503.74 (1.66 %)	638.21	\$ 25,315.83	\$ 2,031,250.25
Pino semidenso (5,667.4)	Agrícola (88.76)	3,781.98 (0.74 %)	301.76	\$ 189,611.17	\$ 16,830,628.74
	Pino fragmentado (662.21)	11,612.30 (2.26 %)	2713.42	\$ 20,725.10	\$ 13,724,342.59
	Pastizal (139.65)	5,950.25 (1.16 %)	408.19	\$ 27,815.82	\$ 3,884,584.77
Pino fragmentado (4,691.5)	Agrícola (278.73)	6,988.13 (1.36 %)	N/A	\$ 225,996.38	\$ 62,991,723.22
	Pastizal (373.73)	9,369.96 (1.83 %)	N/A	\$ 24,165.28	\$ 9,031,304.61
Latifoliadas denso (1,060.6)	Agrícola (84.61)	8,967.15 (1.75 %)	1352.51	\$ 143,623.03	\$ 12,151,775.73
	Latifoliadas semidenso (385.95)	24,460.06 (4.77 %)	1770.46	\$ 1,831.65	\$ 706,922.46
	Latifoliadas fragmentado (129.91)	10,511.49 (2.05 %)	2019.55	\$ 4,308.69	\$ 559,752.51
	Pastizal (72.14)	7,645.50 (1.49 %)	1118.78	\$ 16,257.58	\$ 1,172,797.45
Latifoliadas semidenso (963.2)	Agrícola (47.20)	2,011.14 (0.39 %)	538.01	\$ 181,034.63	\$ 8,545,176.95
	Latifoliadas fragmentado (216.66)	3,799.37 (0.74 %)	2374.24	\$ 6,759.24	\$ 1,464,487.75
	Pastizal (151.86)	6,470.26 (1.26 %)	1658.52	\$ 19,232.32	\$ 2,920,592.38
Latifoliadas fragmentado (579.4)	Agrícola (87.92)	2,204.33 (0.43 %)	38.69	\$ 222,422.65	\$ 19,555,835.67
	Pastizal (111.45)	2,794.26 (0.54 %)	N/A	\$ 20,591.54	\$ 2,294,971.34
TOTALES	8989.783433	512,714.15 (100 %)	72,030.46	\$2,264,367.91	\$409,968,506.54

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la presente investigación

Tabla 4.6 Costos de oportunidad y efectos ambientales en un escenario para el 2020 donde se evitan algunos cambios de uso de suelo en el PNNT

(a) Uso de suelo original Año 2000 (hectáreas)	(b) Uso de suelo transformado (ha) Año 2020 (hectáreas)	(c) Agua que dejaría de infiltrarse al acuífero por el cambio de uso de suelo m ³ /año	(d) Carbono equivalente que se emitiría a la atmósfera por el cambio de uso de suelo Mg CO ₂ /año	(e) Costo de oportunidad en pesos por una hectárea T.C = 12.55	(f) Inversión para evitar cambio de uso de suelo en todas las hectáreas (e) * (b)
Oyamel denso (13,040)	Agrícola (151.90)	16,095.93	2197.07	\$ 189,073.36	\$ 28,720,243.43
	Oyamel semidenso (1843.70)	116,842.97	14599.58	\$ 20,775.34	\$ 38,303,502.60
	Oyamel fragmentado (1279.36)	103,514.31	19496.26	\$ 49,086.35	\$ 62,799,346.26
	Pastizal (516.44)	54,733.03	7224.80	\$ 61,812.44	\$ 31,922,192.39
Oyamel semidenso (1,776.2)	Agrícola (58.69)	2,500.49	384.26	\$ 224,380.95	\$ 13,168,275.89
	Oyamel fragmentado (512.46)	8,986.43	3751.38	\$ 76,725.30	\$ 39,318,992.90
	Pastizal (34.85)	1,484.67	211.55	\$ 62,353.80	\$ 2,172,748.52
Oyamel fragmentado (1,347.6)	Agrícola (31.29)	784.45	N/A	\$ 240,461.51	\$ 7,523,709.05
	Pastizal (507.23)	12,716.94	N/A	\$ 38,460.23	\$ 19,508,112.19
Pino denso (7,814.4)	Agrícola (58.87)	6,239.20	496.31	\$ 152,713.10	\$ 8,990,142.97
	Pino semidenso (0)	0.00	0.00	\$ 5,622.21	N/A
	Pino fragmentado (660.58)	53,448.83	6030.25	\$ 13,212.41	\$ 8,727,835.59
	Pastizal (153.38)	16,255.24	1219.96	\$ 25,315.83	\$ 3,882,818.87
Pino semidenso (5,667.4)	Agrícola (46.50)	1,981.13	158.07	\$ 189,611.17	\$ 8,816,483.91
	Pino fragmentado (346.89)	6,082.94	1421.38	\$ 20,725.10	\$ 7,189,300.38
	Pastizal (73.16)	3,116.95	213.82	\$ 27,815.82	\$ 2,034,884.12
Pino fragmentado (4,691.5)	Agrícola (275.75)	6,913.39	N/A	\$ 225,996.38	\$ 62,318,029.24
	Pastizal (369.73)	9,269.75	N/A	\$ 24,165.28	\$ 8,934,715.16
Latifoliadas denso (1,060.6)	Agrícola (197.60)	20,942.59	3158.76	\$ 143,623.03	\$ 28,380,230.86
	Latifoliadas semidenso (0)	0.00	0.00	\$ 1,831.65	N/A
	Latifoliadas fragmentado (0)	0.00	0.00	\$ 4,308.69	N/A
	Pastizal (168.48)	17,855.90	2612.89	\$ 16,257.58	\$ 2,739,045.15
Latifoliadas semidenso (963.2)	Agrícola (16.77)	714.40	191.11	\$ 181,034.63	\$ 3,035,413.02
	Latifoliadas fragmentado (76.96)	1,349.61	843.38	\$ 6,759.24	\$ 520,214.53
	Pastizal (53.94)	2,298.36	589.14	\$ 19,232.32	\$ 1,037,451.20
Latifoliadas fragmentado (579.4)	Agrícola (42.96)	1,077.09	18.90	\$ 222,422.65	\$ 9,555,489.68
	Pastizal (54.46)	1,365.35	N/A	\$ 20,591.54	\$ 1,121,382.65
TOTALES	7531.93	466,569.96	64,818.89	\$2,252,605.36	\$ 400,720,560.55

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la presente investigación

4.7 Discusión de resultados

Para la realización del análisis de costo de oportunidad en el PNNT se tomaron en cuenta aspectos referentes a los usos de suelo del parque, los procesos de cambio de éstos, los servicios ambientales ofrecidos por el parque y la rentabilidad de diferentes actividades.

Al respecto, se identificaron 14 usos de suelo, 12 de ellos categorizados por tipo de especies de árbol, densidad de cobertura forestal, los otros dos se refieren al uso agrícola y a otros usos no forestales que engloban principalmente al pastizal y al matorral utilizados para pastoreo (Franco, *et al.*, 2006).

A pesar de ser un área natural protegida, el PNNT tiene signos de degradación ambiental. Las causas pueden ser varias, sin embargo, los datos recabados en el presente trabajo muestran que los cambios de uso de suelo llevados a cabo durante el periodo de 1972-2000 han tenido un impacto negativo en la densidad de la cobertura forestal. Cabe mencionar que a pesar de que también han existido cambios de uso de suelo donde aumentó la densidad forestal del parque, éstos han sido poco significativos. Este hecho responde a lo establecido por Franco, *et al.* (2006) de que en este periodo (1972-2000) se perdió 20 por ciento de la superficie forestal del parque.

La disminución de superficie forestal derivada de los procesos de cambio de uso de suelo, ha repercutido de manera negativa en los servicios ambientales que realiza el PNNT. De acuerdo con los resultados obtenidos, la cantidad de agua que anualmente ha dejado de infiltrarse al acuífero del valle de Toluca, es de 796,145.70 m³, es decir que durante el periodo de 1972-2000 (28 años) se ha disminuido la recarga en 22.2 Mm³. Comparado este dato con la cantidad de agua que aporta anualmente el PNNT a la recarga del acuífero del valle de Toluca, que es 94.6 Mm³ (CNA, 2002), se puede inferir que los cambios de uso de suelo han afectado en un 18 por ciento la función ecológica que brinda el parque para recargar agua al acuífero.

De acuerdo con White y Minang (2011), cuando existen procesos de degradación y deforestación del bosque, la cantidad de carbono almacenado en los árboles se emite a la atmósfera en forma de carbono equivalente (MgCO_2eq), contribuyendo a los gases de efecto invernadero. Los resultados del presente trabajo, muestran que los cambios de uso donde hubo afectaciones en la densidad de cobertura forestal, emitieron 1,783,562 MgCO_2eq a la atmósfera. Por lo tanto, se puede concluir que la función ecológica que realizan los bosques del PNNT para capturar carbono, ha sido alterada de manera negativa con los procesos de transformación del suelo realizados entre 1972 y 2000.

Pagiola, Bishop y Landell-Mills (2006) expresan que la disminución de los servicios ambientales brindados por los ecosistemas forestales repercute en el bienestar de la sociedad. En este sentido, la reducción de recarga en el acuífero brindada por el PNNT repercute en el abastecimiento del agua para las poblaciones circundantes y la emisión de carbono genera efectos globales al aumentar los gases de efecto invernadero.

Respecto a los resultados de rentabilidad, se identificaron los beneficios económicos que se obtienen de cada uno de los 14 usos de suelo del PNNT. Al margen de lo anterior, se puede mencionar que la agricultura posee la mayor rentabilidad económica, la cual se obtuvo con base en el cultivo de la papa por ser el más representativo en el parque. No obstante, de acuerdo con Endara (2012), a pesar de sus altos beneficios económicos, el uso de suelo agrícola en el parque no ha crecido en los últimos años, algunas de las razones pueden ser los altos costos de inversión necesarios para el cultivo y la normatividad que tiene el parque por ser área natural protegida.

En cuanto a las rentabilidades de los bosques, la del oyamel resultó ser mayor, debido a que sus características como bosque permiten la producción de recursos forestales no maderables como los hongos, los cuáles son una fuente de ingresos para las comunidades locales por la venta de estos. Aunado a lo anterior, es posible inferir que esta es una de las razones por las cuáles el bosque de oyamel presenta un menor cambio de uso de suelo en el parque.

Con base en todo lo anterior, el conjunto de los resultados del análisis de costo de oportunidad realizado en este trabajo, muestran una cuantificación monetaria de los servicios ambientales que brinda el PNNT. Este valor determina un estimado de la inversión necesaria para evitar los cambios de uso de suelo sucedidos en el periodo 1972-2000 y por consiguiente evitar la disminución de los servicios ambientales de recarga de acuíferos y de captura de carbono.

Se identificó que los valores de los costos de oportunidad pueden ser un parámetro para saber cuál es la cantidad que se les tendría que pagar a los dueños o usufructuarios de terrenos en el PNNT, para mantener estas áreas sin algún cambio que perturbe la densidad forestal. Por lo tanto, esto brinda información sobre la disposición a ser compensado por la dotación de servicios ambientales, que como señalan Landell-Mills y Porras (2002), es necesaria para el diseño de programas de pago por servicios ambientales.

Graficar los resultados del costo de oportunidad (gráfica 4.2), brindó un panorama más claro de aquellos cambios de uso de suelo que generan un mayor impacto negativo en la dotación de servicios ambientales. Además permitió observar los costos necesarios para evitar estos impactos.

De manera general, este análisis permitió identificar la inversión monetaria que se tendría que realizar para evitar cambios de uso de suelo que podrían ser perjudiciales para los bosques del PNNT, identificando a través de la gráfica de costo de oportunidad las áreas más vulnerables y las más susceptibles de ser protegidas en función de los servicios ambientales que pueden proporcionar.

Con los datos de cambio de uso de suelos del periodo de 1972-2000, fue posible crear escenarios a futuro con el *software* REDD abacus, los resultados mostraron una posible tendencia de la ocupación del suelo del PNNT para el año 2020. Con esto, se obtuvieron los impactos ambientales futuros y la inversión que se necesitaría si se quisieran evitar estos. Los resultados muestran que con una inversión de \$8,199,370,130.8 pesos, se podrían evitar todos los cambios de uso de suelo que disminuirían la densidad de cobertura forestal

para los siguientes 20 años, logrando que con esto se infiltren 10.2 Mm^3 de agua al acuífero y se eviten emitir $1,783,562 \text{ MgCO}_2\text{eq}$ a la atmósfera.

Con base en los resultados de análisis de costo de oportunidad del periodo 1972-2000 y del periodo 2000-2020, se pudo identificar que entre más tiempo transcurra, mayor será el costo necesario para evitar los impactos ambientales y menores serán los beneficios ambientales recibidos.

CONCLUSIONES

En esta investigación se abordaron temáticas ambientales y económicas en torno al Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT). El objetivo del trabajo fue: analizar los elementos que el método de costo de oportunidad aporta para el diseño e implementación de un programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en una zona forestal del Estado de México.

Para identificar los elementos que un análisis de costo oportunidad aporta a un programa de PSA, se siguió la metodología propuesta por White y Minang (2011), y se utilizaron los datos de diversos estudios realizados en la zona de estudio (Endara, 2010; Franco, 2009; Regil, 2005). El contar con registros reales favoreció el entendimiento de los procesos implicados en este tipo de análisis. Lo que facilitó la proyección de escenarios futuros respecto a la ocupación del suelo de esta zona y de esta manera estimar el costo de oportunidad para el futuro simulado.

La metodología utilizada no está dirigida a obtener valores del servicio ambiental hidrológico de recarga de acuíferos, sin embargo, la modificación propuesta en la presente investigación para incorporar ésta variable, resultó ser satisfactoria, mostrando que la metodología puede adecuarse a dicho servicio ambiental.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y los aportes de la literatura, se considera que el uso del análisis de costo de oportunidad brinda los siguientes elementos de apoyo para un programa de pago por servicios ambientales:

- Utiliza estudios económicos y ecológicos, lo que permite que se tenga una perspectiva holística de un problema ambiental.
- Aporta un insumo para obtener el valor económico total de un bosque, reconociendo los valores de uso directos como la extracción de madera, leña, hongos y los valores de uso indirectos tales como la recarga de acuíferos y la captura de carbono.

- Permite de manera indirecta, y desde un punto de vista meramente económico, conocer el precio con el cual los actores oferentes estarían dispuestos a ser compensados por ofrecer servicios ambientales.
- Los estudios de cambio de uso de suelo utilizados para calcular el costo de oportunidad, muestran información sobre patrones sociales, lo que ayuda a identificar las áreas con una mayor probabilidad de ser afectadas con el tiempo, por lo que pueden ser útiles para definir las líneas de acción del programa.
- Muestra áreas prioritarias de conservación con base en la cantidad del servicio ambiental que brindan.
- Aporta un estimado de la inversión económica necesaria para conservar un determinado beneficio ambiental.
- Brinda evidencia científica respecto a los diferentes servicios ambientales que ofrece un ecosistema, lo que puede ser un factor que incentive el involucramiento de múltiples actores.
- Representa una opción para estimar la disposición a ser compensado por la realización de actividades que promuevan la dotación de servicios ambientales.
- Si el análisis de costo de oportunidad se complementa con un estudio que muestre la disposición a pagar por los servicios ambientales, puede contribuir a obtener una tarifa óptima que considere la opinión de oferentes y demandantes en un programa de pago por servicios ambientales.

En el caso específico del Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México, los resultados del presente trabajo muestran que dicho programa posee varias de las características que son necesarias para su funcionamiento. No obstante, se

destaca que existe una carencia en cuanto a diagnósticos ambientales y económicos en el diseño del programa.

A partir de este estudio se encontró al análisis de costo de oportunidad como una herramienta útil para facilitar el cumplimiento de los objetivos del programa de pago por servicios ambientales hidrológicos del Estado de México ya que permite contar con los siguientes elementos:

- Brinda respaldo científico que muestre a los habitantes que actualmente pagan un impuesto por concepto de “pago de aportaciones de mejoras al pago por servicios ambientales” el beneficio que genera su aporte en la dotación de agua.
- Permite identificar otros servicios ambientales que se obtienen por la conservación de los bosques, como el de la captura de carbono, lo cuál puede ser un incentivo para que el actual programa genere vínculos con programas de PSA a fin de obtener mayores recursos financieros.
- Se obtienen mayores componentes para evaluar los resultados del programa, es decir que no se tenga únicamente el parámetro de cuántas hectáreas son beneficiadas con el programa cada año, sino que también se puede saber cuánto repercute esto en términos ambientales.
- Aunque el Parque Nacional Nevado de Toluca es considerado como una zona prioritaria de conservación para el programa, el análisis de costo de oportunidad permite una zonificación más específica de las áreas que conviene proteger en mayor medida dentro del parque.
- Identifica las zonas forestales que más agua recargan al acuífero y se determina cuáles de estas zonas resultan económicamente más viables para proteger, lo que puede repercutir en lograr mayores resultados a un menor costo.

- Brinda información para que en el programa se implementen pagos diferenciados, a fin de que haya un mayor apoyo a aquellas zonas forestales que brindan mayores beneficios ambientales y que se encuentran en riesgo de ser deforestadas o degradadas.

En suma, el análisis de costo de oportunidad utilizado en la presente investigación ha permitido integrar variables económicas como la rentabilidad de los usos de suelo y variables ambientales como la recarga de acuíferos y la captura de carbono, con el fin de aportar elementos que pudieran ser considerados en el diseño e implementación de un programa de pago por servicios ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, Cristina, *et al.*, 2008, "The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: Economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, São Paulo State (Brazil)", *Ecological Economics*, vol. 66, núm. 359-370.
- Aguilar, Luis, 2006, *Gobernanza y gestión pública*, México, Fondo De Cultura Economica USA.
- Alberto-Villavicencio, Ángeles, 2009, "Propuesta metodológica para un sistema de pago por servicios ambientales en el Estado de México", *Cuadernos Geográficos*, vol. 44, núm. pp.29-49.
- Alberto-Villavicencio, Ángeles, 2011, "Actores y procesos del programa Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México", *Spanish journal of rural development*, vol. 2, núm. 1, pp.37-46.
- Azqueta, Diego, 1994, *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*, Bogota, Colombia, McGraw Hill.
- Azqueta, Diego, 2007, *Introducción a la economía ambiental*, Aravaca, Madrid, segunda, Mc Graw-Hill.
- Baltodano, Javier, 2006, "Servicios ambientales en costa rica mercados y privatización de recursos", *Ciencias*, vol. 81, núm. pp.3643.
- Barbier, Edward, Mike Acreman y Duncan Knowler, 1997, "Economic valuation of wetlands. A guide for policy makers and planners", Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland,
- Bastida, Mindahi C. [conferencia], 2009, "Crisis del agua en el Valle de Toluca. Repercusiones socioambientales por el trasvase", México, D.F., "El acceso al agua en América: historia, actualidad y perspectivas" 53 Congreso Internacional de Americanistas.
- Boucher, Doug, 2008, "What REDD can do: The economics and development of reducing emissions from deforestation and forest degradation", Union of Concerned Scientists, Washington, DC.
- Brunett, Edgar, *et al.*, 2010, "Pago por servicios ambientales hidrológicos: caso de estudio Parque Nacional del Nevado de Toluca, México", *CIENCIA Ergo Sum*, vol. 17, núm. 3, pp.286-294.
- CADER, Centro de Apoyo al Desarrollo Rural, 2011, "Informe técnico: Sistema de información agrícola", Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA Mexicaltzingo, Estado de México.
- CAEM, Comisión de Agua del Estado de México, 2011, "Estudio técnico de los pozos urbanos en la ciudad de Toluca ", CAEM, Toluca, México.
- Cameron, Susan E., Kristen J. Williams y David K. Mitchell, 2006, "Efficiency and concordance of alternative methods for minimizing opportunity costs in conservation planning", *Conservation Biology*, vol. 22, núm. 4, pp.886-896.
- Candeanu, Rafael y Sergio Franco, 2007, "Dinámica y condiciones de vida de la población del parque nacional nevado de toluca (PNNT) en la generación de presión a los ecosistemas circundantes", *Investigaciones Geográficas*, vol. 62, núm. pp.44-68.

- Castañeda, Mario Fermín y José Luis López [Tesis] Tesis de Licenciatura, 2009, "Análisis de cambio en la ocupación del suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) durante el periodo 2000-2008", Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía.
- CEPANAF, Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna, 2007, "Parque Nacional Nevado de Toluca", Secretaría del Medio Ambiente del GEM.
- CNA, Comisión Nacional del Agua 2002, *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle de Toluca, Estado de México*, México D.F.
- Costanza, Robert, *et al.*, 1997, "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital", *Nature*, vol. núm. 387, pp.253-260.
- COTECOCA, Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero, 2002, "Coeficientes de agostadero por entidad federativa", SAGARPA.
- Chen, Xiaodong, *et al.*, 2009, "Using Cost-Effective Targeting to Enhance the Efficiency of Conservation Investments in Payments for Ecosystem Services", *Conservation Biology*, vol. 24, núm. 6, pp.1469-1478.
- Daily, Gretchen, 1997, *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Washington D.C. , Island Press.
- Daily, Gretchen, *et al.*, 1997, *Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems*, Ecological Society of America Washington (DC).
- Ebert, Udo, 2008, "Approximating WTP and WTA for environmental goods from marginal willingness to pay functions", *Ecological Economics*, vol. 66, núm. pp.270-274.
- Echevarria, Bolivar, 1998, *Valor de uso y utopía*, Madrid, Siglo veintiuno,
- Edomexico 2011, *Servicios Ambientales en los Bosques Mexiquenses. Sociedad, economía y desarrollo*, Toluca, México.
- Elliot, Steven, 2005, "Sustainability: an economic perspective", *Sustainability and Renewable Resources*, vol. 44, núm. 3, pp.263-277.
- Endara, Angel Rolando [Tesis] Tesis de Doctorado, 2010, "Análisis de los procesos de recuperación en el bosque templado del Parque Nacional Nevado de Toluca", Toluca, Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.
- Endara, Angel Rolando, *et al.* [conferencia], 2011, "Estructura y regeneración de bosques sometidos a pago por servicios ambientales en el Parque Nacional Nevado de Toluca", Ixtapan de la Sal, México, Congreso Internacional de Pago por Servicios Ambientales.
- Endara, Ángel, [entrevista], 2012, por Edgar Brunett [trabajo de campo], "Cálculo del costo de oportunidad como instrumento de un programa de pago por servicios ambientales", Toluca, México, Junio.
- Engel, Stefanie, Stefano Pagiola y Sven Wunder, 2008, "Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues", *Ecological Economics*, vol. 65, núm.
- Escalante, Roberto y Fidel Aroche, 2002, "El Caso de México", en J. Acquatella, comp., *Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe*.
- Espinoza, Alejandra y María del Carmen Salgado [Tesis] Tesis de Licenciatura, 2009, "Valoración de los recursos forestales en función de las formas de aprovechamiento por parte de la población de la localidad de la puerta del monte del Parque Nacional

- Nevado de Toluca", Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía.
- FAO, Food and Agriculture Organization, 2001, "Global Forest Resource Assessment", Food and Agriculture Organization, Roma.
- Farley, Joshua y Robert Costanza, 2010, "Payments for ecosystem services: From local to global", *Ecological Economics*, vol. 69, núm. pp.2060-2068.
- Ferraro, Paul, 2008, "Asymmetric information and contract design for payments for environmental services", *Ecological Economics*, vol. 65, núm. 4, pp.810-821.
- Franco, Sergio, 2009, *Estimación de la captura de carbono en zonas forestales*, Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Franco, Sergio, *et al.*, 2008, "Payments for Environmental Services: An Alternative for Sustainable Rural Development? The Case of a National Park in the Central Highlands of Mexico", *Mountain Research and Development*, vol. 28, núm. 1, pp.23-25.
- Franco, Sergio y Cristina Burrola, 2009, *Los hongos comestibles del Parque Nacional Nevado de Toluca*, Toluca, Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Franco, Sergio, *et al.*, 2006, "Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, vol. 61, núm. pp.38-57.
- Franco, Sergio, Hector Hugo Regil y Jose Antonio Benjamin Ordoñez, 2006, "Dinamica de perturbacion-recuperacion de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca", *Madera y bosques*, vol. 12, núm. 1, pp.17-28.
- Hamdouch, Abdelillah y Bertrand Zuideau, 2010, "Sustainable development, 20 years on: methodological innovations, practices and open issues", *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 53, núm. 4, pp.427-438.
- Hardner, Jared y Richard Rice, 2002, "Rethinking green consumerism", *Scientific American*, vol. 286, núm. 5, pp.89-95.
- Herriges, Joseph A. y Catherine L. Kling, 1999, *Valuing Recreation and the Environment: Revealed Preference Methods in Theory and Practice*, UK, Edward Elgar.
- Horowitz, John K. y K.E. McConnell, 2003, "Willingness to accept, willingness to pay and the income effect", *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 51, núm. pp.537-545.
- Huacuz, Rafael [Tesis] Tesis de de Maestria, 2005, "Tenencia de la tierra y deterioro ambiental en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT)", Toluca, México, El Colegio Mexiquense.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2010, "Censo General de Población y Vivienda 2010", INEGI, México,
- Jack, Kelsey, Beria Leimona y Paul Ferraro, 2008, "A Revealed Preference Approach to Estimating Supply Curves for Ecosystem Services: Use of Auctions to Set Payments for Soil Erosion Control in Indonesia", *Conservation Biology*, vol. 23, núm. 2, pp.359-367.
- Jaeger, William Kenneth, 2005, *Environmental Economics for Tree Huggers And Other Skeptics*, Washington DC., ISLAND PRESS.
- Kido, Ma. Teresa y Antonio Kido, 2007, "Análisis comparativo de costos para el manejo y uso de suelo en la cuenca alta del río Cacaluta en Oaxaca, México", *Agrociencia*, vol. 41, núm. 3, pp.355-362.

- Kirwan, Barrett, Ruben Lubowski y Michael Roberts, 2005, "How cost-effective are land retirement auctions? estimating the difference between payments and willingness to accept in the conservation reserve program", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 85, núm. 5, pp.1239-1247.
- Landell-Mills, Natasha y Ina T. Porras, 2002, *Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor*, London.
- López, Christopher, *et al.*, 2007, "Demanda, disponibilidad de pago y costo de oportunidad hídrica en la cuenca Tapalpa, Jalisco", *Madera y bosques*, vol. 13, núm. 001, pp.3-23.
- Mayrand, Karel y Marc Paquin 2004, *Informe de Pagos por Servicios Ambientales: Encuesta y Evaluación de los Esquemas Actuales*.
- Mejías, Ronald y Olman Segura 2002, *El pago de servicios ambientales en Centroamérica*,
- Mokate, Karen, 2001, "Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿Qué queremos decir?", Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D. C.
- Morales, José Luis, *et al.*, 2011, "Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el Estado de México.", *Agronomía Mesoamericana*, vol. 22, núm. 2, pp.339-349.
- Muñoz-Piña, Carlos, *et al.*, 2011, "Pagos por Servicios Ambientales y Desarrollo Económico: perspectivas y retos", *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, Madrid, España.
- Nielsen, Eduard y Richard Rice, 2004, "Sustainable forest management and conservation incentive agreements", *Commonwealth Forestry Association*, vol. 6, núm. 1, pp.55-60.
- Ochoa, Salvador, *et al.* [conferencia], 2011, "Evaluación del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Duero", Jiquilpan, Michoacán, Segundo Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Ostrom, Elinor y Michael Cox, 2010, "Moving beyond panaceas: A multi-tiered diagnostic approach for social-ecological analysis.", *Environmental Conservation*, vol. 37, núm. pp.451-463.
- Pagiola, Stefano, 2006, "Pago por servicios hidrológicos en Centroamérica: enseñanzas de Costa Rica", en S. Pagiola, J. Bishop and N. Landell-Mills, comp., *La venta de servicios ambientales forestales*, 2da edición, Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Pagiola, Stefano, 2008, "Payments for environmental services in Costa Rica", *Ecological Economics*, vol. 65, núm. pp.712-724.
- Pagiola, Stefano, Agustín Arcenas y Gunars Platais, 2005, "Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America", *World Development*, vol. 33, núm. 2, pp.237-253.
- Pagiola, Stefano, Joshua Bishop y Natasha Landell-Mills, 2006, *La venta de servicios ambientales forestales*, México D.F., Segunda, Instituto Nacional de Ecología.
- Pagiola, Stefano y Benoît Bosquet, 2009, "Estimating the costs of REDD at the country level", University of Munich, Munich Germany .
- Parker, Charlie, *et al.*, 2009, *El Pequeño Libro de REDD+*, Reino Unido, segunda edición, Global Canopy Programme.
- Pearce, David y Kerry Turner, 1995, *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*, Madrid, Celeste Ediciones.

- Pierri, Naína, 2005, "Historia del concepto desarrollo sustentable", en G. Foladori, comp., *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre desarrollo sustentable*, México, Porrúa, 27-81.
- Porrás, Ina, Maryanne Grieg-Gran y Nanete Neves, 2008, *All that glitters: A review of payments for watershed services in developing countries*, London U.K.
- PROBOSQUE, 2011, "Resumen global del programa para el pago por servicios ambientales hidrológicos del estado de México 2007 - 2011", Gobierno del Estado de México, Metepec, Estado de México,
- Regil, Héctor Hugo [Tesis] Tesis de Licenciatura, 2005, "Análisis del cambio de uso de suelo y vegetación para la obtención de la dinámica de perturbación recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca 1972-2000", Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía.
- Reid, Walter, *et al.*, 2005, "Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-being: Synthesis", United Nations, Washington, DC,
- Rescala, Jorge [conferencia], 2011, "El pago por servicios ambientales en el Estado de México", Ixtapan de la Sal, México, Congreso Internacional de Pago por Servicios Ambientales.
- Rivas, Alejandro Ismael Monterroso, *et al.*, 2008, "Evaluación de la vulnerabilidad y opciones de adaptación de los asentamientos humanos, la biodiversidad y los sectores ganadero, forestal, pesquero ante los impactos de la variabilidad y el cambio climático.", Universidad Autónoma de Chapingo, Ciudad de México.
- Salinas, Andrea [Tesis] Tesis de Maestría, 2010, "Modos de apropiación y manejo de recursos naturales en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Caso de estudio: El contadero, San José", Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.
- Saz, Salvador, 2008, "Medio ambiente y desarrollo: una revisión conceptual", *CIRIEC-España, revista de economía pública, social y cooperativa*, vol. 61, núm. pp.31-49.
- Scullion, Jason, 2011, "Evaluating the environmental impact of payments for ecosystem services in Coatepec (México) using remote sensing and on-site interviews", *Environmental conservation*, vol. 38, núm. 4, pp.426-434.
- Scherr, Sara, Andy White y Arvind Khare, 2004, "For rendered services: The current status and future potential of markets for the ecosystem services provided by tropical forests", *ITTO Technical*, vol. 21, núm. pp.28-29.
- SEDAGRO, Secretaria de Desarrollo Agropecuario, 2011, "Precios indicativos de materias primas forestales 2011", PROBOSQUE, Metepec, Estado de México,
- SEMARNAT, 2002, *Informe de la situación ambiental en México*, México D.F., Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Strassburg, Bernado, *et al.*, 2008, "An Empirically-Derived Mechanism of Combined Incentives to Reduce Emissions from Deforestation", Norwich R.U.
- Subirats, Joan, 1986, *Análisis de políticas públicas y eficacia de la administración*, Madrid, Instituto Nacional de Administración Pública.
- Tacconi, Luca, 2012, "Redefining payments for environmental services", *Ecological Economics*, vol. 73, núm. pp.29-36.
- Torres, Juan Manuel y Alejandro Guevara Sanginés, 2002, "El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico", *Gaceta Ecológica*, vol. 63, núm. pp.40-63.
- Vatn, Arild, 2010, "An institutional analysis of payments for environmental services", *Ecological Economics*, vol. 69, núm. pp.1245-1252.

- Weeks, Jhon R., 1992, *Population: An introduction to concepts and issues*, Belmont, CA, 11, Wadsworth.
- White, Douglas y Peter Minang, 2011, *Estimación de los Costos de oportunidad de REDD+. Manual de capacitación*, Washington, DC., 1.3, Banco Mundial.
- Widayati, Atiek, Andree Ekadinata y Made Hesti Lestari Tata [conferencia], 2010, "Land use change and forest degradation in Sumatran orangutan habitats and the opportunity cost of CO2 emissions", Bogor, Indonesia, Science Forum 2010.
- Wunder, Sven, 2005, "Payments for environmental services: Some nuts and bolts", Center For International Forestry Research, Indonesia,
- Zhang, Wei y Stefano Pagiola, 2011, "Assesing the potential for synergies in the implementation of payments for environmental services programmes: an empirical analysis of Costa Rica", *Environmental Conservation*, vol. 38, núm. 4, pp.406-416.

ANEXOS

Anexo 1 Niveles de agua en el subsuelo para cada uno de los pozos instalados en zonas urbanas del Valle de Toluca.

	Pozos	Nivel Inicial (Metros)	Abatimiento	
			2006 (Metros)	2011 (Metros)
1	LA CHACRA	57	78	101
2	VIALIDAD METEPEC	45	80	102
3	VALLE DON CAMILO	49	92	114
4	MERCADO JUAREZ	66	97	105
5	BOMBEROS	86	80	100
6	PARQUE MUNICIPAL	85	90	105
7	COLONIA GUADALUPE	84	96	103
8	MAQUINITA	86	96	104
9	PANTEON MUNICIPAL	71	105	139
10	MODERNA DE LA CRUZ	96	135	140
11	STA. MARIA DE LAS ROSAS	81	86	97
12	DEPARTAMENTO TECNICO	63	107	111
13	PABLO SIDAR	130	168	172
14	JUAN RODRIGUEZ	74	120	127
15	SEMINARIOII	99	120	128
16	SEMINARIO III	106	109	117
17	CAPULTITLAN	90	136	140
18	TEMASCALTEPEC 1	88	98	112
19	TEMASCALTEPEC 2	30	76	139
20	TEMASCALTEPEC 4	76	130	138
21	LODO PRIETO II	48	56	77
22	LODO PRIETO III	87	96	101
23	LODO PRIETO IV	79	92	102
24	LODO PRIETO V	70	125	137
25	TOLLOCAN III	25	58	90
26	TOLLOCAN IV	18	60	63
27	TORRES I	52	90	99
28	TORRES II	51	97	106
29	EL RANCHITO	62	77	85
30	CORREDOR INDUSTRIAL	35	92	100
31	SAN JUAN DE LA CRUZ	58	70	82
32	MAGDALENA OCOTITLAN	80	83	103
33	LA PILA	49	67	77
34	HACIENDAS DE LA INDEPENDENCIA	67	90	96
35	IZCALLI TOLUCA	51	81	91
36	RINCON DE SAN LORENZO	62	98	107
37	SAN ISIDRO TEPALTITLAN	61	65	70

Fuente: Elaboración propia con base en estudios técnicos de (CAEM, 2011)

Anexo 2
Clasificación y utilización de los métodos de valoración económica adaptados a los servicios ambientales del bosque

TÉCNICAS	VALORES MEDIDOS COMO:	APLICACIONES
Enfoque de Valoración de Mercado		
1. Cambios en la productividad	Cambio en el ingreso por un cambio en la producción	Proyectos agrícolas, degradación de tierra, degradación de aguas, congestión de caminos.
2. Cambios en el ingreso	Cambio en el ingreso por un cambio en la calidad del servicio	Proyectos de salud, contaminación de agua, volumen hídrico.
3. Costos de reemplazo	Costos de reemplazo de una actividad perdida. Reemplazar la actividad por otra sustituta	Protección de inundaciones, protección de suelo, bosque degradado, aguas degradadas del hábitat en la pesca de trucha.
4. Gastos defensivos	Mantener intacto un ecosistema para que siga produciendo un servicio ambiental	Control sanitario, defensa contra inundaciones, protección de áreas frágiles a la deforestación y ricas en captación de agua o protección de biodiversidad.
5. Costos de reubicación	Reducción en el riesgo por reubicación de una población, edificio, etc.	Proyecto hidroeléctrico /susceptibilidad a desastres naturales.
Enfoque de Mercado Sustitutivo		
6. Costos de viaje	Gastos relacionados con viajes	Pesca de trucha, recreación, valor de un parque nacional, volcán, arrecife coralino, cataratas, otros.
7. Valor hedónico	Compradores con voluntad de pagar por una característica de un servicio ambiental	Ruido, degradación de tierra, naturalidad y estética del lugar. Precio de finca con agua /valor de la tierra urbanizable cercana a quebrada degradada. Inconveniencias urbanas/ degradación de un servicio ambiental.
8. Capital humano	Costos que se evitan a raíz de efectos en la salud	Salud: contaminación de aguas de consumo humano, aire contaminado, agroquímicos en el aire.
Enfoque de Mercado Hipotético		
9. Valoración contingente -Voluntad de pagar -Voluntad de aceptar	Beneficio expresado en forma de valor un servicio ambiental o una degradación.	Valores de no uso, calidad ambiental, valor de áreas protegidas (bosque). Valor del agua (consumo doméstico/ industrial)
10. Costos de oportunidad	Voluntad de pago total por los beneficios de una alternativa económica mejor	Utilizar un recurso como el agua con mejor calidad y mayor cantidad / costo de no usar un recurso (suelo) en caso de proyecto hidroeléctrico, proteger el bosque para secuestrar CO2 o para producir agua y biodiversidad.
11. Valoración de prioridades	Voluntad de pago total por la prioridad seleccionada.	Valores de no uso. Cuando un bosque vale por su existencia, aunque también posea madera y otros activos menos valiosos.

Fuente: Mejías y Segura (2002).

Anexo 3
Categorización de los usos de suelo en el PNNT

Categoría	Condición
Agrícola	Agricultura sin ninguna otra asociación
Oyamel denso	Si la categoría oyamel no tiene otra asociación, o bien es una asociación forestal no predominante.
Oyamel semidenso	Si la predominancia es la categoría oyamel y las categorías matorral, pastizal o agrícola están asociadas en menor grado.
Oyamel fragmentado	Si la categoría de matorral, pastizal o agrícola es predominante y la categoría oyamel está asociada en menor grado.
Cedro denso	Si la categoría oyamel no tiene otra asociación, o bien es una asociación forestal no predominante.
Cedro semidenso	Si la predominancia es la categoría oyamel y las categorías matorral, pastizal o agrícola están asociadas en menor grado.
Cedro fragmentado	Si la categoría de matorral, pastizal o agrícola es predominante y la categoría oyamel está asociada en menor grado.
Pino denso	Si la categoría oyamel no tiene otra asociación, o bien es una asociación forestal no predominante.
Pino semidenso	Si la predominancia es la categoría oyamel y las categorías matorral, pastizal o agrícola están asociadas en menor grado.
Pino fragmentado	Si la categoría de matorral, pastizal o agrícola es predominante y la categoría oyamel está asociada en menor grado.
Latifoliadas denso	Si la categoría oyamel no tiene otra asociación, o bien es una asociación forestal no predominante.
Latifoliadas semidenso	Si la predominancia es la categoría oyamel y las categorías matorral, pastizal o agrícola están asociadas en menor grado.
Latifoliadas fragmentado	Si la categoría de matorral, pastizal o agrícola es predominante y la categoría oyamel está asociada en menor grado.
Otros usos no forestales	Se incluye pastizal, matorral y cuerpos de agua

Fuente: Adaptado de Franco, Regil y Ordoñez (2006).

Anexo 4
Matriz de transición en al cobertura forestal del suelo
en el Parque Nacional Nevado de Toluca, periodo1972-2000.

		2000														
1972		Agrícola	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Otros Usos	TOTAL
		Agrícola	6192.9	216.8	157.6	85.4	45.3	28.1	21.1	36.4	47.8	34.2	121.9	98.3	60.8	1199.6
	Oyamel Denso	93.9	10954.9	1139.9	791	0	2.3	0.1	0	0	0	0	0	0	319.3	13301.4
	Oyamel Semidenso	22.4	715.5	127.4	195.6	0	24.3	0	0	0	0	0	0	0	13.3	1098.5
	Oyamel Fragmentado	14.2	502.3	167.6	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230.2	1048.3
	Cedro Denso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cedro Semidenso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cedro Fragmentado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pino Denso	202.2	0	0	0	34.4	0	3.6	6494	3750	2269	0	0	0	526.8	13279.3
	Pino Semidenso	166.4	0	0	0	0.1	12.8	0	741	1253	1241	0	0	0	261.8	3676
	Pino Fragmentado	293.1	0	0	0	17	16.8	5.2	323.4	369.1	921	0	0	0	393	2338.9
	Latifoliadas Denso	53.6	0	0	0	5.9	0.4	0.4	0	0	0	426.8	244.5	82.3	45.7	859.6
	Latifoliadas Semidenso	48.8	0	0	0	23.3	2.5	4.5	0	0	0	290.6	424.4	224	157	1175.1
	Latifoliadas Fragmentado	69.5	0	0	0	3.2	12.8	1.6	0	0	0	162.8	99	82.2	88.1	519.2
	Otros Usos	866.1	650.7	183.7	141.6	11.7	18.8	1	220	248.2	226	58.5	97	125.6	4179.6	7028.2
	TOTAL	8023.1	13040.2	1776.2	1348	141	118.8	37.5	7814	5667	4692	1060.6	963.2	574.9	7414.4	

Fuente: Franco (2009).

Anexo 5
Cantidad de carbono almacenado para cada tipo de asociación
de bosque presentes en el PNNT

Clave	Categoría de uso de suelo y vegetación
FBC (A)	Forestal Bosque de Coníferas (Oyamel)
FBC (B)	Forestal Bosque de Coníferas (Pino)
FBC (Cu)	Forestal Bosque de Coníferas (Cedro)
FBL (Al)	Forestal Bosque de Latifoliadas (Aile)
FBL (Q)	forestal Bosque de Latifoliadas (Encino)
AtpA	Agrícola temporal anual
Agua	Agua
Pi	Pastizal inducido
Pn	Pastizal natural
Pa	Pastizal alpino
S(Mi)	Vegetación secundaria (matorral inerme)
Ehm	Erosión hídrica moderada
Ehf	Erosión hídrica fuerte
Eom	Erosión eólica moderada
Er	Eriales

Clave	Sup. en Ha.	Índice contenido de Carbono MgC/ha	MgC
AtpA-FBC(A)	3.2	40.91	132.4
AtpA-FBC(P)	116.4	23.76	2763.7
AtpA-FBC(P-A)	9.2	35.22	325.2
AtpA-FBL(Al)	9.3	29.1	271.2
Ehf-FBL(Al)-FBC(P)	17.9	52.85	946.4
FBC(A)	10673.7	163.62	1746427.7
FBC(A)-FBL(Al)	208.4	146.58	30551.5
FBC(A)-FBL(Al)-Pi	91.5	110.91	10150.7
FBC(A)-FBL(Al)-S(Mi)	54	110.91	5991.2
FBC(A)-Pi	284.8	71.41	20336.2
FBC(A)-S(Mi)	836.6	71.41	59742.4
FBC(A)-S(Mi)-FBL(Al)	9.6	93.45	895.8
FBC(A-P)	3512.3	141.57	497219
FBC(A-P)-FBL(Al)	113.4	135.57	15343.5
FBC(A-P)-Pi	390.3	94.8	37002.1
FBC(A-P)-S(Mi)	285	67.22	19158
FBC(A-P)-S(Mi)-Pi	4.3	70.78	303.4
FBC(Cu)	114	192.69	21970.9
FBC(Cu)-FBL(Al)-S(Mi)	7.7	95.06	728.7
FBC(Cu)-Pi	33.7	96.34	3242.7
FBC(Cu)-Pi-S(Mi)	12.7	96.34	1226.9
FBC(Cu)-S(Mi)	38.9	96.34	3746.9
FBC(Cu-P)	29.2	95.06	2776.1
FBC(Cu-P)-S(Mi)	25.5	47.53	1213.1
FBC(P)	3430.4	95.06	325924.7

FBC(P)-FBL(Al)	783.3	95.01	54899.5
FBC(P)-FBL(Al)-Pi	163.8	70.09	12549.7
FBC(P)-FBL(Al)-S(Mi)	180.3	69.02	12445
FBC(P)-Pi	4008.9	59.91	240173
FBC(P)-Pi-S(Mi)	11.5	47.51	545.9
FBC(P)-S(Mi)	332.6	46.58	15491.4
FBC(P-A)	2006.8	140.88	282719.3
FBC(P-A)-FBL(Al)	257.7	134.76	34732.3
FBC(P-A)-FBL(Al)-S(Mi)	40.4	99.54	4016.8
FBC(P-A)-Pi	919.3	105.66	97128.4
FBC(P-A)-Pi-S(Mi)	12	70.44	846.7
FBC(P-A)-S(Mi)	267.7	51.74	13849.5
FBC(P-A)-S(Mi)-Pi	3.2	70.44	222.6
FBC(P-Cu)	41.5	37.99	1576.7
FBC(P-Cu)-Pi	21.3	28.49	606
FBC(P-Cu)-S(Mi)	70	28.49	1993.5
FBL(Al)	460.9	116.39	53638.6
FBL(Al)-Eh(m)-FBC(P)	1.6	96.79	150.1
FBL(Al)-FBC(A)	61.4	128.19	7868.3
FBL(Al)-FBC(A)-Pi	17.1	111.83	1912.9
FBL(Al)-FBC(A)-P	7.4	122.68	907.4
FBL(Al)-FBC(P)	409.6	111.04	45477.1
FBL(Al)-FBC(P)-Pi	36.9	101.54	3746.9
S(Mi)-FBL(Al)-FBC(A)-P	8.9	31.61	280.4
S(Mi)-FBL(Al)-FBC(Cu)	3.9	36.73	141.8
S(Mi)-FBL(Al)-FBC(P)	53.7	73.02	3922.5
S(Mi)-FBL(Q)	16.4	66.75	1092.5
S(Mi)-FBL(Q)-FBC(P)	2.3	49.55	112.7
S(Mi)-FBL(Q)-Al	11.5	66.75	764.3
S(Mi)-Pi-FBC(A)	4.4	16.36	72.4
S(Mi)-Pi-FBC(A)-P	1.2	14.16	17.2
S(Mi)-Pi-FBC(P)	290.7	9.5	2761.7
S(Mi)-Pi-FBC(P)-FBL(Al)	9.6	21.14	203.4
S(Mi)-Pi-FBC(P)-A	2.8	14.09	39
S(Mi)-Pi-FBL(Q)-Al	6.6	26.7	175.7
FBL(Al)-FBC(P)-S(Mi)	34.7	101.54	3524.5
FBL(Al)-Pi	290.3	87.29	25336.2
FBL(Al)-S(Mi)	489.4	89.47	43785.8
FBL(Al)-S(Mi)-FBC(P)	1.7	96.79	162.8
FBL(Al)-S(Mi)-Pi	74.9	87.29	6535.1
FBL(Q)	151.2	266.99	40367.7
FBL(Q)-FBC(P)-S(Mi)	2.4	214.49	517.2
FBL(Q)-Pi	8.5	200.24	1701.6
FBL(Q)-S(Mi)	40	200.24	8005.3
FBL(Q)-Al	15.3	266.99	4079.7
FBL(Q)-Al)-S(Mi)	17.7	66.75	1181.5

Pi-FBC(A)	215.8	40.91	8827.3
Pi-FBC(A)-FBL(Al)	4.6	27.85	128.1
Pi-FBC(A)-S(Mi)	32	40.91	1309.7
Pi-FBC(Al)-FBC(P)	2.8	129.04	355
Pi-FBC(A-P)	28.4	35.39	1006.4
Pi-FBC(A-P)	211.5	35.39	7484.3
Pi-FBC(A-P)-S(Mi)	12.5	35.39	442.4
Pi-FBC(Cu)	23.6	48.17	1135.7
Pi-FBC(P)	3062.3	43.17	132197.5
Pi-FBC(P)-FBL(Al)	139.3	27.85	3880.2
Pi-FBC(P)-FBL(Al)-S(Mi)	22.4	25.89	580.5
Pi-FBC(P)-S(Mi)	65.8	23.75	1563.9
Pi-FBC(P-A)	393.8	31.19	12279.7
Pi-FBC(P-A)-S(Mi)	10.9	35.22	383.1
Pi-FBC(P-Cu)	17.6	40.34	709.4
Pi-FBL(Al)	110.8	29.1	3222.9
Pi-FBL(Al)-FBC(A)	12.5	27.85	347.3
Pi-FBL(Al)-FBC(P)	2.4	27.85	66.5
Pi-FBL(Q)	15.2	66.75	1016
Pi-S(Mi)-FBC(A)-FBL(Al)	6.1	28	172.1
Pi-S(Mi)-FBC(A-P)	170.2	14.16	2408.8
Pi-S(Mi)-FBC(P)	188.4	9.5	1790.4
Pi-S(Mi)-FBC(P-A)	3.4	14.09	48.5
Pi-S(Mi)-FBL(Al)	3.4	11.64	39.4
Pn-FBC(P)	39.3	50.07	1968.4
Pn-FBC(P-A)	34.8	35.22	1225.1
S(Mi)-FBC(A)	519.8	40.91	21261.7
S(Mi)-FBC(A)-FBL(Al)	22.5	36.18	815.2
S(Mi)-FBC(A-P)	187.6	35.39	6640.2
S(Mi)-FBC(Cu)	14.3	48.17	689.7
S(Mi)-FBC(P)	273.8	23.75	6502.4
S(Mi)-FBC(P)-FBL(Al)	180.1	25.89	4663.5
S(Mi)-FBC(P)-Pi	35	14.25	499.2
S(Mi)-FBC(P-A)	126	35.22	4437.8
S(Mi)-FBC(P-Cu)	37.1	11.61	431
S(Mi)-FBL(Al)	268.9	29.1	7825

Fuente: Franco (2009).

Anexo 6
Porcentaje de los insumos comerciables, indirectamente comerciables y factores internos en el cultivo de papa. Estado de México, México. 2009.

Insumo	Productores grandes (Más de 10 ha)	Productores medianos (5-10 ha)	Productores pequeños (1 a 5 hectáreas)
Fertilizante	14 %	15 %	16 %
Fungicida	3 %	3 %	4 %
Insecticida	11 %	12 %	6 %
Semilla	30 %	28 %	33 %
Combustible	1 %	1 %	25 %
Labores manuales	14 %	14 %	15 %
Labores mecanizadas	4 %	3 %	3 %
Materiales diversos	17 %	16 %	16 %
Tierra	4 %	4 %	5 %
Maquinaria, administración y servicios	3 %	3 %	2 %

Fuente: Morales, *et al.* (2011).

Anexo 7
Resultados de la recarga de acuíferos de los usos de suelo del PNNT

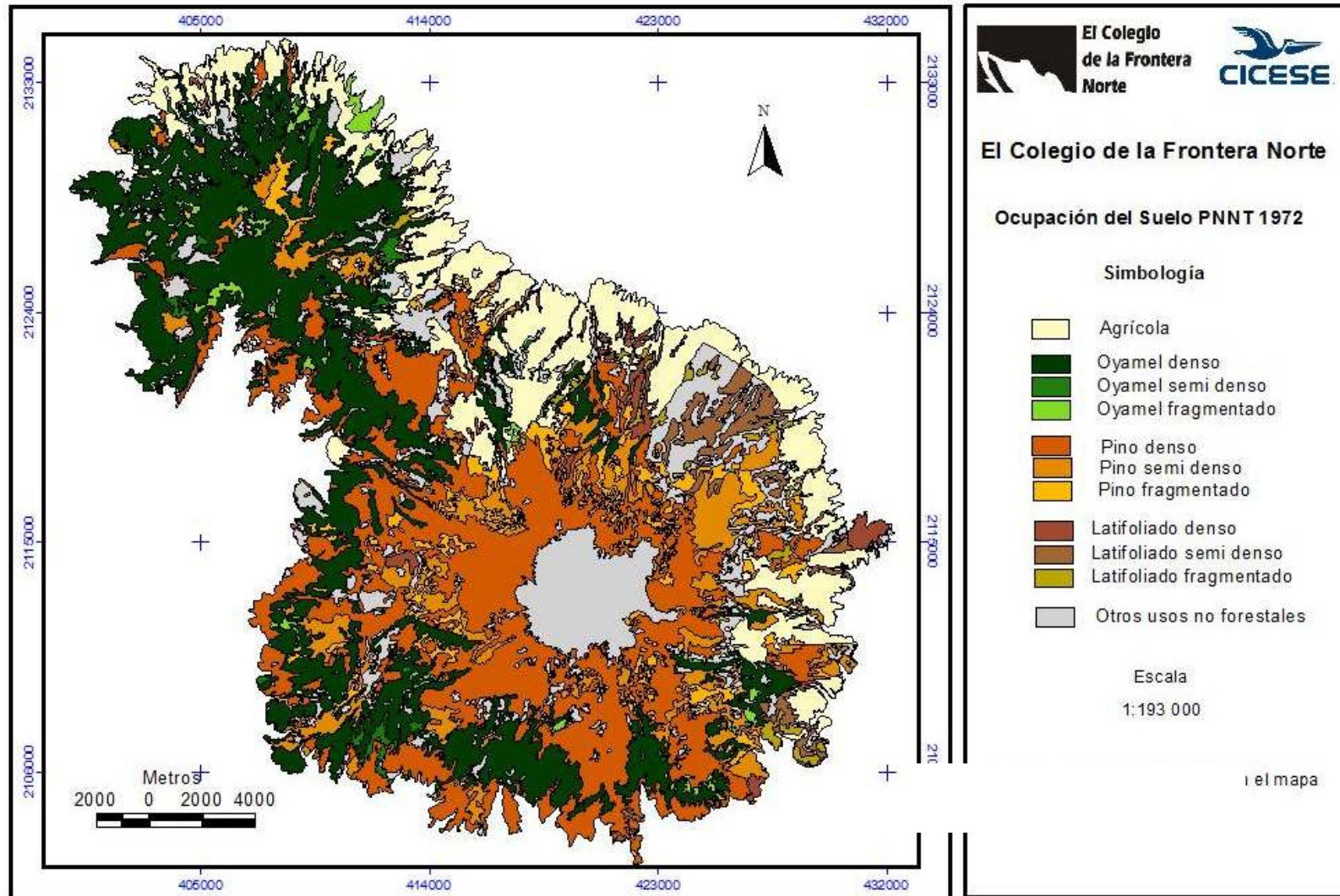
Cantidad de agua que se infiltra cada año al acuífero por cada hectárea de los diferentes usos de suelo del PNNT. Se muestran los valores de “K” utilizados en cada uno de los usos de suelo, los resultados del coeficiente de escurrimiento (CE), los resultados del agua capturada en la superficie (CS) y el porcentaje que esto representa respecto al uso de suelo que más contribuye a la recarga de agua (bosque denso).

Volumen de agua recargada al acuífero para cada uso de suelo en el PNNT

Uso de suelo	K	CE	C.S	% C.S	Recarga de acuíferos m ³ /ha cada año
Agrícola	0.24	0.0779977	0.0220023	28 %	654
Bosque denso	0.07	0.02275	0.07725	100 %	3621.54
Bosque semidenso	0.12	0.039	0.061	79 %	1847
Bosque fragmentado	0.17	0.0552496	0.0447504	58 %	1356
Otros usos no forestales (Pastizal)	0.24	0.078	0.022	28 %	654

Fuente: Elaboración propia con datos de Edomexico (2011).

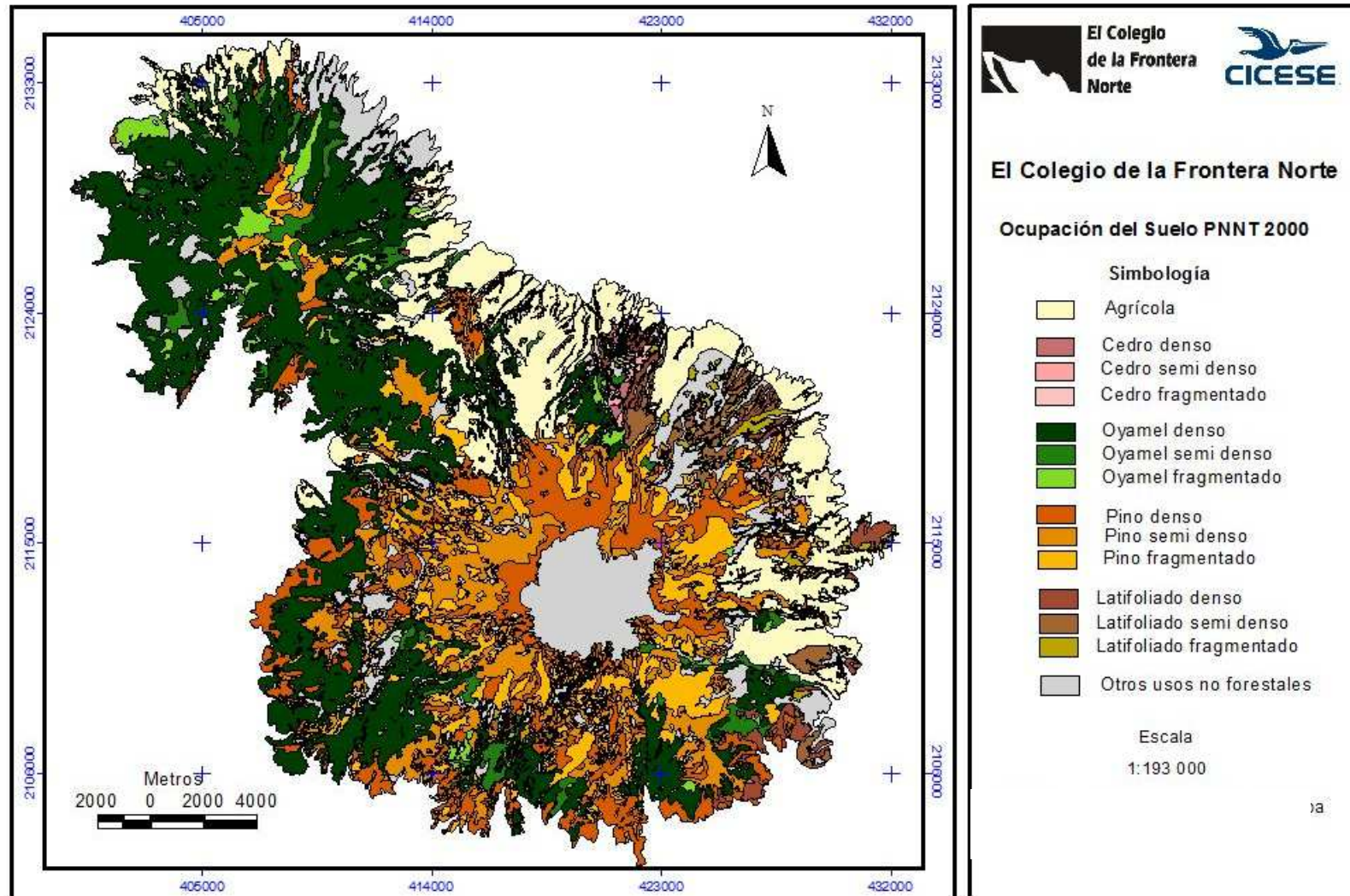
Anexo 8
Mapa de ocupación del suelo en el PNNT en el año 1972.



Elaboración propia con base en Regil (2005)

Anexo 9

FIGURA 2. Ocupación del suelo en el PNNT en el año 2000.



Elaboración propia con base en Regil (2005)

Anexo 10
Resultados del cálculo de rentabilidad del cultivo de papa

Se muestra la inversión y la ganancia de cada tonelada de papa. También se muestra el rendimiento por hectárea cultivada de papa. De acuerdo con los resultados, se puede mencionar que en una hectárea dedicada al cultivo de papa, es posible obtener 18 toneladas de producto con una inversión de \$5,275.00 dólares, y tras la venta de éste producto sería posible obtener un ingreso de \$7,956.00 dólares, por lo tanto, la ganancia neta será de \$2681.00 dólares por hectárea de papa cultivada.

Productividad del cultivo de papa en el PNNT

Concepto	Tonelada de papa	\$ * rendimiento/ha (Dólares)
		- Ingresos 18 ton/ha - Costos 25 ton/ha
Ingreso total	\$442.00	\$7,956.00
Costo total	\$211.00	\$5,275.00
Ganancia neta	\$231.00	\$2,681.00

Fuente. Elaboración propia con datos de ganancias y costos del cultivo de papa (CADER, 2011; Morales, *et al.*, 2011).

Anexo 11
Resultados sobre la rentabilidad del pastizal

Se muestran los costos de producción y los ingresos económicos por una Unidad Animal (UA) de 450 kg. Se debe considerar que estos precios están calculados con base en la utilización de 5 hectáreas de pastizal, por lo cual fue necesario dividirlos entre 5 para así obtener los costos y beneficios por cada hectárea de pastizal.

Unidad Animal (UA)	Hectáreas necesarias de pastizal	Precio pagado por cada kg. (dólares)	Costos de producción por UA (dólares)	Ingresos económicos por UA (dólares)	Costos de producción por hectárea	Ingresos económicos por hectárea
450 kg	5 ha	\$2.76	\$58.00	\$1244.00	11.6	\$248.8

Fuente: Elaboración propia con base en (CADER, 2011; COTECOCA, 2002).

Anexo 12
Ingresos extras por el cambio de uso de suelo

Se muestran aquellos usos de suelo de los cuáles es posible obtener un ingreso económico en caso de realizarse un cambio de uso. Como se puede observar, únicamente forman parte de este cálculo los bosques, ya que en estos existe un beneficio económico por la venta de la madera cuando son deforestados o deteriorados. La tabla muestra el volumen de árboles contenido en una hectárea y el ingreso económico que se recibe por cada hectárea de bosque tomando en cuenta el precio pagado por m³.

Tipo de bosque	Volumen de árboles en pie (m³/ha)	Precio pagado por m³ de madera	Beneficio económico por hectárea de bosque (pesos)	Beneficio económico por hectárea de bosque (dólares)
Oyamel	963.25	\$950.00	\$915,087.50	\$72,915.34
Pino	231.99	\$950.00	\$220,390.50	\$17,561.00
Latifoliadas	119.8	\$600.00	\$71,880.00	\$5,727.49

Fuente: Elaboración propia con base en Endara (2010), SEDAGRO (2011).

Anexo 13 Valor presente neto

Los resultados sobre el cálculo de las rentabilidades de cada uso de suelo en valor presente neto, se muestran a continuación. Se utilizó una tasa de descuento de 5 por ciento, en un periodo de 20 años. Se asume que el uso de suelo de agricultura es el dedicado al cultivo de papa, y que únicamente brindará rentabilidad en cinco ciclos por lo que se muestran los costos y se muestran los costos y los ingresos únicamente de cinco ciclos de cultivo. Respecto al uso de suelo de pastizal la tabla muestra los costos y los ingresos de una cabeza de ganado bovino, se encuentra expresado en un ciclo de 3 años en donde el año uno muestra la primera inversión para la compra del animal, el año dos incluye los costos de producción y el año tres muestra los beneficios económicos obtenidos. Para los siguientes ciclos se asume que se obtuvo una cría del animal y que por tanto no se necesitará invertir para comprar otro animal.

Año	Cultivo de papa (egresos e ingresos de 5 ciclos de cultivo)	Bosque de oyamel denso	Bosque de oyamel semidenso	Bosque de oyamel fragmentado	Pastizal (Ganadería)
1	-\$5,275.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$100.00
2	\$7,956.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
3	-\$5,275.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
4	\$7,956.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
5	-\$5,275.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
6	\$7,956.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
7	-\$5,275.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
8	\$7,956.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
9	-\$5,275.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
10	\$7,956.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
11	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
12	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
13	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
14	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
15	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
16	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
17	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
18	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$248.80
19	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	-\$11.60
20	\$0.00	\$31.86	\$23.86	\$7.96	\$0.00
VPN	\$9,105.06	\$397.05	\$297.35	\$99.20	\$775.84

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 14
Matriz de costos. Recarga de acuíferos

	Agricultura	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Pastizal	Total
Agricultura	0.00	2.93	7.38	12.83	3.07	7.63	12.97	3.07	7.63	12.97	3.07	7.63	12.97	0.00	94.16
Oyamel Denso	4.16	0.00	0.46	1.08	0.00	-0.22	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	6.65
Oyamel Semidenso	9.68	-0.06	0.00	3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69	15.62
Oyamel Fragmentado	14.13	-0.13	-0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26	15.85
Cedro Denso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Semidenso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Fragmentado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pino Denso	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.29	0.00	0.00	0.00	0.56	4.34
Pino Semidenso	8.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	1.20	10.28
Pino Fragmentado	13.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	14.70
Latifoliadas Denso	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.36	3.66
Latifoliadas Semidenso	7.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.83	8.93
Latifoliadas Fragmentado	13.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21	14.28
Pastizal	0.00	0.13	0.40	0.96	0.26	0.65	1.10	0.26	0.65	1.10	0.26	0.65	1.10	0.00	7.54
Total	76.85	2.87	7.84	18.18	3.33	8.06	13.90	3.33	8.41	15.26	3.33	8.32	14.46	11.88	196.01

Anexo 15
Matriz de efectos ambientales. Recarga de acuíferos

	Agricultura	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Pastizal	Total
Agricultura	0.000	-0.436	-0.127	-0.041	-0.091	-0.023	-0.010	-0.073	-0.039	-0.016	-0.245	-0.080	-0.029	0.000	-1.210
Oyamel Denso	0.189	0.000	1.372	1.215	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.642	3.421
Oyamel Semidenso	0.018	-0.861	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	-0.767
Oyamel Fragmentado	0.007	-0.772	-0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110	-0.711
Cedro Denso	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cedro Semidenso	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cedro Fragmentado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pino Denso	0.407	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	4.512	3.485	0.000	0.000	0.000	1.060	9.470
Pino Semidenso	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.892	0.000	0.413	0.000	0.000	0.000	0.212	-0.132
Pino Fragmentado	0.140	0.000	0.000	0.000	-0.026	-0.006	0.000	-0.497	-0.123	0.000	0.000	0.000	0.000	0.187	-0.325
Latifoliadas Denso	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.294	0.126	0.092	0.622
Latifoliadas Semidenso	0.039	0.000	0.000	0.000	-0.028	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	-0.350	0.000	0.075	0.127	-0.135
Latifoliadas Fragmentado	0.033	0.000	0.000	0.000	-0.005	-0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	-0.033	0.000	0.042	-0.217
Pastizal	0.000	-1.309	-0.149	-0.067	-0.024	-0.015	0.000	-0.443	-0.201	-0.107	-0.118	-0.078	-0.060	0.000	-2.571
Total	1.075	-3.378	1.040	1.172	-0.174	-0.045	-0.003	-1.904	4.150	3.775	-0.963	0.103	0.112	2.483	7.444

Anexo 16
Matriz de costos. Captura de carbono

	Agricultura	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Pastizal	Total
Agricultura	0.00	21.50	48.05	-416.33	22.07	49.71	137.96	38.57	95.66	-465.92	20.34	28.53	739.09	624.17	943.41
Oyamel Denso	30.50	0.00	3.66	5.71	0.00	-1.79	-1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.27	47.18
Oyamel Semidenso	62.96	-0.45	0.00	7.93	0.00	-2025.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.90	-1935.6
Oyamel Fragmentado	-458.46	-0.70	-0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-45.38	-505.51
Cedro Denso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Semidenso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Fragmentado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pino Denso	42.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56	2.58	0.00	0.00	0.00	7.42	53.85
Pino Semidenso	102.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00	0.00	17.52	123.92
Pino Fragmentado	-477.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-30.24	-507.39
Latifoliadas Denso	20.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.49	2.44	24.48
Latifoliadas Semidenso	29.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	3.24	32.91
Latifoliadas Fragmentado	744.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-824.61	-79.71
Pastizal	624.17	0.96	2.81	-19.33	1.94	4.56	14.72	3.48	9.47	-23.56	1.78	2.53	-754.87	0.00	-131.32
Total	721.98	21.32	53.55	-422.02	24.01	-1972.52	151.51	42.05	106.69	-483.08	22.13	31.62	-14.82	-216.27	-1933.84

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17
Matriz de efectos ambientales. Captura de carbono

	Agricultura	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Pastizal	Total
Agricultura	0.00	-3136.30	1031.90	65.98	-667.43	-183.84	-49.74	-306.88	-162.50	23.87	1948.62	1120.43	-26.75	-571.81	-9116.33
Oyamel Denso	1358.39	0.00	9026.52	12053.99	0.00	18.23	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4466.89	26925.22
Oyamel Semidenso	146.67	-5665.82	0.00	1431.84	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.74	-4006.45
Oyamel Fragmentado	-10.97	-7654.51	1226.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-287.59	-9179.94
Cedro Denso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Semidenso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cedro Fragmentado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pino Denso	1704.69	0.00	0.00	0.00	-216.81	0.00	21.86	0.00	18865.96	20712.09	0.00	0.00	0.00	4190.19	45277.98
Pino Semidenso	565.68	0.00	0.00	0.00	-1.13	-40.23	0.00	3728.11	0.00	5086.64	0.00	0.00	0.00	765.20	2648.05
Pino Fragmentado	-204.58	0.00	0.00	0.00	-262.33	-121.64	-15.89	2952.22	-1512.39	0.00	0.00	0.00	0.00	-461.63	-5530.68
Latifoliadas Denso	856.82	0.00	0.00	0.00	7.39	3.78	5.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1121.59	1279.38	708.75	3983.15
Latifoliadas Semidenso	556.23	0.00	0.00	0.00	-77.71	12.14	40.68	0.00	0.00	0.00	1333.06	0.00	2454.61	1714.66	3367.56
Latifoliadas Fragmentado	30.58	0.00	0.00	0.00	-45.74	-78.11	-3.07	0.00	0.00	0.00	2530.78	1084.85	0.00	-3.23	-3715.20
Pastizal	412.84	-9103.06	1115.23	176.90	-166.80	-114.04	-1.88	1749.89	-725.45	265.12	-907.26	1059.38	4.61	0.00	14083.53
Total	5416.34	-25559.69	5652.50	13728.71	1430.58	-503.58	-1.36	8737.10	16465.62	26087.71	6719.72	2143.08	3711.85	10602.18	36569.81

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18
Emisión de carbono y costo de oportunidad derivados del cambio de uso de suelo de los bosques del PNNT. 1972-2000.

Uso de suelo original Año 1972 (hectáreas)	Uso de suelo transformado Año 2000 (hectáreas)	Emisiones de CO ² por el cambio de uso de suelo MgCO ² eq/año	Costo de oportunidad (dólares por cada Mg CO ²)	Cantidad de carbono que captura el uso de suelo original Mg/(ha. año)	Costo de oportunidad en dólares por una hectárea	Costo de oportunidad en pesos por una hectárea T.C = 12.55	Inversión para evitar cambio de uso de suelo
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Oyamel denso (13,301.40)	Agrícola (93.92)	1,358.39 (1.52 %)	\$30.50	538.8661	\$16,435.58	\$206,266.50	\$19,372,549.94
	Oyamel semidenso (1139.92)	9,026.52 (10.12 %)	\$3.66		\$1,971.38	\$24,740.84	\$28,202,573.24
	Oyamel fragmentado (790.96)	12,053.99 (13.52 %)	\$5.71		\$3,076.86	\$38,614.62	\$30,542,622.43
	Pastizal (319.32)	4,466.89 (5.01 %)	\$10.27		\$5,535.38	\$69,468.98	\$22,182,834.56
Oyamel semidenso (1,098.50)	Agrícola (22.44)	146.67 (0.16 %)	\$62.96	316.9412	\$19,955.11	\$250,436.60	\$5,619,797.36
	Oyamel fragmentado (195.64)	1,431.84 (1.61 %)	\$7.93		\$2,512.59	\$31,533.04	\$6,169,123.70
	Pastizal (13.32)	80.74 (0.09 %)	\$18.90		\$5,989.45	\$75,167.55	\$1,001,231.83
Pino denso (13,279.30)	Agrícola (202.2)	1,704.69 (1.91 %)	\$42.29	369.7158	\$15,636.33	\$196,236.00	\$39,678,919.05
	Pino semidenso (3749.8)	18,865.96 (21.16 %)	\$1.56		\$576.07	\$7,229.65	\$27,109,753.89
	Pino fragmentado (2268.9)	20,712.09 (23.23 %)	\$2.58		\$952.56	\$11,954.57	\$27,123,725.01
	Pastizal (526.8)	4,190.19 (4.70 %)	\$7.42		\$2,744.15	\$34,439.08	\$18,142,505.98
Pino semidenso (3,676.00)	Agrícola (166.4)	565.68 (0.63 %)	\$102.58	228.7144	\$23,461.29	\$294,439.15	\$48,994,674.95
	Pino fragmentado (1241.4)	5,086.64 (5.70 %)	\$3.83		\$875.15	\$10,983.10	\$13,634,414.80
	Pastizal (261.84)	765.20 (0.86 %)	\$17.52		\$4,006.27	\$50,278.75	\$13,162,976.36
Latifoliadas denso (859.60)	Agrícola (53.6)	856.82 (0.96 %)	\$20.98	581.4381	\$12,200.54	\$153,116.72	\$8,207,056.04
	Latifoliadas semidenso (244.48)	1,121.59 (1.26 %)	\$0.56		\$324.12	\$4,067.70	\$994,552.08
	Latifoliadas fragmentado (82.32)	1,279.38 (1.43 %)	\$0.49		\$286.93	\$3,601.00	\$296,362.05
	Pastizal (45.68)	708.75 (0.79 %)	\$2.44		\$1,421.11	\$17,834.98	\$815,058.68
Latifoliadas semidenso (1,175.10)	Agrícola (48.8)	556.23 (0.62 %)	\$29.20	452.878	\$13,225.91	\$165,985.13	\$8,100,074.44
	Latifoliadas fragmentado (224.04)	2,454.61 (2.75 %)	\$0.47		\$211.36	\$2,652.62	\$594,186.64
	Pastizal (157.04)	1,714.66 (1.92 %)	\$3.24		\$1,465.86	\$18,396.49	\$2,888,248.59
Latifoliadas fragmentado (519.20)	Agrícola (69.52)	30.58 (0.03 %)	\$744.90	145.7724	\$108,586.24	\$1,362,757.30	\$94,711,632.65
TOTALES		89,178.10 (100 %)			\$ 180,427.72	\$2,264,367.93	\$417,544,874.27

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19
Matriz de transición de usos de suelo en el PNNT
Escenario futuro. Periodo 2000-2020

2020

2000															
	Agrícola	Oyamel Denso	Oyamel Semidenso	Oyamel Fragmentado	Cedro Denso	Cedro Semidenso	Cedro Fragmentado	Pino Denso	Pino Semidenso	Pino Fragmentado	Latifoliadas Denso	Latifoliadas Semidenso	Latifoliadas Fragmentado	Otros Usos	TOTAL
Agrícola	5652.57	197.88	143.8	77.95	41.35	25.648	19.26	33.224	43.63	31.22	111.3	89.72	55.5	1095	7618
Oyamel Denso	157.879	18419	1917	1330	0	3.8671	0.168	0	0	0	0	0	0	536.9	22364
Oyamel Semidenso	61.014	1948.9	347	532.8	0	66.189	0	0	0	0	0	0	0	36.23	2992.1
Oyamel Fragmentado	32.5332	1150.8	384	307	0	0	0	0	0	0	0	0	0	527.4	2401.7
Cedro Denso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cedro Semidenso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cedro Fragmentado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pino Denso	30.7969	0	0	0	5.239	0	0.548	989.03	571.1	345.6	0	0	0	80.24	2022.6
Pino Semidenso	88.7639	0	0	0	0.053	6.828	0	395.28	668.1	662.2	0	0	0	139.7	1960.9
Pino Fragmentado	278.729	0	0	0	16.17	15.976	4.945	307.54	351	876.1	0	0	0	373.7	2224.2
Latifoliadas Denso	84.6088	0	0	0	9.313	0.6314	0.631	0	0	0	673.7	385.9	129.9	72.14	1356.9
Latifoliadas Semidenso	47.2019	0	0	0	22.54	2.4181	4.353	0	0	0	281.1	410.5	216.7	151.9	1136.6
Latifoliadas Fragmentado	87.922	0	0	0	4.048	16.193	2.024	0	0	0	206	125.2	104	111.5	656.82
Otros Usos	978.036	734.8	207.4	159.9	13.21	21.23	1.129	248.43	280.3	254.9	66.06	109.5	141.8	4720	7936.5
TOTAL	7500.05	22451	2999	2408	111.9	158.98	33.06	1973.5	1914	2170	1338	1121	647.9	7844	52671

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20
Transiciones de uso de suelo del PNNT. Escenario futuro 2020

Procesos donde hubo pérdida de densidad forestal		
Escenario futuro 2020		
SUELO ORIGINAL (2000)	SUELO TRANSFORMADO (2020)	Cantidad (ha)
OYAMEL DENSO	OYAMEL SEMIDENSO	1916.57
OYAMEL DENSO	OYAMEL FRAGMENTADO	1329.95
OYAMEL DENSO	PASTIZAL	536.9
OYAMEL DENSO	AGRÍCOLA	157.88
OYAMEL SEMIDENSO	OYAMEL FRAGMENTADO	532.78
OYAMEL SEMIDENSO	AGRÍCOLA	61.01
OYAMEL SEMIDENSO	GANADERIA	36.23
OYAMEL FRAGMENTADO	GANADERIA	527.4
OYAMEL FRAGMENTADO	AGRÍCOLA	32.53
TOTAL		5131.25
PINO DENSO	PINO SEMIDENSO	571.13
PINO DENSO	PINO FRAGMENTADO	345.57
PINO DENSO	GANADERIA	80.24
PINO DENSO	AGRÍCOLA	30.8
PINO DENSO	CEDRO FRAGMENTADO	
PINO SEMIDENSO	PINO FRAGMENTADO	662.21
PINO SEMIDENSO	GANADERIA	139.65
PINO SEMIDENSO	AGRÍCOLA	88.76
PINO FRAGMENTADO	PASTIZAL	278.73
PINO FRAGMENTADO	AGRÍCOLA	373.73
TOTAL		2570.82
LATIFOLIADAS DENSO	LATIFOLIADAS SEMIDENSO	385.95
LATIFOLIADAS DENSO	LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	129.91
LATIFOLIADAS DENSO	AGRÍCOLA	84.61
LATIFOLIADAS DENSO	PASTIZAL	72.14
LATIFOLIADAS DENSO	CEDRO FRAGMENTADO	
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	216.66
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	PASTIZAL	151.86
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	AGRÍCOLA	42.7
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	CEDRO FRAGMENTADO	
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	AGRÍCOLA	87.92
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	PASTIZAL	111.45
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	AGRÍCOLA	
LATIFOLIADAS DENSO	CEDRO SEMIDENSO	
TOTAL		1283.2

Continuación anexo 20

Procesos donde hubo aumento de densidad forestal		
Escenario futuro 2020		
SUELO ORIGINAL (2020)	SUELO TRANSFORMADO (2020)	Cantidad (ha)
OYAMEL SEMIDENSO	OYAMEL DENSO	1948.91
OYAMEL FRAGMENTADO	OYAMEL DENSO	1150.80
OYAMEL FRAGMENTADO	OYAMEL SEMIDENSO	383.98
AGRICOLA	OYAMEL DENSO	197.88
AGRICOLA	OYAMEL SEMIDENSO	143.85
AGRICOLA	OYAMEL FRAGMENTADO	77.95
GANADERIA	OYAMEL SEMIDENSO	207.44
GANADERIA	OYAMEL FRAGMENTADO	159.90
TOTAL		4270.72
PINO SEMIDENSO	PINO DENSO	395.28
PINO SEMIDENSO	CEDRO DENSO	
PINO FRAGMENTADO	PINO SEMIDENSO	351.00
PINO FRAGMENTADO	PINO DENSO	307.54
PINO FRAGMENTADO	CEDRO DENSO	
PINO FRAGMENTADO	CEDRO SEMIDENSO	
GANADERIA	PINO SEMIDENSO	280.28
GANADERIA	PINO FRAGMENTADO	254.87
GANADERIA	PINO DENSO	248.43
AGRICOLA	PINO DENSO	33.22
AGRICOLA	PINO FRAGMENTADO	43.63
AGRICOLA	PINO SEMIDENSO	31.22
TOTAL		1945.47
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	CEDRO SEMIDENSO	
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	CEDRO DENSO	
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	LATIFOLIADAS DENSO	205.95
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	LATIFOLIADAS SEMIDENSO	125.24
GANADERIA	LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	141.83
GANADERIA	LATIFOLIADAS SEMIDENSO	109.54
GANADERIA	LATIFOLIADAS DENSO	66.06
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	CEDRO DENSO	
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	LATIFOLIADAS DENSO	281.08
AGRICOLA	LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	55.50
AGRICOLA	LATIFOLIADAS DENSO	111.26
AGRICOLA	LATIFOLIADAS SEMIDENSO	89.72
TOTAL		1186.19

Continuación anexo 20

Cantidad de hectáreas que permanecieron con la misma superficie forestal		
Escenario futuro 2020		
SUELO ORIGINAL (2000)	SUELO TRANSFORMADO (2020)	Cantidad (ha)
OYAMEL DENSO	OYAMEL DENSO	18419.00
OYAMEL SEMIDENSO	OYAMEL SEMIDENSO	347.02
OYAMEL FRAGMENTADO	OYAMEL FRAGMENTADO	307.00
TOTAL		19073.02
PINO DENSO	PINO DENSO	989.03
PINO SEMIDENSO	PINO SEMIDENSO	668.13
PINO FRAGMENTADO	PINO FRAGMENTADO	876.13
TOTAL		2533.29
LATIFOLIADAS DENSO	LATIFOLIADAS DENSO	673.71
LATIFOLIADAS SEMIDENSO	LATIFOLIADAS SEMIDENSO	410.50
LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	LATIFOLIADAS FRAGMENTADO	103.99
TOTAL		1188.20

Fuente: Elaboración propia con base en resultados de escenario 2020 provistos por *software* REDD abacus.