



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

POSGRADO EN GEOGRAFÍA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

**MODELO ESPACIAL PARA LA DIFERENCIACIÓN DEL PAGO POR SERVICIOS  
AMBIENTALES EN ÁREAS FORESTALES**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

**PRESENTA:**

DANAYS DEL CARMEN CASTELO AGÜERO

**TUTOR PRINCIPAL**

DR. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL (UNAM)

MORELIA, MICH. AGOSTO 2014.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## *Dedicatoria*

A mis padres, por enseñarme que el amor, el sacrificio y la perseverancia son las claves para alcanzar las metas que uno se propone en la vida. Por todo su amor, dedicación y apoyo.

A Dayris, la mejor de las hermanas, por su cariño y complicidad todos estos años.

A Isabela, por robarme el corazón en su primera hora de vida.

A Tata, por enseñarme que nunca es tarde para cumplir nuestros sueños.

A Luis, por llenar mi vida de felicidad y amor, ocupar un lugar especial en mi corazón y estar a mi lado en las buenas y en las malas, por su apoyo y motivación. Gracias AMOR!!

A Karen, Jenny, Mei y Yumaika por ser amigas de verdad y a pesar de la distancia hacerme sentir su presencia siempre.

## *Agradecimientos*

A mi tutor Luis Miguel Morales Manilla por confiar en mí aún sin conocerme, por compartir todo su conocimiento, por su paciencia y apoyo.

A CONACYT por la beca otorgada que permitió realizar mi maestría.

A la Fundación Heinrich Böll Stiftung por todo el apoyo económico y moral, brindado en estos dos años, gracias por su colaboración para la culminación de esta tesis. En especial a Margarita Castro por hacernos sentir como en casa.

A mi comité sinodal por todo lo aportado a esta tesis, Dr. Ángel Priego, Dr. Manuel Bollo, Dr. Adrián Ghilardi y Mtra. Rocío Aquirre.

A todos los nuevos amigos, por su cariño y apoyo, Silvia, Arturo, Luz, Casael, Will, Alejandro, Janik, Migue (Mariachi), Omar, Nacho, Fabiola.

A Ruth por soportar amablemente todas mis dudas en cuánto trámite hacía.

A Raque por responder con una sonrisa a todas las consultas técnicas.

A Cuba mi patria adorada por darme la noción de lo “real maravilloso” y forjarme como la persona que soy.

A México por abrirme sus brazos y acogerme cálidamente.

## RESUMEN

En la actualidad México no posee un programa de Pago por Servicios Ambientales, que se adapte de manera diferencial al tipo de cobertura forestal, sino que se implementa por la extensión de la superficie forestal. Para cubrir esta necesidad se desarrolló el modelo COSTOPFOR, el cual tiene como objetivo principal espacializar el costo de oportunidad y diferenciar espacialmente el Pago por Servicios Ambientales en la Reserva Ecológica Comunitaria de Milpa Alta.

Durante el desarrollo de la presente se utilizaron diversas técnicas de investigación: análisis de cartografía existente, evaluación de tierras con el modelo AGRILocal, evaluación de los patrones de deforestación con el modelo DEFORELATIONS, que con la combinación de ambos se logró espacializar el costo de oportunidad.

Los resultados obtenidos indican que en la Reserva Ecológica Comunitaria las zonas que presentan una mayor importancia para el Pago por Servicios Ambientales, son las que se encuentran más cercanas a los caminos presentes en la zona. De igual manera se elaboraron tres escenarios de pago, en los cuales se aumentó el monto del pago por hectárea, dando como resultado que no existe una diferencia significativa entre los montos totales de los escenarios propuestos y del escenario actual, lo que puede ayudar a hacer más atractivos e incentivar el Pago por Servicios Ambientales entre los propietarios de las zonas forestales.

Dados los buenos resultados obtenidos en la aplicación del modelo COSTOPFOR en el presente trabajo, se estima deseable su aplicación en las regiones de cobertura forestal que deseen entrar al programa del Pago por Servicios Ambientales, para que de esta manera se dé cumplimiento a la demanda de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) que va en relación a la espacialización del Pago por Servicios Ambientales en zonas forestales.

**Palabras Clave:** Reserva Ecológica Comunitaria, Pago por Servicios Ambientales, Costo de Oportunidad, Modelo COSTOPFOR, CONAFOR.



## ABSTRACT

Mexico currently lacks a program for Payment for Environmental Services adaptable to differing types of forest cover. Rather, the current system only takes into account the total area of forest cover. To meet this need, a model of COSTOPFOR was developed with the goal of mapping the opportunity cost of the special differentiation of Payment for Environmental Services (PES) in the Milpa Alta Community Ecological Reserve.

A range of techniques were applied in this process: existing cartographical analysis; soil analysis using the AGRILocal model; analysis of deforestation programs using the DEFORELATIONS model, together which produced a mapping of the opportunity cost.

The results obtained indicate that in the Milpa Alta Community Ecological Reserve, the most important zones for PES are those which are located closest to the established (unpaved) roads. Three payment scenarios were devised which raised the amount paid per hectare. These scenarios demonstrate that no significant difference exists between the total amounts in the proposed scenarios and the current scenario, which could present a more attractive case for PES and help incentivize landowners within forested areas.

Given the positive results obtained in the COSTOPFOR model in the work presented here, the application of this model is considered desirable in regions with forest cover wanting to enter into a PES program. This would meet the demand of the National Forest Commission (CONAFOR) related to the mapping of PES in forested zones.

**Key Words:** Community Ecological Reserve, Payment for Environmental Services, Opportunity Cost, COSTOPFOR model, CONAFOR

## ÍNDICE GENERAL

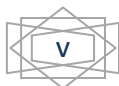
Resumen	i
Abstract	ii
Índice General	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Introducción	1
1.1.1 PSA en América Latina	2
1.1.2 PSA en México	5
1.1.3 Suelo de conservación	7
1.1.3.1 Bienes y servicios ambientales	7
1.1.3.2 Biodiversidad	7
1.1.3.3 Problemática	8
1.2 Planteamiento del Problema	8
1.3 Pregunta de investigación	9
1.4 Justificación	9
1.5 Objetivos	10
1.5.1 Objetivo General	10
1.5.2 Objetivos específicos	10
<b>CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL</b>	
2.1 Marco conceptual	11
2.1.1 Servicios ambientales	11
2.1.2 Pago por servicios ambientales	13
2.1.3 Reservas ecológicas comunitarias	15
2.1.4 Programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en reservas ecológicas comunitarias	16
2.1.4.1 Beneficiarios	17



2.1.4.2	Retribuciones	17
2.1.5	Costo de oportunidad	18
<b>CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>		
3.1	Caracterización del Zona de estudio	20
3.1.1	Geología	21
3.1.2	Geomorfología	23
3.1.3	Edafología	23
3.1.4	Hidrología	25
3.1.5	Clima	26
3.1.6	Vegetación	27
<b>CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
4.1	Materiales	30
4.2	Métodos	31
4.2.1	Descripción del modelo <i>COSTOPFOR</i>	32
4.2.1.1	Modelo <i>AGRILOCAL</i>	32
4.2.1.2	Modelo <i>DEFORELATIONS</i>	33
4.2.1.3	Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes	34
4.2.1.4	Fase 2. Determinación de la forma de la función	35
4.2.1.5	Fase 3. Determinación del grado de influencia de cada parámetro	35
4.2.1.6	Fase 4. Determinación de los servicios ambientales	36
4.2.1.7	Aplicación del modelo	36
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
5.1	Definición del área forestal	38
5.2	Oportunidades de conversión según el método <i>AGRILOCAL</i>	38
5.3	Evaluación de tierras: Aplicación del modelo <i>AGRILOCAL</i>	39
5.3.1	Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes	39
5.3.1.1	Coincidencia	40
5.3.1.2	Proximidad	40



5.3.2 Fase 2. Determinación de la forma de la función	40
5.3.3 Fase 3. Especificación de los pesos de los parámetros	43
5.4 Aplicación del modelo	44
5.4.1 Modelo AGRIOLOCAL 1970	44
5.4.2 Modelo AGRIOLOCAL 2008	46
5.5 Modelo DEFORELATIONS: Pérdida forestal	47
5.5.1 Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes	48
5.5.2 Fase 2. Determinación de la forma de la función	48
5.5.3 Fase 3. Especificación de los pesos de los parámetros	49
5.6 Aplicación del modelo	50
5.6.1 Modelo DEFORELATIONS 2008	50
5.7 Servicios ambientales	51
5.8 Escenarios de PSA	54
5.8.1 Escenario actual	54
5.8.2 Escenario 1. Monto máximo por hectárea, \$400	55
5.8.3 Escenario 2. Monto mínimo por hectárea, \$400	56
5.8.4 Escenario propuesto 1. \$800 por hectárea	56
5.8.5 Escenario propuesto 2. \$900 por hectárea.	57
5.8.6 Escenario propuesto 3. \$1000 por hectárea.	58
5.8.7 Comparación entre el monto total para el PSA actual y los escenarios propuestos.	59
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1 Conclusiones	61
6.2 Recomendaciones	62
6.3 Bibliografía	63



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio	21
Figura 2. Geología de la zona de estudio	22
Figura 3. Geomorfología de la zona de estudio	23
Figura 4. Grupos de suelo presentes en el área	25
Figura 5. Tipos de clima del área de estudio	27
Figura 6. Vegetación característica de la zona	29
Figura 7. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica	37
Figura 8. Asignación de pesos a los parámetros <i>AGRILOCAL</i>	44
Figura 9. Ponderación de los parámetros <i>AGRILOCAL</i>	44
Figura 10. Modelo <i>AGRILOCAL</i> 1970	46
Figura 11. Modelo <i>AGRILOCAL</i> 2008	47
Figura 12. Asignación de pesos a los parámetros <i>DEFORELATIONS</i>	49
Figura 13. Ponderación de los parámetros <i>DEFORELATIONS</i>	49
Figura 14. Modelo <i>DEFORELATIONS</i>	51
Figura 15. Servicios ambientales en la REC	52
Figura 16. Susceptibilidad a la pérdida forestal y los SA. Este mapa representa el valor del bosque en unidades adimensionales	53
Figura 17. Escenario actual, monto generalizado por hectárea, \$400	55
Figura 18. Escenario propuesto 1, monto por hectárea, \$800	57
Figura 19. Escenario propuesto 2, monto por hectárea, \$900	58
Figura 20. Escenario propuesto 3, monto por hectárea, \$1000	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las unidades geológicas en el área	22
Tabla 2. Tipos de clima presentes en el área de estudio	26
Tabla 3. Materiales utilizados en la investigación	30
Tabla 4. Funciones de preferencia para el año 1970	41
Tabla 5. Funciones de preferencia para el año 2008	42
Tabla 6. Peso de cada parámetro	44
Tabla 7. Periodo de cambio (1970-2008)	48
Tabla 8. Peso de cada parámetro	50
Tabla 9. Intervalo de clase para valor de bosque	54
Tabla 10. Monto actual de la compensación	55
Tabla 11. Monto de la compensación, máximo \$400 por hectárea	56
Tabla 12. Monto de la compensación, mínimo \$400 por hectárea	56
Tabla 13. Monto propuesto \$800 por hectárea	57
Tabla 14. Monto propuesto \$900 por hectárea	58
Tabla 15. Monto propuesto \$1000 por hectárea	59
Tabla 16. Comparación entre el monto actual y los escenarios propuestos	60

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El deterioro ambiental, por influencia antrópica, tiene en México a la deforestación como una de sus máximas expresiones, causada fundamentalmente por el cambio en el uso del suelo (Ramírez-Sánchez, 2009). Específicamente, por los datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2006), la tasa de deforestación anual del país está entre las 200 mil a 1.5 millones de hectáreas. Esta situación se ha enfrentado desde varios enfoques, siendo el Pago por Servicios Ambientales (PSA) uno de los más positivos, aunque aún con algunas cuestiones que perfeccionar, para que se pueda adaptar a las características del área a conservar y la población que la habita, con el fin de lograr su objetivo principal, conservar los recursos naturales de manera eficaz.

La idea principal de los esquemas de PSA, es intentar darle valor económico a los Servicios Ambientales (SA), por medio de la creación de mecanismos de compensación, a través de esquemas de pagos y fondos para la conservación ambiental (internacionales, federales, locales y mixtos) dirigidos a los dueños de zonas forestales, como incentivo por conservar los bosques, que contribuyen a la preservación de los ecosistemas (Perevochtchikova y Vázquez, 2010).

Los hechos más importantes que antecedieron a la creación del PSA son:

- Declaración de Estocolmo, 1972. Se incluyó, por primera vez, en la agenda política mundial la dimensión ambiental, reconociendo la importancia de los ecosistemas para el desarrollo humano (ONU, 1972).
- Informe Brundtland, 1987. Se plantea el concepto de Desarrollo Sustentable, el cual busca materializarse por medio del Manejo Sostenible de Recursos Naturales.
- Declaración de Río, 1992. Se propone el concepto de SA, y su aplicación por medio de tres ejes de acción: combate al cambio climático,

conservación de biodiversidad y prevención de degradación ambiental, así como de la desertificación del suelo (ONU, 1992).

- Protocolo de Kyoto, 1997. Se plantean los mecanismos de mercado de captura de carbono; además de impulsar diversos programas de PSA a nivel internacional (ONU, 1997).
- Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, 2002 en Johannesburgo. Se incorpora como uno de los objetivos del programa de PSA la reducción de la pobreza (Fuentes-Torrijo, 2003).

### **1.1.1 PSA en América Latina.**

Costa Rica ha sido país pionero en el desarrollo del programa de PSA, implementado por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Bajo la Ley Forestal de 1996, los dueños de la tierra pueden recibir pagos por los servicios forestales que suministran, tales como la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, la protección del agua y de la biodiversidad, al igual que la conservación de la belleza escénica natural. El financiamiento para el programa proviene de: (i) recursos públicos (impuestos sobre la gasolina y los recursos forestales); (ii) acuerdos con empresas privadas (como Energía Global y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz) y (iii) proyectos y mecanismos de mercado (como el Proyecto Ecomercados financiado por el Banco Mundial) (González y Riascos, 2007).

En República Dominicana, mediante el proyecto de manejo y conservación de los recursos naturales de la cuenca alta del Río Yaque, considerada la más importante del país, se buscó la conservación de recursos hídricos, a través de la creación de un sistema de PSA que fomente sistemas forestales, agroforestales y agrícolas, ecológicamente viables y económicamente rentables, acompañados de medidas participativas para el desarrollo comunitario. Lo anterior se plantea con el fin de reducir la erosión y la carga de sedimentos. Además, buscó ampliar el financiamiento del sistema recurriendo a otros usuarios de la cuenca y vinculando

fondos nacionales de la Corporación Dominicana de Energía, e internacionales como el Fondo de Cooperación Alemana. Cabe destacar que este proyecto incluyó un sistema de análisis y seguimiento para crear transparencia y eficiencia de las medidas adoptadas en el proyecto (FAO, 2003).

El Salvador a pesar de carecer de una institucionalidad organizada para la internalización de beneficios ambientales, ha realizado algunas experiencias de PSA como la del Parque Nacional El Imposible, donde las familias que se benefician del sistema de agua potable pagan una tarifa mensual para financiar la administración, la operación, el mantenimiento del sistema y el trabajo de dos guardaparques promotores del medio ambiente. Además, es significativo resaltar la importancia que tienen los ejercicios de valoración económica de los servicios ambientales para la implementación de esquemas de PSA, como es el caso del estudio realizado en la parte alta de la cuenca del Río Lempa, donde se buscó determinar la disponibilidad de pago de las familias por el suministro sostenible del agua que actualmente consumen, asociado a la conservación de las coberturas arbóreas que protegen el recurso hídrico en su nacimiento (Rosa *et al*, 1999; Herrador y Dimas, 2000).

Ecuador implementó el PSA hídrico en la Provincia de Tungurahua en una zona piloto. La propuesta implicaba mejorar la disponibilidad y el servicio de agua, optimizando su administración, manejo, distribución, acceso y uso por medio del desarrollo de estrategias integrales de manejo de cuencas para mantener la oferta y la demanda, conservar el recurso y aumentar el bienestar social de la población. Incluyó alternativas económicas para el aprovechamiento sostenible de los recursos creando un fondo para el PSA. La tarifa se estableció por medio de una metodología multidisciplinaria y participativa que incluía el contexto socioeconómico y cultural de la zona para que el PSA se ajustara a las particularidades del lugar y fortaleciera los sectores socioeconómicos más débiles; además se solicitó una estrategia política con el fin de facilitar las condiciones

institucionales necesarias y así apoyar el funcionamiento eficiente y contribuir a una distribución equitativa de los beneficios (CEP, 2002).

En Colombia, el estudio de caso de PSA en la Laguna de Fúquene al norte de Bogotá, analizó las externalidades relacionadas con la dinámica hidrológica, con el fin de apoyar una nueva forma de desarrollo rural a partir de transferencias del sector urbano, justificadas por un cambio positivo en la provisión de los bienes y servicios ambientales que esta cuenca brinda. Se utilizó un esquema experimental de teoría de juegos en economía, para contextualizar el conflicto y luego determinar cuál era la disposición a cooperar frente al dilema sobre el uso y el manejo de recurso hídrico. En este caso se contó con la participación de la autoridad ambiental y se resaltó la importancia de monitorear y evaluar los cambios tecnológicos e institucionales, acordados previamente por los actores (Estrada *et al*, 2004).

Por su parte, Nicaragua, a través de la valoración económica de la oferta y la demanda hídrica del bosque, en el cual nace la fuente del Río Chiquito, llegó a una solución de compromiso: se compensó al propietario para que no corte el bosque. El valor de la oferta hídrica se estimó a través del valor de la protección y mantenimiento del bosque y el valor del agua según su uso directo (Barzev, 2000). Guatemala, con el fin de generar información básica para la formulación de políticas de compensación a través de un programa de PSA, realizó la valoración económica del servicio ambiental de regulación hídrica del bosque en la Sierra de Las Minas, cuyo propósito era estimar una tarifa de agua. Este caso basado en la producción de agua del bosque, a través de un modelo de sistemas de información geográfica hidrológica, logró determinar los cambios en los flujos y asumió que la producción total del agua en la cuenca es constante, y que las fluctuaciones que ocurren durante el año, se deben a cambios en la cobertura forestal.

En Venezuela se realiza un estudio de viabilidad económica de los PSA en el caso del acueducto regional del Táchira. Se calcula el costo de oportunidad apoyándose en modelo econométrico el cual busca una explicación económica de la disponibilidad de estos granjeros a cambiar el uso de la tierra dado un PSA, que compensaría o mejoraría su situación actual. Determinando que la disposición a cambiar el uso de la tierra dado un pago de servicios ambientales, es el resultado de los bajos rendimientos económicos de las fincas entre otros (Ramírez, 2006).

En Honduras se analiza la relación ente el PSA y la pobreza en comunidades rurales. Estableciendo el impacto del PSA en la economía de los usuarios de servicios ambientales, así como el grado de cumplimiento de las condiciones del mercado. Encontrando que el PSA no cubre el costo de oportunidad de la tierra, y que su incremento tendrá efectos negativos en la economía de los usuarios. El pago por servicios ambientales es bajo en comparación con los costos de oportunidad de los proveedores al cambiar sus prácticas. Por otra parte el nivel de ingresos de los usuarios no permite la implementación de un programa que asegure la protección y mejora ambiental (Martínez y Kosoy, 2007).

### **1.1.2 PSA en México.**

En México el PSA, inició en el año 2003, operando en la modalidad de Hidrológicos (PSAH), basándose en la experiencia de Costa Rica, país pionero en América Latina en aplicación de este tipo de esquemas de incentivos económicos para la conservación ambiental (operación del programa forestal desde 1996 e hidrológico desde 2002); contribuyendo de este modo al posicionamiento del tema de SA en la Agenda Pública de México y evidenciando la importancia de la conservación de la cubierta forestal, en beneficio de toda la sociedad (Hernández, 2009). Se han desarrollado una serie de experiencias de PSA manejados por campesinos, tales como la iniciativa para la creación de un Parque Nacional con el ofrecimiento del servicio de cuidado del bosque para asegurar el suministro de



agua a los sistemas de riego y la presa hidroeléctrica del mismo (FORD - PRISMA, 2002).

Se plantean propuestas para la implementación de mecanismos que generen el PSA, a partir de un mercado donde se identifique la oferta y la demanda con base en una normativa local o nacional. Concluyendo que el PSA es un mecanismo estratégico del desarrollo sostenible ya que con su instrumentación se pretende asegurar la conservación de procesos naturales que benefician a los seres humanos (Chávez y Román, 2007).

En el caso de estudio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, se realiza una valoración del servicio ambiental hidrológico. Los datos mostraron que el pago debería considerar valores económicos como costo de oportunidad y reforestación, además del reconocimiento social. También subrayaron como conveniente que en un futuro se consideren, en la generación de un sistema de pago, los costos de producción de una hectárea de bosque, así como los costos de reforestación de la zona donde se localizan los afluentes de distribución hidrológica (Pérez *et al*, 2009).

En el país se discuten los principales enfoques de los diseños de mecanismos de PSA y sus implicaciones en términos de eficiencia y robustez, haciendo énfasis en la necesidad de avanzar hacia modelos donde los campesinos sean considerados en las decisiones productivas de la tierra y en la construcción de planes y estrategias de sostenibilidad.

El caso de estudio específico de esta investigación, se ubica en una Reserva Ecológica Comunitaria (REC) del Suelo de Conservación del DF, en esta entidad operan esquemas de pagos con características propias.

### **1.1.3 Suelo de conservación.**

El Distrito Federal se localiza en el suroeste de la cuenca de México y cuenta con una superficie de 148 178.7 ha. Administrativamente se divide en suelo urbano (SU) con una extensión de 607.9 ha, y suelo de conservación (SC) con 87 294.36 ha (59%) (SMA, 2007).

#### **1.1.3.1 Bienes y servicios ambientales.**

Los ecosistemas naturales del SC, son muy importantes porque aportan servicios ambientales para la población de la zona metropolitana; por la conservación de la biodiversidad de la región; y por ser el espacio en el cual se realizan las actividades económicas de subsistencia para la población que habita la zona rural de la entidad. Entre los servicios ambientales sobresalen, en primer término, la recarga del acuífero, en el SC se capta la mayor parte del agua que recarga a los mantos acuíferos del Valle de México, la captación de partículas suspendidas, la producción de oxígeno y la captura de carbono, la regulación climática y microclimática, la mitigación de la contaminación auditiva, la retención de suelo fértil, así como su función como espacios de esparcimiento turísticos y culturales.

#### **1.1.3.2 Biodiversidad.**

El SC proporciona refugio a más de 2 500 especies de flora y fauna, inmersas en una extensa gama de ecosistemas únicos, hábitat de 2% de la biodiversidad mundial, y 12% de especies de flora y fauna de México. En cuanto a la fauna, en el SC se han reportado 24 especies de anfibios y 56 de reptiles que representan 8% del total de la herpetofauna nacional. Los mamíferos están representados por 59 especies, 16 de las cuales son mamíferos voladores y 43 terrestres. Del total, 14 son endémicas del país. Con relación a los anfibios y reptiles, solo en las serranías del Distrito Federal se reportan nueve anfibios y 21 reptiles. Entre las especies migratorias, se estima la presencia de 211 aves. Aproximadamente 60% del total de aves del Distrito Federal se localizan en el SC; 80% son residentes y el resto son migratorias invernales. Es importante señalar que 25% de las aves

endémicas del país se encuentran en el SC. Las aves migratorias representan 36% del total de las especies; mientras los mamíferos solo representan cinco por ciento (SC, 2012).

### **1.1.3.3 Problemática.**

- Sobreexplotación de los mantos acuíferos y alteración del ciclo hidrológico.
- Pérdida de superficie por cambio de uso del suelo forestal a agrícola y habitacional.
- Afectación de la cubierta vegetal, compactación y contaminación del suelo,
- Deforestación, modificación de microclimas y erosión de suelos,
- Pérdida de la vegetación natural y biodiversidad
- Disminución de especies de flora y fauna silvestre.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, los PSA no se hacen de manera diferencial, sino por la extensión de superficie forestal que se desea conservar, lo cual no contribuye al objetivo de la conservación, debido a que algunas áreas tendrían una rentabilidad más alta si se convirtieran a otros usos, que si se dejaran con su cubierta de vegetación original, y los propietarios prefieren entonces hacer el cambio de uso del suelo (Morales-Manilla, 2012).

Uno de los puntos más importantes que se debe tener en cuenta a la hora de implementar el PSA, es el costo de oportunidad, algo que no se ha logrado hasta el momento y que incide negativamente en el interés de los proveedores de servicios ambientales, para incorporarse a la iniciativa del PSA.

Los beneficios económicos del uso alternativo de la tierra a los que se renuncia, esa rentabilidad alternativa, desde luego, están incluidos dentro de los costos de oportunidad (White y Minang, 2011), los cuáles se abordarán en esta investigación, desde la arista de las oportunidades locales de conversión.

Tomando en consideración lo anterior, se puede plantear que el problema a resolver en esta investigación sería cómo diferenciar espacialmente el PSA teniendo en cuenta la oportunidad que el proveedor pudiera tener de cambiar el uso del suelo y cómo espacializar dicha oportunidad.

### **1.3 Pregunta de investigación.**

¿Cómo se distribuiría espacialmente el pago por servicios ambientales en las áreas forestales cuando existen oportunidades locales de conversión de estas áreas a usos más rentables o de necesidad más inmediata?

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Por lo antes expuesto, se estima como muy importante el contar con una metodología mediante la cual sea posible espacializar las oportunidades locales de conversión, estableciendo la probabilidad de que ciertas porciones de las áreas forestales sean convertidas a otros usos, tomando en cuenta las condiciones en que tales conversiones han tenido lugar de manera histórica en la región, y las actividades económicas y condiciones sociales que norman la oportunidad de conversión, y por tanto el cambio del uso del suelo.

La investigación brindará un aporte significativo, debido a que con ella se da respuesta a una demanda de CONAFOR, la # 14 "*Estimación de los costos de oportunidad distribuidos espacialmente, como base para la optimización de esquemas de Pago por Servicios Ambientales*" (CONAFOR-CONACYT, 2012). Que no se cumplió por no existir ninguna propuesta de un proyecto, de los aprobados por CONACYT, que esté relacionado con la misma. Por primera vez, en México, se propone un modelo explícitamente espacial para diferenciar el PSA. Este modelo no ha sido probado en condiciones reales, y el trabajo propuesto pretende realizar su aplicación a fin de verificar su utilidad, y evaluar las ventajas y limitaciones del mismo.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar una metodología para espacializar el costo de oportunidad en el área de estudio y diferenciar espacialmente el PSA.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar y caracterizar las áreas forestales objeto de estudio.
- Espacializar los costos de oportunidad en las áreas forestales de la zona de estudio.
- Diferenciar el PSA basado en la distribución espacial de los costos de oportunidad en las áreas forestales a estudiar.
- Probar y evaluar la forma de aplicación del modelo en el área objeto de estudio.

## **CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Marco conceptual**

#### **2.1.1 Servicios Ambientales**

Los ecosistemas naturales proporcionan a la sociedad una serie de beneficios que se dividen en bienes y Servicios Ambientales (SA). Los bienes ambientales son productos que brinda la naturaleza, son aprovechados directamente por el ser humano y pueden ser transformados en un sistema de producción, por ejemplo el agua, la madera, semillas, plantas medicinales, entre otros (Vázquez-Medrano, 2010). Los SA se derivan de las funciones, condiciones y procesos naturales de los ecosistemas, que inciden directa o indirectamente en la protección y mejoramiento del ambiente por tanto en la calidad de vida de las personas, también reciben el nombre de externalidades positivas. Los SA no se transforman en un sistema de producción (Jujnovsky, 2006). Los SA son beneficios intangibles que proporciona la naturaleza a la sociedad, estos al ser públicos y de libre acceso no son valorados y carecen de un mercado donde intercambiarse, lo que es conocido en Economía Ambiental como fallo de mercado y puede traer consigo un mal manejo o sobreexplotación del recurso, pasando a un estado de deterioro que afecta el beneficio que este brinda (González y Riascos, 2007).

Los SA son beneficios para los habitantes, derivados de los ecosistemas o sus elementos, cuyos valores o ventajas son económicos, ecológicos o socioculturales y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente, propiciando una mejor calidad de vida de los habitantes y que justifican la necesidad de desarrollar acciones para promover la preservación, recuperación y uso racional de aquellos elementos relevantes para la generación de estos servicios en beneficio de las generaciones presentes y futuras (GODF, 2005).

Estos beneficios se clasifican en cuatro categorías (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005):

- Servicios de aprovisionamiento: comida, agua, fibra, combustibles entre otros, que son utilizados por el hombre.
- Servicios de regulación: estos están relacionados con el clima, enfermedades, calidad del agua, control de inundaciones etc.
- Servicios culturales: de los ecosistemas se reciben beneficios estéticos, espirituales educativos.
- Servicios de soporte: entre esos servicios se encuentra la formación de suelo, el reciclaje de nutrientes.

En el caso de los ecosistemas forestales, estos brindan (Pagiola y Platais, 2002):

- Beneficios hidrológicos: Protección de la cuenca hidrológica. Control del volumen del flujo del agua, su variabilidad en el tiempo y su calidad. Los bosques pueden desempeñar un papel importante en la regulación de los flujos hídricos, en el mantenimiento del caudal durante la temporada de secas y el control contra inundaciones.
- Reducción de sedimento: Prevención de daños a embalses y vías fluviales originados por sedimentos, contribuyendo a preservar sus usos (generación de energía hidroeléctrica, riego, recreación, pesca y suministro de agua potable).
- El control de la erosión del suelo.
- Prevención de desastres: Prevención de inundaciones y corrimientos de tierras.
- Conservación de la biodiversidad. El mantenimiento de los hábitats acuáticos (por ejemplo, la reducción de la temperatura del agua mediante la sombra sobre ríos o corrientes).
- Secuestro de carbono.

La cantidad y calidad de los bienes y servicios ambientales se pone en peligro al deteriorarse los procesos u otros elementos de base que mantienen las

condiciones óptimas de los ecosistemas (Zamora, 2003).

Los bosques siempre han sido valorados por los bienes que producen: madera, látex, fruta, plantas medicinales y otros productos no maderables, pero también hay que tomar en cuenta que proveen a la sociedad una serie de servicios, entre éstos se incluyen el mantenimiento de la calidad del aire, clima favorable, protección de las funciones hidrológicas y la provisión de agua de calidad para el consumo, generación y mantenimiento de los suelos así como su fertilidad, estos beneficios dependen de la forma en que los ecosistemas son afectados por las actividades humanas (Meynard *et al*, 2007). Existe una estrecha relación entre el agua, la vegetación y el suelo, el cambio en alguno de ellos modificará el comportamiento de los otros (Jujnovsky, 2006).

La vegetación forestal constituye uno de los ecosistemas más importantes proveedores de servicios ecosistémicos fundamentales para sustentar la vida en la tierra. La pérdida de estos servicios ambientales trae consigo la pérdida de medios de vida, amenazas a la salud e incremento de la vulnerabilidad de algunas regiones. Para evitarla se han tomado tradicionalmente dos tipos de medidas: regular legalmente el tipo de uso que se le puede dar a la tierra, y llevar a cabo medidas de reparación de los daños causados por los desastres. Sin embargo ninguna de estos métodos han sido efectivos, por la dificultad que presupone aplicar la ley a propietarios distribuidos ampliamente en grandes áreas y porque las medidas correctoras son más costosas que las preventivas (Pagiola y Platais, 2002).

### **2.1.2 Pago por servicios ambientales.**

Al comprenderse la magnitud del problema, ante el fracaso de los enfoques anteriores, con el fin de dar solución a las fallas de mercado y estudiar la importancia económica de los beneficios sin valor transable, surge el programa PSA, definido como “sistemas en donde los propietarios de tierras son



compensados por los servicios ambientales que éstas generan, compatibilizando así sus incentivos con los de la sociedad en conjunto” (Pagiola y Platais, 2002).

Según FAO (2003) los PSA son “mecanismos de mercado donde los usuarios de los servicios ambientales compensan económicamente a los proveedores de dichos servicios, con el fin de mantener o modificar un uso particular del suelo”. Acerca de los PSA diferentes autores han expuesto sus ideas. El PSA trata de compensar externalidades ambientales positivas, el mismo representa una medida para salvaguardar servicios ambientales que benefician a la sociedad (Vázquez–Medrano, 2010).

El PSA surge como una necesidad de los países en vías de desarrollo de América Latina para establecer mecanismos que garanticen la protección y conservación de los recursos naturales. Este sistema de pago tiene una modalidad viable ya que incluye una serie de elementos como: la participación comunitaria, gestión de recursos, educación ambiental, para lograr un modelo integral a la economía de mercado que predomina en la actualidad (Campos-Palacín y Caparrós-Grass, 2009).

El principio central del PSA consiste en que los proveedores de servicios ambientales se verán compensados por los mismos, mientras que los beneficiarios de los servicios han de pagar por ellos (Pagiola y Platais, 2002).

Los principales beneficios de los programas de PSA son (Moreno-Sánchez, 2012):

- Conservar ecosistemas naturales y los servicios que estos generan.
- Generar fuentes de ingresos adicionales para propietarios de tierras con bajos ingresos económicos.
- Menos costosos que las medidas de reparación de daños.

- Generación de una alta sensibilidad ambiental entre la población participante en los PSA.
- Impulsar sectores económicos fundamentales como el turístico y el energético.

Las anteriormente expuestas son razones por las que el PSA es hasta el momento el sistema más eficaz para contribuir al objetivo de la conservación, sin embargo existen muchos aspectos que perfeccionar, para eliminar algunas limitantes que presentan los PSA.

Algunas de las limitantes de los programas de PSA son (Moreno-Sánchez, 2012):

- Los propietarios no tienen la información suficiente sobre los diversos esquemas de pagos.
- En algunas zonas la aplicación del esquema de PSA puede crear efectos adversos sobre el poder adquisitivo de los usuarios de pocos ingresos.
- Los PSA carecen del incentivo económico necesario para motivar a los propietarios a evitar el cambio del uso del suelo.

### **2.1.3 Reservas Ecológicas Comunitarias**

La Ley Ambiental del Distrito Federal define a las Reservas Ecológicas Comunitarias (REC) como una categoría de Áreas Naturales Protegidas de competencia del Distrito Federal, establecidas por las comunidades y ejidos en terrenos de su propiedad, que se destinan a la preservación, protección y restauración de la biodiversidad, del equilibrio ecológico y sus servicios ambientales, sin que se modifique el régimen de propiedad.

Que de acuerdo con la Ley Ambiental del Distrito Federal, el Fondo Ambiental Público es uno de los instrumentos de la política de desarrollo sustentable de la ciudad, cuyos recursos se destinan, entre otros fines, al manejo y administración de las Áreas Naturales Protegidas, así como a la retribución por proteger,

restaurar o ampliar los servicios ambientales que benefician a la ciudad en general, y a la calidad de vida de sus habitantes.

**ARTÍCULO 92 BIS 4.** Las REC son aquellas establecidas por pueblos, comunidades y ejidos en terrenos de su propiedad destinadas a la preservación, protección y restauración de la biodiversidad y del equilibrio ecológico, sin que se modifique el régimen de propiedad (Ley Ambiental, 2002).

#### **2.1.4 Programa de retribución por la conservación de servicios ambientales en reservas ecológicas comunitarias.**

Considerando que las zonas boscosas mejor conservadas del Distrito Federal, que albergan la mayor parte de la biodiversidad y de los SA en beneficio de los habitantes de la ciudad, como son: recarga de acuíferos, conservación de suelos, captura de carbono y los relacionados con valores culturales y escénicos, sin incluir las áreas Naturales protegidas de competencia local y federal, están en 30,000 ha de propiedad ejidal y comunal (GODF, 2005), se crea El Programa de Retribución por la Conservación de Servicios Ambientales en Reservas Ecológicas Comunitarias, un instrumento diseñado por la Secretaría del Medio Ambiente, con la finalidad de asegurar la conservación de las zonas boscosas del Distrito Federal y la permanencia de los SA que aportan a la ciudad, a través de su declaratoria como REC y la retribución económica a los ejidos y comunidades, que ostentan la propiedad de las tierras, por las acciones de vigilancia, conservación o restauración de los recursos naturales y sus SA.

Sus principales objetivos son:

- Conservar y restaurar los bosques del Distrito Federal por su riqueza ambiental y por los SA que brindan a los habitantes de la ciudad, a través de su declaratoria como Áreas Naturales Protegidas, en la categoría de REC.
- Retribuir a los propietarios de los terrenos con bosques, por la protección, restauración y mejoramiento de los SA.

- Promover un esquema de coparticipación entre sociedad, gobierno, ejido y comunidad, de protección de los recursos naturales.
- Garantizar en el corto y mediano plazo, el destino de recursos a los ejidos y comunidades que establezcan REC en terrenos de su propiedad, para la conservación, restauración o mejoramiento de los recursos naturales y diversidad biológica.

Territorialmente el programa se aplica en el área del Distrito Federal, denominada Suelo de Conservación y dentro de este, en las áreas con zonificación forestal que identifica el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal.

#### **2.1.4.1 Beneficiarios.**

Los ejidos y comunidades del DF, que sean propietarios de una extensión mínima de 100 hectáreas de bosque, sin asentamientos humanos y que decidan establecer todo o parte de su territorio como Área Natural Protegida con la categoría de REC. Es importante destacar que dentro de los lineamientos generales del programa se especifica que: “La declaratoria de una Reserva Ecológica Comunitaria no comprometerá en forma alguna los derechos de propiedad del ejido o comunidad, ya que no existirá expropiación, ni se modificará el régimen de propiedad” (GODF, 2005).

#### **2.1.4.2 Retribuciones.**

Serán destinadas a:

- Vigilancia.
- Coordinación de acciones de vigilancia y conservación.
- Inversión en la conservación.
- La conservación, mejoramiento e incremento de servicios ambientales.

El monto anual de las retribuciones por vigilancia se estimará sobre la base de \$498,500 por cada brigada, \$130,000 anuales para la coordinación técnica de la Reserva, \$400 por hectárea conservada en carácter de retribución por la

conservación de servicios ambientales y \$400 al año por hectárea declarada para proyectos o acciones de conservación. Estos montos se actualizarán cada año de acuerdo con la inflación anual (GODF, 2005).

### **2.1.5 Costo de Oportunidad.**

En la ciencia económica el concepto de costo de oportunidad es esencial y viene dado por el hecho de que, como regla, todos los recursos son escasos y tienen un uso alternativo al que se le da, puesto que de cualquier recurso nunca se tiene tanto como se necesita para hacer todo lo deseado, y por tanto siempre hay que elegir. En consecuencia, cuando se decide el destino de un determinado recurso material, tecnológico o laboral, financiero o incluso del tiempo (algo que casi siempre se olvida) se está renunciando a emplearlo en otra actividad donde también pudiera generar un determinado efecto útil, igual o superior. Ese efecto útil al que renunciamos, al utilizarlo en una cosa y no en otra, es el costo de oportunidad de la decisión tomada en lo que a ese recurso respecta (González-Jordán, 2001).

El costo de oportunidad se asocia a una famosa controversia de principio del siglo pasado, donde los economistas ingleses discípulos de Marshall se oponían a los economistas continentales de la Escuela Austríaca a la cabeza de los cuales se encontraba Friedrich Von Wieser con su Teoría del Coste Alternativo o de oportunidad en los siguientes puntos:

- Para los ingleses, el coste era un concepto técnico, el gasto necesario para producir algo.
- Para los austríacos, el coste era resultado de la demanda, puesto que esta fijaría el nivel de producción, dependiendo de la disposición de los compradores a pagar ese coste. La demanda, dependiente de la acción de los compradores, sería la utilidad, no la técnica que dota de coste a las cosas. En este contexto, el concepto de coste de oportunidad neoaustriaco pretende arruinar el concepto tecnológico de coste de los ingleses. El coste de

oportunidad sería al que renuncia el comprador, en términos de disposición, aceptando pagar el coste de la opción elegida (Wieser, 1914).

Aunque el costo de oportunidad puede ser difícil de cuantificar, su efecto es universal y muy real a nivel individual. De hecho, este principio se aplica a todas las decisiones, no sólo las económicas. Gracias a la labor del economista austriaco Friedrich von Wieser, el costo de oportunidad se ha visto como el fundamento de la teoría marginal del valor (Case y Fair, 1997).

El costo de oportunidad se entiende como aquel costo en que se incurre al tomar una decisión y no otra. Es aquel valor o utilidad que se sacrifica por elegir una alternativa y despreñar otra. Tomar un camino significa que se renuncia al beneficio que ofrece el camino descartado (González- Jordán, 2001).

En toda decisión que se tome hay una renunciación implícita a la utilidad o beneficios que se hubieran podido obtener si se hubiera tomado cualquier otra. Para cada situación siempre hay más de un forma de abordarla, y cada forma ofrece una utilidad mayor o menor que las otras, por consiguiente, siempre que se tome una u otra decisión, se habrá renunciado a las oportunidades y posibilidades que ofrecían las otras, que bien pueden ser mejores o peores (costo de oportunidad mayor o menor) (Brealey y Myers, 1993).

Hay que tener en cuenta que el costo de oportunidad no es la suma de las alternativas disponibles, sino más bien el beneficio de la única alternativa mejor.

El costo de oportunidad se refleja como rentabilidad dejada de obtener, es decir se refiere a la rentabilidad a la que se renuncia al decidir por una actividad y no por otras de similar riesgo donde se pudiera alcanzar también un determinado resultado. Siempre hay que tener en cuenta la rentabilidad alternativa que pudiera haberse obtenido (González- Jordán, 2001).

Luego de analizar todas estas ideas se concluye que lo que de forma sistemática

no genere utilidades suficientes en una magnitud cercana al costo de oportunidad, está causando pérdidas, disminuyendo su valor en forma acelerada, dejando de ser interesante y por lo general se somete a transformaciones.

En el contexto del PSA, el concepto no ha sido estudiado más que muy someramente, ni mucho menos su espacialización para diferenciar el pago en áreas forestales. Solamente Pagiola (2006) y la CONAFOR (2012) han mencionado que existe una necesidad de hacerlo. Por lo que en esta investigación se espacializará el costo de oportunidad. Debido a que no se harán estimaciones económicas se trabajará con las oportunidades locales de conversión como bases de este costo de oportunidad, y a partir de esa espacialización se hará una propuesta de diferenciación del PSA en dependencia de la probabilidad que tengan porciones de tierras a ser convertidas a usos más rentables o localmente más deseados.

### **CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

#### **3.1 Caracterización de la Zona de estudio.**

La aplicación del modelo para la espacialización de los costos de oportunidad se hizo en la Reserva Ecológica Comunitaria (REC) de Milpa Alta pero para esto es necesario el análisis de la información referente a los bosques colindantes a la misma por lo que, la zona de estudio se encuentra en el sur del DF, dentro del Suelo de Conservación y comprende la mayor parte de la delegación de Milpa Alta específicamente la REC de la misma y las áreas forestales adyacentes a ella, con un buffer de 3 km. Geopolíticamente se extiende al oeste abarcando una pequeña porción de las delegaciones Xochimilco y Tlalpan. Posee un área de 31540 ha y sus coordenadas extremas son, 19° 2' 45'' y 19° 12' 14'' de latitud norte, 98° 28' 37'' y 99° 15' 16'' de longitud oeste (Figura 1).

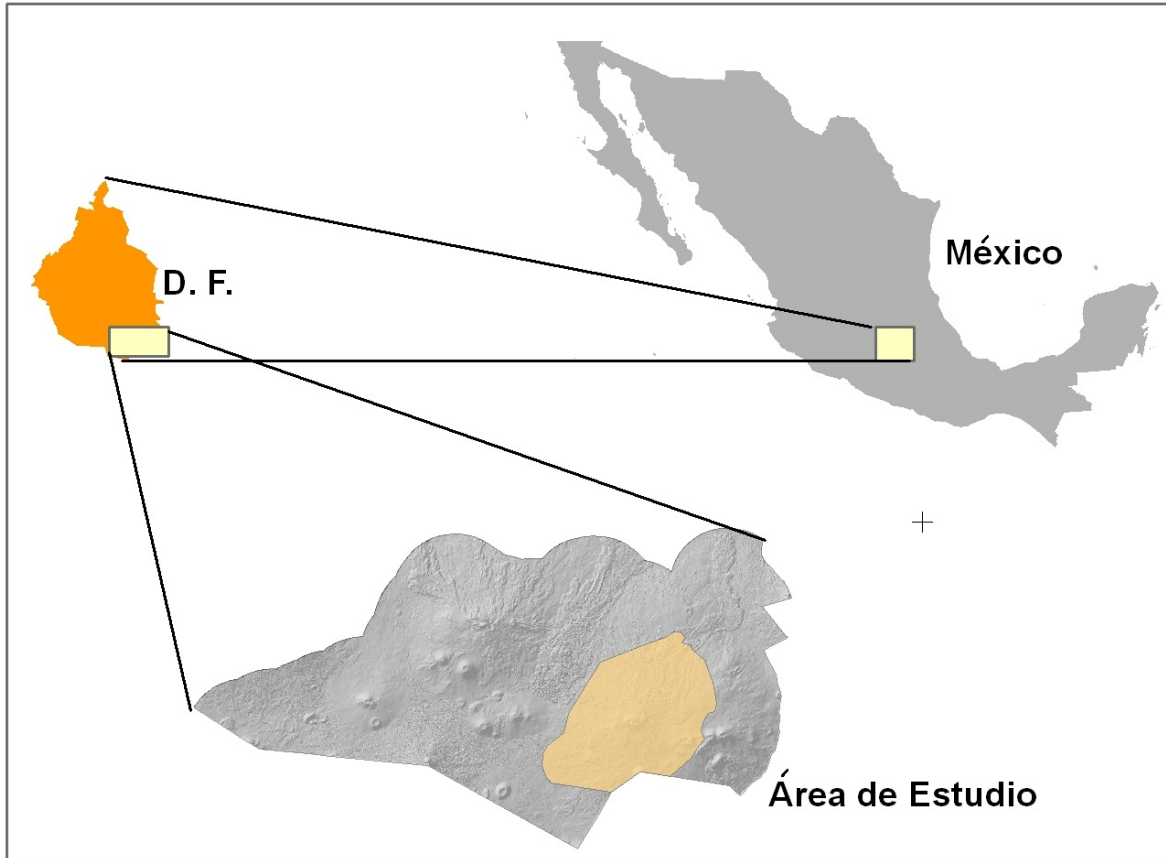


Figura 1. Localización del área de estudio.

### 3.1.1 GEOLOGÍA

La formación de la zona se debe a procesos volcánicos y tectónicos que se han desarrollado a partir del Eoceno Superior, es decir, en los últimos 50 millones de años. El vulcanismo produjo espesores de dos km de lava basáltica, con material piroclástico asociado (tobas, cenizas y brechas) (Lugo, H.J., 1984).

Los estratovolcanes son prominentes en el paisaje de sierras, es el caso del Tláloc, de forma cónica y con una altura de 4 120 msnm, está constituido por lavas de tipo andesitas, dacitas y riodacitas, se le atribuye edad cuaternaria (Mooser, F., 1975).

El área se caracteriza por estar constituida por materiales volcánicos (lavas y piroclásticos) La mayor parte de las rocas y materiales que forman el subsuelo son permeables. Los materiales que constituyen el subsuelo corresponden a una intercalación de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que



incluyen materiales granulares transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

La composición litológica del área se caracteriza, en su mayor parte, por la presencia de un sustrato geológico de tipo ígneo, debido a la reciente actividad volcánica, en tiempo geológico. También hay presencia de Toba basáltica, Basalto-Brecha volcánica y suelo residual, en menor por ciento (Gobierno del Distrito Federal, 2012) (Tabla1 y Figura 2).

**Tabla 1. Distribución de las unidades geológicas en el área.**

Tipo	Clave	Material	Superficie %
Ígneas	B	Basalto	41
Ígneas	lgeb	Ígnea extrusiva básica	22
Ígneas	Bv	Brecha volcánica	12
Ígneas	T	Toba	9

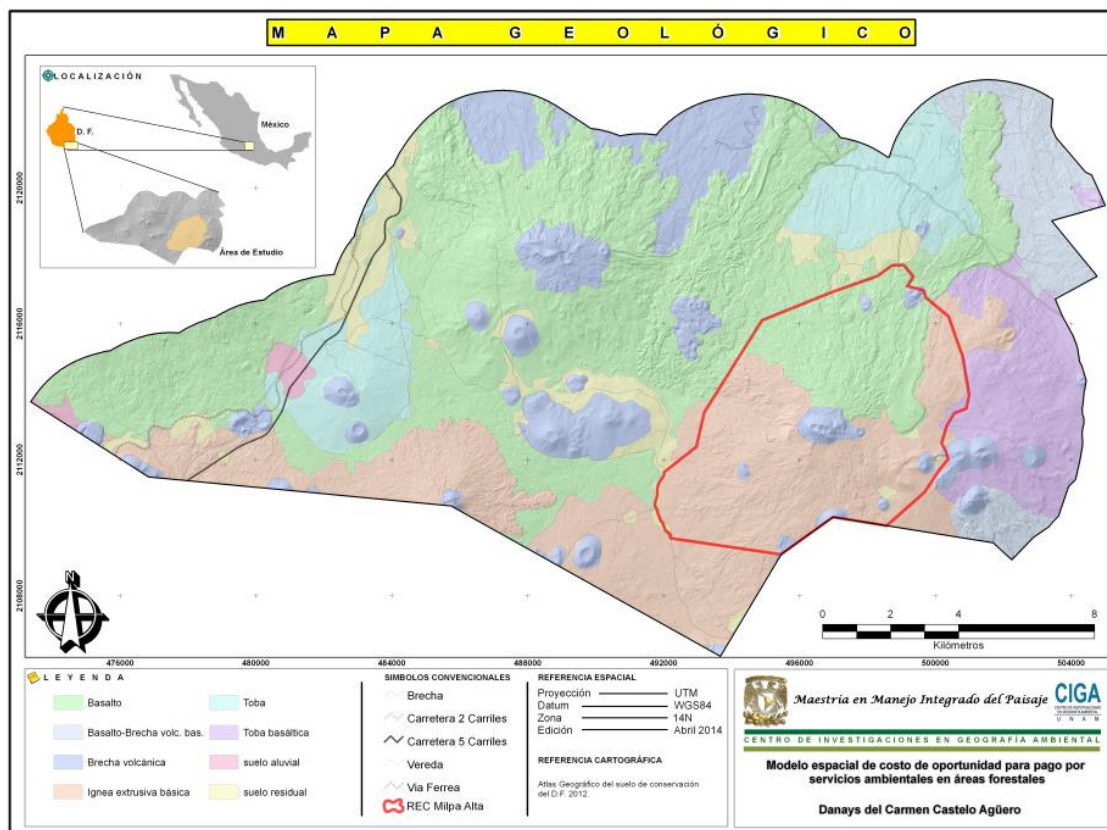


Figura 2. Geología de la zona de estudio.

### 3.1.2 GEOMORFOLOGÍA

Predominan dos paisajes geomorfológicos: la planicie, donde existen geformas como, planicies aisladas y lomeríos bajos, las primeras se caracterizan por formar en conjunto, una gran extensión de cubiertas, constituidas por derrames lávicos sobrepuestos, representados por aparatos volcánicos jóvenes. Y las sierras, con geformas tales como laderas y valles erosivos (Figura 3). Entre las laderas montañosas y la planicie se extienden mantos de acumulación volcánica formando un piedemonte irregular en su extensión y composición (Velázquez, A. y F.J. Romero, 1999).

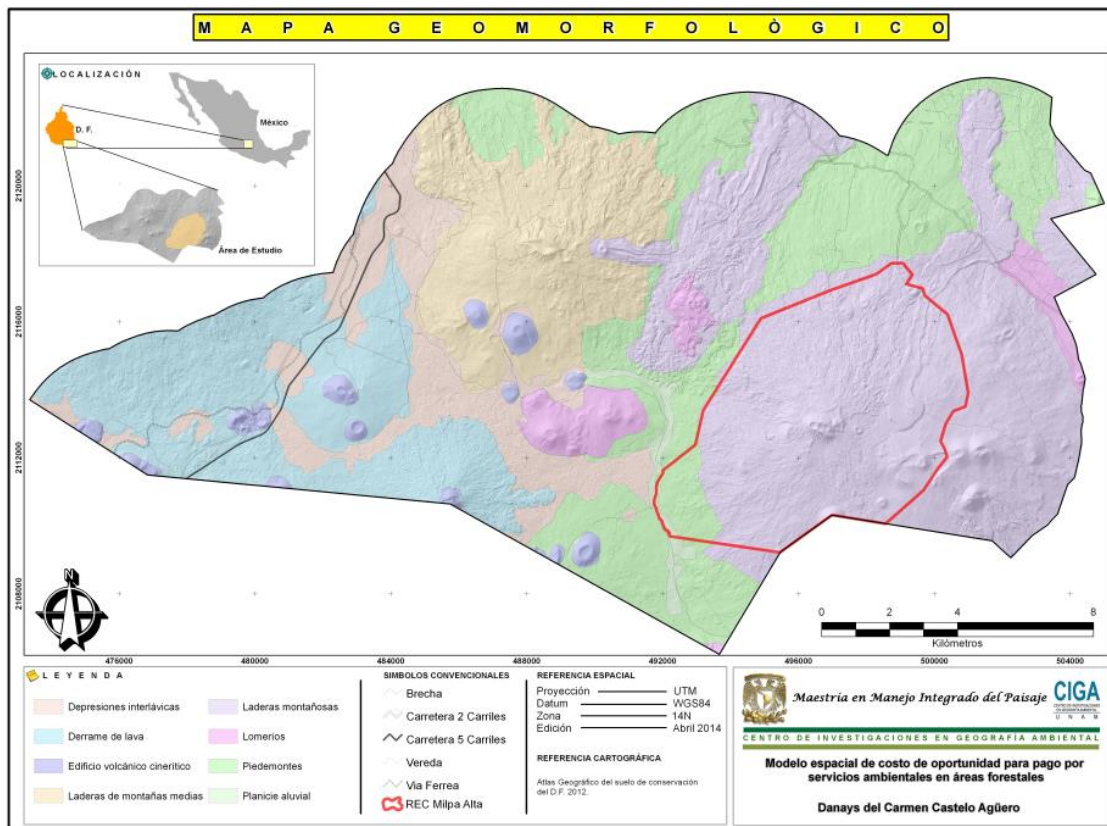


Figura 3. Geomorfología de la zona de estudio.

### 3.1.3 EDAFOLOGÍA

Las características genéticas y morfológicas de los diversos tipos de suelo presentes en la zona están determinadas, básicamente, por la complejidad litológica dada por la composición y la edad de los materiales eruptivos, así como por la influencia diferencial del clima debido a los cambios altitudinales. Otros

factores como la pendiente y el desagüe también se ven reflejados en los procesos edáficos y determinan cambios taxonómicos en locales en los grupos de suelos (Velázquez, A. y F.J. Romero, 1999).

Según el Atlas geográfico del SCDF (Gobierno del Distrito Federal, 2012) los principales tipos de suelos que se encuentran son Litosol y Andosol húmico, otros suelos presentes pero en menor proporción son Feozem háplico, Regosol eútrico y Cambisol eútrico.

De acuerdo a INEGI (1990) las características de los suelos son las siguientes:

**Litsoles.** Suelos de poco desarrollo con roca dura subyacente a poca profundidad. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo, con profundidad menor de 10 cm, tienen características muy variables, según el material que los forma. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentren pudiendo ser desde moderada hasta alta. Tienen una capacidad de infiltración media.

**Andosoles.** Suelos formados a partir de materiales ricos en vidrio volcánico que por lo común presentan un horizonte superficial de color oscuro. En condiciones naturales tienen vegetación de pino, oyamel, encino, etc. Son Suelos muy susceptibles a la erosión y presentan una capacidad de infiltración media.

**Feozems.** Suelos ricos en materia orgánica. En condiciones naturales tienen casi cualquier Tipo de vegetación, se hallan en terrenos desde planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende principalmente de la pendiente del terreno donde se encuentren. Tienen una capacidad de infiltración media (Figura 4).

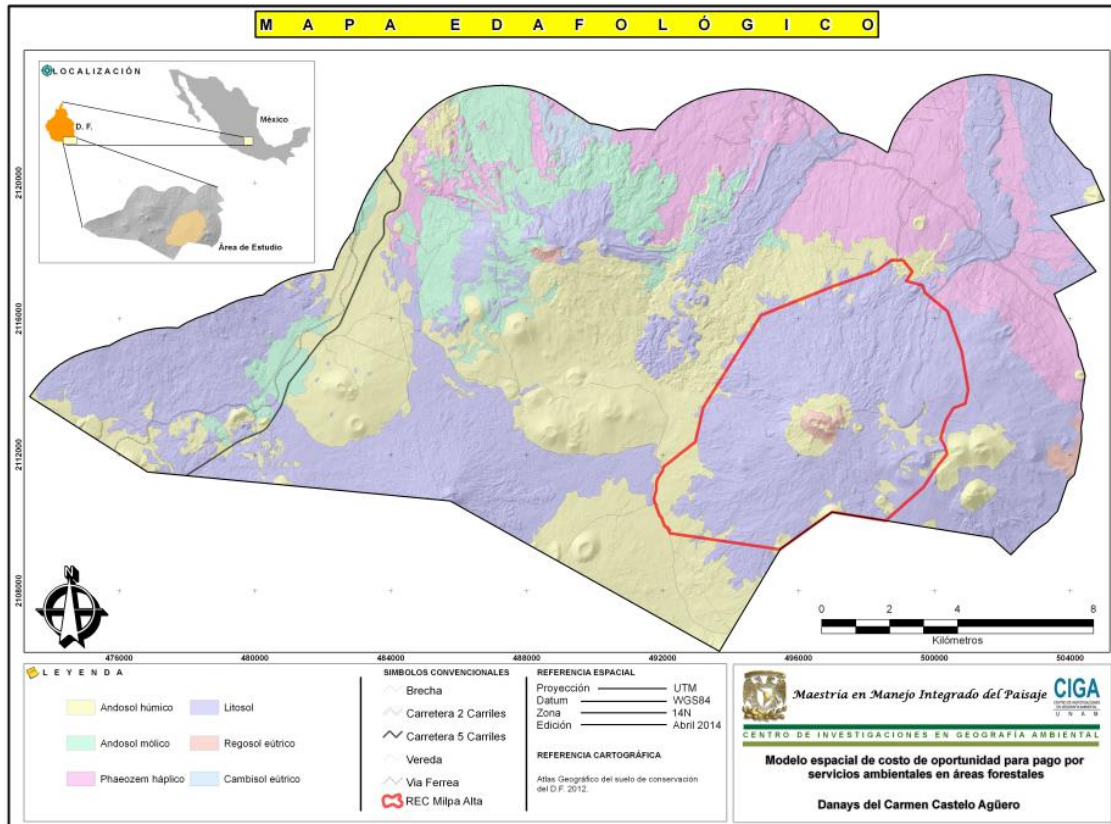


Figura 4. Grupos de suelo presentes en el área.

### 3.1.4 HIDROLOGÍA

La mayor parte del territorio se localiza en la cuenca del río Moctezuma de la región hidrológica del río Pánuco, subcuenca Pachuca-Cd México, microcuencas Milpa Alta, Caserío de Cortez y San Bartolo, 60% de la zona pertenece a esta región, en tanto que el resto pertenece a la cuenca del río Grande de Amacuzac, de la región hidrológica del Balsas, subcuenca Progreso-Huautla, microcuencas Oclayuca, Tlalnepantla y Tlayacapan.

La dinámica evolución geológica del área originó condiciones edafológicas y geomorfológicas muy diversas, que no han permitido la formación de un sistema permanente de corrientes superficiales, pero a cambio permite infiltraciones (Ezcurra, E., 1995). Las corrientes superficiales existentes son de régimen torrencial e intermitente, ya que principalmente se observan en época de lluvias,

dada la elevada infiltración, se carece de cualquier tipo de desagüe superficial. En temporada de lluvias, de las laderas de sus cerros escurren pequeños arroyos, de los cuales, los más grandes son el Cuauhtzin, que escurre del cerro de ese mismo nombre, y el Tlatixhuatanca, que escurre por la ladera norte del volcán Tláloc (Velázquez, A. y F.J. Romero, 1999).

### 3.1.5 CLIMA

La temperatura media anual promedio es de 16 °C, presentando temperaturas mayores a los 25 °C en los meses de marzo a mayo y menores a los 5 °C en diciembre y enero. El mes más cálido es mayo, con una temperatura media que varía entre 14 y 16 °C, el mes más frío es enero con temperaturas medias de 5 a 8 °C.

La precipitación total anual es de 1200 mm, siendo el régimen de lluvias de verano. La máxima incidencia de lluvias se presenta en julio, con un valor que fluctúa entre 150 y 160 mm. La menor precipitación se presenta en los meses de febrero y diciembre, con un valor menor de 5 mm (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

De acuerdo al sistema de clasificación de Köpen, modificado por E. García (García, 2004) se identificó el siguiente tipo de clima (Tabla 2 y Figura 5):

Tabla 2. Tipos de clima presentes en el área de estudio.		
Clima	Características	Superficie en el área de estudio
<b>Cb'(w2)(w)</b>	Semifrío, subhúmedo, verano fresco coeficiente de precipitación mayor a 55 mm	58%
<b>Cb(w2)(w)</b>	Templado subhúmedo, verano fresco coeficiente de precipitación mayor a 55 mm	28%
<b>Cb(w1)(w)</b>	Templado subhúmedo, verano fresco coeficiente de precipitación entre 43.2 y 55 mm	14%

A medida que asciende la altitud, el clima se torna más frío y húmedo. La mayor parte del territorio, el clima es semifrío subhúmedo, con abundantes lluvias en verano. Otra fracción de casi 30% del total del territorio presenta un clima templado, con lluvias en verano. En esta región, el INEGI distingue dos secciones por la cantidad de lluvia que reciben. El valle de Milpa Alta es ligeramente más seco que las laderas serranas, pero de cualquier manera es de las más húmedas del valle de México. La región más húmeda y fría son las cumbres del volcán Chichinautzin y el volcán Tláloc. Las lluvias son muy abundantes y la temperatura promedio es de 8°C (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

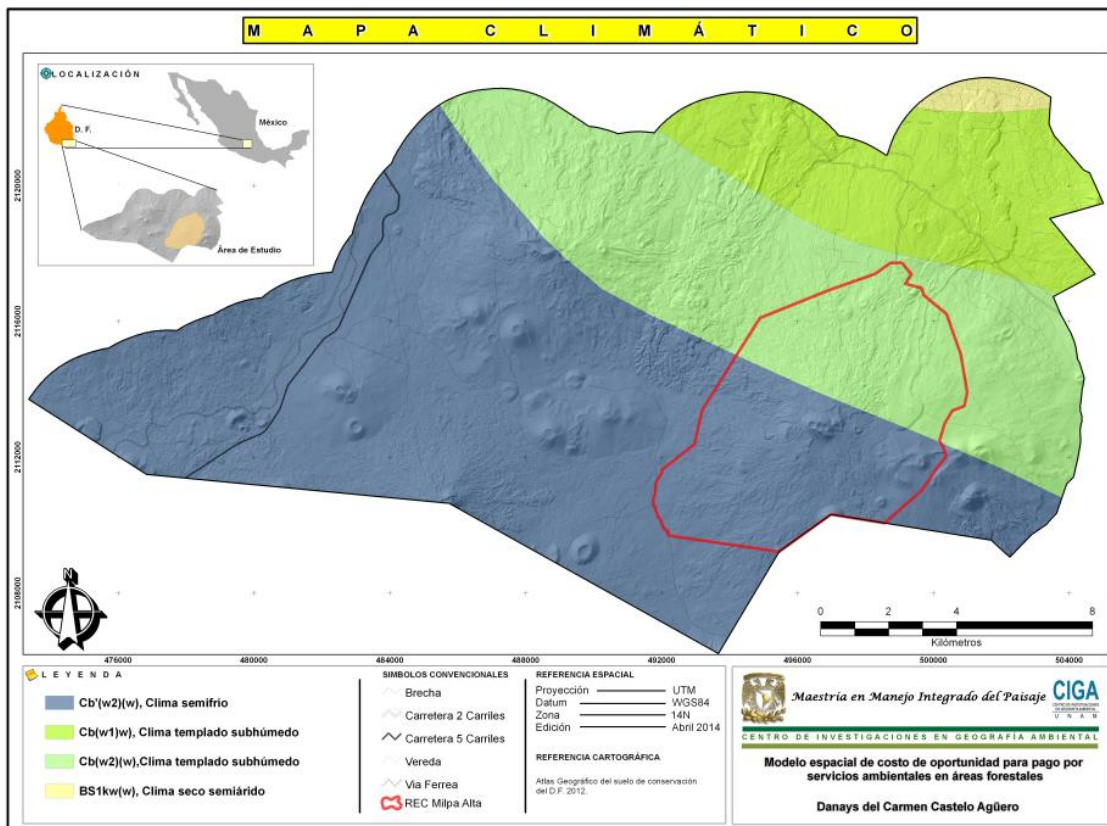


Figura 5. Tipos de clima del área de estudio.

### 3.1.6 VEGETACIÓN

La elevación y la humedad del suelo son las variables que mejor explican la distribución en el espacio de los tipos de vegetación característicos de la zona.

Según Rzedowski (2006) la vegetación tiene las siguientes características:

**Bosque de Encino:** Este tipo de vegetación se puede localizar entre los 2350 y 3100 msnm, en lugares con precipitaciones de 700 a 1200 mm, por lo que se ubica en las laderas de mayor exposición a la insolación y a las fuertes corrientes de aire, ocupan hábitat muy similares a los del bosque de Pinus. Pueden ser perennifolios o subperennifolios. Los árboles dominantes son del género Quercus (Q. laeta, Q. desertícola y Q. obtusata).

**Bosque de Oyamel:** Esta comunidad se desarrolla entre los 2400 a 3800 msnm donde las condiciones del relieve son de pendientes moderadas a fuertes con suelos profundos de buen drenaje, ricos en materia orgánica y húmedos. El clima es templado húmedo con precipitación media anual de 900 a 1500 mm y un régimen térmico de 7.5 a 14 °C. Se localiza principalmente en laderas de cerros o cañadas que se encuentran protegidos contra la acción de vientos fuertes e insolación. En el estrato arbóreo puede presentarse como especie dominante Abies religiosa y se puede mezclar con elementos de Pinus, Quercus, Alnus, Salix y Cupressus (Figura 6).

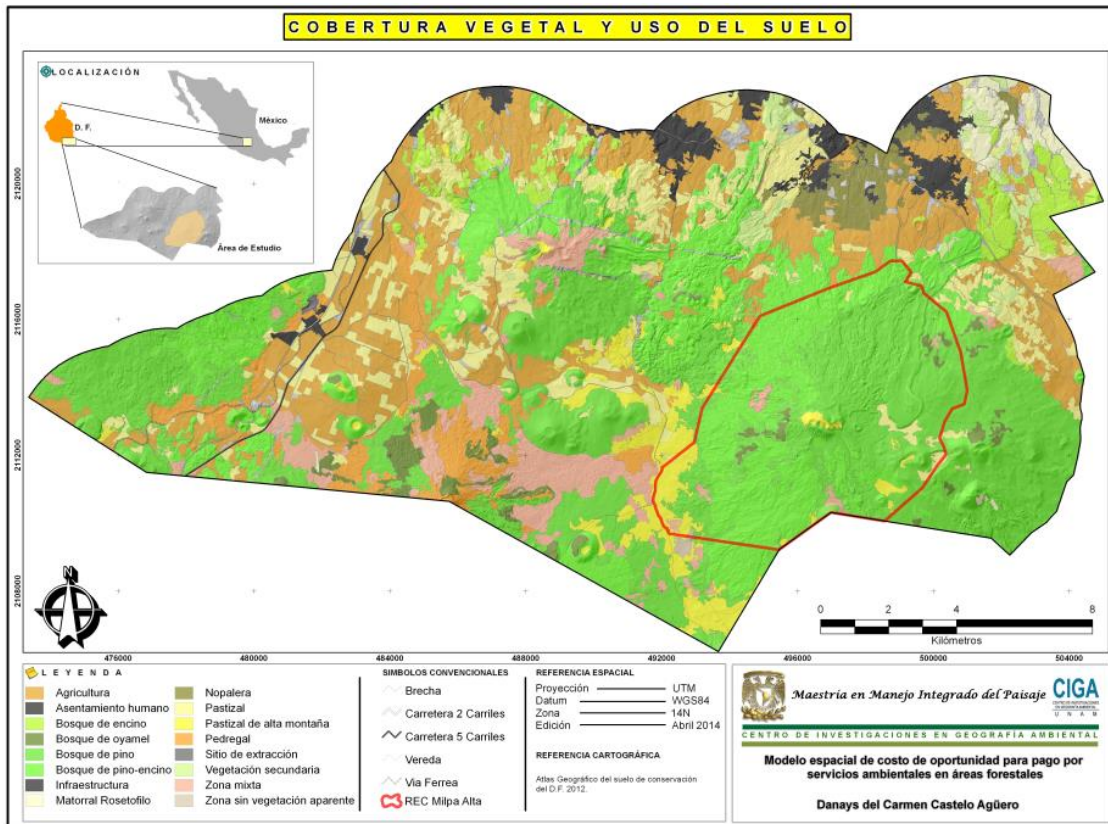


Figura 6. Vegetación característica de la zona.



## CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 4.1 Materiales.

Para la realización de la investigación se utilizaron diferentes insumos, que se obtuvieron de distintas fuentes, algunos se usaron directamente y otros sirvieron de base para la creación de nuevos materiales que fueron los que finalmente se emplearon en el desarrollo del modelo.

Los principales insumos fueron, la cartografía temática del Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal, el IX Censo de Población y Vivienda de 1970 (Listado de Localidades), y para el modelo digital de elevación de la zona se elaboró un mosaico a partir de modelos digitales de alta resolución de LIDAR (2010) (Tabla 3).

<b>Tabla 3. Materiales utilizados en la investigación.</b>				
<b>Insumo cartográfico</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fuente</b>	<b>Características</b>	<b>Resultado</b>
<b>Climas</b> <b>Precipitación media anual.</b> <b>Temperatura media anual.</b> <b>Geología</b> <b>Geomorfología</b> <b>Edafología</b> <b>Regiones hidrológica</b>	Mapas.	Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del DF.2012.Secretaría del Medio Ambiente. DF.	Escala:1:160,000 Tamaño de celda 25 metros.	Descripción del área de estudio.
<b>MDE (LIDAR)</b>	Imagen de satélite de alta resolución.	INEGI.2010	SUPERFICIE E14A28F2_MS Tamaño de celda 5 metros.	Mapas de altitud y pendiente.
<b>Localidades 2008.</b> <b>Camino 1970.</b> <b>Camino 2008.</b>	Capas.	PAOT*		Distancia a localidades y a caminos. Ambas fechas.
<b>Listado de localidades. DF</b>	Documento	IX Censo de Población y Vivienda 1970.		Localidades 1970.
<b>USV_1970</b> <b>USV_1997</b> <b>USV_2008</b>	Capas	PAOT		Zonas agrícola ambas fechas. Zonas de pérdida forestal.
<b>Riqueza de aves</b> <b>Riqueza de mamíferos</b> <b>Riqueza de anfibios</b> <b>Riqueza de reptiles</b>	Mapas.	Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del DF.2012.Secretaría del Medio Ambiente. DF.	Escala: 1:160.000 Tamaño de celda 25 metros.	Biodiversidad.

<b>Infiltración. Potencial de erosión.</b>	Mapas.	Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del DF.2012.Secretaría del Medio Ambiente. DF	Escala: 1:160.000 Tamaño de celda 25 metros.	Servicios ambientales Hidrológicos y de conservación de suelos.
--	--------	--	---	---

\*Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal.

También se utilizaron programas de cómputo que permitieron el procesamiento de la información base, el ArcGis 10.0, Map Tools, Microsoft Word, Microsoft Excel, Zotero Standalone, el Table Curve 2D v5.01 para determinar la forma de las ecuaciones matemáticas que predicen la probabilidad de los datos y el Expert Choice, con el que, mediante la opinión de expertos, se le asignó pesos de ponderación a los parámetros usados en el modelo.

#### 4.2 Métodos.

En general el método se desarrolla en los siguientes pasos:

1.- Se interpretan imágenes de satélite y/o fotografías de fecha reciente e histórica y se preparan mapas de usos del suelo para identificar el área forestal susceptible a su inclusión en un programa de PSA, de acuerdo a los criterios de CONAFOR (2014).

2.- El área se caracteriza principalmente en términos del estado de la cubierta forestal, el relieve del terreno, la superficie por cuenca hidrológica, las especies forestales, y la diversidad de servicios ambientales que ofrece, los problemas ambientales actuales y potenciales derivados de la pérdida de superficies forestales.

3.-Se realiza la descripción socioeconómica del área: la tenencia de la tierra, los principales usos del suelo, la accesibilidad de las superficies forestales, la población en la región de interés y sus actividades económicas, especialmente las silvícolas, la dinámica del cambio de uso del suelo, los conflictos por el uso del suelo.

4.- Se recopila, selecciona y corrige, en los casos necesarios, toda la cartografía que se utiliza, es importante que esté homogenizada en términos de escala, proyección y tamaño de celda. Además de adecuada al área de estudio.

5. se aplica el modelo AGRILocal para determinar las oportunidades de conversión de las áreas forestales a otros usos, e incorporar esta información dentro del modelo de espacialización del PSA.

6. se aplica el modelo DEFORELATIONS para definir las tendencias locales en la pérdida de cubierta forestal e incorporar esta información dentro del modelo de espacialización del PSA

7. se determina la diferenciación espacial del valor de los servicios ambientales de las áreas forestales y se incorpora esta información dentro del modelo de espacialización del PSA

#### **4.2.1 Descripción del modelo COSTOPFOR.**

El COSTOPFOR es un modelo explícitamente espacial, en él se combina uno de los objetivos del modelo AGRILocal (Ramírez-Sánchez, 2009; Morales-Manilla, 2007), el de definir la aptitud territorial para fines agrícolas y/o pecuarios, con uno de los objetivos del modelo DEFORELATIONS (Vizcaíno-Guerra, 2013; Morales-Manilla, in prep), el de predecir la probabilidad de pérdida forestal, para producir estimaciones de cambio de uso del suelo enfocados a valorar la probabilidad de cambio de un uso forestal a diversos usos agrícolas y/o pecuarios, pero de acuerdo con el contexto local e histórico en que se han dado dichos cambios en la región objeto de estudio, los cuales se describen a continuación:

##### **4.2.1.1 Modelo AGRILocal.**

De acuerdo con Ramírez-Sánchez (2009), el modelo AGRILocal toma en cuenta las prácticas agrícolas locales, dado que para evaluar las tierras, el modelo

maneja como parámetros las relaciones espaciales existentes entre la distribución del cultivo y diversos aspectos del territorio, las cuales reflejan las prácticas agrícolas locales.

El modelo AGRILocal se basa en dos supuestos: a) las prácticas de los agricultores locales tienden a ser óptimas dentro de las condiciones ambientales y socioeconómicas locales que favorecen o restringen el uso del territorio; b) los valores de esas prácticas están contenidos en los patrones espaciales actuales e históricos de uso del suelo agrícola. Según este modelo, no es posible aplicar un solo modelo AGRILocal para todos los sitios, sino que tiene que existir uno para cada sitio.

El modelo evalúa las condiciones adecuadas para los cultivos, con base en una combinación de medidas de relevancia-preferencia-influencia, que las relaciones espaciales presentan en el sistema agrícola. A diferencia de los resultados de otros modelos, los resultados obtenidos con el modelo AGRILocal, no deben y no pueden ser usados como indicadores de los rendimientos o las ganancias del cultivo, en cambio, representan el grado de éxito que puede tener el uso de nueva superficie para propósitos agrícolas de acuerdo con el contexto local.

#### **4.2.1.2 Modelo DEFORELATIONS.**

De acuerdo con Vizcaino-Guerra (2013), este es un modelo genérico de descripción, explicación y predicción de la deforestación, que se basa fundamentalmente en las relaciones espaciales locales que presenta el patrón de deforestación con respecto a otros patrones espaciales que tienen lugar en la misma región, algunos de los cuales corresponden a condiciones del medio ambiente y otros a condiciones de desarrollo socioeconómico.

Así mismo este modelo tiene dos aplicaciones importantes, que aunque normalmente complementarias, pueden investigarse de manera independiente:

una de ellas es exploratoria y busca entender la forma en que el espacio geográfico facilita o condiciona el proceso de deforestación, mientras que el segundo es predictivo y se enfoca en la determinación de la susceptibilidad de deforestación.

El modelo COSTOPFOR es una combinación parcial de los modelos arriba descritos, por ello consta de las tres fases que esos modelos emplean en los objetivos para los que se usan: se utiliza cierto número de relaciones espaciales relevantes específicas a la zona de interés, se investiga la forma particular de las funciones matemáticas que describen el grado de preferencia de los valores de cada relación, y se determina el grado de influencia o peso de cada relación en la determinación de la disponibilidad de la tierra y/o de la deforestación. Los umbrales de los valores preferidos por las prácticas locales de la agricultura y/o del proceso de deforestación, son obtenidos midiendo las relaciones espaciales entre los eventos geográficos que intervienen en estos procesos, los parámetros del modelo, y los patrones espaciales actuales y/o históricos de estas relaciones. Las medidas de los parámetros del modelo son derivados de una distribución estadística particular de cada relación espacial. En ambos modelos se siguen en general los pasos descritos a continuación.

#### **4.2.1.3 Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes.**

La relevancia implica una medición cualitativa de la importancia de la relación espacial en cuestión en la decisión de usar un terreno para la actividad agrícola, pecuaria y/o urbana.

Con la información de uso /cubierta de las fechas 1970, 2008 y la de cambio en superficies forestales, se determina cuáles relaciones territoriales son relevantes localmente como factores de cambio. Estas relaciones relevantes constituyen los parámetros del modelo. Basándose en los parámetros determinados como relevantes en la aplicación de los modelos AGRILocal y DEFORRELATIONS.

#### **4.2.1.4 Fase 2. Determinación de la forma de la función de los parámetros del modelo.**

Para determinar la forma de la función se realizan dos pasos: A) se convierten los valores de frecuencia absoluta en valores de cada clase, donde se asigna el valor más alto de probabilidad (1.0) al valor más alto de frecuencia y se divide con el resto de los valores para obtener así una probabilidad en una escala entre 0 y 1; B). Se ajusta una función que describa la relación entre los valores de probabilidad y el valor intermedio de los intervalos de clases. La mejor función es aquella que ofrece la correlación más alta entre las clases de la relación y sus valores respectivos de probabilidad. Dependiendo de la forma de la relación se pueden obtener varias funciones que la describan, pero se puede optar por la forma más simple y con el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado por grados de libertad, más alto posible.

Para cada parámetro escogido, se determina a continuación la probabilidad de que la superficie forestal objeto de interés cambie a un uso específico (generalmente agrícola y/o pecuario, pero ocasionalmente también a un uso urbano, extractivo, o de infraestructura).

#### **4.2.1.5 Fase 3. Determinación del grado de influencia de cada parámetro.**

Para cada parámetro del modelo se determina el grado de influencia de cada uno de ellos en la decisión de realizar el cambio del uso del suelo. Esto se logra asignándole peso a cada parámetro, según la opinión de expertos en el tema, que ya han trabajado con los modelos mencionados anteriormente, usando una técnica de evaluación multicriterio, en este trabajo se ha usado la técnica Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1977). Finalmente, los pesos se asignan a cada una de las relaciones espaciales antes de combinarlas en el modelo.

#### **4.2.1.6 Fase 4. Determinación de los servicios ambientales.**

Para cumplir esta fase, se hace una revisión de los tipos de servicios ambientales presentes en la zona, se caracterizan de acuerdo a su tipo: Hidrológico, conservación de suelos, captura de carbono, conservación de biodiversidad, etc. Una vez caracterizados se crea una cartografía específica para cada uno de ellos, en que los valores de cada mapa se estandarizan en valores de 0 a 1, donde 0 corresponde al valor más bajo y 1 al valor más alto, finalmente se integran en un solo mapa, obteniendo así la cartografía de los servicios ambientales presentes en el área de estudio.

#### **4.2.1.7 Aplicación del modelo.**

El modelo ponderado se aplica para regionalizar el territorio y establecer la probabilidad integral, considerando todos los parámetros simultáneamente, de cambio de uso / cubierta forestal a otros usos.

Al obtener la probabilidad de que ciertas áreas sean convertidas a otros usos y teniendo en cuenta los SA que brindan, se determina el valor del bosque y a partir de este se propone una diferenciación para el PSA, mientras más alta la probabilidad de conversión, más alto el valor del bosque y más alto el PSA.

Para generar el modelo se requiere información de uso/cubierta del suelo de tres fechas. Para la región dentro de la que se selecciona el área susceptible a incluir en un programa de PSA, se emplea información existente correspondiente a 1970, 1997 y 2008, a la escala 1:20,000 en todos los casos.

Los pasos metodológicos que se siguieron para llevar a cabo la presente investigación y para el cumplimiento de los objetivos aquí planteados, se muestran en la Figura 7.

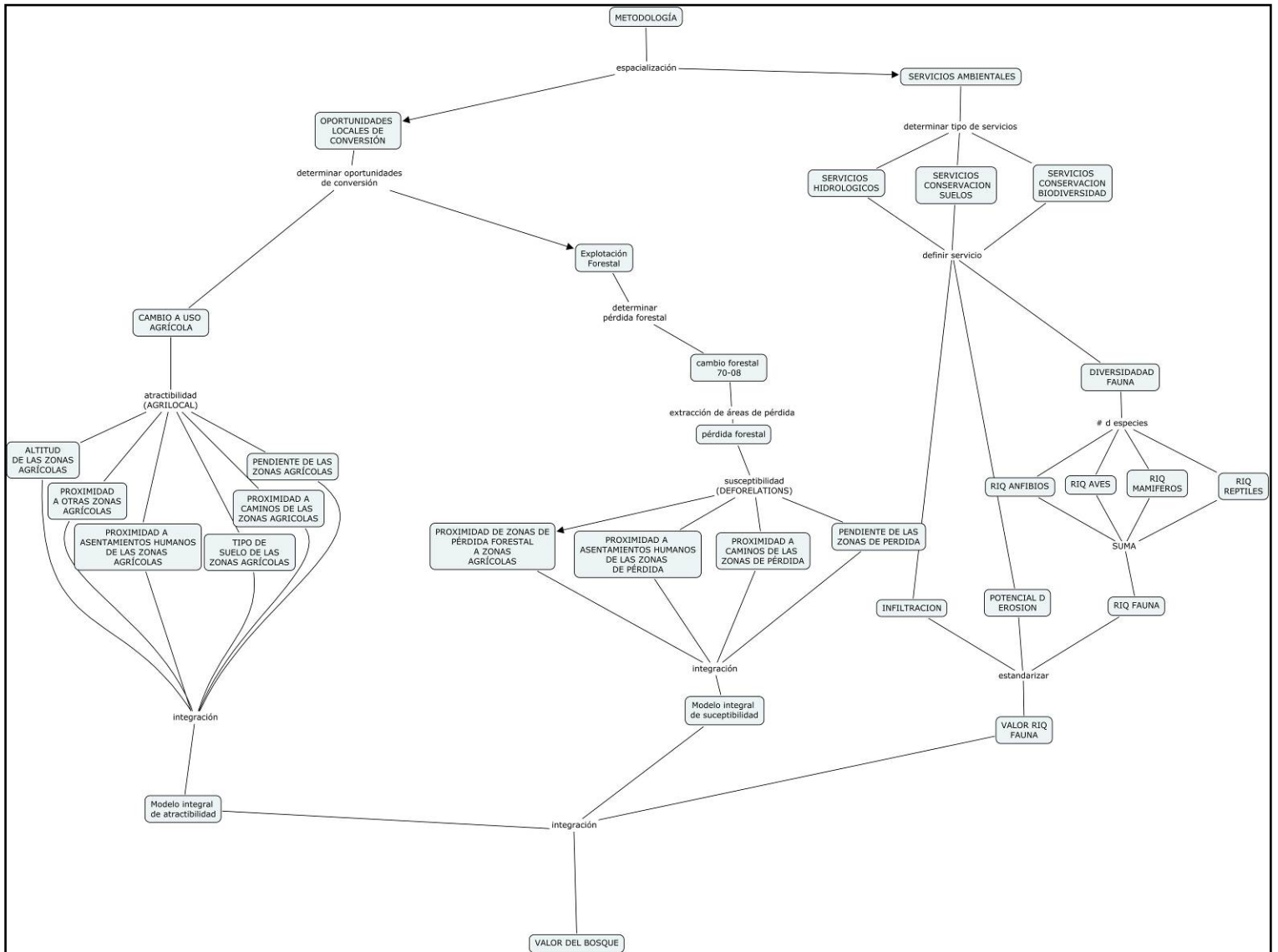


Figura 7. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica.



## **CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **5.1 Definición del área forestal.**

Dentro de la zona de estudio, se identificó el área forestal específica en la que se aplicó el modelo. La misma cumple con los criterios de CONAFOR para incorporar áreas forestales a un PSA y corresponde a las Reserva Ecológica Comunitaria de Mil Alta.

El área se caracteriza en términos ambientales, por tener una cubierta forestal conservada, al pertenecer a un área protegida, pero la zona tiene una aptitud agrícola muy alta, debido principalmente a la amplia distribución de suelos Andosoles y Feozem, es importante mencionar que los suelos Andosol y Feozem se encuentran muy relacionados con la distribución de las coberturas forestales, las cuales proveen los mayores servicios ambientales a la Ciudad de México. Aun cuando la aptitud agrícola puede ser alta, los beneficios que los habitantes del Valle de México reciben en términos de servicios ambientales son muy superiores al beneficio que se obtiene de las actividades agrícolas; por lo anterior, es necesario considerar la situación, de tal forma que puedan identificarse con mayor precisión las áreas para llevar a cabo las actividades agrícolas con el menor impacto ambiental (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

Se comenzó a trabajar por un lado con las oportunidades locales de conversión y por otro con los servicios ambientales que brinda el área, que son finalmente los aspectos que se espacializan y los dos que mayor valor le dan al bosque, este valor se debe tener en cuenta para definir el monto que sería apropiado para el PSA. Abordaré primeramente el proceso que se siguió con las oportunidades de conversión.

### **5.2 Oportunidades de conversión según el método AGRILocal.**

Luego de un exhaustivo análisis de información cartográfica, bibliográfica y de fuentes personales (ejidatarios) se determinó que las principales oportunidades de

conversión de la zona, teniendo en cuenta los usos que tradicionalmente se le han dado al suelo en la región, son agricultura y explotación forestal.

Para determinar la atractibilidad del suelo para el uso agrícola se empleó el modelo AGRILocal. Se construyó un modelo para dos fechas diferentes (1970 y 2008) para observar si había variaciones significativas en la atractibilidad del terreno, encontrándose que aun cuando estas diferencias existen no son relevantes, pudiéndose usar cualquiera de los dos modelos para determinar esta característica en las áreas forestales.

### **5.3 EVALUACIÓN DE TIERRAS: APLICACIÓN DEL MODELO AGRILocal**

#### **5.3.1 Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes.**

Los tipos de relaciones espaciales relevantes entre las zonas agrícolas y diferentes elementos del paisaje, en el caso de estudio, son las de coincidencia y proximidad. Las de coincidencia, están representadas por la coincidencia de la pendiente (como proxy de la accesibilidad topográfica y profundidad del suelo), altitud (como proxy de la temperatura) y tipo de suelo de las zonas agrícolas de las dos fechas, 1970 y 2008, estos son atributos que no varían en el tiempo, pero sí cambian los valores, hasta los que se extienden las zonas agrícolas en fechas diferentes. Las relaciones espaciales de proximidad se manifiestan en las distancias de las zonas agrícolas de una fecha posterior a otras zonas agrícolas de una fecha anterior, la distancia de las zonas agrícolas a asentamientos humanos y la distancia de las zonas agrícolas a caminos, en las dos fechas referidas, debido a que las distancias pueden comportarse de diferente forma en distintos años.

Para obtener los mapas que muestran las relaciones espaciales se hicieron las siguientes actividades:

### **5.3.1.1 Coincidencia.**

Se extrajeron las zonas agrícolas de los mapas de usos de suelo de las fechas 1970 y 2008, luego estas capas se cruzaron con las de pendiente, altitud y tipos de suelo del área de estudio.

### **5.5.1.2 Proximidad.**

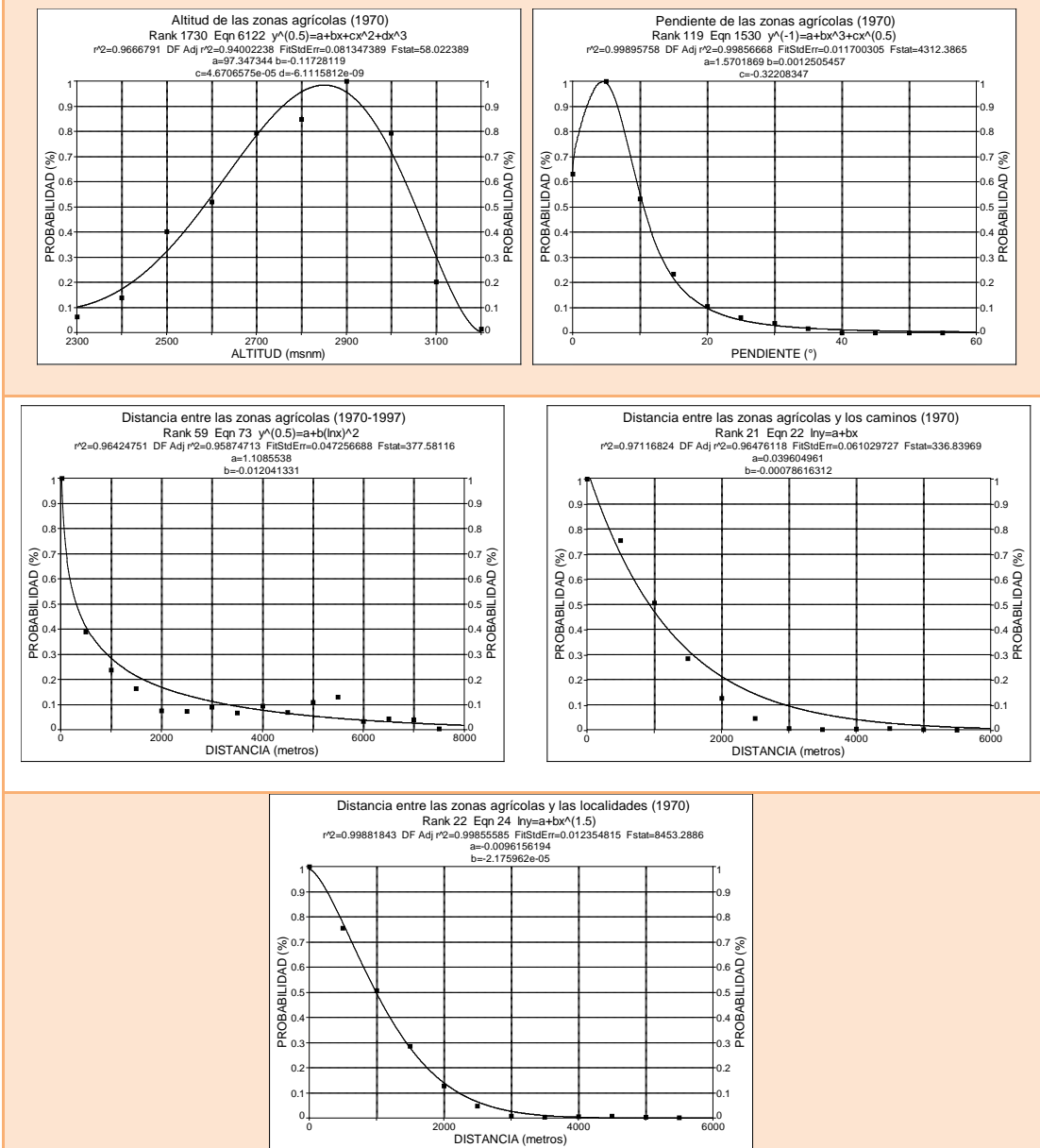
Se determinó la distancia de cada objeto espacial, en ambas fechas, otras zonas agrícolas, asentamientos humanos y caminos, luego se cruzaron estas capas con las de zonas agrícolas, ya mencionadas.

### **5.3.2 Fase 2. Determinación de las formas de las funciones de probabilidad de los parámetros.**

En este paso se obtuvieron las funciones que determinan la probabilidad de que ocurra cada relación determinada en el paso anterior como relevante. Los valores con mayor probabilidad representan la mayor preferencia para el cambio de uso forestal a agrícola según cada relación relevante.

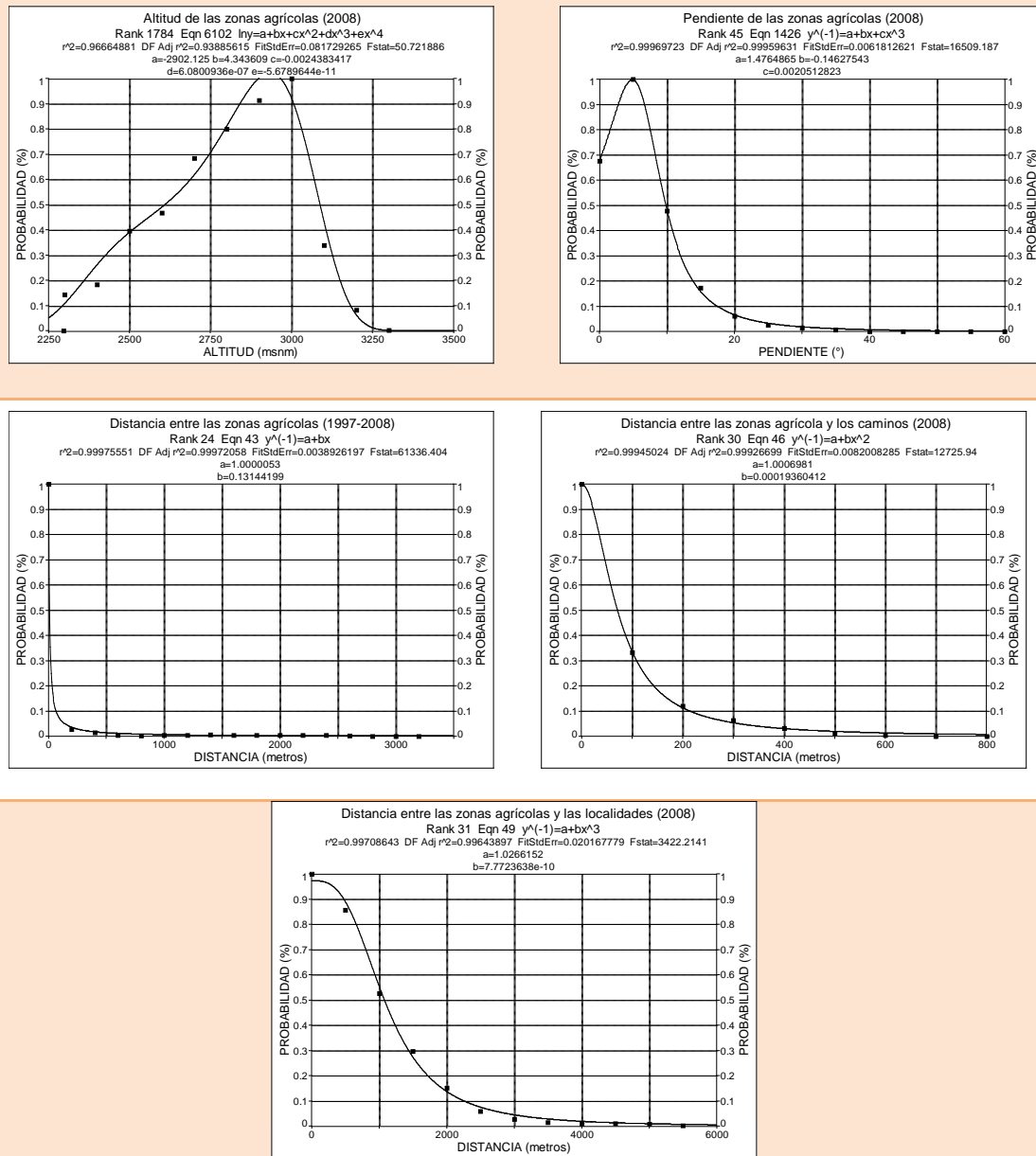
Por ejemplo, en el caso del parámetro altitud de las zonas agrícolas, se observa en la gráfica que la preferencia se concentra, principalmente, entre los 2800 y los 2900 (msnm), es decir según los patrones espaciales en esa altitud es que se encuentran la mayoría de las zonas agrícolas, que es la altitud promedio de la zona de estudio (Tabla 4).

**Tabla 4. Funciones de preferencia para el año 1970.**



Para el año 2008, las zonas agrícolas se desarrollan en el mismo rango de altitud, pero en este caso fue necesario ajustar la función debido a que la misma rebasa el máximo valor de probabilidad (1) (Tabla 5).

**Tabla 5. Funciones de preferencia para el año 2008.**



En el caso del parámetro suelo no se tiene función, debido a que no contaba con categorías numéricas sino de tipo nominales, por lo que para obtener el mapa se utilizaron los datos de la columna de probabilidades generada asignando una probabilidad empírica derivada de la proporción de tipo de suelo que es empleado en las zonas agrícolas de la región.

Con las ecuaciones de cada función se generaron los mapas, de los parámetros. El mapa que se utilizó en cada cálculo fue el de los bosques de la REC, cruzado con cada una de las relaciones, dando como resultado la atractibilidad del suelo en la REC para el cambio a uso agrícola.

### **5.3.3 Fase 3. Especificación de los pesos de los parámetros.**

Debido a que todos los parámetros no tienen la misma influencia sobre el grado de atractibilidad agrícola de una zona forestal, fue necesario determinar diferentes pesos (Figuras 8 y 9 y Tabla 6). Para la asignación de pesos se utilizó el software Expert Choice, que es un software para la toma de decisiones, está basado en el Proceso Jerárquico Analítico y asiste a los decisores organizando la información relacionada con el problema, en un modelo jerárquico consistente con un objetivo, escenarios posibles, criterios y alternativas. Usando el método de comparación par a par, evalúa la importancia de los criterios, las preferencias de las alternativas, las probabilidades de los escenarios y sintetiza sus comparaciones para llegar a la mejor decisión. En este trabajo solo se emplea para ponderar cada uno de los parámetros del modelo.

En este caso, en opinión de los expertos que intervinieron en el ejercicio, el parámetro que más influye es el de distancia a caminos, debido a la necesidad de llevar insumos a las zonas agrícolas y trasladar los productos de las mismas, luego la pendiente, ya que su variación es muy rápida a lo largo del terreno y dificulta con su incremento la actividad agrícola porque en general a mayor pendiente la profundidad del suelo disminuye, cambiando también las propiedades físicas y químicas de los mismos. En tercer lugar de influencia está la distancia a otras zonas agrícolas, debido a la facilidad de extender la frontera agrícola. Le sigue el tipo dominante de suelo, en dependencia de sus características, en ellos se puede desarrollar muy bien la actividad agrícola. Los parámetros que menor influencia pueden tener son la distancia a asentamientos humanos y la altitud (Figuras 8 y 9).

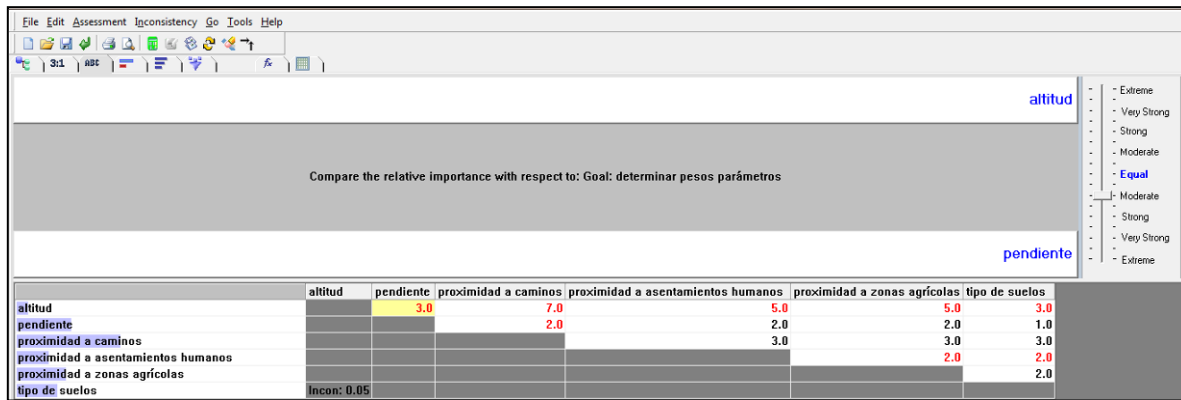


Figura 8. Asignación de pesos a los parámetros.

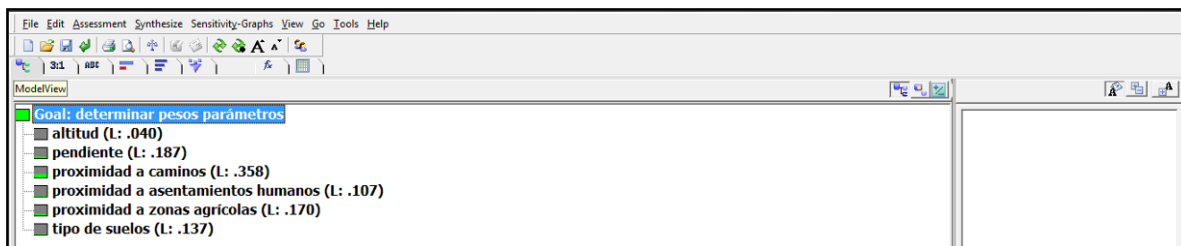


Figura 9. Ponderación de los parámetros.

Tabla 6. Peso de cada parámetro.	
PARÁMETRO	PESO
Altitud	0.040
Pendiente	0.187
Proximidad a zonas agrícolas	0.170
Proximidad a caminos	0.358
Proximidad a asentamientos humanos	0.107
Tipos de suelo	0.137

Finalmente los mapas de los parámetros, para cada fecha, se integraron y dieron lugar a dos modelos de atractibilidad del suelo en la REC.

## 5.4 APLICACIÓN DEL MODELO

### 5.4.1 Modelo AGRILocal 1970.

Una vez que se tienen a todos los parámetros con sus pesos, se procede a construir el modelo AGRILocal correspondiente a la fecha 1970, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\text{modelo70} = (\text{"probosqcam70"} * 0.358) + (\text{"probosqloc70"} * 0.107) + (\text{"probpendte"} * 0.187) + (\text{"probaltitud"} * 0.040) + (\text{"probzagr7097"} * 0.170) + (\text{"probsuelo70"} * 0.137)$$

Dónde:

probosqcam70 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a caminos.

probosqlloc70 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a localidades.

probpendte es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro pendiente de las zonas agrícolas.

probaltitud es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro altitud de las zonas agrícolas.

probzagr7097 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a otras zonas agrícolas.

probsuelo70 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro grupos de suelo.

En la figura 10 se observa que la zona con la atractibilidad más alta es al noreste de la REC, coincidiendo con los caminos que existen en la misma, esto se debe a que las áreas más atractivas para las zonas agrícolas son las cercanas a caminos, debido a que la existencia de estos puede propiciar el surgimiento de zonas agrícolas, por facilitar la accesibilidad y el transporte de insumos y productos.



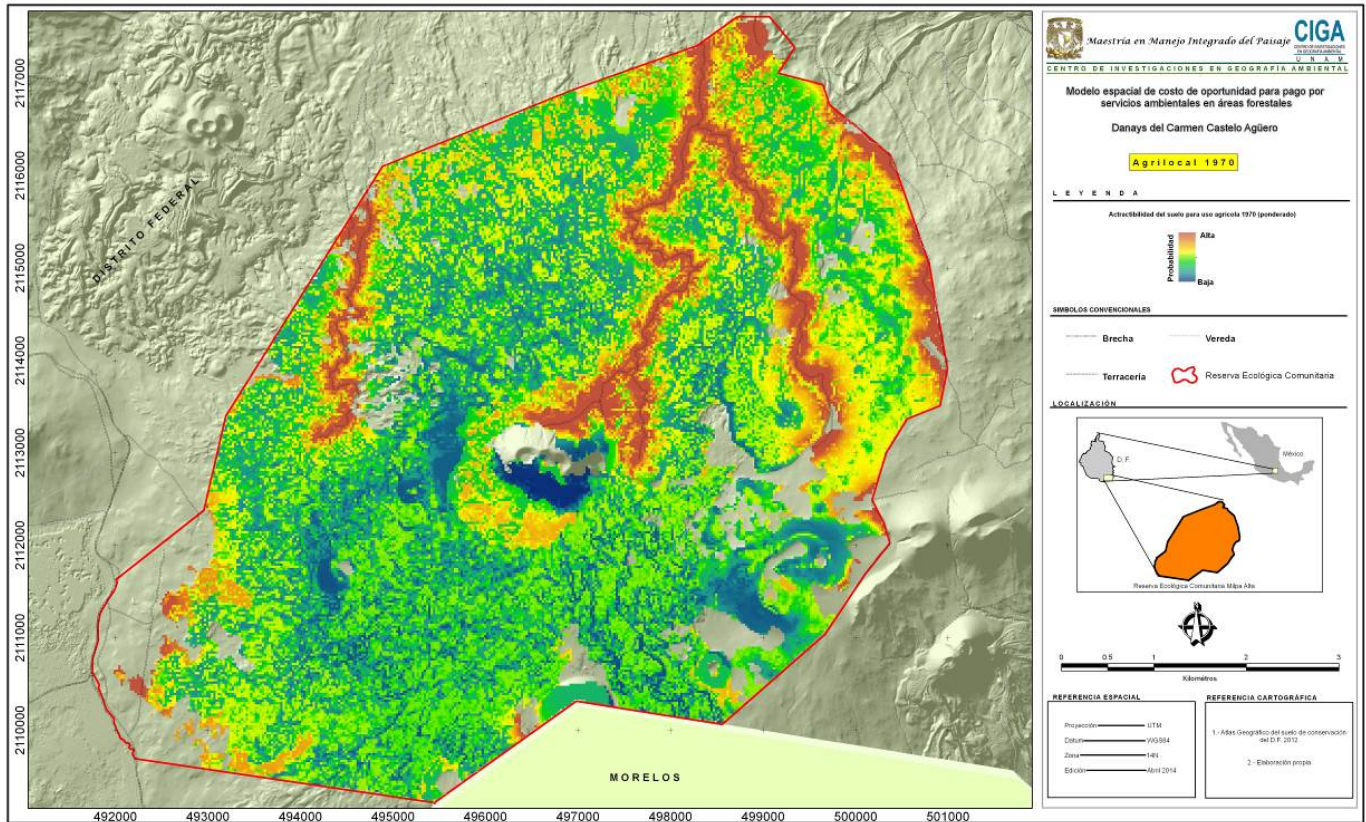


Figura 10. Modelo AGRILocal 1970.

#### 5.4.2 Modelo AGRILocal 2008.

Ya que se tienen a todos los parámetros con sus respectivos pesos, se procede a construir el modelo AGRILocal correspondiente a la fecha 2008, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\text{modelo08} = (\text{"probosqcam08"} * 0.358) + (\text{"probosqlloc08"} * 0.107) + (\text{"probpdnte08"} * 0.187) + (\text{"probalitud08"} * 0.040) + (\text{"probzagr9708"} * 0.170) + (\text{"probsuelo08"} * 0.137)$$

Dónde:

probosqcam08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a caminos, probosqlloc08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a localidades, probpdnte08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro pendiente de las zonas agrícolas, probalitud08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al

parámetro altitud de las zonas agrícolas, probzagr9708 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro distancia a otras zonas agrícolas, probsuelo08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea atractivo para la actividad agrícola de acuerdo al parámetro grupos de suelo.

En la figura 11 se observa, que como en el AGRILocal hecho con datos del año 1970, la atractibilidad más alta en la REC es en la zona cercana a caminos, en el año 2008 hay más vías que en el 70 por lo que aumentan las zonas con alta probabilidad de ser atractivas para la actividad agrícola si los otros factores, como la pendiente del terreno, también lo son.

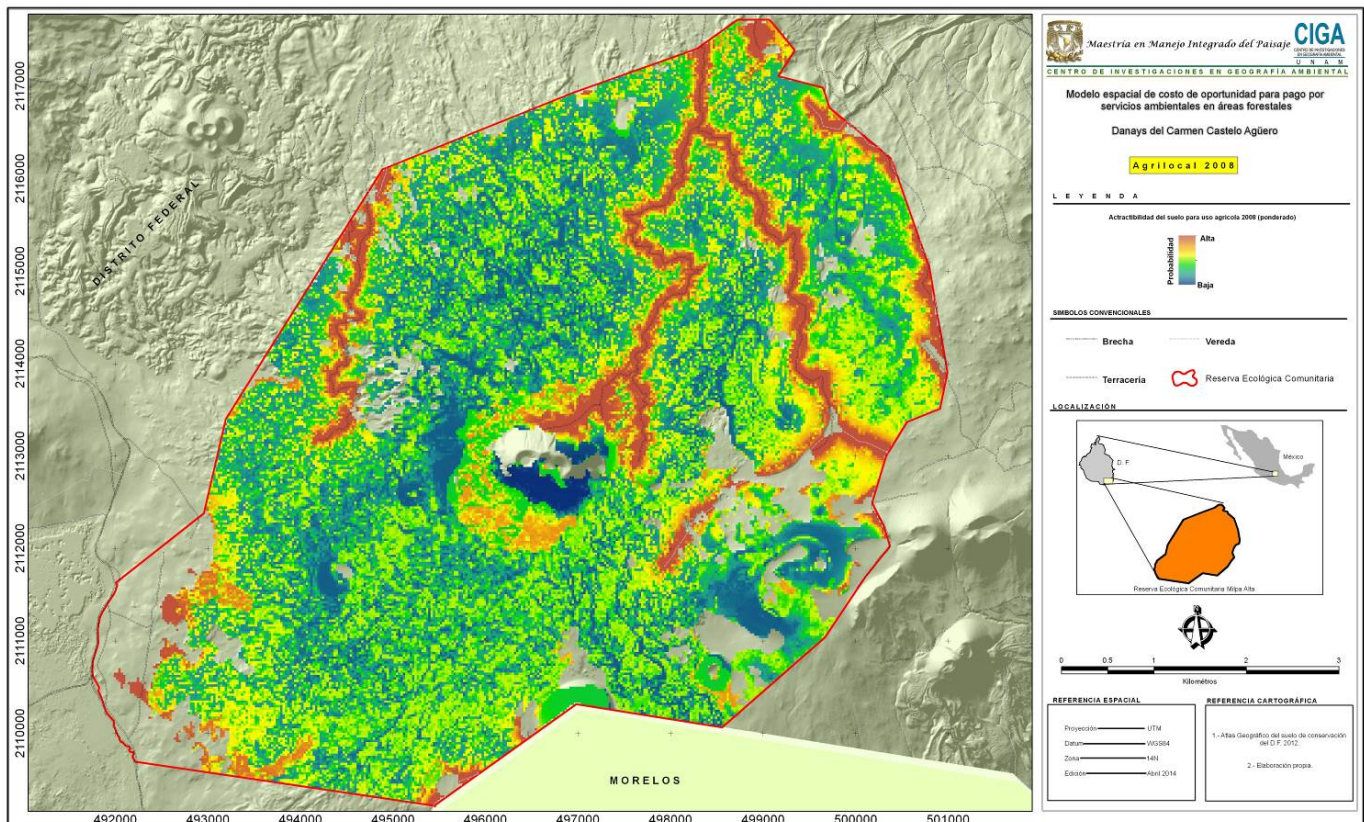


Figura 11. Modelo AGRILocal 2008.

### 5.5 MODELO DEFORELATIONS: PÉRDIDA FORESTAL.

Se determinó la pérdida forestal extrayendo las zonas de pérdida del mapa de cambio forestal 70-08. Para determinar la susceptibilidad del área se aplicó el

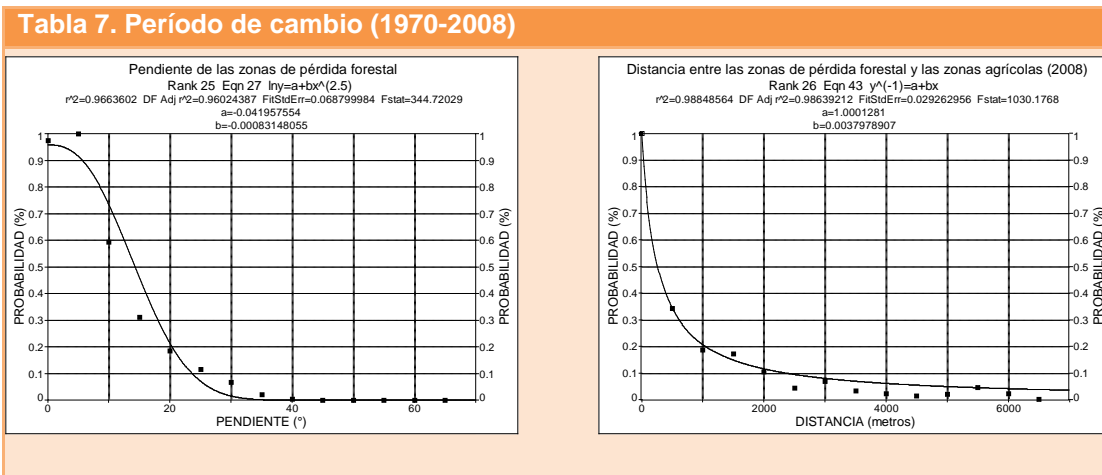
DEFORELATIONS (Vizcaíno-Guerra, 2013), para determinar la probabilidad de pérdida forestal del área.

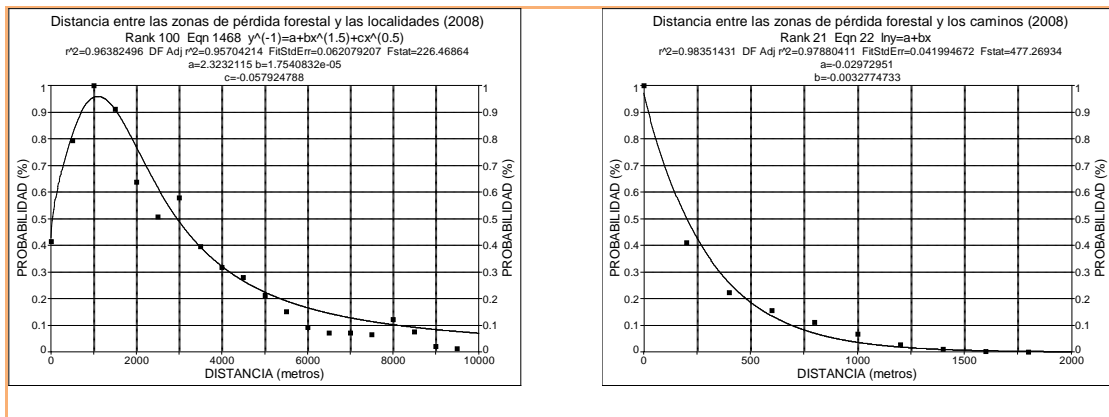
### 5.5.1 Fase 1. Establecimiento de los parámetros relevantes.

En este caso las relaciones espaciales relevantes son las de coincidencia, con el parámetro pendiente en zonas de pérdida forestal y proximidad, con los parámetros distancia de las zonas de pérdida forestal y caminos, distancia de las zonas de pérdida forestal y los asentamientos humanos, y distancia de las zonas de pérdida forestal y las zonas agrícolas, del período de cambio.

### 5.5.2 Fase 2. Determinación de las formas de las funciones de probabilidad de los parámetros.

Con las ecuaciones de cada función se generaron los mapas, de los parámetros. Para los cálculos se utilizó el mapa de los bosques de la REC, cruzado con cada una de las relaciones, dando como resultado la susceptibilidad de pérdida forestal en la REC (Tabla 7).





### 5.5.3 Fase 3. Especificación de los pesos de los parámetros.

En el modelo DEFORELATIONS los parámetros no tienen el mismo grado de influencia, por lo que se le asignó pesos a cada uno basados en la opinión de expertos, mediante el software Expert Choice, según la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (Figuras 12 y 13 y Tabla 8).

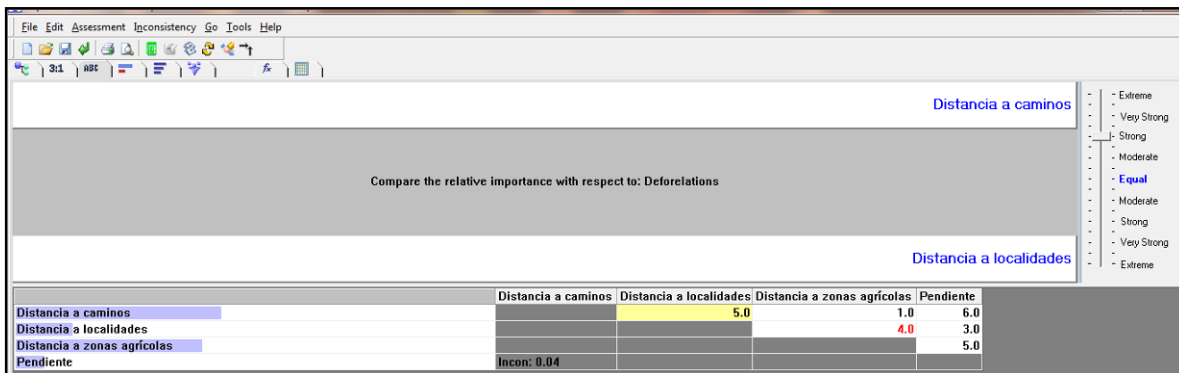


Figura 12. Asignación de pesos a los parámetros DEFORELATIONS.



Figura 12. Ponderación de los parámetros DEFORELATIONS.

**Tabla 8. Peso de cada parámetro.**

PARÁMETRO	PESO
Pendiente	0.061
Proximidad a zonas agrícolas	0.389
Proximidad a caminos	0.432
Proximidad a asentamientos humanos	0.118

## 5.6 Aplicación del Modelo DEFORELATIONS

### 5.6.1 Modelo DEFORELATIONS

Una vez ponderados los parámetros, se integran, dando lugar al modelo que muestra la probabilidad de que el área sea deforestada, esto con la ayuda de la siguiente formula.

$$\text{modefo} = (\text{"probdefpdte"} * 0.061) + (\text{"probdefloc08"} * 0.118) + (\text{"probdefvia08"} * 0.432) + (\text{"probdefza08"} * 0.389)$$

Dónde:

probdefpdte es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea susceptible a pérdida forestal de acuerdo al parámetro pendiente de las zonas de pérdida del período estudiado, probdefloc08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea susceptible a pérdida forestal de acuerdo al parámetro distancia a localidades, probdefvia08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea susceptible a pérdida forestal de acuerdo al parámetro distancia a caminos, probdefza08 es: la probabilidad de que el bosque de la REC sea susceptible a pérdida forestal de acuerdo al parámetro distancia a zonas agrícolas.

Según muestra la figura 14, las zonas de más alta susceptibilidad a la pérdida forestal son las cercanas a caminos, debido a la accesibilidad que brindan a las zonas forestales propiciando su explotación.

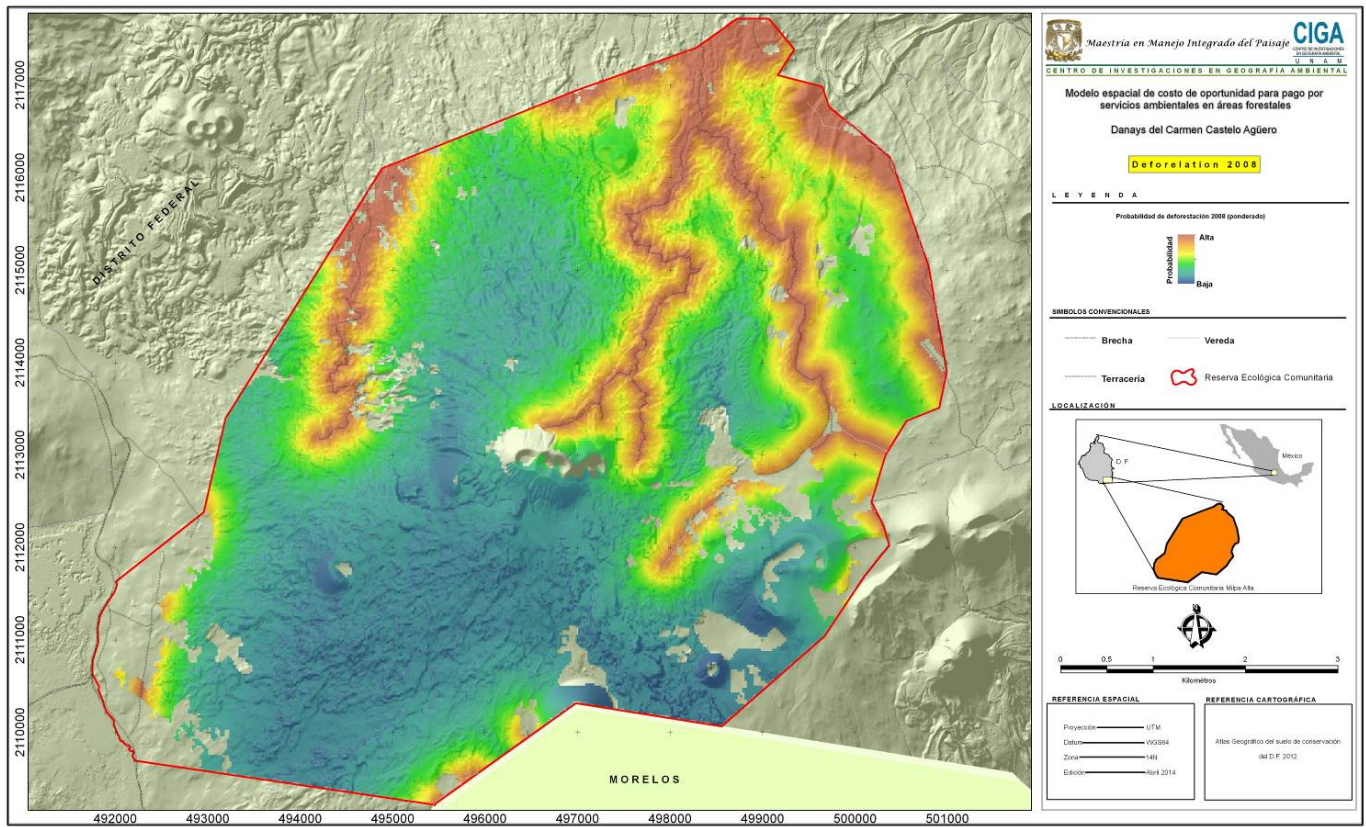


Figura 14. Modelo DEFORELATIONS.

### 5.7 Servicios ambientales.

Basados en el análisis de información documental y cartográfica se determinó que los principales servicios ambientales que brinda el área son los de tipo, Hidrológicos, de Conservación de suelos y de Conservación de biodiversidad. Específicamente se emplearon como parámetros en el modelo de valoración de los servicios ambientales a los siguientes: el servicio de infiltración dentro del tipo Hidrológico, el potencial de erosión, en el de Conservación de suelo y la diversidad de fauna, en el de Conservación de biodiversidad. Y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{servamb\_rec} = (\text{"bioreces"} + \text{"infil\_es"} + \text{"erosrec\_es"}) / 3$$

Dónde:

bioreces es: la riqueza de especies existente en la REC, infil\_es es: la infiltración del suelo de la REC, erosrec\_es es: la erosión del suelo de la REC.

La figura 15 nos muestra que las zonas más importantes en cuanto a la oferta de servicios ambientales se refiere, las cuales se encuentran principalmente del NE al SE del área de estudio, con algunos parches en el SO, y son zonas que resultan de la integración de los valores más altos que poseen cada uno de los servicios ambientales presentes en el área de estudio.

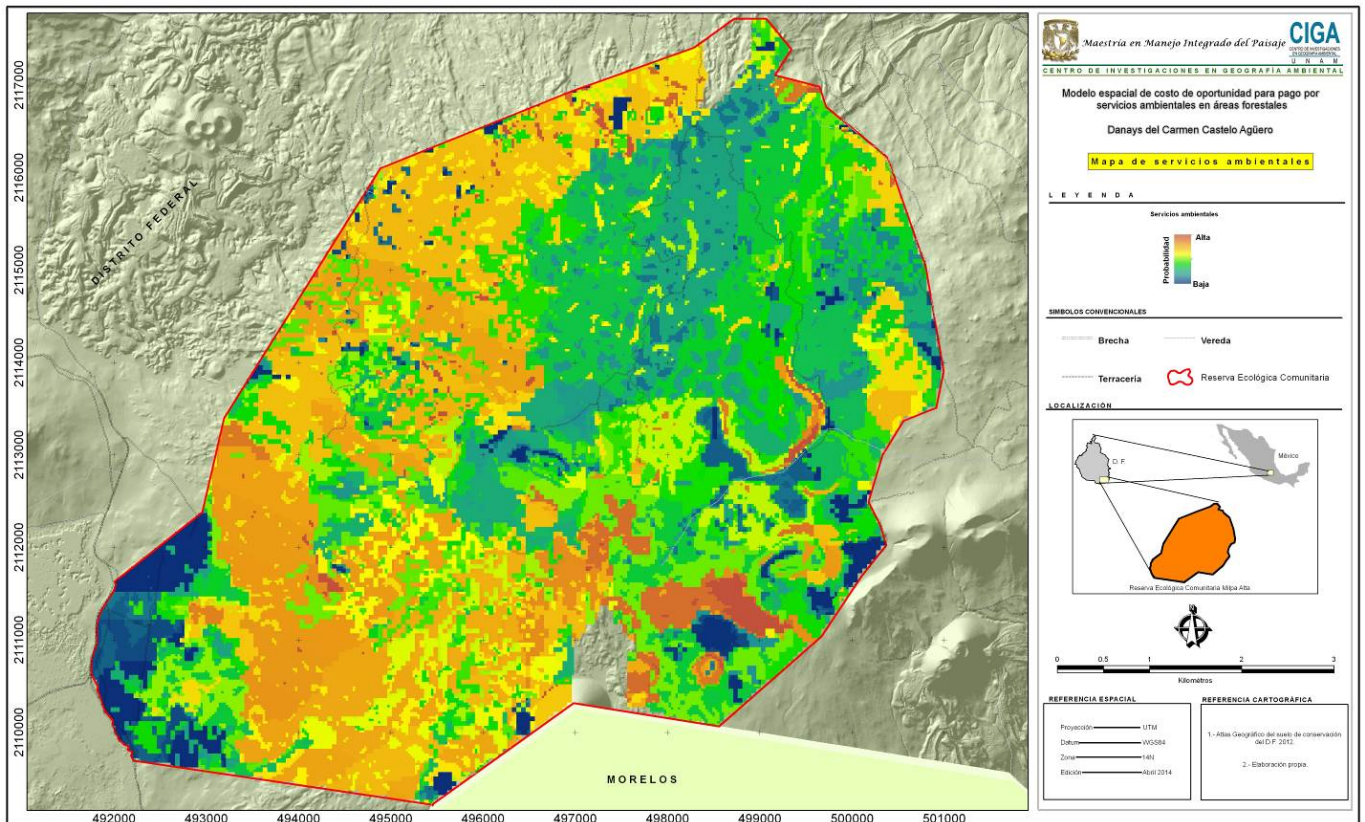


Figura 15. Servicios ambientales integrados en la REC.

Finalmente el modelo AGRILocal 08, el DEFORELATIONS y el mapa de servicios ambientales, se integraron, dando origen al mapa que muestra, las áreas más importantes al momento de dar compensaciones por servicios ambientales, el cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{valorbosq} = (\text{"modelo08"} + \text{"modefo08"} + \text{"servamb_rec"}) / 3$$

Dónde: modelo08 es: el modelo AGRILocal, modfo08 es: el modelo DEFORELATIONS y servamb\_rec es: el total de servicios ambientales que existen en la REC.

La figura 16 nos muestra el resultado final de la integración de las variables (modelo AGRILocal, modelo DEFORELATIONS y servicios ambientales) que se utilizaron para crear el modelo COSTOPFOR, en donde se puede ver que las zonas con mayor atraktividad para llevar a cabo los PSA son las áreas que se encuentran inmediatas a los caminos presentes en el área de estudio principalmente, esto es debido a que los caminos fue el parámetro que tuvo el mayor peso dentro de las variables analizadas.

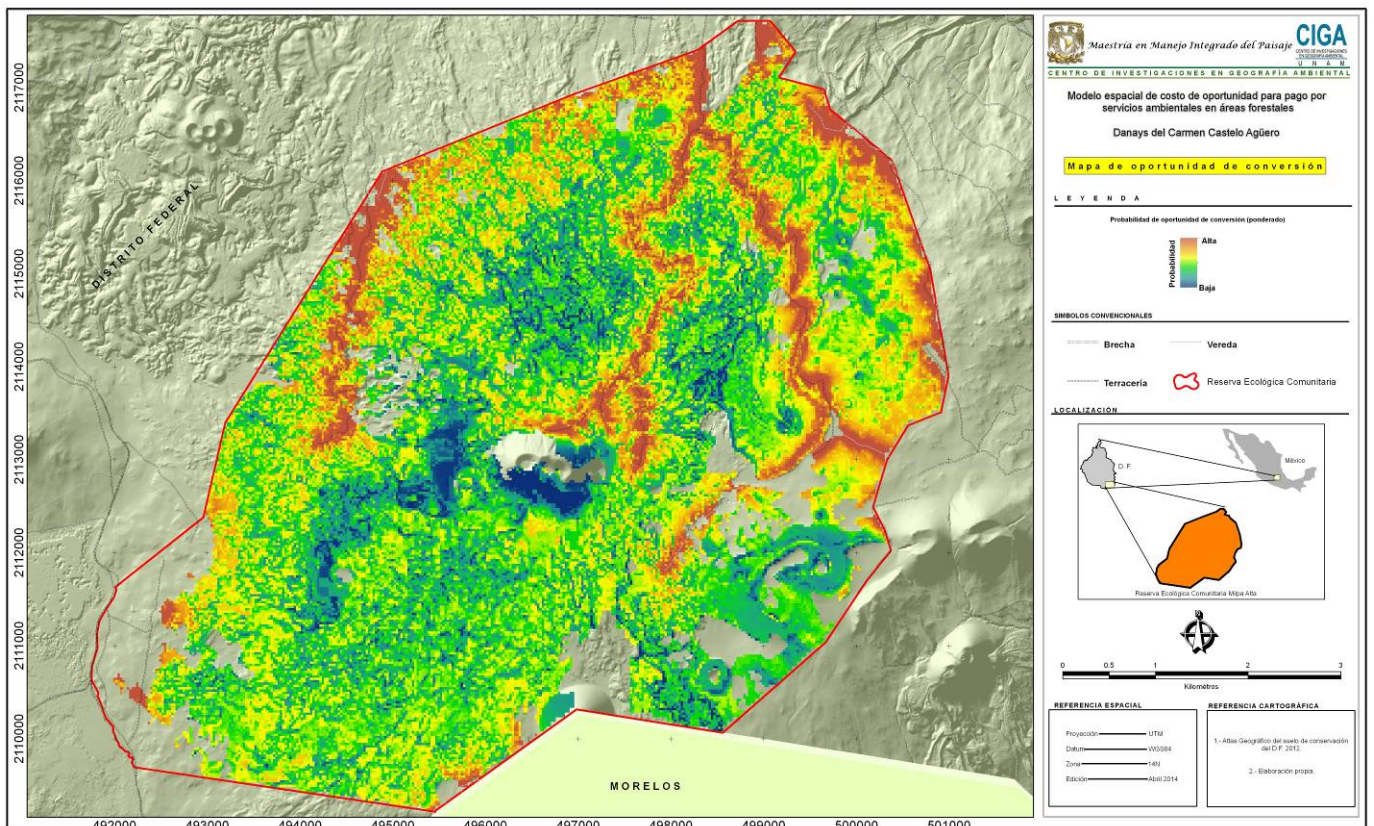


Figura 16. Susceptibilidad a la pérdida forestal y los SA. Este mapa representa el valor del bosque en unidades adimensionales.

Una vez que se espacializó el costo de oportunidad (oportunidades locales de conversión) y los SA que brinda la zona, se hizo una jerarquización del pago por



servicios ambientales, determinando las zonas más importantes de ser conservadas y por tanto las que se deben pagar con un monto más elevado y complementariamente, las de menor valor y de menor pago.

Además del escenario actual, se elaboraron dos escenarios extremos, que no son adecuados, y se propusieron tres más que pueden ser más convenientes desde el punto de vista económico y ambiental. Por supuesto, es posible generar otros muchos escenarios si se varían las cantidades del pago máximo para la categoría más importante de bosque y se varía también la diferencia de pago entre categorías. Los escenarios mostrados aquí se pensaron para dar una idea en relación al pago actual que realiza la CONAFOR.

La clase A de cubierta forestal es la más cercana al valor 1 que es el más alto en cuánto a valor de bosque y por tanto la clase que se debe pagar mejor por su alta atractibilidad agrícola, susceptibilidad a la pérdida forestal y presencia de servicios ambientales, por lo que es muy necesario conservarla, pero en la REC no hay ha de esta clase, así mismo la clase C es la que posee mayor superficie en el área de estudio con 908 ha (Tabla 9).

Tabla 9. Intervalo de clase para valor de bosque.		
Clase	Intervalo	ha
A	0.8-1	0
B	0.6-0.8	13.81
C	0.4-0.6	908.43
D	0.2-0.4	340.56
E	0.18-0.2	0.68

## 5.8 Escenarios de PSA

### 5.8.1 Escenario actual

Escenario actual monto de la compensación, por hectárea, \$400. Es un pago muy bajo por la conservación, que no motiva a los propietarios de las tierras, debido a que algunas pueden tener un uso más rentable (Tabla 10 y Figura 17).

Tabla 10. Monto actual de la compensación.			
Categoría de bosque	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	400	0
B	13.8125	400	5,525.00
C	908.4375	400	363,375.00
D	3402.5625	400	1,361,025.00
E	0.6875	400	275.00
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>1,730,200.00</b>

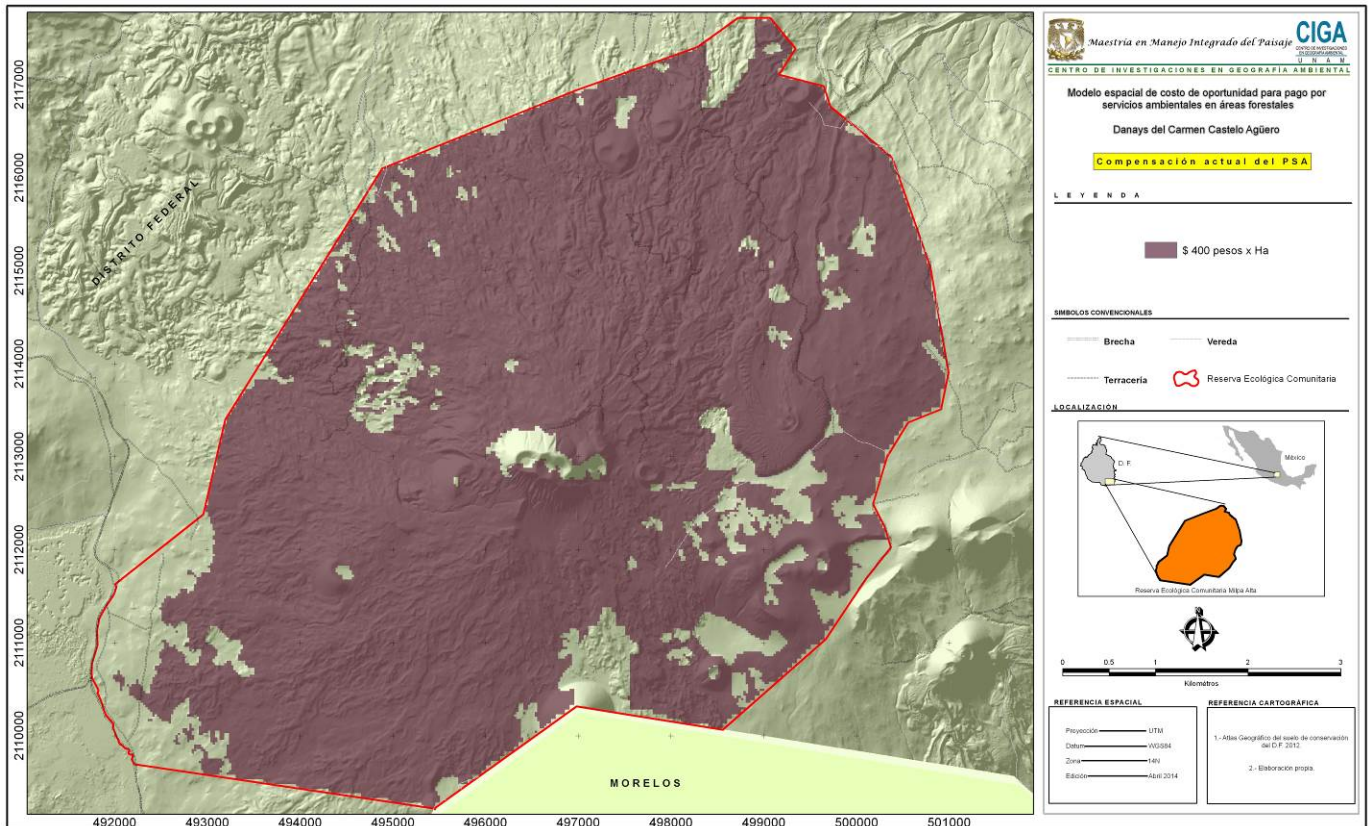


Figura 17. Escenario actual, monto generalizado por hectárea, \$400.

### 5.8.2 Escenario 1. Monto máximo por hectárea, \$400.

A la clase que más se acerca a 1 como valor de bosque máximo, se le paga \$400 por ha y a partir de esta, se va disminuyendo \$80 por clase. Este escenario es muy conveniente para CONAFOR, debido a que sólo se necesitan \$766,910.00 para hacer el total de pagos por todas las clases y muy poco conveniente para los

propietarios de tierras, debido a que además de que reciben mucho menos dinero en total por la reserva, las clases individuales son muy mal pagadas (Tabla 11).

**Tabla 11. Monto de la compensación, máximo \$400 por hectárea.**

Categoría de bosque.	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	400	0
B	13.8125	320	4,420.00
C	908.4375	240	218,025.00
D	3402.5625	160	544,410.00
E	0.6875	80	55.00
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>766,910.00</b>

### 5.8.3 Escenario 2. Monto mínimo por hectárea, \$400.

A la clase más cercana a 0 como valor mínimo de bosque, se le paga \$400 por h y a partir de esta, se va aumentando \$80 por clase. Este escenario es muy conveniente para los propietarios de tierras, debido a que reciben más dinero en total por la reserva y las clases son muy bien pagadas individualmente. Pero para CONAFOR no sería un escenario conveniente, debido a que debería dedicar a la conservación un presupuesto mayor (Tabla 12).

**Tabla 12. Monto de la compensación, mínimo \$400 por hectárea.**

Categoría de bosque.	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	720	0
B	13.8125	640	8,840.00
C	908.4375	560	508,725.00
D	3402.5625	480	1,633,230.00
E	0.6875	400	275.00
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>2,151,070.00</b>

### 5.8.4 Escenario propuesto 1. \$800 por hectárea.

La clase más alta es la mejor pagada, \$800 por ha., el doble que en la actualidad, las clases siguientes se pagan \$160 menos, de una a otra. Lo que se paga en total por la reserva es menos que el presupuesto que CONAFOR tiene destinado para la REC con la tarifa actual (Tabla 13 y Figura 18).

Tabla 13. Monto propuesto \$800 por hectárea.			
Categoría de bosque.	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	800	0
B	13.8125	640	8,840.00
C	908.4375	480	436,050.00
D	3402.5625	320	1,088,820.00
E	0.6875	160	110.00
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>1,533,820.00</b>

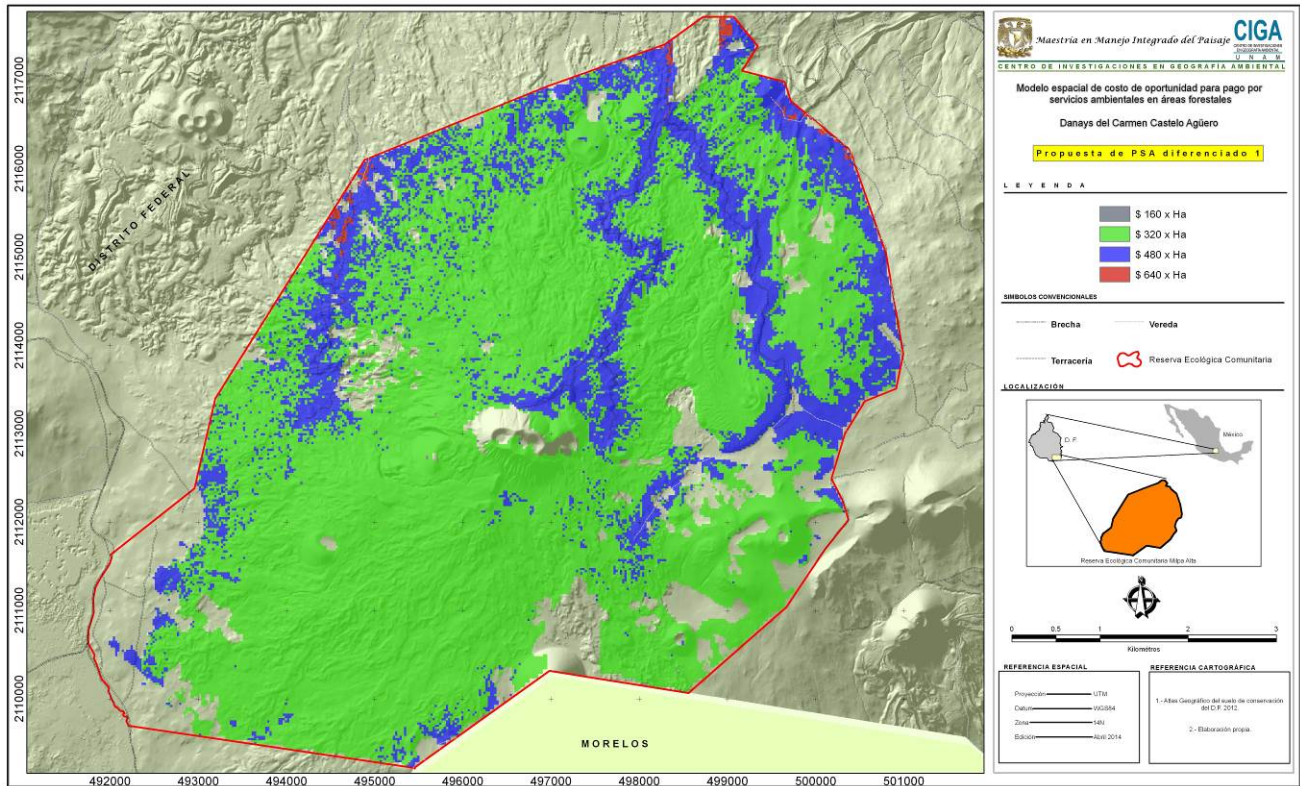


Figura 18. Escenario propuesto 1, monto por hectárea, \$800.

### 5.8.5 Escenario propuesto 2 \$900 por hectárea.

La clase óptima es pagada a \$900 por h y las clases menores van descendiendo en \$180. Se acerca mucho al pago total que CONAFOR hace con la tarifa vigente y las clases más importantes son mejor pagadas, lo que propicia que se conserven adecuadamente y que no se pierdan hectáreas de estas clases (Tabla 14 y Figura 19).

Tabla 14. Monto propuesto \$800 por hectárea.			
Categoría de bosque.	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	900	0
B	13.8125	720	9,945.00
C	908.4375	540	490,556.25
D	3402.5625	360	1,224,922.50
E	0.6875	180	123.75
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>1,725,547.50</b>

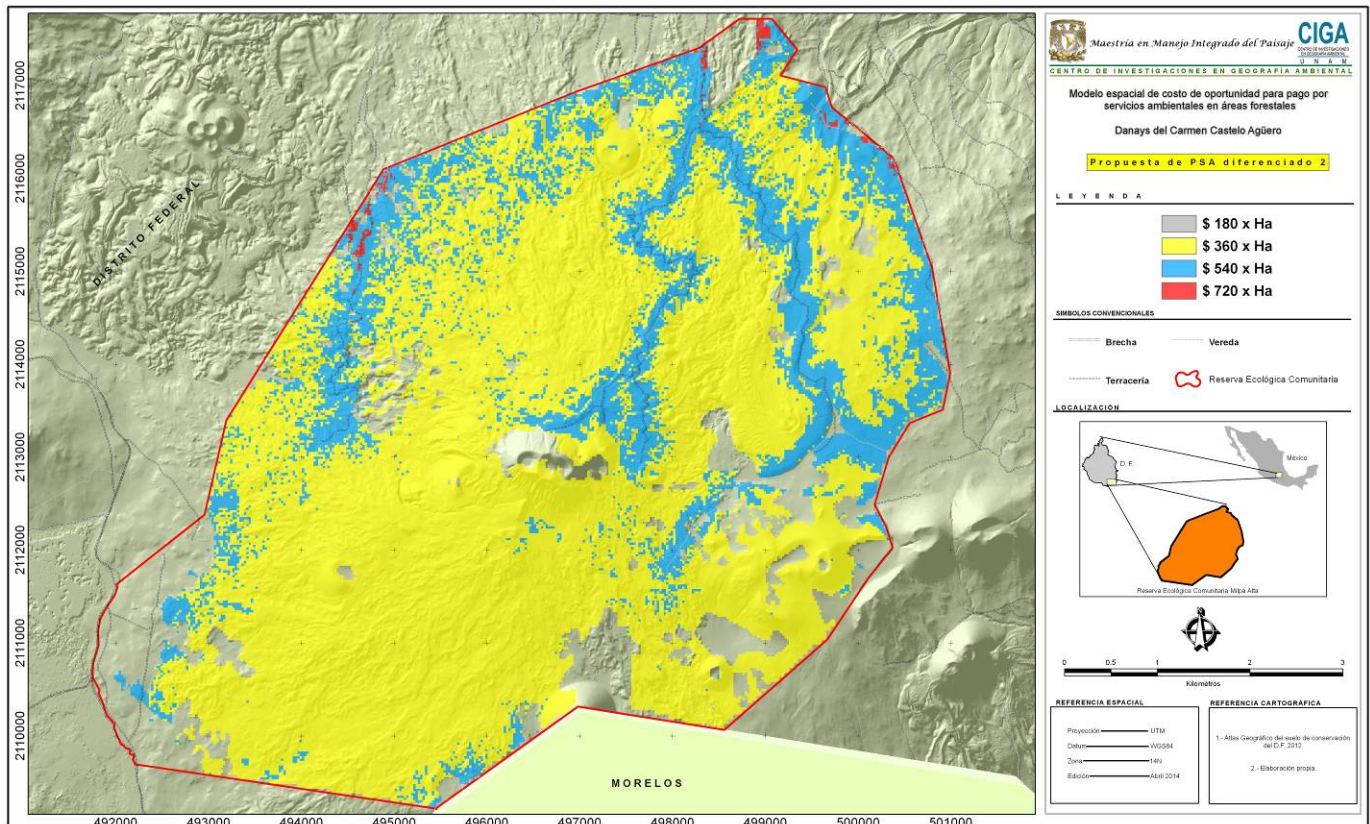


Figura 19. Escenario propuesto 2, monto por hectárea, \$900.

### 5.8.6 Escenario propuesto 3. \$1000 por hectárea.

Aunque se excedería el pago actual, sería muy bueno para lograr el objetivo de conservación debido a que las clases más importantes, se pagarían a un precio muy beneficioso para los dueños e incluso las clases más bajas en importancia se estarían pagando al precio actual (Tabla 15 y Figura 20).

Tabla 15. Monto propuesto \$1000 por hectárea.			
Categoría de bosque.	Hectáreas. (m2)	Costo unitario. (\$)	Costo total. (\$)
A	0	1000	0
B	13.8125	800	11,050.00
C	908.4375	600	545,062.50
D	3402.5625	400	1,361,025.00
E	0.6875	200	137.50
<b>Total.</b>	<b>4325.5</b>		<b>1,917,275.00</b>

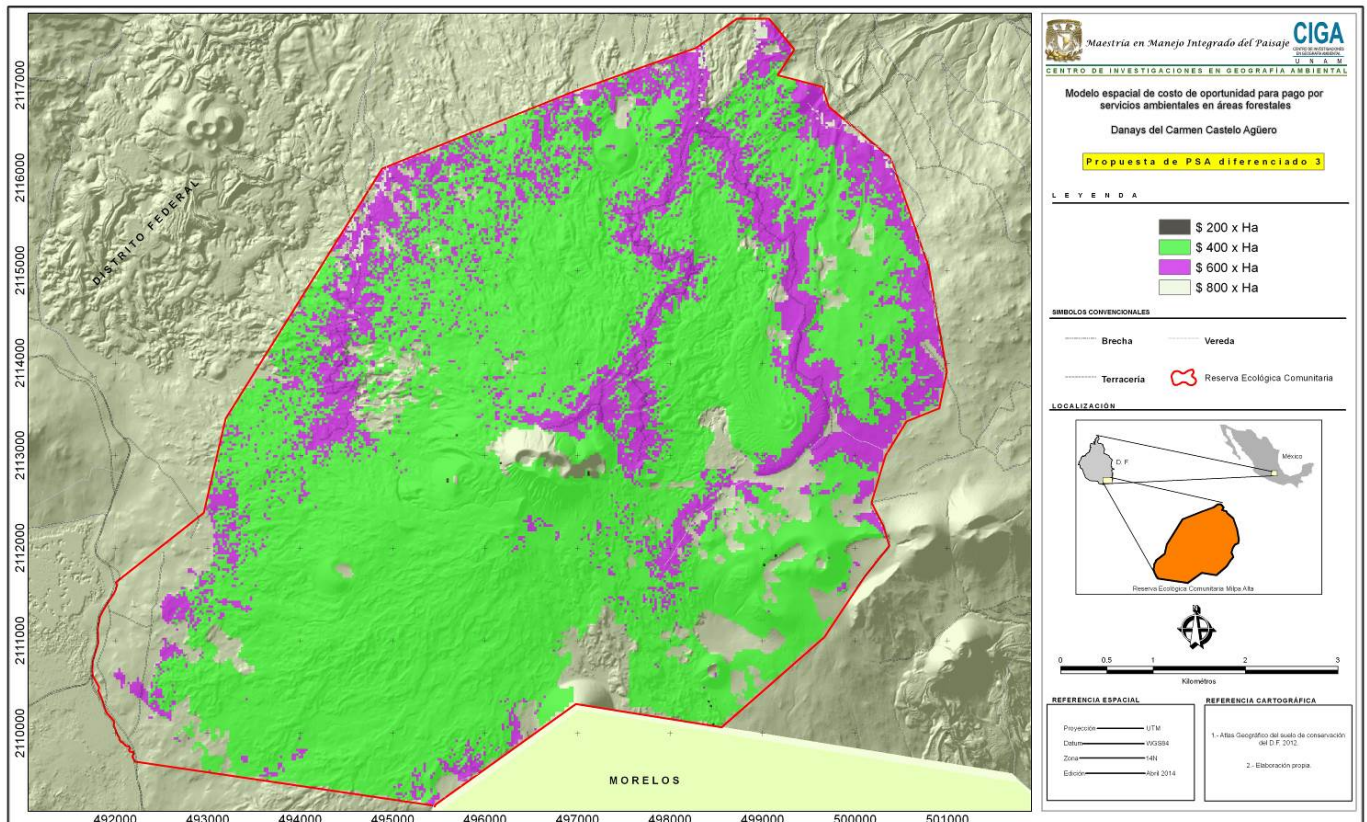


Figura 20. Escenario 3, monto por hectárea, \$1000.

### 5.8.7 Comparación entre el monto total para el PSA actual y los escenarios propuestos.

La comparación entre los diferentes escenarios resulta interesante, debido a que la diferencia entre los presupuestos totales, no resulta muy amplia, por lo que en un momento dado se pueden llegar a aplicar los montos establecidos en cada uno

de los escenarios con el fin de hacer más atractivos e incentivar los PSA a los propietarios de las tierras, para que adopten este tipo de programas (Tabla 16).

<b>Tabla 16. Comparación entre el monto actual y los escenarios propuestos.</b>			
<b>Pago actual REC (\$)</b>	<b>Escenario 1 (\$)</b>	<b>Escenario 2 (\$)</b>	<b>Escenario 3 (\$)</b>
<b>1,730,200.00</b>	1,533,820.00	1,725,547.00	1,917,275.00

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **6.1 Conclusiones.**

- EL modelo puede ser sensible a la cantidad de relaciones espaciales que se utilicen en el análisis, ya que una cantidad menor o mayor de estas puede dar como resultado una distribución espacial diferente de las áreas forestales que pueden tener una mejor atractibilidad para el pago por servicios ambientales.
  
- El cambio de la escala, la extensión del área de estudio, pueden hacer que los resultados obtenidos con el modelo resulten ser diferentes, aunque se cuidó de eliminar el efecto límite tomando para los análisis una zona ligeramente más extensa que la que se presenta en los mapas.
  
- La calidad de los datos también afecta los resultados obtenidos, es por eso que se recomienda trabajar siempre con datos de buena calidad, aunque esto también depende de la disponibilidad de los mismos. Por ejemplo la información de los caminos no es completa ni corresponde exactamente a las fechas empleadas en el análisis, especialmente para la fecha de 2008, por lo que esto también puede ser una fuente de error en los resultados.
  
- Mediante la implementación del modelo COSTOPFOR es posible espacializar con una buena aproximación las oportunidades locales de conversión.
  
- El parámetro que resultó con más peso en los análisis, fue la cercanía a caminos, lo cual se puede ver claramente en los mapas, donde las zonas que presentan mayor atractibilidad, son aquellas que se encuentran más cercanas a los caminos presentes en el área de estudio.
  
- Las oportunidades locales de conversión son la base de la estimación del costo de oportunidad, por tratarse de la rentabilidad alternativa.



- Los SA y las oportunidades locales de conversión son los aspectos que le dan valor al bosque y son necesarios de compensar económicamente de forma adecuada para poderlo conservar.

## **6.2 Recomendaciones.**

- Es necesario incorporar en el modelo valoraciones de tipo económico sobre las formas particulares de conversión en la región de estudio, por ejemplo para cultivos específicos bajo ciertas prácticas de manejo y producción.
- Sería necesario estimar los pesos de los parámetros mediante un análisis estadístico, tal y como lo manejan los modelos AGRILocal y DEFORELATIONS, y comparar los resultados con los expuestos en el presente trabajo.
- Si bien es cierto que el modelo COSTOPFOR se utilizó para calcular las oportunidades de conversión hacia la agricultura y la deforestación, sería conveniente determinar las oportunidades de conversión hacia otros usos del suelo, como por ejemplo, el uso pecuario o el urbano.
- En la medida de lo posible se recomienda que se empleen datos de los parámetros de fechas más cercanas o similares, excepto quizá aquellos cuya tasa de cambio sea mínima (e.g. pendiente del terreno).
- Dados los buenos resultados del modelo COSTOPFOR en este trabajo, se estima deseable su aplicación en regiones forestales donde se desee implementar el programa de Pagos por Servicios Ambientales, para poder aportar fundamentos con los cuales el pago de los mismos resulte más atractivo para los propietarios de las zonas forestales.

### 6.3 Bibliografía.

- Barzev, R. (2000): Estudio de valoración económica de la oferta y demanda hídrica del bosque en que nace la fuente del río Chiquito (finca El Cacao, Achuapa) e implementación de mecanismos de pagos por servicios hídricos. Documento preparado para PASOLAC. Nicaragua.
- Borrego, A., and Skutsch, M., 2014. Estimating the opportunity costs of activities that cause degradation in tropical dry forest: Implications for REDD+. *Ecological Economics*, 101 (1), 1 - 9.
- Brealey, R. y Myers, S. (1993): Fundamentos de financiación empresarial, 4ta ed. McGraw y Hill interamericana de España SA, Madrid. P 1204.
- Brundtland, H. (1987): Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- Campos-Palacín, P. y Caparrós–Gass, A. (2009): La integración del valor de cambio de los servicios ambientales en las cuentas verdes de las áreas naturales. *Economía y Medio Ambiente*. No. 847.
- Carabias, J., Meli, P. y Hernández, G., 2013. Evaluación de los impactos de proyectos de desarrollo sustentable sobre la reducción del cambio de uso de suelo en ejidos de Marqués de Comillas, Chiapas. UNAM.INE.
- Case, K. y Fair, R. (1997): PRINCIPIOS DE MICROECONOMIA. 4a. ed. México, Prentice Hall Hispanoamericana.
- CEP, Comisión Ejecutiva Provincial. (2002): Propuesta para la implementación del pago por servicio ambiental hídrico en la provincia de Tungurahua y su aplicación en una zona piloto. “Una alternativa para enfrentar al deterioro de los ecosistemas frágiles de nuestra provincia”. Ambato, Ecuador.
- CONAFOR (2006): Desarrollo Forestal Sustentable en México, Avances 2001-2006. CONAFOR, México.
- Chávez, A. y Roman, S. (2007): Propuesta para implementar mecanismos que generen el pago por servicios ambientales.

- CONAFOR-CONACYT (2012): Demandas específicas del sector. Convocatorias 2012-1.
- CONAFOR (2014): Reglas de operación del programa nacional forestal.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992) Río de Janeiro, Brasil.
- EEM: Evaluación de los Ecosistemas del milenio. (2005): Informe de síntesis, borrador final. Organización de las Naciones Unidas. Nueva York. P. 189.
- Estrada, R. D.; Quintero, M; Girón, E. & Pernet, X. (2004): Pago por servicios ambientales en la Laguna de Funeque. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecoregión Andina, CONDESAN.
- Ezcurra, E. (1995): El manejo de los recursos naturales, la conservación ecológica y el reto de la sustentabilidad. *BoletINE* (Nueva Época) 3:10–12.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2003): Foro Regional Sistema de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas. Arequipa, Perú.
- FAO. (2006). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. La erradicación del hambre en el mundo: evaluación de la situación diez años después de la cumbre mundial de la alimentación. Informe Departamento Económico y Social.
- FAO (2009): Prácticas sostenibles de gestión y aprovechamiento de los bosques.
- FRA 2001: On Definitions of Forest and Forest Change. Forest Resources Assessment. Working Paper 33. Rome. 13 p.
- Fuentes-Torrijo, X. (2003): Los resultados de la Cumbre de Johannesburgo. *Estudios Internacionales* # 14, enero-marzo.
- Fundación FORD & Fundación PRISMA. (2002): Proyecto “Pago por servicios ambientales en las Américas”: Informe sobre la propuesta de pago por servicios ambientales en México. Coordinación del Proyecto: Herman Rosa y Susan Kandel . Enero 2002. En: <http://www.prisma.org.sv>

- García, E. (2004): Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. 5ta ed. Instituto de Geografía UNAM. México, DF. 90 p
- GODF, (2005): Suelo de conservación del D. F. Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA).
- González, A. y Riascos, E. (2007): Panorama latinoamericano del pago por servicios ambientales. *Gestión y Ambiente*. No. 2. P. 129-144.
- Jordán, V. (2001). Las bases de las finanzas empresariales. Editorial Academia, La Habana. P.160.
- González-Ulloa, R. (2007): Pago de servicios ambientales: logros y fracasos de un mecanismo de mercado para detener la deforestación. El caso de Costa Rica. (1996-2000). *Diálogos Revista electrónica de Historia*. No.002.p 97-117.
- Herrador, D. & Dimas L. (2000): Aportes y limitaciones de la valoración económica en la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales. En: *Prisma* No 41. San Salvador. Pág. 1– 16. Documento elaborado para PRISMA, Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente.
- Hernández, R. (2009): Pago por Servicios Ambientales: Lecciones aprendidas de la experiencia del Banco Mundial, *Memorias de Conferencias*. EXPO-Forestal CONAFOR, México D.F.
- Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. (1972). Estocolmo, 5 a 16 de junio (publicación de las Naciones Unidas, No. de venta: S.73.II.A.14 y corrección), cap. 1.
- INEGI. (1990): Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica. 1ra reimpresión. Record Impresores SA. México, DF.
- Jujnovsky O. J. (2006): Servicios Ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias. UNAM. 118 pág.

- Kaimowitz, David y Arild Angelsen. (1998). *Economic Models of Tropical Deforestation. A review*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research CIFOR.
- Leguía-Aliaga, J.D., 2011. Deforestación en Bolivia: una aproximación espacial. LAJED No. 15, 7–44.
- Ley ambiental, (2002): Ley ambiental del Distrito Federal. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, I legislatura.
- Lugo, H. J., (1984): Geomorfología del sur de la cuenca de México. Serie Varia, Inst. de Geografía, UNAM, México.
- Martínez, M. y Kosoy, N. (2007): Compensaciones monetarias y conservación de bosques. Pagos por servicios ambientales y pobreza en una comunidad rural en Honduras. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. Vol. 6. P. 40-51.
- Meynard, C. N., A. Lara, M. Pino, M. Soto, D. Soto, L. Nahuelhual, D. Núñez, C. Echeverría, C. Jara, C. Oyarzún, M. Jiménez y F. Morey. (2007): Integrando ciencia, economía y sociedad: servicios ecosistémicos en la ecoregión de los bosques lluviosos valdivianos. *Gaceta Ecológica* 84-85: 29-38.
- Mooser, F., (1975): Historia geológica de la cuenca de México, in memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal: México, Departamento del Distrito Federal, 1, 7-38.
- Morales, L.M. (2013). The definition of a minimum set of spatial relationships. Tesis de Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Morales-Manilla, L.M.(2007). Using spatial relationships to estimate the availability of farmland according to local practices: The AGRILocal model. Agricultural System. Unpublished Paper.
- Moreno-Sánchez, R. P., 2012. Incentivos económicos para la conservación. Un marco conceptual. USAID, Lima.
- Muhammad, I.; Gobbi, J.; Casasola, F.; Chacón, M.; Ríos, N.; Tobar, D., Villanueva, C. y Sepúlveda, C. (2007): Enfoques alternativos de pagos

por servicios ambientales: experiencia del proyecto Silvopastoril. En: Platais, G. y Pagiola, S. (Eds.) Ecomercados: la experiencia de Costa Rica en el pago por servicios ambientales.

Naciones Unidas. (1992): Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). Río de Janeiro 3-14 de junio.

Naciones Unidas. (1997): Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

OIMT. 2002. OIMT- Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados. Serie OIMT de políticas forestales N° 13. Yokohama. [http://219.127.136.74/live/Live\\_Server/154/ps13s.pdf](http://219.127.136.74/live/Live_Server/154/ps13s.pdf)

OIMT 2005. Criterios e indicadores revisados por la OIMT para la ordenación sostenible de los bosques tropicales con inclusión de un formato de informes. ITTO Policy Development Series No 15. Yokohama. [http://219.127.136.74/live/Live\\_Server/963/ps15e.pdf](http://219.127.136.74/live/Live_Server/963/ps15e.pdf)

OIMT /UICN 2005. Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie técnica OIMT N° 23. Yokohama. [http://219.127.136.74/live/Live\\_Server/1064/ts23e.pdf](http://219.127.136.74/live/Live_Server/1064/ts23e.pdf)

Pagiola, S. y Platais, G. (2002): Pago por servicios ambientales. Environment Strategy Notes. No. 3.

Pagiola, S. (2006): Payments for environmental services: An Introduction. Environment Department, World Bank.

Pérez, A. L.; Rebolledo-Martínez, A., Villagómez-Cortéz, J. A. y Zetina-Lezama, L. (2009): Valoración del servicio ambiental hidrológico en el sector doméstico de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México. Estudios Sociales. No. 33. P. 226-257.

Perevochtchikova, M. y Vázquez-Beltrán, A. (2010): Programa de Pago por Servicios Hidrológicos en México y el Suelo de Conservación del Distrito

Federal.X Reunión Nacional de Investigación Demográfica en México. Escenarios Demográficos y Política de población en el siglo XXI.

Ramírez, G. (2006): Viabilidad económica de los pagos por servicios ambientales, caso del acueducto regional del Táchira, cuenca del río Pereño, estado Táchira, Venezuela. Tesis de maestría. Universidad de los Andes Mérida.

Ramírez-Sánchez, L., G. (2009). Evaluación de tierras para el cultivo del aguacate de acuerdo con el conocimiento local del paisaje en la región del Pico de Tancitaro, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.134 pp.

Rzedowski, J. (1978): Vegetación de México. Ed. Limusa. 432 p.

Rosa H., Herrador D. & González M. (1999): Valoración y pago por servicios ambientales: Las experiencias de Costa Rica y El Salvador. En: Prisma No 35. San Salvador. Pág. 1 – 20. En: <http://www.prisma.org.sv/pubs/prisma35.pdf>

Saaty, T.L., (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. J. Math. Psychol., 15: 234-281.

SMA. 2007. Plan de Trabajo de la Secretaría del Medio Ambiente para 2007.

Sanhueza, J.E., 2012. Análisis crítico de estudios sobre costos de oportunidad de actividades REDD+ en América Latina.

Vázquez-Medrano, G. (2010): Estudio de factibilidad para un mercado local de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca Valle de Bravo – Amanalco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Planeación Urbano y Regional. Universidad Autónoma del Estado de México.

Vega, E. y Vega, M. (2002). Determinación del costo de oportunidad y clasificación por clases de capacidad de uso (CCU). Instituto de políticas para la sostenibilidad, Heredia, Costa Rica.

Velázquez, A. y F. J. Romero, (1999): Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco-Corena. México, 389 pp.

- Vizcaino-Guerra, M., J. (2013): Comparación de los patrones de deforestación en dos regiones de Latinoamérica. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 97 pp.
- Wachholtz, R. (2006). Avance de la deforestación mecanizada en Bolivia: tasa anual de deforestación mecanizada en los años 2004 y 2005. Proyecto: Combate a la Deforestación ilegal e Incendios del bosque boliviano (CDI). USAID.TNC. BOLFOR II. CIM-GTZ. Santa Cruz, Bolivia.
- White, D. y P. Minang, (2011): Estimación de los Costos de Oportunidad de REDD+. Manual de capacitación., Versión 1.4. ed. Banco Mundial, Washington.
- Wieser, F. von. (1914): *Theorie der gesellschaftlichen Wirtschaft*. (English, 1927. *Social Economics*.)
- Zamora, J. C. (2003): Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis de ingeniería. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Michoacán. 59 pp.