

RENTA DE LA TIERRA Y PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA

LAND RENTING AND PAYMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES IN THE SIERRA NORTE OF PUEBLA

Odilia Rojas-López ¹, Manuel de Jesús González-Guillen ¹,
Armando Gómez- Guerrero ¹ y José Luis Romo-Lozano ²

RESUMEN

Con el propósito de generar estrategias que ayuden a tomar decisiones sobre el Programa de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) en los municipios de Chignahuapan y Zacatlán, Puebla se estimó, a través del Método Costo de Oportunidad, la renta de la tierra con uso agrícola, forestal y pecuario, y se determinaron las características químicas de los suelos de aptitud forestal para evaluar los impactos sobre ellas ante los cambios de uso. Los resultados indican que el PSAH no ha sido exitoso en el área de estudio; sin embargo, para que sea atractivo a los propietarios forestales se les debería compensar con al menos \$1,516.50 ha⁻¹ año⁻¹, cantidad que representa el costo de oportunidad (CO) de los terrenos con uso potencial forestal que pueda obtenerse por el uso pecuario; mientras que el CO para los agrícola y pecuario correspondió a \$1,829.50 ha⁻¹ año⁻¹ que pudiera obtenerse por el uso forestal. El estudio reveló que suelos bajo un uso potencial forestal presentan características de productividad superior y son más aptos para brindar mayor diversidad de servicios ambientales, en contraste con aquellos terrenos que sustentan usos agrícolas y pecuarios. Por tanto, además de la renta de la tierra forestal y de los beneficios derivados de alguna actividad que soporte, es importante que el PSAH considere los costos de los impactos ambientales que se pueden producir ante un cambio de uso potencial de la tierra.

Palabras clave: Aptitud forestal, características químicas del suelo, conflicto de uso, costo de oportunidad, servicio ambiental, uso de la tierra.

ABSTRACT

With the purpose to generate strategies for decision making in the Payments for Hydrological Environmental Services Program (PHESP) in Chignahuapan and Zacatlan, Puebla State, this research estimated the forest land rent through the opportunity cost method. Also it was determined the chemical characteristics of soils suitable for forestry under different uses to understand the impacts generated by land use change on the chemical properties of soils. Results indicated that the PHESP has not been successful in the study area. To make this program more attractive for the forest owners, it should compensate them with MEX\$1,516.50 ha⁻¹ yr⁻¹ at least. This amount represents the opportunity cost (OC) of forest potential land use obtained from cattle land use. In addition, the OC for the agriculture and cattle potential land uses were MEX \$1,829.34 ha⁻¹year⁻¹ from forest land use. Moreover, this study revealed that soils under forest use are more fertile and provide more and diverse environmental services than those under different uses. Thus, in addition to the forest land rent and the net benefits got from some activity over the land, a payment program for environmental services should consider the environmental impacts costs to be produced with a land use change.

Key words: Forest aptitude, soil chemistry characteristics, conflict of use, opportunity cost, environmental service, land use.

Fecha de recepción: 23 de mayo de 2011.

Fecha de aceptación: 16 de abril de 2012.

¹ Posgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. Correo-e: manuelg@colpos.mx

² División de Ciencias Forestales Universidad Autónoma Chapingo.

INTRODUCCIÓN

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) es un esquema de conservación de los recursos naturales basado en un enfoque de mercado y realizado a través de contratos privados preestablecidos (Landell, 2002; Kelsey *et al.*, 2008). En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) estableció el Programa de PSA Hidrológicos (PSAH) en 2003 para otorgar a los dueños de los bosques un pago compensatorio por la conservación de los mismos (SEMARNAT, 2003). Los PSA también son una estrategia para abatir emisiones de CO₂ y contribuir a la mitigación del cambio climático.

En 2003 el PSAH inició pagando \$300 y \$400 ha⁻¹ año⁻¹ para bosques, selvas y bosques mesófilos de montaña. Actualmente, los montos son de \$382, \$700, y \$1,100 ha⁻¹ año⁻¹ con base a tres áreas de prioridad establecidas por la CONAFOR (SEMARNAT, 2011). Aun cuando los montos de apoyo del PSAH fueron justificados en su momento (Jaramillo, 2004), las evaluaciones al Programa concluyen que las cantidades otorgadas son insuficientes para los propietarios; además de no considerar un pago diferenciado por regiones económicas del país, y que persiste el riesgo de deforestación al finalizar el periodo de apoyo del Programa o, incluso, el desinterés o incertidumbre de los propietarios a pertenecer al mismo (García *et al.*, 2005; UACH-CONAFOR, 2006; CP-CONAFOR, 2008).

A pesar de que en los municipios de Chignahuapan y Zacatlán, localizados en la Sierra Norte de Puebla, se ha aplicado el PSAH, los apoyos se consideran bajos e insuficientes para incentivar de manera significativa la conservación de los bosques y selvas. Los suelos de ambos municipios han perdido una gran parte del horizonte superior (SEMARNAT, 2007), como resultado del cambio de uso del suelo (Bray y Merino, 2005) que los dueños han promovido por un interés racional de maximizar la renta de sus terrenos. Esta se concibe como el ingreso que el propietario está dispuesto a recibir por el alquiler de su tierra, el cual es independiente de la actividad productiva que pueda sostener la misma (Cordero *et al.*, 2003) y sin que se empleen prácticas para su conservación o mejoramiento (Palacios y Sánchez, 2003). En consecuencia, se requieren trabajos de valoración que estimen el importe adecuado de la renta de los terrenos forestales y con ello hacer más efectivas las políticas públicas. La definición técnica de los montos de PSA es importante para garantizar la incidencia de los recursos federales en un cambio de actitud de los productores forestales.

Así, para avalar la provisión de servicios ambientales (SA) a través de un esquema de PSA, se debe compensar a los propietarios de terrenos forestales mediante un pago justo (Rosa *et al.*, 2004). La determinación de esta cantidad es un punto crucial para que ellos consideren rentar sus terrenos con la intención de mantener un uso forestal y realizar actividades

INTRODUCTION

The Payment for Environmental Services (PSA) is a scheme for the conservation of natural resources based on a market approach and made through private predetermined agreements (Landell, 2002; Kelsey *et al.*, 2008). In Mexico, the Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) started the Payments for Hydrological Environmental Services Program (PSAH) in 2003 in order to provide forest owners a compensation for its conservation (SEMARNAT, 2003). PSAs are also a strategy for reducing emissions of CO₂ and contributing to stopping climate change.

In 2003, the PSAH started paying \$300 and \$400 ha⁻¹ year⁻¹ for forests, rainforests, and cloud forests. Nowadays, the payments amount to \$382, \$700, and \$1,100 ha⁻¹ year⁻¹, based on three priority areas determined by CONAFOR (SEMARNAT, 2011). Even though the amounts of the PSAH determined for financial support were justified at that time (Jaramillo, 2004), the evaluations to the Program lead to the conclusion that such amounts were insufficient for owners, that there are no differentiated payment levels for the diverse economical regions of the country, that the risk of deforestation persists after the support period of the Program ends, and that the owners may feel uninterested or uncertain about staying in the Program (García *et al.*, 2005; UACH-CONAFOR, 2006; CP-CONAFOR, 2008).

Despite the application of the PSAH in the municipalities of Chignahuapan and Zacatlán, located in the Sierra Norte of Puebla, the financial support is considered low and insufficient for significantly encouraging the conservation of forests and rain forests. The soil in both municipalities has lost a large part of its upper horizon (SEMARNAT, 2007) due to land use changes (Bray and Merino, 2005) that owners have promoted in their rational interest for maximizing the rent of their land. This would be the income an owner is willing to receive for renting their land, regardless of the productive activity it can sustain (Cordero *et al.*, 2003), and without including practices of conservation or improvement (Palacios and Sánchez, 2003). Therefore, valuations that estimate the adequate value of the rent of forest lands need to be carried out in order to make public policies more effective. The technical determination of the PSA amounts is fundamental for guaranteeing the impact of federal resources in the change of attitude of forest producers.

Thus, owners of forest lands should be compensated with a fair payment in order to guarantee the provision of environmental services (SA) through a PSA scheme (Rosa *et al.*, 2004). Determining this amount is crucial for them to consider renting their lands with the purpose of maintaining a forest use and performing conservation activities (Muñoz *et al.*, 2008). The compensation should be an amount that is at least equivalent to the profit they would make for using their lands for the most productive activity (Scott *et al.*, 1998; Sanjurjo and Islas, 2007).

de conservación (Muñoz *et al.*, 2008). El pago compensatorio tiene que representar al menos un monto equivalente al que recibirían por el uso de la tierra bajo la actividad más productiva (Scott *et al.*, 1998; Sanjurjo e Islas, 2007).

Kido y Kido (2007) consideran que el método adoptado por los sistemas de PSA es efectuar un pago anual a los usuarios de las tierras participantes, que no sea menor al costo de oportunidad ni mayor al valor del beneficio ofrecido. El cambio de uso del suelo se justifica solo si la nueva actividad iguala o supera el costo de oportunidad del valor generado por los recursos naturales (Castro y Barrantes, 1998). Por ejemplo, si los ingresos por el aprovechamiento de madera superan a los producidos por los SA del bosque, no se justificaría un cambio de uso a la conservación. No obstante, una hectárea de bosque se protegerá o conservará cuando el valor de dicha acción iguale o sea mayor al costo de oportunidad de la madera extraída.

Existen varios métodos para estimar la renta de la tierra de uso forestal (Munashinge, 1992; Dixon *et al.* 1999; Lambin *et al.*, 2003); por ejemplo, el Método Costo de Oportunidad (MCO), que evalúa el costo de preservar un recurso a través del monto del proyecto propuesto, y se basa en traducir o transformar un beneficio no aprovechado en un costo (Dixon *et al.*, 1999) a precios de mercado real (CONABIO, 1998). El MCO tiene como fundamento el principio de la escasa selección de una alternativa entre dos o más posibles (Azqueta, 1994). Se renuncia a una opción diferente a la elegida cuyo valor representa el costo a pagar, el cual estará en función de la primera mejor alternativa que se rechazó. En esta investigación, el MCO consistió en estimar el ingreso neto que el productor perdería por mantener el uso forestal y no destinarlo a otros que pudieran ser más rentables desde una perspectiva económica, pero que comprometerían la generación de los SA (Machín y Casas, 2006).

El MCO se ha utilizado en diversos estudios relacionados con el PSA (Torres, 2001; Gutiérrez, 2003; Jaramillo, 2004; Kido y Kido, 2007); sin embargo, a nivel regional, como la Sierra Norte de Puebla, existe un conocimiento escaso de su aplicación para estimar el costo de oportunidad de los diferentes usos de la tierra asociados a la producción de SA. Así mismo, se carece de información sobre los impactos en las propiedades químicas del suelo, cuando se cambia el uso forestal de los terrenos.

En el presente trabajo se pretendió, a través del MCO, evaluar la renta de la tierra con usos forestal, agrícola y pecuario, y realizar una comparación con los pagos otorgados a los predios beneficiados por el PSAH para reconocer su eficacia. Además de, conocer cómo las propiedades químicas de los suelos con aptitud forestal se modifican ante un cambio de uso; todo ello en Chignahuapan y Zacatlán, Puebla. Las hipótesis que se plantearon fueron:

Kido y Kido (2007) consider that the method adopted by the PSA systems is giving an annual payment to the users of participating lands that is not below the opportunity cost nor above the value of the offered benefit. The change in land use is justifiable only when the new activity equals or exceeds the opportunity cost of the value generated by the natural resources (Castro and Barrantes, 1998). For instance, if the income for timber exploitation exceeds that of forest environmental services, changing the land use for conservation would be unjustifiable. Therefore, a hectare of forest will only be protected or conserved once the value of such actions equals or exceeds the opportunity cost of the extracted timber.

There are several methods for determining the rent of forest lands (Munashinge, 1992; Dixon *et al.* 1999; Lambin *et al.*, 2003); for instance, the Opportunity Cost Method (MCO) evaluates the cost of preserving a resource depending on the value of the proposed project, and is based on translating or transforming an unexploited benefit into a cost (Dixon *et al.*, 1999) at real market prices (CONABIO, 1998). The MCO is based on the principle of the scarce selection of an alternative when there are two or more possibilities (Azqueta, 1994). The option that is not selected is given up, and its value represents the cost to be paid, which will depend on the first best rejected alternative. For the purposes of this research, the MCO consisted in estimating the net income that the producer would lose if he maintained the forest use and did not change it for other more profitable uses that would compromise the generation of SAs (Machín and Casas, 2006).

The MCO has been used in several studies related to the PSA (Torres, 2001; Gutiérrez, 2003; Jaramillo, 2004; Kido and Kido, 2007). However, at a regional level, as in the Sierra Norte of Puebla, there is little knowledge about how it is applied in order to estimate the opportunity cost of the different land uses related to SA production. Moreover, there is not enough information about the impact on the chemical qualities of the soil when forest land uses are changed.

The present research pretended to value the rent of forest, agricultural and livestock lands through the MCO, and carry out a comparison with the payments granted to the pieces of land benefited by the PSAH to acknowledge its efficiency. It also intended to find out how the chemical qualities of the soil change when the land use is changed. It was carried out in Chignahuapan and Zacatlán, Puebla. The following hypotheses were defined:

- H₁: The compensation granted by the PSAH to the benefited pieces of land covers the equivalent rent of land use in the area of study.
- H₂: The forest lands of the studied area maintain their fertility qualities when the land use is changed.

H₁: La compensación económica que brinda el PSAH a los predios beneficiados cubre la renta del uso del suelo en el área de estudio.

H₂: Los suelos de uso forestal en el área estudiada conservan sus propiedades de fertilidad ante un cambio de uso del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación incluyó tres fases: a) generación de un mapa de conflictos de uso de la tierra; b) estimación de la renta de la tierra con usos agrícola, forestal y pecuario y c) identificación de las características químicas de los suelos de aptitud forestal bajo diferentes usos.

Generación de un mapa de conflictos de uso de la tierra

Se obtuvo información del uso actual del suelo de las cartas F14-11 (Pachuca), F14-12 (Poza Rica), E14-2 (Cd. de México) y E14-3 (Veracruz) del conjunto vectorial de la Carta de Uso de la Tierra y Vegetación Serie III del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Después, con el programa ArcGis® 9-ArcMapTM Versión 9.2 se hizo el corte de la capa de uso de la tierra correspondiente a los dos municipios de interés. A continuación, se categorizaron de nueva cuenta los tipos de vegetación y uso de la tierra actual en los grupos agrícola, forestal y pecuario.

Los mapas potenciales forestal, agrícola y pecuario del área de estudio se obtuvieron del Gobierno del Estado de Puebla en formato imagen (JPG). Estos se georreferenciaron y digitalizaron para crear tres capas vectoriales, una para cada uso, que se unieron para generar una sola carta de uso potencial.

Por último, con la sobreposición de ambos mapas (uso potencial y uso actual) se generó el de conflictos de uso, que muestra de forma espacial las áreas con un uso actual correcto e incorrecto, de acuerdo a su potencialidad.

Estimación de la renta de la tierra con usos agrícola, forestal y pecuario

Diseño, construcción, calibración y aplicación de encuestas. Para recolectar datos y estimar la renta de la tierra en los diferentes usos se diseñaron, construyeron, validaron y aplicaron siete tipos de encuestas: productores agrícolas (1); forestales, propiedad privada y social, (2); pecuarios (1); beneficiarios del PSAH, comunidades y particulares, (2); y prestadores de servicios técnicos forestales (1). El Cuadro 1 presenta la estructura general de los cuestionarios aplicados. Las preguntas fueron de opción múltiple y de complementación, y su número varió por encuesta de 22 a 66.

MATERIALS AND METHODS

The research included three phases: 1) generating a conflict map of land use; 2) estimating the rent of forest, agricultural and livestock lands; and c) identifying the chemical qualities of the soil in forest lands exposed to different uses.

Generating a conflict map of land use

Information about the current land use was obtained from charts F14-11 (Pachuca), F14-12 (Poza Rica), E14-2 (Mexico City), and E14-3 (Veracruz) of the vectorial group in the Land Use and Vegetation map Series III of INEGI. Afterwards, the software ArcGis® 9-ArcMapTM v. 9.2 was used to cut the layer of land use that corresponds to the previously selected municipalities. Then, the types of vegetation and current land use were divided into categories: forest, agricultural or livestock.

The potential maps of the forest, agricultural and livestock lands of the studied area were obtained from the Government of the State of Puebla in JPG format. They were geo-referenced and digitalized in order to create three vectorial layers, one for each land use, that were put together for generating a single chart of potential uses.

Finally, by overlapping both maps (potential use and current use), a conflict map was generated. It spatially shows the areas with both correct and incorrect current land uses, depending on their potential.

Estimating the rent of forest, agricultural and livestock lands

Designing, structuring, calibrating and carrying out surveys. In order to collect data and estimate the rent of the land, depending on the different uses, seven types of surveys were designed, structured, validated and carried out: agricultural producers (1); forest producers, private and social property (2); livestock producers (1); PSAH beneficiaries, communities and individuals (2); providers of technical forest services (1). Table 1 presents the general structure of the questionnaires. They included multiple choice and complementation questions, and had from 22 to 26 questions.

Estimating simple size. The number of questionnaires for each group was calculated using Equation (1) (Gutiérrez, 2009):

$$n = \frac{Nt^2_{(\alpha,n)}pq}{(N-1)B^2 + t^2_{(\alpha,n)}pq} \quad (1)$$

Where:

n = Sample size

N = Population size

$t^2_{(\alpha,n)}$ = Value of t distribution with a 95% reliability level

Estimación del tamaño de muestra. El número de cuestionarios para cada grupo se calculó con la Ecuación (1) (Gutiérrez, 2009):

$$n = \frac{Nt^2_{(\alpha,n)}pq}{(N-1)B^2 + t^2_{(\alpha,n)}pq} \quad (1)$$

p = Proportion of the population of interest

q = Complementary proportion ($1-p$)

B = Maximum desirable error (precision)

Cuadro 1. Contenido de los cuestionarios aplicados a cada grupo de encuestados.

Sección	Descripción	Grupo social de interés
Datos generales del encuestado	Preguntas referentes al perfil socioeconómico: edad, estado civil, escolaridad, actividad económica y fuentes de ingresos anuales.	Todos los grupos encuestados
Actividades productivas	Preguntas para estimar los costos de oportunidad y de la renta del uso de la tierra de acuerdo a la actividad, costos de producción, precios de mercado, ingresos, productos, perspectivas futuras de la actividad, montos de renta anual, valor a aceptar y precio regional del valor de una hectárea.	Productores forestales, agrícolas y pecuarios
Cambio de uso de la tierra	Datos para inferir la percepción sobre el cambio de uso de la tierra en sus localidades y municipios, así como las acciones para conservar los bosques.	Todos los grupos encuestados
Servicios ambientales	Determinar la percepción de los propietarios forestales sobre los servicios ambientales que brindan los bosques.	Propietarios forestales y beneficiarios del PSAH
Programa PSAH	Preguntas a los propietarios forestales para determinar el conocimiento y percepción sobre el PSAH; a los beneficiarios para conocer su experiencia, los impactos del Programa en sus ingresos y en el grado de conservación de los predios; PSTF* para identificar su experiencia al otorgar asesoría a beneficiarios sobre el PSAH.	Propietarios forestales y beneficiarios del PSAH y PSTF*

*Prestadores de servicios técnicos forestales.

Table 1. Contents of the questionnaires applied to each surveyed group.

Section	Description	Social group of interest
General data of the interviewee	Questions regarding their socio-economic profile: age, marital status, education, economic activity and source of annual income.	All surveyed groups
Productive activities	Questions for stimulating the opportunity costs and the rent of land use depending on activity, production costs, market prices, incomes, products, future activity perspectives, amounts of annual rent, value to be accepted and regional value of an hectare.	Forest, agricultural and livestock producers
Change of land use	Data for inferring the perception on the change of land use on their populations and municipalities, as well as the actions for forest conservation.	All surveyed groups
Environmental services	Determine the perception of forest owners on the environmental services provided by forests.	Forest owners and PSAH beneficiaries
PSAH Program	Questions for forest owners for determining their knowledge and perception on the PSAH; for beneficiaries in order to know their experience, the impacts of the Program on their income and the degree of conservation of their lands; for PSTF* for identifying their experience when assessing the beneficiaries about the PSAH.	Forest owners and PSAH and PSTF beneficiaries*

*Providers of technical forest services.

Donde:

- n = Tamaño de la muestra
- N = Tamaño de la población
- $t^2_{(\alpha,n)}$ = Valor de la distribución t con nivel de confiabilidad del 95%
- p = Proporción de la población de interés
- q = Proporción complementaria ($1-p$)
- B = Error máximo deseado (precisión)

El total de encuestas aplicadas fue de 156, de las cuales 58 correspondieron a agricultores, 45 a productores pecuarios, 29 a productores forestales, 9 a PSTF y 15 a beneficiarios del PSAH. De estas últimas, 73% se asignaron a ejidos y comunidades (incluido el Presidente del Comisariado) y 27% a propietarios privados apoyados por el PSAH en los años 2004 (80%) y 2005 (20%). La selección de los encuestados se definió con base en la distribución espacial de los terrenos en el mapa de conflictos y con el apoyo de los Padrones de Productores de la región.

Estimación de la renta del uso de la tierra. Los datos derivados de las encuestas se capturaron y ordenaron en una base de datos en Microsoft Office Excel®, por tipo de productor, y se incluyeron los datos referentes a ingresos y costos de los procesos productivos. Con esta información se estimó la renta de la tierra para los usos forestal, agrícola y pecuario.

Identificación de las características químicas de los suelos de aptitud forestal bajo diferentes usos

Se recolectaron muestras de suelo, con base en el mapa de conflictos, en un transecto por cada condición: 1) sin cambio (mismo uso forestal actual que el potencial); 2) cambio de uso de potencial forestal a uso agrícola; y 3) cambio de uso de potencial forestal a pecuario. Lo anterior se realizó para validar de manera estadística las similitudes o diferencias de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y mostrar datos comparativos.

El transecto se estableció con una separación de 50 m entre sitios y se repitieron cuatro de ellos para la toma de muestras. En cada uno, se midió la profundidad de la capa de materia orgánica (horizonte "O") compuesta por hojarasca, del material orgánico fresco (Oi) y del material en estado de descomposición (Oa). En el suelo mineral se tomaron dos muestras inalteradas con un muestreador de núcleos de suelo (AMS® con martillo deslizable) para estimar la densidad aparente en profundidades de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm (O'Neill, 2005). De forma adicional, se extrajeron dos muestras en las mismas profundidades para determinar las características químicas del suelo; estas se guardaron en bolsas de plástico y se etiquetaron.

El material recolectado se pesó con una balanza de precisión (Citizen® CY 720, 0.001g) y se secaron en una estufa (Novatech®, HS60) a una temperatura constante de 105 °C para aquellas en las que se determinó la densidad aparente

One hundred and fifty six surveys were carried out, 58 of which corresponded to agricultural producers, 45 to livestock producers, 29 to forest producers, 9 to PSTF, and 15 to PSAH beneficiaries. Seventy three percent of the latter were assigned to *ejidos* and communities (including the President of the Comisariado), and 27% to private owners who were supported by the PSAH in 2004 (80%) and 2005 (20%). The interviewees were selected based on the spatial distribution of the lands in the conflict map and with the assistance of the regional producers' registers.

Estimating the rent of land uses. The data extracted from the surveys were captured and ordered in a database using Microsoft Office Excel®, by type of producer, and the data concerning income and costs were included in the productive processes. This information was used for estimating the rent of forest, agricultural, and livestock land uses.

Identifying the chemical qualities of the soil in forest lands exposed to different uses

Soil samples were collected based on the conflict map, taken in a single transect for each condition: 1) unchanged (same current forest use as the potential); 2) change of potential forest use to agricultural use; and 3) change of potential forest use to livestock use. This was done to statistically validate the similarities and differences of the soil qualities when it has been exposed to different uses, and to show comparative data.

The transect for sample taking was established with a distance of 50 m between sites, and repeated four times. In each one, the depth of the organic material layer ("O" horizon) -composed of dead leaves, fresh organic materials (Oi) and decomposing materials (Oa)- was measured. Two unaltered samples were taken from the mineral soil using a soil core sampler (AMS® with slide hammer) in order to estimate the apparent density in depths that range from 0 to 15 cm, and from 15 to 30 cm (O'Neill, 2005). Additionally, to samples were extracted at the equal depths in order to determine the chemical qualities of the soil; they were put in plastic bags and labeled.

The collected material was weighed on a precision balance (Citizen® CY 720, 0.001g) and dried with a dryer (Novatech®, HS60) at a regular temperature of 105°C for the ones in which the apparent density was determined, and of 70°C for the ones sent to the hydrosience laboratory of the Colegio de Postgraduados, after having been sifted at 2 mm. From the latter, the pH, the organic material, the nitrates, ammonium, phosphorus, cation exchange capacity, exchangeable cations (calcium, magnesium and potassium), and electric conductivity were obtained. In the case of the samples for measuring apparent density, the dry weigh of the soil was calculated, and the apparent density was calculated in Mgm^{-3} using the volume of the sampler cylinder.

y de 70 °C para las enviadas al laboratorio de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados, previamente tamizadas a 2 mm. En estas últimas se obtuvo el pH, materia orgánica, nitratos, amonio, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables (calcio, magnesio y potasio) y conductividad eléctrica. En las muestras para densidad aparente se estimó el peso seco del suelo y con el volumen del cilindro del muestreador se calculó la densidad aparente en Mgm^{-3} .

RESULTADOS

Conflictos de uso de la tierra

El uso actual de la tierra en Chignahuapan (aproximadamente 51,000 ha) corresponde 70.3% al agrícola, 27.8% forestal, 1.3% pecuario, 0.3% urbano y 0.3% son cuerpos de agua. A pesar

RESULTS

Conflicts regarding land use

The current land use in Chignahuapan (approximately 51,000 ha) is distributed as follows: 70.3% of agricultural land, 27.8% of forest land, 1.3% of livestock land, 0.3% of urbanized areas, and 0.3% of waterbodies. Despite the fact that the total surface of Zacatlán (26,184.18 ha) is 1.95 times smaller in comparison to that of Chignahuapan, the percentages of current land use are similar (Table 2). In relation to the potential land uses in Chignahuapan, the agricultural land use predominates, since it takes 55% of the total surface, followed by the forest land use (27%) and the livestock land use (18%). In Zacatlán, the order of importance is similar, being 51% of agricultural land use, 43% of forest land use, and 6% of livestock use (Table 3).

Cuadro 2. Superficie y porcentaje por tipo de uso actual de la tierra en el área de estudio.

Table 2. Surface and percentage of current land use in the studied area.

Uso actual de la tierra	Chignahuapan		Zacatlán	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Agrícola	35,915.00	70.28	18,688.00	71.37
Forestal	14,192.00	27.77	6,938.30	26.50
Pecuario	650.30	1.28	326.21	1.25
Zona urbana	177.02	0.35	231.67	0.88
Cuerpos de agua	164.80	0.32	---	---
Total	51,099.12	100.00	26,184.18	100.00

Fuente: INEGI, 2003. Serie III. Conjunto vectorial de uso de la tierra y vegetación.

Source: INEGI, 2003. Serie III. Vector set of land use and vegetation.

de que la superficie total de Zacatlán (26,184.18 ha) es 1.95 veces menor respecto a la de Chignahuapan, los porcentajes del uso actual de la tierra son similares (Cuadro 2). En relación a los usos potenciales en este último municipio predomina el agrícola, que ocupa 55% de su superficie, seguido por el forestal (27%) y el pecuario (18%); para el caso de Zacatlán, se mantiene el orden de importancia con 51%, 43% forestal y 6%, respectivamente (Cuadro 3).

The overlapping of the current land use and vegetation layer with the potential land use layer generated the conflict map, which shows the conditions: without conflict and conflicted due to agricultural, forest and livestock uses (Figure 1).

Cuadro 3. Superficie y porcentaje por tipo de uso potencial de la tierra en los municipios bajo estudio.

Table 3. Surface and percentage of potential land use in the studied municipalities.

Uso potencial de la tierra	Chignahuapan		Zacatlán	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Agrícola	28,044.90	55.25	13,138.40	50.62
Forestal	13,761.70	27.12	11,202.90	43.17
Pecuario	8,950.70	17.63	1,611.21	6.21
Total	50,757.30	100.00	25,952.51	100.00

La sobreposición de las capas del uso actual de la tierra y vegetación con las potenciales generó el mapa de conflictos, que muestran las condiciones: sin conflicto y con conflicto por uso agrícola, forestal y pecuario (Figura 1).

The zones of Chignahuapan without conflict amount to 32,573.70 ha (64.18%), and the conflicted ones to 18,183.60 ha (35.82%). The latter are distributed as follows: 23.24% is agricultural land, 11.94% is forest land, and 0.64% is livestock

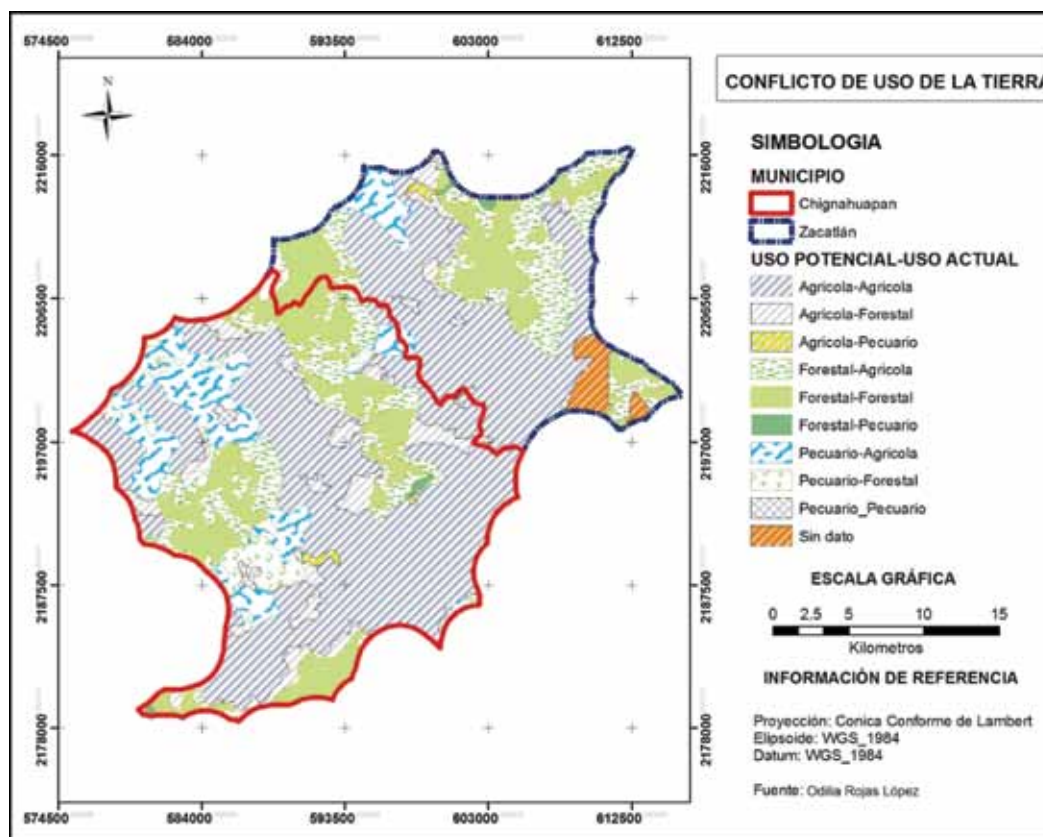


Figura 1. Mapa de conflicto de uso de la tierra en los municipios de Chignahuapan y Zacatlán, Puebla.
Figure 1. Conflict map of land use in the municipalities of Chignahuapan and Zacatlán, Puebla.

Las áreas de Chignahuapan sin conflicto son de 32,573.70 ha (64.18%) y aquellas con conflicto de 18,183.60 ha (35.82%), de estas 23.24% es agrícola, 11.94% forestal y 0.64% pecuario. En contraste, las áreas sin conflicto de Zacatlán ascienden a 17,581.91 ha (67.75%); mientras que, las de conflicto abarcan 8,370.60 ha (32.25%), cuya distribución es de 26.12% para uso agrícola, 5.14% forestal y 1.00% pecuario (Cuadro 4).

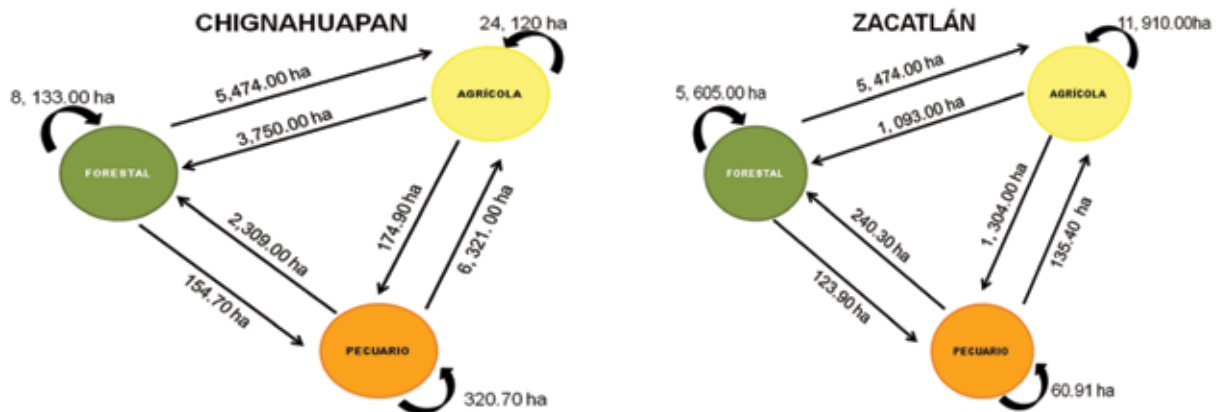
De las 13,761.60 ha de superficie de uso potencial forestal para Chignahuapan, (Cuadro 3), 8,133.00 ha (59%) están bajo un uso actual correcto (forestal); sin embargo, 5,474.00 ha (40%) se han convertido a un aprovechamiento agrícola y 154.70 ha (1%) a uno pecuario (Cuadro 4). En cambio, 3,750 ha de uso agrícola y 2,309 ha pecuarias han pasado a ser forestales (Figura 2).

land. In contrast, the zones of Zacatlán without conflict amount to 17,581.91 ha (67.75%), whereas the conflicted areas cover 8,370.60 ha (32.25%), distributed as follows: 26.12% is agricultural land, 5.14% is forest land, and 1.00% is livestock land (Table 4).

Out of the surface of 13,761.60 ha of potential forest land use in Chignahuapan (Table 3), 8,133.00 ha (59%) currently have a correct land use (forest); however, 5,474.00 ha (40%) have been converted for agricultural exploitation, and 154.70 ha (1%) for livestock use (Table 4). In contrast, 3,750 ha of agricultural land and 2,309 ha of livestock land have been reconverted for forest land use (Figure 2).

Cuadro 4. Condición sin y con conflicto del uso de la tierra por municipio.
Table 4. Condition with or without land use conflicts by municipality.

Conflicto de uso de la tierra	Condición de potencialidad	Chignahuapan		Zacatlán	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)
Sin conflicto	Agrícola, con uso agrícola	24,120.00	47.52	11,910.00	45.89
	Forestal, con uso forestal	8,133.00	16.03	5,605.00	21.60
	Pecuario, con uso pecuario	320.70	0.63	66.91	0.26
Subtotal (sin conflicto)		32,573.70	64.18	17,581.91	67.75
Por uso agrícola	Forestal, con uso agrícola	5,474.00	10.79	5,474.00	21.09
	Pecuario, con uso agrícola	6,321.00	12.45	1,304.00	5.02
	Subtotal (a)	11,795.00	23.24	6,778.00	26.12
Por uso forestal	Agrícola, con uso forestal	3,750.00	7.39	1,093.00	4.21
	Pecuario, con uso forestal	2,309.00	4.55	240.3	0.93
	Subtotal (f)	6,059.00	11.94	1,333.30	5.14
Por uso pecuario	Forestal, con uso pecuario	154.70	0.30	123.90	0.48
	Agrícola, con uso pecuario	174.90	0.34	135.40	0.52
	Subtotal (p)	329.60	0.64	259.30	1.00
Subtotal (con conflicto)		18,183.60	35.82	8,370.60	32.25
Total		50,757.30	100.00	25,952.51	100.00



Nota: Las flechas indican la dirección del cambio; los círculos, los tipos de uso de la tierra y las cantidades, las superficies.

Note: Arrows indicate the direction of change; circles, the types of land use and the numbers refer to the areas.

Figura 2. Diagramas por municipio de la transición del uso potencial al uso actual de la tierra.

Figure 2. Diagrams for each municipality that show the transition from potential land use to current land use.

Por otro lado, se realizó una matriz de transición basada en el modelo de Markov (Briseño, 2005) (Cuadro 5), que permitió describir la tasa de cambio entre diferentes usos de la tierra en un periodo equiparable. Por ejemplo, en Chignahuapan se identificó que existe 59% de probabilidad que una hectárea de uso potencial forestal se mantenga en ese uso, 40% que cambie a uno agrícola y 1% al pecuario; sin embargo, en Zacatlán se observó que hay 50% de probabilidad para que una hectárea se mantenga con su uso potencial, 49% de que se modifique al agrícola y 1% al pecuario. Una interpretación parecida se dio a las probabilidades de cambio para los usos potenciales agrícola y pecuario (Cuadro 5).

On the other hand, a transition matrix was made based on Markov's model (Briseño, 2005) (Table 5), which enabled us to describe a change rate between the different land uses in equivalent periods. For instance, in Chignahuapan, we identified that there is 59% chance that a hectare of potential forest use remains unchanged, 40% chance that it changes to agricultural use, and 1% chance that it changes to livestock use. However, in Zacatlán, we observed that there is 50% chance the use of a hectare remains unchanged, 49% chance it changes to agricultural use, and 1% chance it changes to livestock use. A similar interpretation was given to change probabilities for potential agricultural and livestock uses (Table 5).

Cuadro 5. Matriz de probabilidades de cambio de uso potencial a uso actual de la tierra.
Table 5. Matrix of probabilities of change from potential land use to current land use.

Uso potencial de la tierra	Uso actual del tierra							
	Chignahuapan				Zacatlán			
	Forestal	Agrícola	Pecuario	Total	Forestal	Agrícola	Pecuario	Total
Forestal	0.5910	0.3978	0.0112	1.0000	0.5003	0.4886	0.0111	1.0000
Agrícola	0.1337	0.8601	0.0062	1.0000	0.0832	0.9065	0.0103	1.0000
Pecuario	0.2580	0.7062	0.0358	1.0000	0.1491	0.8093	0.0416	1.0000

Usos de la tierra y sus costos de oportunidad

Con los datos de ingresos y costos de producción por hectárea y año procedentes de las encuestas, se estimó el ingreso neto de cada actividad productiva dominante por condición de conflicto (Cuadro 6). Para el caso de los productores agrícolas, el cultivo más importante fue el maíz. Los ingresos en el uso forestal de la tierra se calcularon del valor promedio del crecimiento de los bosques en los municipios estudiados, que correspondió a 2.5 m³ rollo ha⁻¹ año⁻¹, a este volumen se le aplicó la distribución de productos: 70% medidas comerciales, 20% cortas dimensiones, 7% brazuelos (leña) y el resto se consideró desperdicio. En seguida se valoró cada uno a precios del mercado regional: \$1200 m⁻³, \$720 m⁻³ y \$250 m⁻³, respectivamente; lo que dio un total de \$2,503.75 para los 2.5 m³ rollo ha⁻¹ año⁻¹. Así mismo, se descontaron los costos de abastecimiento (\$250 m⁻³) y de prestación de servicios técnicos (\$27 m⁻³), los cuales totalizaron \$674.25 m⁻³ del volumen susceptible de extraerse por hectárea. Los productores pecuarios refirieron al ganado ovino como el producto dominante (Cuadro 6).

El costo de oportunidad de los usos potenciales agrícola y pecuario correspondió a \$1,829.50 ha⁻¹ año⁻¹, que representa la mejor alternativa (mayores ingresos netos) obtenida por el uso forestal (Cuadro 6). No obstante, el costo de oportunidad más alto estimado para el uso potencial forestal fue de \$1,516.50 ha⁻¹ año⁻¹ bajo el uso actual pecuario. Estas cifras reflejan la renta de la tierra para cada uso.

En la figura 3 se ilustra el monto anual al que rentarían los productores una hectárea de terreno, el precio en la región y el valor que ellos aceptarían (Disponibilidad a Aceptar) al venderla. El valor promedio de la tierra de uso forestal está muy por arriba del estimado por el MCO, esta sobrestimación pudiese responder al valor del suelo (bosque) que los terrenos forestales sustentan, además de su productividad y de los SA que tales ecosistemas producen.

La expectativa de los productores agrícolas, en relación a sus cosechas, es que presentarán un decrecimiento; 38% de los productores pecuarios indicaron que esperan una disminución en la producción y 34% que permanezca constante. Por otra parte, 55% de los productores forestales (privados y ejidos)

Land uses and their opportunity costs

Given the income and cost production data by hectare and year taken from the surveys, the net income of each dominant productive activity depending on its conflict condition was estimated (Table 6). In the case of agricultural producers, the main crop was maize. The income from forest land use was calculated taking the average forest growth value in the studied municipalities, which corresponded to 2.5 m³ roll ha⁻¹ year⁻¹. The following product distribution was applied to this volume: commercial measurements (70%), short dimensions (20%), firewood (7%), and waste (the remainders). Afterwards, each one was valued depending on the regional market prices: \$1200 m⁻³, \$720 m⁻³ and \$250 m⁻³, respectively; which amounted to \$2,503.75 for 2.5 m³ roll ha⁻¹ year⁻¹. Moreover, the supply (\$250 m⁻³) and provision of technical services (\$27 m⁻³) costs were discounted, which added to \$674.25 m⁻³ of the volume susceptible to be extracted from each hectare. Livestock producers mentioned sheep as the main product (Table 6).

Cuadro 6. Ingresos netos obtenidos por actividad productiva en los dos municipios.
Table 6. Net income obtained from productive activity in both municipalities.

Condición de uso potencial	Ingresos netos (\$ ha ⁻¹ año ⁻¹)
Agrícola, con uso agrícola	1,026.25
Agrícola, con uso pecuario	1,351.70
Agrícola, con uso forestal	1,829.50
Pecuario, con uso agrícola	1,006.43
Pecuario, con uso pecuario	1,795.00
Pecuario, con uso forestal	1,829.50
Forestal, con uso agrícola	1,344.00
Forestal, con uso pecuario	1,516.50
Forestal, con uso forestal	1,829.50

The opportunity cost of potential agricultural and livestock uses corresponded to \$1,829.50 ha⁻¹ year⁻¹, which represents the best alternative (higher net income) obtained from forest use (Table 6). However, the highest estimated opportunity

perciben que su producción será constante. El resultado de esa tendencia impactará a las ganancias económicas calculadas. En efecto, 53% de los agricultores consideran que las ganancias estimadas decaerán; mientras que 40% de los productores pecuarios y 45% de los forestales opinan que se mantendrán sin cambio alguno.

Los entrevistados opinan (50.52%) que para disminuir el cambio de uso de la tierra se requiere incrementar la vigilancia en las áreas forestales, para 16.49% se deben reforestar los sitios en donde existe degradación y 8.25% menciona la necesidad de dar mayor apoyo a los productores forestales para la conservación, restauración y manejo de sus bosques. En relación al PSAH, 67% de los beneficiarios decidieron participar en el programa para conservar el bosque y 20% para darle un uso a su predio, ya que antes del apoyo estaba abandonado. Por otro lado, 58% de los encuestados perciben que las condiciones de conservación son mejores en las propiedades inscritas en el PSAH en comparación con aquellas que no lo están.

Los recursos del Programa se distribuyen de la siguiente manera: los ejidos invierten 65% para el mantenimiento y

cost for potential forest use was \$1,516.50 ha⁻¹ año⁻¹ under the current livestock use. These numbers reflect the value of rent for each use.

Figure 3 illustrates the annual rent that producers would charge for a hectare of land, the regional price and the value they would accept (willingness to accept) for its purchase. The average value of forest land use is way above the one estimated by the MCO. Such overestimation could be a response to the value of (forest) land that forest pieces of land sustain, as well as to its productivity and the SAs that such ecosystems produce.

The expectation of agricultural producers, in relation to their crops, is that production will decrease; 38% of livestock producers indicated that they expect a decrease in production, and 34% expect it will remain unchanged. Moreover, 55% of forest producers (both private producers and ejidos) perceive that their production will be constant. The result of this tendency will impact the estimated financial revenue. In fact, 53% of agricultural producers think the estimated revenues will decrease, whereas 40% of livestock producers and 45% of forest producers believe they will remain unchanged.

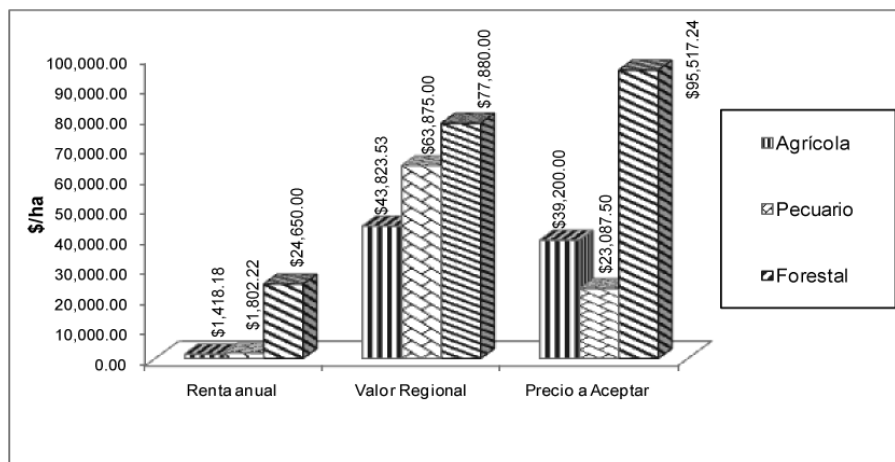


Figura 3. Monto de la renta anual, valor regional y precio a aceptar por una hectárea de terreno por tipo de productor.

Figure 3. Amount of annual rent, regional value and price to be accepted for a hectare of land by type of producer.

restauración del predio, 32% se reparte entre los ejidatarios y 3% lo canalizan a obras de beneficio social. Sin embargo, las actividades que se realizan tienen un costo promedio de \$1,362.89 ha⁻¹ año⁻¹, cantidad superior a la que les otorga el PSAH (\$382 ha⁻¹ año⁻¹), los cuales se gastan en vigilancia, \$386.50 ha⁻¹ año⁻¹ (28%); en protección contra incendios, \$335.78 ha⁻¹ año⁻¹ (25%); en reforestación, \$298.23 ha⁻¹ año⁻¹ (22%); en obras de conservación de suelo y agua, \$184.06 ha⁻¹ año⁻¹ (13%); en cercado, \$81.14 ha⁻¹ año⁻¹ (6%); y en actividades de protección contra plagas y enfermedades, \$77.19 ha⁻¹ año⁻¹ (6%).

The interviewees believe (50.52%) that it is necessary to increase the monitoring of forest zones in order to reduce the change in land use; 16.49% say degraded sites need to be reforested, and 8.25% mentions the need to provide a better support to forest producers for forest conservation, restoration and handling. In relation to the PSAH, 67% of the beneficiaries decided to participate in the program for the conservation of the forest, and 20% in order to find a use for their lands, since they were unattended before the financial support was granted. On the other hand, 58% of the interviewees perceive that the conservation conditions are better in the PSAH participating properties than in those that are not benefited.

Caracterización química de los suelos de aptitud forestal bajo diferentes usos

Densidad aparente. En los sitios con uso forestal fue de 0.54 Mg m^{-3} , valor esperado en suelos forestales sin alterar y ricos en materia orgánica (Marx *et al.*, 1996). Para los agrícolas y pecuarios, los valores determinados fueron de 1.00 Mg m^{-3} y 1.10 Mg m^{-3} , respectivamente.

Variables químicas del suelo. En el Cuadro 7 se muestran los resultados de las variables medidas en el laboratorio para las tres condiciones. En el uso forestal y agrícola el pH resultó ligeramente ácido y en el pecuario neutro.

Los nitratos son relativamente distintos en todos los casos, el amonio rebasa las 10 ppm y el fósforo (P) presenta diferencias más amplias: mientras su disponibilidad en el suelo forestal es media, baja en el agrícola es baja y muy baja en el pecuario.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la tierra de uso forestal revela mejores condiciones con $48 \text{ C mol (-) kg}^{-1}$ suelo. Los suelos de mayor fertilidad presentan hasta $60 \text{ C mol (-) kg}^{-1}$ de suelo, en contraste con los más pobres, como los del trópico, que registran valores de $5 \text{ C mol (-) kg}^{-1}$ suelo (O'Neill *et al.*, 2005). Al utilizar la CIC como indicador de fertilidad, el orden de mayor a menor calidad de uso es forestal>agrícola>pecuario.

Cuadro 7. Variables medidas en las condiciones de uso de tierra bajo estudio.
Table 7. Variables measured in the conditions of land use studied.

Variable	Sin conflicto		Conflicto por uso agrícola		Conflicto por uso pecuario	
	Media	Desv Est	Media	Desv Est	Media	Desv Est
pH	6.34	0.29	6.48	0.27	6.64	0.31
CE (dS m^{-1})	0.13	0.04	0.09	0.02	0.11	0.04
Nitratos (mg kg^{-1})	0.99	0.23	1.22	0.75	1.79	1.02
Amonio (mg kg^{-1})	10.76	4.52	6.77	1.63	9.73	5.08
MO (%)	3.53	1.53	2.55	0.38	1.42	0.16
Fósforo (mg kg^{-1})	40.33	14.55	10.95	5.37	2.44	1.67
Calcio (mg kg^{-1})	2,275.15	824.92	1,641.75	132.32	1,555.04	863.55
Magnesio (mg kg^{-1})	288.85	63.12	313.70	50.73	398.25	227.39
Potasio (mg kg^{-1})	265.81	50.75	154.40	23.68	230.52	84.66
Capacidad de Intercambio Catiónico Cmol(+) kg^{-1}	45.79	4.16	31.80	2.74	28.46	12.41
Porcentaje de saturación de bases	31.04	7.18	35.34	2.27	40.23	8.21

El calcio extraíble del suelo en los usos agrícola y pecuario tuvo valores entre 1,000 y 2,000 ppm, por lo que se considera medio; en tanto que en el forestal superó 2,000 ppm, es decir, fue alto. Para el potasio, el orden de evaluación correspondió

The Program resources are distributed as follows: *ejidos* invest 65% in maintenance and renovation of the land, 32% is divided among the *ejidatarios* and 3% is channeled to charity work. However, the activities performed have an average cost of $\$1,362.89 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, which is more than what the PSAH grants ($\$382 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). This amount is spent in: monitoring and surveillance, $\$386.50 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (28%); protection against fire $\$335.78 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (25%); reforestation, $\$298.23 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (22%); soil and water conservation activities, $\$184.06 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (13%); fencing, $\$81.14 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (6%); and protection against plagues and diseases, $\$77.19 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (6%).

Chemical characterization of lands of forest aptitude exposed to different uses

Apparent density. In sites with forest use its value was 0.54 Mg m^{-3} , which is the value expected in unaltered forest lands that are rich in organic material (Marx *et al.*, 1996). For agricultural and livestock lands, the determined values were 1.00 Mg m^{-3} and 1.10 Mg m^{-3} , respectively.

Chemical soil variables. Table 7 shows the results of the variables measured in the lab for the three conditions. In forest and agricultural lands, the pH was slightly acidic, and in livestock lands it was neutral.

The nitrates are relatively different in all cases, the ammonium exceeds 10 ppm, and the phosphorus shows more differences: while its availability level in forest lands is medium, in agricultural lands it is low, and it is very low in livestock lands.

a forestal>pecuario>agrícola. Las tierras de uso pecuario y agrícola se calificaron como medio y las forestales como alto, porque excedió las 250 ppm (Marx *et al.*, 1996).

DISCUSIÓN

En el área de estudio para evitar la deforestación por el cambio de uso de la tierra, tendría que pagarse a los productores forestales, a través del PSAH, al menos un monto promedio de \$1,516.50 ha⁻¹ año⁻¹, cantidad obtenida por el MCO en el uso pecuario y cuya equivalencia es 2.17 veces de lo pagado por el programa en la actualidad (SEMARNAT, 2011). En un estudio similar en la cuenca de Tapalpa, Jalisco, se identificó que el PSAH debería pagar un costo de oportunidad promedio de \$4,626.9 ha⁻¹ año⁻¹, para evitar una deforestación promovida por los usos agrícola, pecuario y residencial. Además, si se quisiera reconvertir las áreas forestales que tienen un uso incorrecto, tal cantidad debería incrementarse a \$6,380 ha⁻¹ año⁻¹ (López *et al.*, 2007).

Los entrevistados comentaron que los usuarios de los SA tendrían que dar un pago compensatorio de \$2,326.32 ha⁻¹ año⁻¹ a los dueños del recurso por dedicar sus terrenos a la captura de agua. Al orientar la pregunta a los propietarios forestales, ellos opinaron que el PSAH debería pagar \$5,178.95 ha⁻¹ año⁻¹.

Si se deseara reconvertir los suelos que en el presente tienen un uso distinto a su aptitud original convendría pagar, como mínimo, la renta que los productores obtienen el día de hoy, más los costos que implicaría la realización de las actividades de reconversión, tales como la preparación del suelo, la plantación, el mantenimiento de la reforestación; así como la creación de la infraestructura para la vigilancia de la plantación.

Las cantidades mencionadas sugieren que los pagos otorgados por el PSAH no representan una opción económica viable y atractiva para los productores forestales en los municipios estudiados. Por lo anterior, se rechaza la Hipótesis H₁: La compensación económica que brinda el PSAH a los predios beneficiados cubre la renta del uso del suelo en el área de estudio. En consecuencia, la probabilidad de deforestación por el cambio de uso de la tierra seguirá siendo alta en ambos municipios, sobre todo en los terrenos forestales con baja productividad y rentabilidad.

Los resultados indican 40 y 49% de probabilidad que una hectárea de uso potencial forestal se convierta en una de uso agrícola en Chignahuapan y Zacatlán, respectivamente; en consecuencia, este último municipio posee una mayor presión de cambio de uso que el primero. En este sentido, la determinación de la dinámica del cambio de uso de las tierras es importante para efectos de planificación municipal en el desarrollo de las actividades económicas.

Los resultados reflejan el bajo desempeño del PSAH en el área de estudio. Durante el periodo de 2004 a 2006 se

Cation Exchange Capacity (CIC) in the forest lands reveals better conditions, with 48 C mol (-) soil kg⁻¹. The most fertile soils have up to 60 C mol (-) soil kg⁻¹, in contrast with the poorest, such as those from the tropics, which have values of 5 C mol (-) soil kg⁻¹ (O'Neill *et al.*, 2005). When the CIC is used as a fertility indicator, land uses are classified from lower to higher quality as follows: forest>agricultural>livestock.

The calcium extracted from the soil in agricultural and livestock lands showed values between 1,000 and 2,000 ppm, thus the concentration is medium; in forest lands, it exceeded 2,000 ppm, which means the concentration is high. For potassium, the evaluation order corresponded to: forest>livestock>agricultural. Livestock and agricultural lands were considered to have medium concentration, and the forest lands had a high concentration that exceeded 250 ppm (Marx *et al.*, 1996).

DISCUSSION

In order to avoid the deforestation resulting from the land use change in the studied area, forest producers would have to be paid, through the PSAH, at least an average amount of \$1,516.50 ha⁻¹ year⁻¹, determined by the MCO in the case of livestock land use, which is 2.17 times what is currently paid in the program (SEMARNAT, 2011). A similar study carried out in the Tapalpa forestry watershed, in Jalisco, identified that the PSAH should pay an average opportunity cost of \$4,626.9 ha⁻¹ year⁻¹, in order to avoid the deforestation promoted by the agricultural, livestock and residential land uses. Moreover, if the forest areas with an incorrect land use were to be reconverted, such amount would have to be increased to \$6,380 ha⁻¹ year⁻¹ (López *et al.*, 2007).

The interviewees commented that the SA users would have to give a compensation of \$2,326.32 ha⁻¹ año⁻¹ to the resource owners for devoting their lands to water harvesting. When the same question was oriented to forest owners, their opinion was that the PSAH should pay \$5,178.95 ha⁻¹ year⁻¹.

If the lands with a current land use different from its original aptitude wished to be reconverted, it would be convenient to pay, at least, the rent that producers obtain nowadays, plus the costs that reconversion activities would imply, such as land preparation, plantation, sustainability of the reforestation, as well as the creation of infrastructure for supervising the plantation.

The amounts mentioned suggest that the payments granted by the PSAH do not represent a viable financial option and are unattractive for forest producers in the studied municipalities. Therefore, Hypothesis "H₁: The compensation granted by the PSAH to the benefited pieces of land covers the rent of land use in the area of study", is dismissed. Thus, the probability of deforestation caused by the land use change will remain high in both municipalities, especially in forest lands with low productivity and profitability.

aprobaron 28 proyectos con una superficie de 2,369 ha y un monto de apoyo de \$3 559,411. Sin embargo, a la fecha no se cuenta con registros de refrendos al programa de los predios beneficiados, después de haber terminado su periodo de apoyo, ni existen solicitudes aprobadas de 2007 a 2010. Lo anterior ocurre aun cuando la mayoría de los encuestados (58%) opina que las condiciones de conservación, estado fitosanitario, protección contra incendios y cobertura boscosa son mejores que en los predios sin apoyo, a consecuencia de la asignación de los recursos del programa para actividades de mantenimiento y conservación del predio. Por tanto, para reactivar el PSAH en estos municipios y en otras partes del país bajo condiciones similares, se tendría que incrementar la difusión del Programa y hacer más competitivos los montos de pago.

Por otra parte, los terrenos forestales bajo un uso potencial correcto favorecen la generación de SA, ya que propician la infiltración del agua y la circulación de los nutrientes, a causa de su baja densidad y alta porosidad, y de sus reservorios de materia orgánica. Lo opuesto ocurre en suelos con una condición de conflicto. Congruente con ello, los resultados de esta investigación señalan un rechazo a la hipótesis H₂: Los suelos de uso forestal en el área estudiada conservan sus propiedades de fertilidad ante un cambio de uso del suelo. Ante un cambio de uso de la tierra, además de las pérdidas económicas por la falta de la cubierta forestal: pérdidas de biodiversidad, captura de carbono y de agua, cambios microclimáticos, azolves de presas, entre otros; también se tendrá un impacto en las características del suelo, puesto que se modifican sus propiedades y, por ende, su fertilidad. Estas variaciones son percibidas por los productores: mencionan que la producción se mantendrá constante, en el mejor de los casos, o bien decrecerá.

Para que el PSAH sea exitoso debería considerar tanto la compensación de la renta de la tierra y de los beneficios obtenidos de la actividad productiva que sustentan, como el costo de los impactos ambientales que se evitarían al no promover el cambio de uso de la tierra (Pagiola y Platais, 2002). Este trabajo estimó, de manera exclusiva, las alteraciones en algunas propiedades físico-químicas del suelo; no obstante, en futuras investigaciones se sugiere valorar; además de, otros SA (biodiversidad y captura de carbono y agua) la pérdida de nutrientes del suelo en terrenos que han cambiado de uso. Lo anterior permitirá una evaluación más completa con la finalidad de pagar a los propietarios la cantidad justa por la conservación de los recursos forestales.

El estudio del cambio de uso de la tierra sobre los ingresos netos alcanzados a través del MCO de cada actividad, se fortaleció con el análisis de las propiedades del suelo y con ello se evidenció que la deforestación no solo implica un cambio o pérdida en la cobertura vegetal, sino también variaciones en el suelo y en sus propiedades físicas y químicas. La información generada en esta investigación podría ser importante para los

Results indicate that there is 40% and 49% chance that a hectare of potential forest use becomes a hectare of agricultural use in Chignahuapan and Zacatlan, respectively. Therefore, the latter is under more pressure regarding land use change than the first. In this sense, determining the dynamics of land use change is important for municipal planning in terms of development of economic activities.

The results reflect the low rendition of the PSAH in the studied area. From 2004 to 2006, 28 projects with a surface of 2,369 ha and a support amount of \$3 559,411 were approved. However, up to now there are no records of renewals by the benefited pieces of land, once the support period has ended, nor are there any approved applications from 2007 to 2010. This has happened even when most of the interviewees (58%) believe that the conservation, phytosanitary, fire protection and forest cover conditions are better than in the lands that have not been benefited, due to the assignment of program resources for land maintenance and conservation activities. Therefore, in order to reactivate the PSAH in these municipalities and other parts of the country in similar conditions, the Program should be more widely promoted and the amounts paid should be more competitive.

On the other hand, forest lands under a correct potential use promote the generation of SAs, since they favor water infiltration and nutrient circulation, due to their low density and high porosity, and their organic material reservoirs. The opposite happens in conflicted lands. Congruently, the results of this research suggest a dismissal of Hypothesis H₂: The forest lands of the studied area maintain their fertility qualities when the land use is changed. When there has been a land use change, not only are there financial losses caused by the lack of forest cover, but also losses in terms of biodiversity, carbon and water capture, microclimate changes, dam sedimentation, among others. There will also be an impact in the soil characteristics, since its qualities are affected, and, consequently, so is its fertility. Producers perceive these variations; they mention that production may remain constant, in the best case scenario, or may decrease.

For the PSAH to be successful, it should take into account both the compensation of land rent and the benefits obtained from the productive activity they sustain, as well as the cost of environmental impacts that would be prevented if the land use change is not promoted (Pagiola and Platais, 2002). This study exclusively estimated the modifications of some of the physical and chemical soil qualities; however, we suggest that future research should evaluate other SAs (biodiversity and carbon and water capture), as well as the loss of soil nutrients in lands that have changed use. That would allow a more comprehensive evaluation, intended to pay owners a fair amount for forest resource conservation.

tomadores de decisión del PSAH, ya que permite reorientar respuestas más apropiadas para la conservación, además de identificar la compensación más justa para quienes pretenden cambiar el uso de su tierra.

CONCLUSIONES

La renta de la tierra en Chignahuapan y Zacatlán, Puebla, estimada a través del costo de oportunidad para los usos agrícola y pecuario, fue de \$1,829.50 ha⁻¹ año⁻¹, definida por el uso forestal; sin embargo, para este fue de \$1,515.50 ha⁻¹ año⁻¹, obtenida por el uso pecuario. Por tanto, para evitar la deforestación por cambio de uso de la tierra a través del PSAH, debería pagarse a los productores forestales un monto mínimo promedio de \$1,516.50 ha⁻¹ año⁻¹ por la renta de sus tierras de conservación.

Los terrenos forestales sin conflicto de uso presentan características que los hacen más fértiles y productivos, y mantienen la funcionalidad de los bosques para la provisión de servicios ambientales. Al existir un cambio de uso en dichos terrenos, el impacto sobre las propiedades del suelo es evidente, debido a la pérdida de su productividad y fertilidad. Sus costos también deberían considerarse en el PSAH.

El mapa de conflictos generado fue una herramienta eficaz para analizar, de manera espacial, el uso actual y potencial de la tierra. Además, permitió seleccionar los sitios para encuestar a los grupos de productores (forestales, agrícolas y pecuarios); estimar la renta del uso de la tierra a través del costo de oportunidad; la construcción de la matriz de probabilidades de cambio de uso potencial a uso actual; y la evaluación de las modificaciones ocurridas en las propiedades del suelo por el cambio de uso. La matriz de probabilidades de cambio de uso constituye una herramienta de apoyo para realizar un estudio sobre la dinámica del cambio de uso de la tierra en los dos municipios considerados.

Finalmente, se plantea examinar la renta de la tierra de usos residenciales urbanos y rurales, los cuales compiten con los usos agrícola, forestal y pecuario; realizar una proyección para conocer la dinámica de los cambios con la finalidad de apoyar la generación de propuestas que susciten la conservación de los recursos forestales y eviten la deforestación y, por último, calcular los costos implicados en el cambio de uso en las propiedades del suelo y en los otros SA asociados. 

AGRADECIMIENTOS

Al Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No.167304 para el Establecimiento y Operación de los Fondos para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Centro Público del Colegio de Postgraduados, y a la LPI 01 (Manejo Sustentable de Recursos Naturales), por el financiamiento del trabajo de investigación.

Studying the impact of land use change over net incomes reached through the MCO of each activity was strengthened with the analysis of soil qualities, which showed that deforestation does not only imply changes or losses in the vegetation cover, but also variations of the physical and chemical soil qualities and of the soil itself. The information resulting from this research could be relevant for PSAH decision makers, since it lets them reorient answers which are more appropriate for conservation, as well as determine the fairest compensation for the owners that intend to change the use of their lands.

CONCLUSIONS

Land renting in Chignahuapan and Zacatlan, Puebla, estimated through the opportunity cost for agricultural and livestock uses, amounted to \$1,829.50 ha⁻¹ year⁻¹, determined by forest use. However, the amount obtained for livestock use was \$1,515.50 ha⁻¹ year⁻¹. Therefore, for the PSAH to avoid deforestation caused by the change in land use, an average rent of at least \$1,516.50 ha⁻¹ year⁻¹ should be paid to forest producers for their conservation land.

Forest lands without conflicts regarding use have certain qualities that make them more fertile and productive, and maintain the functionality of forests for the provision of environmental services. Whenever such lands undergo a land use change, the impact on the soil is evident, since it becomes less productive and fertile. Their costs should also be accounted for in the PSAH.

The conflict map we generated was an efficient tool for spatially analyzing the current and potential uses of land. It also allowed us to choose where to survey the groups of producers (whether forest, agricultural or livestock producers); to estimate the rent of land use through the opportunity cost; to build a matrix of probabilities regarding change of land use, from potential use to current use; and to evaluate the changes in the land qualities caused by the change in land use. The matrix of probabilities constitutes a complementary tool when doing research on the dynamics of change of land use in both municipalities.

Finally, we suggest that the rent of land for both urban and rural residential use, which competes against the agricultural, forest and livestock uses, is examined; that the dynamics of change are projected, in order to promote the increase of proposals that give rise to the conservation of forest resources and avoid deforestation; and that the costs implied in the change of use in the land qualities and other related SAs is calculated. 

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No.167304 para el Establecimiento y Operación de los Fondos para la

REFERENCIAS

- Azqueta, D. 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. Editorial McGraw Hill. Universidad de Alcalá de Henares. Madrid, España. 299 p.
- Bray, D. B. y L. Merino P. 2005. La experiencia de las comunidades forestales en México, "Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias". Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). México, D. F. México. 269 p.
- Briseño V., F. 2005. Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. *Revista Geográfica Venezolana*. 46 (1):35-45.
- Castro, E. y G. Barrantes. 1998. Valoración económico-ecológico del recurso hídrico en la cuenca Arenal: El agua un flujo permanente de ingreso. Informe final de proyecto de conservación y desarrollo Arenal II. Etapa. San José, Costa Rica. s/p.
- Colegio de Postgraduados (CP) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008. Evaluación externa de los apoyos de los servicios ambientales, ejercicio 2007. Reporte final. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. 205 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. CONABIO. México, D. F., México. pp. 212-234.
- Cordero S., P., H. Chavarría, R. Echeverría y S. Sepúlveda. 2003. Territorios rurales, competitividad y desarrollo. Serie Cuadernos Técnicos. ILCA No. 23. San José, Costa Rica. 18 p.
- Dixon, J. A., F. Saura L., A. R. Carpenter y B. P. Sherman 1999. Análisis económico de impactos ambientales. Editorial Mario Piedra, Robert Hearne. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 251 p.
- García A., J., A. Janvry Sadoulet E. and J. M. Torres 2005. An assessment of Mexico's payment for environmental services program. University of California. Berkeley, CA. USA. 79 p.
- Gutiérrez A., R. 2003. Valoración, cambio de uso de suelo y pago de servicios ambientales, en áreas naturales protegidas: Estudio de caso Cañada de Contreras, Distrito Federal, México. Tesis doctoral. Programa en Economía. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. México. 119 pp.
- Gutiérrez, H. A. 2009. Estrategias de muestreo, diseño de encuestas y estimación de parámetros. Departamento de Publicaciones. Universidad Santo Tomás. Bogotá. Colombia. 507 p.
- Jaramillo L., A. 2004. Estimación del costo de oportunidad del uso de suelo forestal en ejidos a nivel nacional. Documento de Trabajo, Dirección General de Investigación en Economía y Política Ambiental, Instituto Nacional de Ecología. México. D. F., México. 13 p.
- Kelsey, J. B., C. Kousky and E. R. Sims K. 2008. Design payments for ecosystems services: Lessons from previous experience with incentive-base mechanisms. *PNAS* 105. (28):9465-9470.
- Kido, C. y A. Kido. 2007. Análisis comparativo para el manejo y uso de suelo en la cuenca alta del Río Cacaluta en Oaxaca, México. *Agrociencia*. 41 (3):355-362.
- Lambin E. F., H. J. Geist and E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Reviews Environment Resources*. 28: 205-241.
- Landell, M. N. 2002. Developing markets for forest environmental services: an opportunity for promoting equity while securing efficiency? *Philosophical Transactions of The Royal Society. Mathematical Physical & Engineering Sciences*. (360): 1817-1825.
- López P., C., M. de J. González G., J. R. Valdez L. y H. M. de los Santos P. 2007. Demanda, disponibilidad de pago y costo de oportunidad hídrica en la cuenca Tapalpa, Jalisco. *Madera y Bosques*. 13 (1):3-23.
- Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Centro Público del Colegio de Postgraduados, and the LPI 01 (Manejo Sustentable de Recursos Naturales) for financing this research.
- End of the English version*
- Machín, H. M. y M. V. Casas. 2006. Valoración económica de los recursos naturales: Perspectiva a través de los diferentes enfoques de mercado. *Revista Futuros*. 4 (13):9.
- Marx, E. S., J. Hart and R. G. Stevens. 1996. *Soil test interpretation guide*. US Department of Agriculture. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. 7 p.
- Munashinge, M. 1992. Biodiversity protection policy: Environmental valuation and distribution issues. *Ambio*. 21 (3):227-236.
- Muñoz P., C., A. Guevara, J. M. Torres and J. Braña. 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*. (65):725-736.
- O'Neill, K. P., M. C. Amacher and C. H. Perry. 2005. Soils as an indicator of forest health: A guide to the collection, analysis, and interpretation of soil indicator data in the forest inventory an analysis program. Forest Service. United States Department of Agriculture. Washington, DC., USA. 53 p.
- Pagiola, S. and G. Platais. 2002. Payments for environmental services. *Environment Strategy Notes*. No.3. The World Bank. Washington, D.C. USA. s/p.
- Palacios M., V. H. y D. D. Sánchez. 2003. Teoría de la renta y recursos naturales. Programa de Integración Agricultura Industria (PAI)-CESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Chapingo, Edo. de Méx. México. 189 p.
- Rosa, H., S. Kandel and L. Dimas. 2004. Compensation for environmental services and rural communities: Lessons from the Americas. *International Forestry Review*. 6(2):187-194.
- Sanjurjo R., E. e I. Islas. C. 2007. Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. *Gaceta Ecológica*. 84-85: 93-105.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Reglas de operación para el otorgamiento de pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos. Diario Oficial de la Federación. D.F. México. 3 de octubre 2003. pp. 6-23.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Diagnóstico Socioeconómico y de manejo Forestal: Unidad de Manejo Forestal Zacatlán. Gobierno del Estado de Puebla y Asociación Regional de Silvicultores Chignahuapan-Zacatlán, A.C. Chignahuapan, Pue. México. 281 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. Reglas de operación del Programa ProÁrbol 2012. Diario Oficial de la Federación. D.F. México. 21 de diciembre 2011. s/p.
- Scott, M. J., G. R. Bilyard, S. O. Link, C. A. Ulibarri and H. E. Westerdahl. 1998. Valuation of ecological resources and functions. *Environmental Management*. 22 (1):49-68.
- Torres P., J. A. 2001. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de un bosque tropical. Tesis doctoral. Especialidad en Economía. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de Méx. México. 120 p.
- Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. Evaluación del Programa de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH). Ejercicio fiscal 2005. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 143 p.