

Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**IDENTIFICACIÓN GEOESPACIAL DE ZONAS ELEGIBLES PARA
EL ESQUEMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA
UMAFOR 1304 "REGION VALLE DEL MEZQUITAL-HIDALGO"**

TESIS DE MAESTRIA

PRESENTADA POR:

REYNOL GONZÁLEZ VIZCARRA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

Chapingo, México, Enero de 2013

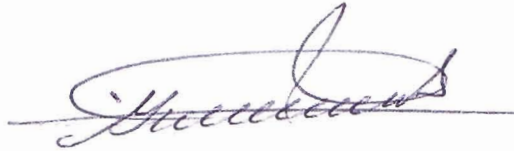


DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DIRETO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**IDENTIFICACIÓN GEOESPACIAL DE ZONAS ELEGIBLES PARA EL
ESQUEMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA UMAFOR
1304 “REGION VALLE DEL MEZQUITAL-HIDALGO”**

Tesis realizada por Reynol González Vizcarra bajo la dirección del comité asesor enlistado, aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECTOR: DR. GENARO AGUILAR SÁNCHEZ



ASESOR: DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES



ASESOR: M.C. ENRIQUE BUENDÍA RODRÍGUEZ

**IDENTIFICACIÓN GEOESPACIAL DE ZONAS ELEGIBLES PARA EL
ESQUEMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA UMAFOR
1304 “REGION VALLE DEL MEZQUITAL-HIDALGO”**

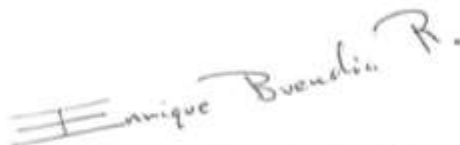
El jurado que revisó y aprobó la Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de Reynol González Vizcarra estuvo constituido por:



DIRECTOR: DR. GENARO AGUILAR SÁNCHEZ



ASESOR: DR. JOSÉ ARTEMIO CADENA MENESES



ASESOR: M.C. ENRIQUE BUENDÍA RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por los recursos económicos y humanos que me brindó para la elaboración del presente documento. **“Para este H. Consejo mil gracias”**

A la Universidad Autónoma Chapingo, de la cual agradezco mi formación profesional en mis primeros años, tanto más agradezco haberme recibido nuevamente ocho años después y brindarme las armas para continuar.

A mis asesores y colaboradores en la tesis por su valioso apoyo en la elaboración del presente documento.

A todos los investigadores, funcionarios y representantes de las diversas instituciones académicas, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en el estado de Hidalgo, por la información proporcionada y por la aportación de su vasto conocimiento para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Genaro Aguilar Sánchez por el valioso apoyo desde el principio de este trabajo, ya que sin su ayuda nunca hubiese sido posible la elaboración del mismo.

A mis buenos amigos Andrea, Edgar, Gabriel y Lilia, gracias por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS QUE SIEMPRE ME PONE NUEVOS RETOS

A mis padres, que gracias a ellos tengo esta vida física y los valores morales que me han mantenido siempre en el camino del bien.

A mi Hermosa esposa Analine, quien me ha apoyado en las buenas y malas decisiones, con ese amor incansable que en ella vive y de la cual saca siempre su más grande fortaleza. TE AMO 

A los dos amores que ocupan la otra mitad de mi corazón, Néstor y Sofía, quienes son el mayor aliciente en mi vida para pelear incansablemente por lo que quiero, ustedes son y serán para mí, el mejor y mayor logro que he tenido en esta vida.

DATOS BIOGRÁFICOS

Reynol González Vizcarra nació el 3 de enero del año 1982, en el municipio de Cd. Madero en el Estado de Tamaulipas, México. Los primeros años de su vida los vivió a lado de sus padres en varios lugares de la república mexicana, entre los que destacan los municipios de Ozuluama y Tampico Alto en el estado de Veracruz y Valle de Santiago en el estado de Guanajuato, en este último vivió parte de su adolescencia hasta llegar a los años de termino de sus estudios de secundaria. De agosto de 1997 y hasta julio de 2004 realizó sus estudios de preparatoria y licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), siendo ésta su alma mater y la única oportunidad de realizar estudios profesionales. Se recibió como Licenciado en Administración de Empresas Agropecuarias por la División de Ciencias Económico Administrativas (DICEA-UACH). Se ha desarrollado profesionalmente en temas de índole Agrícola y forestal, entre los que destacan, la evaluación de proyectos agrícolas, tecnologías de la comunicación, Sistemas de Información Geográfica. Trabajó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). A partir del año 2008 ha trabajado como profesionista independiente en distintas áreas del sector económico. En el segundo periodo del año 2010 correspondiente de agosto a diciembre ingresa a la División de Ciencias

Forestales de la UACH, iniciando así sus estudios de posgrado de nivel Maestría, en el programa de Ciencias Forestales ofrecido por dicha División.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
CONTENIDO	viii
FIGURAS.....	xi
CUADROS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xiv
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Legales.....	4
2.2 Metodológicos	4
3. MARCO CONCEPTUAL	7
3.1 La provisión de los servicios ecosistémicos y la estimación de valor 7	
3.1.1 Funciones de regulación	7
3.1.2 Funciones de hábitat.....	8
3.1.3 Funciones de producción	8
3.1.4 Funciones de información	8
3.2 Los esquemas de pago por Servicios Ambientales	9
3.3 El esquema de Pago por Servicios Ambientales en México.....	11
3.4 Alcances del PSA en México.....	13
3.5 Definición de Biodiversidad	15
3.6 Biodiversidad desde el punto de vista de la conservación.	17
3.7 Áreas Prioritarias para la conservación de la Biodiversidad	17
3.8 Métodos para mapear clases terrestres discretas como sustitutos de la distribución de la biodiversidad.....	18
3.8.1 Mapeo de la heterogeneidad de hábitats	18
3.8.2 Aislamiento, tamaño y forma de los parches.....	19
3.8.3 Heterogeneidad escénica	19

3.8.4 Complejidad del terreno	19
3.9 Amenazas de perder los Servicios Ecosistémicos	19
3.9.1 Deforestación	20
3.9.2 Contaminación del medio natural	22
3.10 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en las Ciencias Ambientales	23
3.10.1 Los SIG como herramientas para la toma de decisiones	25
3.11 Análisis de Decisión Multicriterio	26
3.12 Construcción del Análisis de Decisión Multicriterio Espacial	27
4. REGION DE ESTUDIO	29
4.1 Aspectos Físicos	30
4.1.1 Clima	30
4.1.2 Geología y geomorfología	31
4.1.3 Suelos	31
4.1.4 Hidrología	31
4.2 Aspectos biológicos	31
4.2.1 Flora	31
4.2.1.1 Bosque espinoso	32
4.2.1.2 Bosque Mesófilo de Montaña	32
4.2.1.3 Bosque de Pino	33
4.2.1.4 Bosque de Abies	33
4.2.1.5 Bosque de Táscate	34
4.2.1.6 Bosque de <i>Quercus</i> (<i>Encino</i>)	34
4.2.1.7 Matorral Xerófilo	35
4.2.1.8 Pastizal	37
4.2.1.9 Vegetación acuática y subacuática	38
4.2.2 Fauna	38
4.2.2.1 Herpetofauna	38
4.2.2.2 Avifauna	41
5. MATERIALES Y METODOS	46
5.1 Materiales	46

5.1.1 Imágenes de satélite	46
5.1.2 Información Cartográfica	47
5.1.3 Datos alfanuméricos.....	47
5.2 Enfoques y Desarrollo	48
5.2.1 Enfoques	48
5.2.2 Desarrollo	50
6. RESULTADOS	51
6.1.1 Delimitación de la zona de estudio.....	51
6.1.1.1 Unidades o Sistemas terrestres provisionales	51
6.2 Asignación de valores a criterios e indicadores.....	69
6.3 Determinación de áreas por la provisión de Servicios Ambientales derivados de la conservación de la Biodiversidad	72
6.4 Criterios e indicadores para priorizar áreas para el PSA por conservación de la biodiversidad	74
6.4.1 Importancia para la conservación de ecosistemas en la Región 75	
6.4.1.1 Valor de los ecosistemas por su riqueza y endemismo de especies.....	76
6.4.1.2 Superficie pérdida a nivel regional.	78
6.4.1.3 Superficie perdida a nivel nacional	79
6.4.1.4 Representación de los ecosistemas dentro del sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y su estado de conservación actual. ..	80
6.4.2 Distribución de especies indicadoras dentro de los ecosistemas de la UMAFOR 1304.	83
6.4.2.1 Aves.....	83
6.4.2.2 Anfibios y reptiles.....	95
6.4.3 Calidad del paisaje	97
6.4.3.1 Fragmentación	97
6.4.3.2 Densidad de caminos y carreteras.....	99
6.4.3.3 Complejidad del terreno	102
6.4.4 Áreas prioritarias y de protección	104
6.4.4.1 Áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS)	105

6.4.4.2 Regiones terrestres prioritarias	106
6.4.4.3 Regiones Hidrológicas Prioritarias	108
6.5 Criterios e indicadores para priorizar áreas por el riesgo o amenaza de perder los Servicios Ambientales.....	109
6.5.1 Tenencia de la tierra.....	110
6.5.2 Distancia a poblados	112
6.5.2.1 Bosques cercanos a poblados	112
6.5.2.2 Densidad de población	113
6.5.3 Pendiente	115
6.5.4 Distancia a caminos y carreteras	117
6.5.5 Probabilidad de cambio de uso de suelo.....	118
6.5.5.1 Índice de Riesgo de Deforestación	118
6.5.5.2 Cambio de uso de suelo	119
7. CONCLUSIONES	121
8. BIBLIOGRAFIA.....	125

FIGURAS

Figura 1. Polígonos que corresponden al pago por servicios ambientales en el estado de Hidalgo	6
Figura 2. Zonas elegibles de Servicios Ambientales a nivel Nacional. Áreas de pago Diferenciadas para el año 2012. Fuente CONAFOR 2012.	14
Figura 3. Ubicación geográfica de UMAFOR 1304.....	30
Figura 4.- esquema de los procesos realizados para la caracterización del área	51
Figura 5. Mosaico de imágenes de cobertura de la UMAFOR 1304.....	53
Figura 6. Recorte del mosaico de imágenes para la delimitación de la UMAFOR 1304	54
Figura 7. Unidades Terrestres delimitadas	55
Figura 8. Unidades terrestres delimitadas de acuerdo a su importancia en extensión territorial	58
Figura 9. Facetas terrestres encontradas en la UMAFOR 1304	69
Figura 10. Estructura de la jerarquía para la priorización de zonas elegibles para el PSA.....	71
Figura 11 Estructura para la Jerarquía de priorización de las áreas para el	

PSA derivados de la conservación de la Biodiversidad	73
Figura 12. Esquema jerárquico de los criterios e indicadores a utilizar para priorizar áreas para el PSA, por la conservación de la biodiversidad.	74
Figura 13. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación.....	76
Figura 14. Valor de los ecosistemas de acuerdo a su número de especies y endemismos	78
Figura 15. Mapa de valor de los ecosistemas de acuerdo a la superficie perdida a nivel regional.....	79
Figura 16. Valor de los ecosistemas por su pérdida de superficie a nivel nacional.	80
Figura 17. Mapa de valor de los ecosistemas de acuerdo a su superficie y su representación en el SINAP	82
Figura 18. Mapa final de resultados de los Ecosistemas de Importancia para la Conservación.....	83
Figura 19. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la UMAFOR 1304	87
Figura 20. Grandes grupos de vegetación para la distribución de las aves..	92
Figura 21. Frecuencia de especies por tipo de vegetación.....	93
Figura 22. Mapa de frecuencia de anfibios y reptiles en la NOM 059.....	97
Figura 23. Mapa de Fragmentación del paisaje de acuerdo al número de parches.....	99
Figura 24. Densidad de caminos y carreteras	101
Figura 25. Calidad del Paisaje.....	102
Figura 26. Modelo de Elevación Digital de la UMAFOR 1304	103
Figura 27. Mapa de complejidad del terreno	104
Figura 28. Mapa de AICAS.....	106
Figura 29. Mapa de Regiones Terrestres Prioritarias	107
Figura 30. Mapa de regiones hidrológicas Prioritarias.....	109
Figura 31. Esquema jerárquico para priorizar las áreas para el Pagos por servicios ambientales por el riesgo o amenaza de perder los Servicios Ecosistémicos con pesos asignados por Expertos en los temas.....	110
Figura 32. Mapa de tipo de tenencia de la tierra	112
Figura 33. Mapa de riesgo de deforestación por cercanía a poblados	113
Figura 34. Mapa de riesgo de deforestación por densidad de población....	114
Figura 35. Mapa de riesgo de deforestación por distancia a poblados.....	115
Figura 36. Mapa de riesgo de deforestación por pendiente.....	116
Figura 37. Mapa de riesgo de deforestación por distancia a caminos y carreteras	117
Figura 38. Mapa de riesgo de deforestación por IRDEF.....	119
Figura 39. Mapa de riesgo de deforestación por la probabilidad de cambio de uso de suelo	121
Figura 40. Mapa correspondiente a los polígonos elegibles para el PSA en la	

UMAFOR 1304	124
-------------------	-----

CUADROS

Cuadro 1 . Relación de servicios ambientales de la UMAFOR 1304.....	7
Cuadro 2. Relación de imágenes utilizadas en el proceso	46
Cuadro 3. Relación de capas de vectores utilizadas en el proceso.....	47
Cuadro 4. Descripción de las unidades terrestres	56
Cuadro 5. Facetas terrestres en la UMAFOR 1304	60
Cuadro 6. Uso de Suelo y Vegetación UMAFOR 1304	75
Cuadro 7. Valor de asignación de acuerdo al número de endemismos y riqueza de especies.....	77
Cuadro 8. Superficie perdida a nivel regional	79
Cuadro 9. Superficie perdida a nivel Nacional.....	80
Cuadro 10. Valor de los ecosistemas de acuerdo a su superficie y representación dentro del SINAP	81
Cuadro 11. Uso de suelo y vegetación en la UMAFOR 1304.....	85
Cuadro 12. Agrupación de los tipos de cobertura vegetal necesarios	88
Cuadro 13. Relación de especies de aves encontradas para la región de estudio	89
Cuadro 14. Valor de las especies de aves de acuerdo a la frecuencia de aparición y estatus en la NOM 059 2010.....	91
Cuadro 15. Especies de aves organizadas por el tipo de vegetación en el que se desarrollan	94
Cuadro 16. Valor de las especies por su condición de rareza.....	95
Cuadro 17. Fragmentación del paisaje de acuerdo al número de parches por tipo de vegetación.....	98
Cuadro 18. Fragmentación del paisaje de acuerdo a la distancia de caminos y carreteras.....	100
Cuadro 19. Superficie de Protección de Aves	105
Cuadro 20. Valor a las regiones terrestres prioritarias.....	107
Cuadro 21. Regiones Hidrológicas prioritarias	108
Cuadro 22. Tipo de tenencia de la tierra.....	111
Cuadro 23. Densidad de población, hab. x km ²	114
Cuadro 24. Valor de acuerdo a las pendientes.....	116
Cuadro 25. Valor de acuerdo al Índice de riesgo de deforestación	118
Cuadro 26. Valor por tipo de cambio de uso de suelo	119

IDENTIFICACIÓN GEOESPACIAL DE ZONAS ELEGIBLES PARA EL ESQUEMA DE PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA UMAFOR 1304 "REGION VALLE DEL MEZQUITAL-HIDALGO"

GEOESPACIAL IDENTIFICATION OF ELIGIBLE AREAS FOR THE PAYMENT ENVIRONMENTAL SERVICES SCHEME IN "UMAFOR 1304 "REGION VALLE DEL MEZQUITAL-HIDALGO"

Reynol González-Vizcarra¹, Genaro Aguilar-Sánchez²

RESUMEN

El presente documento es presentado como una propuesta para realizar una identificación geoespacial de zonas elegibles para incluirse en el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), liderado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El estudio se llevó a cabo en la región conocida como "Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, México. Dicha región presenta características fisiográficas y climáticas correspondientes a las zonas áridas. El objetivo de este trabajo, fue identificar a una escala de ámbito regional las zonas de mayor importancia desde el punto de vista de la oferta, la demanda y el riesgo de perder los servicios ecosistémicos que proporciona la fauna representativa de esta región, en especial de especies faunísticas como son: aves, reptiles y anfibios. La propuesta se basa en dos enfoques combinados: el primero es la identificación de unidades ambientales a través de la zonificación homogénea, el segundo se refiere a la priorización geoespacial de superficies, lo cual se llevó a cabo, utilizando software relacionado con el manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el cual se incluyen métodos para el Análisis de Decisión Multicriterio Espacial (MCDA), con el uso de estos últimos se pueden combinar una serie de criterios e indicadores, los cuales se procesan y dan como resultado mapas que representan espacialmente cada uno de ellos. El presente documento toma como base, el mapa de Uso de Suelo y Vegetación derivado del Inventario Estatal Forestal del Estado de Hidalgo y los servicios ambientales considerados dentro del esquema actual de PSA de la CONAFOR. El resultado propone una superficie de 911 ha de alta prioridad por la oferta y el riesgo de perder los SE derivados de la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Servicios Ambientales, servicios ecosistémicos, Sistemas de Información Geográfica, Análisis de Decisión Multicriterio

SUMMARY

This paper is presented as a proposal for a geospatial identification of eligible areas for inclusion in the Payment for Environmental Services scheme leader by, the "Comision Nacional Forestal" (CONAFOR). The study was developed in the region known as "Valle del Mezquital, in Hidalgo State, in Mexico. This region presents arid characteristics. The aim of this study was to identify a regional scale, areas of high importance from The point of view supply, demand and risk to lose the ecosystem services, that provides representative fauna of this area, especially species such as birds, reptiles and amphibians. The proposal was based on two combined approaches: the first one is the environmental identification units of through homogeneous areas, the second refers to the geospatial surfaces prioritization, which was carried out, using software related to the management of Geographic Information System (GIS) which includes methods for Multicriteria Decision Spatial Analysis (MCDA), with the use of these it can be combine a criteria and indicators, which are processed and as a result there are maps depicting spatially each. This document used the Land Use and Vegetation map, derivate from The Forest State Inventory of Hidalgo State and the environmental services considered in the current scheme of CONAFOR . The result suggests an 911 hectares of high priority for the offer and risk to lose the Ecosystemic Service derivated from the biodiversity conservation.

Key Words: Environmental Services, Ecosystemic Services, Geographic Information System, Multicriteria Analysis Decision

¹ Tesista

² Director

1. INTRODUCCION

La relación que existe entre los bosques, la sociedad y la provisión ecosistémica que éstos proporcionan han pasado por varias modificaciones a lo largo del tiempo. Se habla también, de la incorporación de los nuevos conceptos de valorar a los bosques y por supuesto el amplio interés que se ha venido dando desde el punto de vista de las ciencias forestales y hacia otros agentes sociales y otras disciplinas del conocimiento. Lo anterior ha dado la pauta para brindar alternativas de interés y nuevos conocimientos en el campo de la ciencia y la tecnología, aplicadas por las ciencias forestales.

Actualmente se han intentado generar mecanismos que tiene como propósito captar parte de este valor como estrategia para conservar y manejar los bosques de un modo sustentable.

Se estima que más del 30 % de la superficie del planeta está cubierta por bosque (FAO, 2007), aunado a esto se agrega el alto valor de importancia para la vida en todo el globo, sin duda existe un alto valor asociado a la conservación de la mega diversidad florística y faunística que estos albergan, más estrechamente a los bosques de las regiones tropicales de cada continente. Por otro lado se ha estimado que los ecosistemas forestales albergan más del 70 % de las especies a nivel mundial (Groombridge, 1992; Heywood y Watson, 1995). Derivado de lo anterior, es imposible prescindir de la cubierta forestal que los bosques nos proporcionan, dado que son el motor de vida de los seres humanos. Sin embargo no solo los ecosistemas forestales son los únicos que existen en nuestro planeta, las regiones áridas y semiáridas

albergan una proporción menor, pero no menos importante de las especies animales y vegetales del mundo.

En nuestro país los servicios ambientales han recibido cada vez mayor atención, tal es el caso de los esquemas de pago para la protección de los mismos. Derivado de esto, desde el año 2003, se implementó el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) el cual funciona dentro de un esquema a nivel nacional que brinda el financiamiento para dicho propósito. Para el caso de México el órgano de gobierno encargado de llevar a cabo la dirección y ejecución de éste, es la Comisión Nacional Forestal (Diario Oficial de la Federación, 2009).

El objetivo principal de los esquemas de pago, es que los beneficiarios directos o indirectos de los SA paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios proveedores de SA locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación, protección y restauración de ecosistemas y los SA que estos generan (Wunder, 2006). Sin embargo los criterios metodológicos que rigen la selección de los ecosistemas o regiones que son propensas a entrar en dichos esquemas de pago son iguales para todo el territorio (Ayala *et al.*, 2011), sin dar consecuencia de que en muchos de los casos la gran variación climática que existe define regiones que son visual y topográficamente diferentes, tal es el caso de las zonas áridas y semiáridas, que están muy por debajo de los criterios de selección definidos por las reglas de operación que para este fin promueve la CONAFOR, entre lo que destaca que serán zonas elegibles aquellas superficies propuestas que su cubierta forestal sea mayor al 50 % (CONAFOR, 2012).

En este sentido se debe comprender que las nuevas propuestas metodológicas que solo atañen a las zonas áridas, son para que la identificación de zonas elegibles sean exclusivas de estas características climáticas y su definición y delimitación territorial abarquen la diversidad de flora y fauna que en ellas se encuentran. De este modo, se debe hacer énfasis en que la correcta evaluación de los servicios ecosistémicos debe producir mejores resultados en la identificación de los sitios donde estos son producidos, cuantificar el existe cambio de uso del suelo y su probable impacto en la provisión de los servicios; así valorar los beneficios derivados de estos servicios a las poblaciones humanas cercanas y distantes (Naidu *et al.* 2008).

En el presente caso el uso de metodologías combinadas derivadas de la observación simple y la ayuda de los sistemas de información geográfica ayudan a definir mejor las áreas importantes de las regiones áridas.

1.1. Objetivo general

- ❖ Delimitar geoespacialmente las zonas elegibles con mayor potencial para la conservación de los servicios ecosistémicos, provistos por conservar la biodiversidad faunística, aves, reptiles y anfibios aplicando una metodología Multicriterio que permita priorizar a escala regional, las áreas a incluirse en el esquema de pago por servicios ambientales, con base en la oferta, demanda y riesgo de perder dichos servicios.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar la identificación geoespacial de los servicios ecosistémicos derivados de la conservación de la Biodiversidad de aves reptiles y anfibios en la UMAFOR 1304 “Región Valle del Mezquital-Hidalgo”

- Identificar geoespacialmente la demanda potencial de la provisión de dichos servicios.
- Identificar geoespacialmente el riesgo de perder dichos servicios.
- Identificar y proponer en base a criterios e indicadores las zonas elegidas para la conservación dentro del actual esquema de pago por servicios ambientales en la UMAFOR 1304.

2. ANTECEDENTES

2.1 Legales

El 18 de junio de 2004 se publicó en el Diario Oficial de la Federación un Acuerdo modificadorio al Artículo 15 de las Reglas de Operación, en donde se especifica que será facultad de la CONAFOR identificar las zonas de elegibilidad para la aplicación de los apoyos, en base a criterios técnicos (CONAFOR, 2012). Esto deriva en que la CONAFOR será el órgano facultado para elaborar las reglas de operación y los criterios técnicos correspondientes que permitan el buen funcionamiento y aplicación de este esquema de pagos.

2.2 Metodológicos

Las zonas áridas y semiáridas de México por su formación natural y características físicas no pueden en su mayoría acceder al pago por servicios ambientales explícitamente al concepto B2.2 el cual indica las áreas de elegibilidad de protección a la Biodiversidad (CONAFOR, 2012), la principal razón es la limitación que existe dentro de los criterios técnicos metodológicos

publicados por la dependencia en el Anexo 1 el cual corresponde a la descripción técnica de la clasificación de las Zonas Elegibles en áreas de pago diferenciado, para el Concepto de Apoyo B2 en el cual se expresa que en “la determinación de las zonas elegibles se utilizan los criterios en las Reglas de Operación, como elemento normativo indispensable, entre los que destaca que el pago se otorgará para las superficies con bosques o selvas, que dentro de cada área propuesta tengan una cobertura forestal arbórea mayor del 50 por ciento” (CONAFOR, 2012). En el arduo trabajo de buscar alternativas que permitan la inclusión a las zonas áridas, y de ayudar a los tomadores de decisiones tanto del sector público como privado se propone la aplicación de una metodología de evaluación para definir y delimitar geoespacialmente y a escala regional aquellas zonas con potencial para la provisión, demanda y riesgo de perder los SA derivados de la protección de especies faunísticas como: aves, reptiles y anfibios. En el mapa de la Figura 1, se observan las zonas elegibles para el pago por servicios ambientales propuestos por la CONAFOR para el estado de Hidalgo e implícitamente las zonas elegibles para la zona de estudio, Unidad de Manejo Forestal 1304 (UMAFOR 1304).

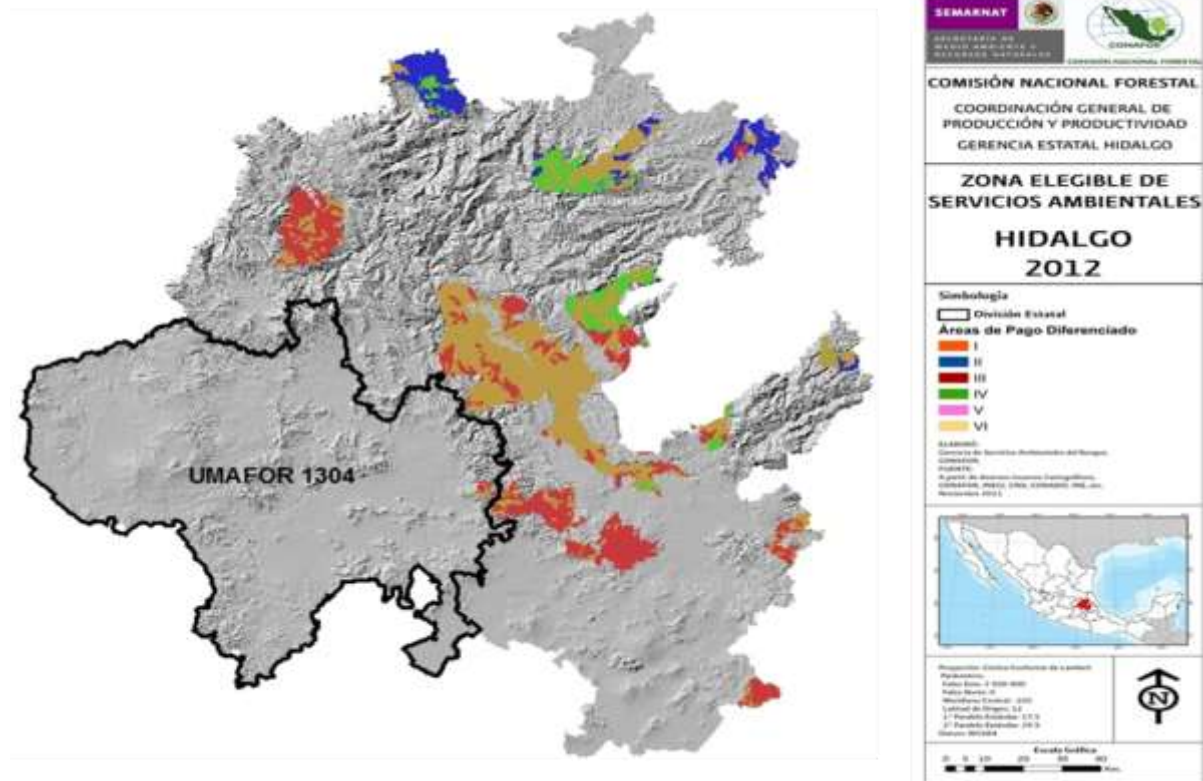


Figura 1. Polígonos que corresponden al pago por servicios ambientales en el estado de Hidalgo

Fuente: CONAFOR, 2012

De acuerdo a información del Estudio Regional Forestal (ERF 1304) de la Unidad de Manejo Forestal de la Región del Valle del Mezquital elaborado en el 2010, se reporta que en la unidad de manejo existen solo seis proyectos que corresponden a servicios de ecoturismo, dejando de lado servicios ambientales Hidrológicos y de captura de carbono. Lo anterior se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1 . Relación de servicios ambientales de la UMAFOR 1304

Concepto	Captura de CO ₂	Captura de H ₂ O	Ecoturismo	Protección de biodiversidad	Total
Valor total estimado actual	63,971,282.70	631,200.00	0	0.00	64,602,482.70
No. de proyectos actuales	0	0	6	0	6.00
Pago anual de proyectos actuales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Proyectos potenciales (ha)	82,014.47	1,578.00	52	0.00	83,644.47

Fuente: ERF 1304.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 La provisión de los servicios ecosistémicos y la estimación de valor

Los servicios ecosistémicos son los que integran beneficios, tangibles e intangibles, que proporciona el medio natural para que sean aprovechados por el ser humano y de acuerdo a ciertos criterios, pueden ser valorados en términos económicos a fin de equiparlos con actividades económicas que implican cambios en los usos de suelo y de esta manera contar con argumentos adicionales para su conservación y manejo (Camacho, 2011). Se puede definir y clasificar a los servicios ecosistémicos de acuerdo a su importancia y valor de provisión, (Constanza, *et al.*, 1997), citado por Camacho, 2011. Entre las funciones importantes destacan:

3.1.1 Funciones de regulación

Son los que están relacionados con la capacidad de regular procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biológicos.

3.1.2 Funciones de hábitat

De forma natural los ecosistemas proporcionan hábitat de refugio y reproducción para flora y fauna contribuyendo a la conservación biológica y diversidad genética. Estas funciones proporcionan servicios como mantenimiento de la diversidad biológica y genética, y de especies comercialmente aprovechables.

3.1.3 Funciones de producción

Son los que intervienen en los procesos fotosintéticos y autótrofos en general, a partir de los cuales los organismos autoabastecen sus requerimientos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos y que también son sustento de consumidores de distinto orden, para generar una mayor variedad de biomasa. Esta variedad de estructuras proporcionan una variedad de bienes y servicios para consumo humano, que van desde alimento y materia prima hasta recursos energéticos y medicinales.

3.1.4 Funciones de información

Los ecosistemas proporcionan funciones de referencia y contribuyen al mantenimiento de la salud humana, proporcionando oportunidades de enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación y experiencias estéticas (paisaje).

Desde hace mucho tiempo, los ecologistas siempre han sabido que la naturaleza provee los servicios que mantienen la vida en la tierra en virtualmente cualquier escala, que muchos servicios no tienen un precio en el mercado y que muchos de estos servicios son irremplazables por la tecnología (Constanza *et al.* 1997. Citado por González, 2011). Por lo tanto un servicio

ambiental es utilizado para entender que la estructura y función de la naturaleza tiene un valor si las funciones de los ecosistemas pueden redefinirse como los servicios y bienes ambientales¹¹ cuando se considera el valor que tienen para los seres humanos (Limburg *et al.* 2002, de Groot 2006. Citado por González, 2011).

Por otro lado es bien sabido que las relaciones que existen entre las políticas ambientales y la obtención de satisfactores no es completamente compatible, deriva en que la relación entre el manejo de la tierra y los servicios ambientales no es completamente conocida y muy poco estudiada (Campos, 2005). En este sentido tratar de dar valor a los servicios ambientales es un problema grave dado que no son procesos definidos con principio y fin establecidos, sin embargo es necesario tratar de hacerlo para poder determinar los esquemas de PSA.

En el intento por valorar los servicios ambientales, el desarrollo de las políticas solo consideran valores mixtos (Faber, 2005), sin considerar las externalidades que se generan en la obtención y aprovechamiento de los satisfactores que estos proporcionan.

3.2 Los esquemas de pago por Servicios Ambientales

De acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, los servicios ambientales están definidos como los que brindan los ecosistemas forestales de manera natural o por medio del manejo sustentable de los recursos forestales, tales como: la provisión del agua en calidad y cantidad; la captura de carbono, de contaminantes y componentes naturales; la generación de oxígeno; el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales; la

modulación o regulación climática; la protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y formas de vida; la protección y recuperación de suelos; el paisaje y la recreación, entre otros (DOF, 2011).

En este sentido el pago por servicios ambientales (PSA) es una clase de instrumento económico diseñado para dar incentivos a los usuarios del suelo, de manera que continúen ofreciendo un servicio ambiental (ecológico) que beneficia a la sociedad como un todo. En algunos casos, con el pago se busca que los usuarios del suelo adopten prácticas de uso que garanticen la provisión de un servicio en particular, por ejemplo., plantar árboles con fines de secuestro de carbono, entre otros (CIFOR, 2006).

Otra definición de esquema de pago por servicios ambientales es que se trata de un mecanismo flexible y adaptable a diferentes condiciones, que apunta a un pago o compensación directa por el mantenimiento o provisión de un servicio ambiental por parte de los usuarios del servicio del cual se destina a los proveedores (Pagiola *et al.* 2006. Citado por González, 2011).

Si bien es cierto que los esquemas de pago por servicios ambientales están tomando un lugar importantes en las políticas públicas orientadas a la protección de recursos naturales, es importante mencionar que la definición de las mismas toma en cuenta criterios que son por demás verticales y generalizan la aplicación de los recursos. En este mismo sentido la definición de las políticas toma un sentido estructural un tanto complicado, ya que existen sectores de la sociedad que ven un tanto irreverente poner un precio a los componentes de la naturaleza, ya que esto ha provocado serios problemas de

carácter técnico y hasta cierto punto ha levantado críticas que son de origen cultural (Pagiola, 2006).

De esta manera, en el diseño de la estrategia de política pública para proteger los servicios ambientales, encontramos tres opciones básicas (Pagiola *et al.* 2006. Citado por González, 2011):

- 1) Apoyar el surgimiento de mercados privados, un ejemplo de este enfoque es el ecoturismo, el café de sombra certificado, proyectos de bonos de captura de carbono, los contratos de servidumbres ecológicas, comprar los derechos a cambiar la vegetación natural, etc.
- 2) Recibir transferencias de los beneficiarios globales, por ejemplo los apoyos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés).
- 3) Actuar como intermediarios, cobrando a los beneficiarios locales y pagando a los propietarios de los bosques.

3.3 El esquema de Pago por Servicios Ambientales en México

El esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en México, ha sido un esfuerzo llevado a cabo por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y diversos Socios importantes como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Este programa, tiene como finalidad impulsar el reconocimiento del valor de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas forestales, agroforestales y recursos naturales, además de apoyar la creación de mercados de estos servicios. Estos programas apoyan a comunidades, ejidos, Asociaciones Regionales de Silvicultores y a propietarios de terrenos forestales. El Programa y las reglas de operación de ProÁrbol han

pasado por una serie de modificaciones y actualmente los conceptos de apoyo se agrupan en cinco categorías siendo (CONAMP, 2010):

- ✓ Hidrológicos
- ✓ Biodiversidad
- ✓ Sistemas agroforestales
- ✓ Captura de carbono
- ✓ Elaboración de proyectos.

En el año 2003 la CONAFOR creó el Programa de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y un año después, en 2004 se creó el Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) (Diario Oficial de la Federación 2009). Aunque a partir del año 2010, la CONAFOR retiró la modalidad de Pago por servicios ambientales por Captura de Carbono, quedando únicamente las modalidades para: 1) Servicios ambientales hidrológicos y 2) Derivados de la Biodiversidad (incluyendo el establecimiento y mejoramiento de Sistemas Agroforestales) (Diario Oficial de la Federación 2009, Orta-Salazar 2010. Citado por González, 2011).

El esquema de PSA mexicano, lo que trata es obtener el máximo beneficio ambiental en la selección de predios a través de una serie de criterios (Pagiola *et al.* 2006). Entre los criterios que tiene CONAFOR para seleccionar los predios (terrenos) beneficiados para PSA en ambas modalidades (Hidrológicos y Biodiversidad) se encuentran (Diario Oficial de la Federación 2009):

- ✓ Estar dentro de un Área Natural Protegida.

- ✓ Estar dentro de las 60 montañas prioritarias para CONAFOR.
- ✓ Estar dentro de la microcuenca donde haya una zona elegible para PSA.
- ✓ Estar conformado por un comité de vigilancia acreditado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).
- ✓ Si el predio se une con otros predios para formar corredores biológicos.
- ✓ Si demuestra que un usuario de los servicios ambientales pagará por estos.
- ✓ Si tiene un predio con Ordenamiento Territorial Aprobado.
- ✓ Si se encuentra en una zona con riesgo de deforestación.
- ✓ Si contiene alta densidad de biomasa.

Además de otros criterios más específicos para cada modalidad, los cuales se pueden consultar directamente en las Reglas de Operación de ProÁrbol, publicadas en el Diario Oficial de la Federación cada año de operación de dicho programa.

3.4 Alcances del PSA en México

Según cifras derivadas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 nuestro país cuenta con una superficie de bosques y selvas de aproximadamente unas 63, 411,754.04 ha, mientras que de zonas áridas y semiáridas tiene unas 56, 929,256.33 ha. En este sentido la superficie destinada total de zonas elegibles para el PSA asciende a unas 48, 664,000 ha, divididas en seis áreas de Pago. En la Figura 2 se distinguen las áreas diferenciadas para el PSA.

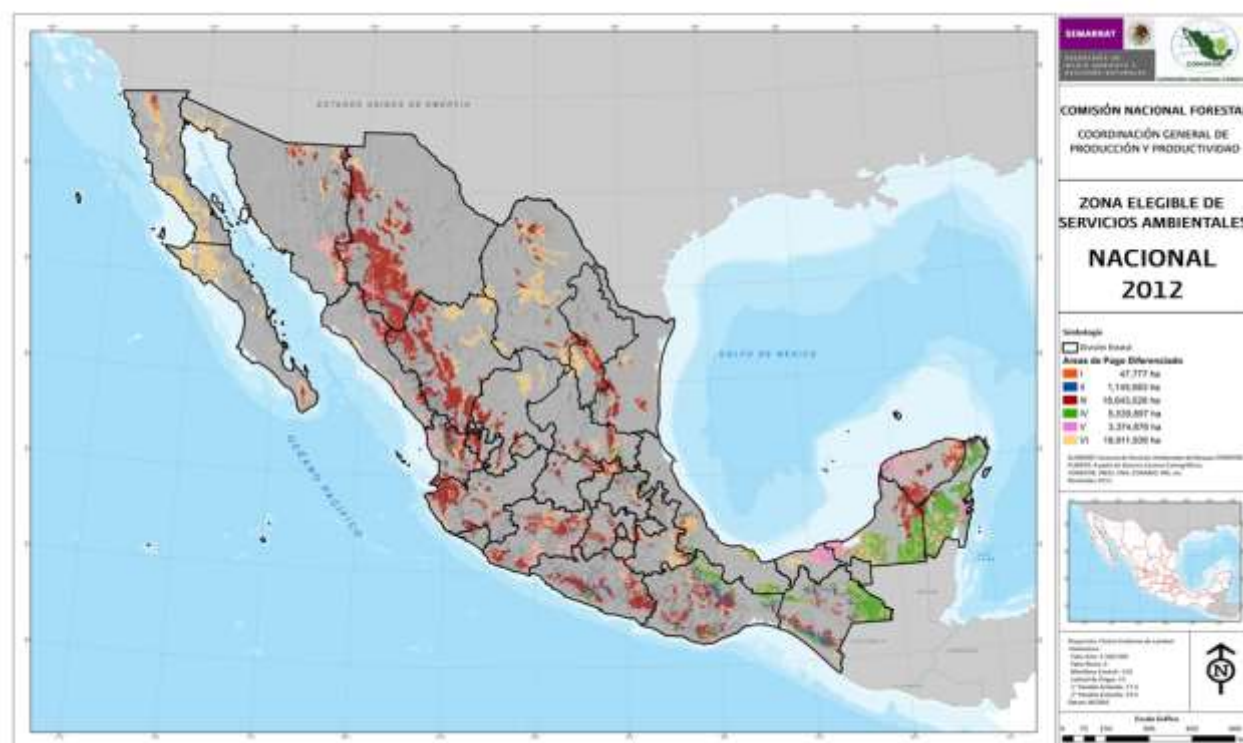


Figura 2. Zonas elegibles de Servicios Ambientales a nivel Nacional. Áreas de pago Diferenciadas para el año 2012. Fuente CONAFOR 2012.

De acuerdo con las reglas de operación del ProÁrbol, las áreas de pago diferenciado se dividen en seis diferentes; correspondiendo al Área I, II y III, los apoyos para Servicios Ambientales Hidrológicos, mientras que para el resto, es decir, las áreas IV, V y VI los apoyos para Servicios ambientales derivados de la Conservación de la Biodiversidad. De este modo y de acuerdo con las superficies, las áreas destinadas a protección de la Biodiversidad suman un total de 28, 826,712 hectáreas, consideradas solo dentro de zonas con cubierta forestal, siendo en este sentido insuficiente para cubrir el resto de la superficie que no cuenta con características necesarias para su integración.

Es bien sabido que los criterios de selección y determinación de las áreas, son de aplicación general para todas las regiones del país, sin embargo esto afecta

directamente a las zonas que no cuentan con características de selección aplicables. Aun con este argumento existen expertos, quienes piensan que los criterios de decisión para la delimitación de las áreas elegibles no deben cambiar, sino que deberían ser un tanto más rigurosos y exactos en su aplicación, es decir, que estén en acorde a su conexión directa con la definición de mecanismo de PSA y que se apliquen según la lógica de su funcionamiento, pues a pesar de contar con dichos criterios, en nuestro país se tiende a emplear este tipo de apoyos como un mecanismo político de combate a la pobreza y desigualdad de género. (COLPOS, 2007).

Si bien es cierto que la opinión de los beneficiarios del esquema de PSA, ha sido favorable, es necesario crear los mercados necesarios que empaten con la generación de los servicios ambientales, ya que hoy en día solamente un bajo porcentaje que se genera en México ha podido empatar con los mercados existentes. Aunado a esto se tiene que en el esquema de PSA, ni la directriz firme de sus objetivos está garantizada debido a la deficiencia en su legislación y las fluctuaciones en las corrientes políticas sexenales (COLPOS, 2007).

3.5 Definición de Biodiversidad

De acuerdo con el término biodiversidad proviene etimológicamente del griego βίο, vida, y del latín diversitas, variedad. Durante los últimos años este concepto se ha vuelto muy cotidiano, sin embargo no siempre resulta claro a qué nos referimos. En general el término se refiere a lo que podríamos llamar “la vida en la Tierra”, pero esto significa muchas cosas. Generalmente se piensa que el término biodiversidad o diversidad biológica se refiere al de las especies vegetales, animales o de microorganismos que habitan nuestro planeta. Pero hay otros dos niveles que también expresan el grado de

variabilidad biológica presente en una región: el de la variabilidad genética que una especie presenta en las poblaciones de las que está compuesta y el de los ecosistemas (como un bosque de pinos, una selva o un palmar), que están conformados por las especies de plantas, animales y microorganismos que los habitan y las variables fisicoquímicas con las que interactúan. (CONABIO, 2008).

Por otro lado el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) define la diversidad biológica o biodiversidad como “la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.” La importancia de esta definición es que se contempla a la diversidad biológica en tres niveles: genética, de especies y de ecosistemas. (CONABIO, 2008).

Por último la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente define a la biodiversidad como: “La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”. (LGEEPA, 2012).

En el mismo contexto, el esquema de PSA de la CONAFOR realiza este beneficio a la protección de la flora y la fauna en sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra.

3.6 Biodiversidad desde el punto de vista de la conservación.

En nuestro país se alberga más del 10% la biodiversidad del mundo (Mittermeier y Goettsch 1992), y da por demás valor el hecho de que tan alto porcentaje sea casi totalmente endémico. Durante muchos años la biodiversidad fue estudiada y valorada solamente desde el punto de vista de la investigación de la variedad de especies animales y vegetales, sin embargo actualmente se han incluido diversidad genética, especies, poblaciones entre otros. Con el paso de los años la fragmentación del paisaje es cada vez más inminente, dado que el hombre interactúa de forma negativa con la naturaleza, esta sufre cada vez más estragos, este problema es uno de los más grandes, por lo que se ha vuelto uno de los principales en la pérdida de biodiversidad (Benett, 2004).

3.7 Áreas Prioritarias para la conservación de la Biodiversidad

La conservación de la biodiversidad requiere de la identificación de zonas que deben incluirse en un sistema nacional o regional de áreas naturales protegidas (Crist, 2000).

En este sentido para identificar dichas áreas, debe conocerse la distribución espacial de todos sus elementos de biodiversidad. Sin embargo, esta labor es compleja y en muchos de los casos incompleta, los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad hacen que las entidades encargadas de esta

labor recurran a lo que se conoce como información distribucional o como los sustitutos de patrones espaciales de biodiversidad (Ferrier, 2002).

En años recientes organizaciones conservacionistas han desarrollado algunos enfoques con la finalidad de priorizar áreas importantes para la conservación, algunos de estos métodos son (Redford *et al.* 2003):

- I. Identificación de “*hotspots*” o áreas con características excepcionales de concentración de especies endémicas y que experimentan una excepcional pérdida de hábitat.
- II. Análisis *GAP* o de vacíos de conservación en el cual se trata de identificar las especies y comunidades vegetales que no están adecuadamente representadas en los sistemas actuales de áreas protegidas.
- III. Identificación de Bosques de Alto Valor para la Conservación, esta es una herramienta para determinar la importancia para la conservación de las unidades de manejo forestal.
- IV. La localización de áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS).

3.8 Métodos para mapear clases terrestres discretas como sustitutos de la distribución de la biodiversidad.

3.8.1 Mapeo de la heterogeneidad de hábitats

Los hábitats con condiciones abióticas heterogéneas tienen más nichos diversos potenciales. Por ejemplo las variaciones de estructura física pueden ser usadas para mapear la distribución de la riqueza de especies de plantas

(por ejemplo. apariencia, drenaje o textura) (Honnay *et al.* 2002. Citado por González, 2011).

3.8.2 Aislamiento, tamaño y forma de los parches

En paisajes fragmentados, la distancia entre los hábitats potenciales determina la riqueza y composición de especies. De esta misma forma, los parches irregulares poseen más gradientes ambientales y por lo tanto más especies, así mismo, entre mayor sea el tamaño del parche, presentará un mayor número de especies (Turner *et al.* 2001, Honnay *et al.* 2002, Bennett 2004. Citado por González, 2011).

3.8.3 Heterogeneidad escénica

La composición del paisaje combinada con parches de diferentes formas y tamaños bajo manejo natural o humano tienen un efecto considerable en la distribución de la biodiversidad (Turner *et al.* 2001, Honnay *et al.* 2002).

3.8.4 Complejidad del terreno

La elevación, pendiente, el aspecto y los materiales parentales afectan el aire, la temperatura del suelo, la cantidad de nutrientes, entre otros., por eso se relacionan fuertemente con la distribución de la vegetación. Se asume que conforme el terreno es más complejo, este tiene diferente exposición al sol, humedad y vegetación, por lo tanto indica mayor diversidad de hábitats (Turner, *et al.* 2001. Citado por González).

3.9 Amenazas de perder los Servicios Ecosistémicos

Las características propias y la condición actual de los ecosistemas mexicanos son determinantes del tipo, de la cantidad y de la calidad de los servicios que estos pueden proporcionar a las poblaciones humanas. La evaluación de las

condiciones actuales de los ecosistemas mexicanos para brindar distintos servicios ecosistémicos, de los cambios temporales que se han presentado en estos, así como de los contrastes espaciales en nuestro heterogéneo país es indispensable para la adecuada planeación de las necesidades futuras de la población mexicana. A continuación presentamos un primer análisis de estos patrones (Balvanera y Cotler *et al.*, 2009).

Los servicios ecosistémicos son reguladores naturales de los sistemas ecológicos-terrestres, ya que afectan directamente aspectos como; la diversidad biológica, el clima y microclima de las regiones, afectan la conservación del suelo y degradación del suelo, esto visto desde el punto de vista de impacto biológico negativo, ya que modifica a los sistemas ecológicos a mantener las demandas de la forma de vida de las sociedades humanas.

De acuerdo con distintos autores, el impacto causado por el hombre sobre los sistemas naturales terrestres tiene magnitudes incalculables, social y económicamente, siendo los cambios más significativos, el cambio en el uso de suelo y la vegetación endémica (Millenium ecosystem Assessment, 2005).

3.9.1 Deforestación

Los ritmos de deforestación que sufre nuestro país son alarmantes. La acelerada destrucción de los bosques ha colocado en estado de emergencia a una gran variedad de especies de flora y fauna que dependen de ese ecosistema. Entre esas especies se encuentra la humana.

Nuestros bosques se desvanecen y con ellos todas las especies que los habitan. El ritmo de deforestación que padece México es uno de los más intensos del planeta: de acuerdo con el Instituto de Geografía de la UNAM,

cada año perdemos 500 mil hectáreas de bosques y selvas. Eso coloca en riesgo de extinción a una gran variedad de plantas y animales, así como a muchas comunidades que a lo largo de generaciones han encontrado en este ecosistema un medio de vida, a tal grado que han aprendido a aprovecharlo sin destruirlo. Esto también nos coloca en el quinto lugar de deforestación a nivel mundial.

La deforestación conlleva una drástica disminución en el suministro de agua a escala local y nacional. Asimismo, rompe el equilibrio climático a nivel regional e incluso planetario, lo cual exacerba la amenaza que representa el cambio climático global.

En México, la principal causa de deforestación es el cambio de uso de suelo para convertir los bosques en potreros o campos de cultivo. Esa práctica ha sido fomentada por todos los niveles de gobierno, que sólo han visto los bosques y las selvas como terrenos ociosos, sin poder entender sus múltiples beneficios ni su carácter vital. Una serie de incentivos perversos brindados por el gobierno ha propiciado que la gente corte sus bosques a cambio de recursos económicos.

Otro factor que atenta contra los bosques es la tala ilegal, un problema grave en nuestro país pues se estima que el 70% del mercado nacional de madera tiene procedencia ilegal. Pese a esto, Greenpeace considera que estamos a tiempo para frenar esta escalada depredadora y garantizar la supervivencia de nuestros bosques y selvas (Greenpeace-México, 2012).

En un esfuerzo por tratar de explicar las principales causas que conllevan a la deforestación, Geist y Lambin, 2001; (Citado por González, 2011) hacen un

análisis global con un enfoque subnacional intentando encontrar patrones. Los resultados se desglosan en tres causas próximas de deforestación: la expansión agrícola, la extracción de madera y la expansión de la infraestructura; y en cinco causas de deforestación generales: demográficas, económicas, tecnológicas, políticas o institucionales y culturales. A todas estas causas se suman otros factores ambientales, como; la calidad del suelo, topografía, fragmentación del bosque. Factores biofísicos como; incendios, sequías, pestes, entre otros y, disturbios sociales, guerras, revoluciones, desplazamientos abruptos, shocks económicos, cambios abruptos en políticas, entre otros). (González *et al.*, 2011)

3.9.2 Contaminación del medio natural

A medida que aumenta el poder del hombre sobre la naturaleza y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: industriales (frigoríficos, mataderos y curtiembres, actividad minera y petrolera), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes

móviles (gases de combustión de vehículos). Como fuente de emisión se entiende el origen físico o geográfico donde se produce una liberación contaminante al ambiente, ya sea al aire, al agua o al suelo. Tradicionalmente el medio ambiente se ha dividido, para su estudio y su interpretación, en esos tres componentes que son: aire, agua y suelo; sin embargo, esta división es meramente teórica, ya que la mayoría de los contaminantes interactúan con más de uno de los elementos del ambiente (Aguilar, 2009).

3.10 Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en las Ciencias Ambientales

Los SIG, en las ciencias ambientales están vinculados principalmente con el tipo de información que éstos manejan y a la perspectiva del mundo cotidiano que nos proporcionan (Quiroz, 2010). Son estas propiedades las que nos permiten hacer comparables en un mismo sistema (espacial) información de muy diversa naturaleza. Y aunque esto se hace efectivo en todas las aplicaciones SIG, en las ciencias ambientales toman más relevancia debido al carácter holístico e integrador de su objeto de estudio.

En el mismo sentido por dicha compatibilidad entre los SIG y las ciencias ambientales es que en las últimas dos décadas se han usado para este fin. Por ejemplo a nivel global y debido a su estrecha relación con la teledetección, se han usado en el estudio del deterioro de la capa de ozono, los procesos de desertificación y el calentamiento global (Chuvieco, 2002. Citado por Quiroz, 2010). A nivel nacional, México incluye en su “Informe de la situación del medio ambiente en México”, subtítulos como vegetación y uso de suelo, suelos, biodiversidad, aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de vida

silvestre; atmósfera, agua y residuos; información que no se podría abordar (menos a esta escala) sin la ayuda de los SIG (SEMARNAT, 2005).

A escala más detallada (regional y local) en México los ordenamientos ecológicos, la determinación de áreas naturales protegidas y los manejos forestales, son sin duda los ejemplos más representativos de la aplicación de los SIG en la planificación y el manejo de los recursos naturales. Tanta ha sido la relevancia y el uso de estos productos, que la formalización de su uso en la administración pública del territorio es algo ya establecido.

Sin embargo, las propias condiciones de esta herramienta traen consigo problemas y limitaciones de los cuales se menciona algunas que nos parecen importantes:

El uso extendido de los SIG, no necesariamente con un enfoque ambiental, suelen ser también generadores de problemas ambientales (incluye los sociales); su carácter territorial puede otorgar un alto grado de poder y por lo tanto un alto grado de vulnerabilidad; la alta dependencia a productos generados por sensores remotos (teledetección), limita su acceso y disponibilidad a quien tiene poder adquisitivo, generalmente económico; su capacidad para representar la realidad puede dar una falsa sensación de seguridad; requiere siempre de soporte y conocimiento técnico; aunque facilitan, como interface en el entendimiento de la información por los tomadores de decisiones, no suplen las necesidades de coordinación y manejo de grupos, especialmente aquellos de característica diversa como lo son los grupos de diferentes actores sociales y/o grupos multidisciplinarios, según sea el caso.

3.10.1 Los SIG como herramientas para la toma de decisiones

Como confirma Gladstone (1999), citado por Quiroz (2010) los SIG son o pueden ser considerados como Sistemas de Soporte de Decisión y Planificación Integrado (SSDPI). Es decir que son herramientas de utilidad en parte o en la totalidad del proceso de toma de decisiones, que como esquematizamos anteriormente puede incluir la fase de inteligencia, diseño y elección. Pero particularmente el carácter espacial de la información con la que trabaja un SIG, hacen que estos sean llamados también Sistemas de Soporte de Decisión Espacial (SSDE), (Ascough, 2002. Citado por Quiroz, 2010).

Si bien el carácter espacial y de sistema integrado es algo consensuado dentro de las definiciones de los SIG, el diverso énfasis en sus funcionalidades, la diversidad y la diferente mezcla y especialización entre sus componentes y funciones hacen difícil definirlos fuera de esta perspectiva (Peña, 2002). Por lo tanto el uso diversificado de diferentes plataformas y productos SIG, suele ser una práctica muy extendida, haciéndose importante la interacción entre los mismos (Quiroz *et al* 2010). De hecho no podemos considerar a un SIG como un producto cerrado sino más bien un compuesto de elementos diversos: Ordenador, digitalizador, trazador gráfico, impresoras, y distintos programas computacionales orientados a una finalidad específica; aunque la tendencia, desde ya hace varios años, en algunos productos sobre todo los comerciales, es tratar de recoger todos estos productos bajo una misma estructura (Chuvieco, 2002).

3.11 Análisis de Decisión Multicriterio

La evaluación Multicriterio o multiobjetivo es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones (Barredo, 1996. Citado por Bosques, 2009).

La aplicación de los SIG permite operar aislada y conjuntamente con las más diversas variables, espacialmente consideradas. Esta forma de manejo de la información geográfica, permite el **Análisis Multicriterio**, dada la posibilidad de combinar y valorar simultáneamente los criterios (las bases para la toma de decisión) con sus factores (los aspectos que los fortalecen o los debilitan) a través del manejo de sus atributos (las variables) dentro de unas determinadas reglas de decisión y valoración (Barredo, 1996. Citado por Ocaña, 2002).

De acuerdo con Malczewski 1999, Joerin *et al.* 2001 el proceso de análisis Multicriterio se divide en tres grandes pasos. 1) El primero es la Identificación del problema y su estructuración; esto significa que los interesados, facilitadores y analistas técnicos necesitan desarrollar un entendimiento en común del problema, las decisiones que se tomaran y los criterios que se necesitan para evaluar la decisión, 2) Construcción del modelo y su uso: Esto incluye modelar las preferencias de los tomadores de decisiones, valorar las compensaciones, metas, etc. En orden de comparar las alternativas factibles de una manera sistemática y transparente, 3) Desarrollo de planes de acción: esto significa tomar acciones basadas en el análisis. Sin embargo el propio Malczewski subdivide el paso número dos en varios de los siguientes aspectos como son: criterios de evaluación (objetivos y/o atributos) para las acciones alternativas, alternativas o variables de acción, decisiones ambientales que son variables incontrolables y resultados para cada alternativa y atributos

asociados. En este sentido la idea es evaluar un número de alternativas por una serie de criterios de evaluación utilizando preferencias claramente establecidas en un ambiente con variables fijas (González, 2011).

3.12 Construcción del Análisis de Decisión Multicriterio Espacial

Este proceso envuelve una combinación de datos geográficos (datos de entrada llamados “input”) en una decisión (datos llamados “output”). Los procesos para la toma de decisiones definen una relación o regla de decisión entre el input y el output e implica el uso de datos geográficos, las preferencias de los tomadores de decisión, manipulación de los datos y preferencias acorde a ciertas reglas de decisiones. Al final se encuentra un dato geográfico multidimensional agregado dentro de valores unidimensionales para diferentes decisiones (Guitouni y Martel 1997, Malczewski 1999. Citado por González, 2011).

La decisión Multicriterio espacial de problemas puede ser subdividida en dos categorías: decisiones espaciales multi-atributo y decisiones espaciales multi-objetivos. Un problema de toma de decisión multi-atributo puede ser definido por la siguiente regla de decisión (Malczewski 1999)

$$[A_i (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \succ A_j (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}) \mid x_i, x_j \in X_m; i, j = 1, 2, \dots, m]$$

La cual puede ser interpretada de la siguiente manera: Aplicar la regla de decisión para elegir la mejor alternativa (para ordenar la alternativa x_i^*) en una serie de alternativas factibles X acorde a los valores de n atributos.

Por otro lado un problema de toma de decisión multi-objetivo puede ser definido por la siguiente regla de decisión (Malczewski 1999):

$$[A_i (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}) \succ A_j (f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jn}) \mid f_i, f_j \in X^m, i, j = 1, 2, \dots, m]$$

La cual puede ser interpretada de la siguiente manera: —Aplicar la regla de decisión para elegir la mejor alternativa (en orden de alternativas x_i^*) en una serie de alternativas factibles X acorde a los valores de las funciones de objetivos.

De acuerdo con este último autor los pasos para la decisión Multicriterio son cuatro, los cuales se enuncian a continuación.

1. Definición del problema: en este paso se incluye reconocer el espacio entre la realidad y los diferentes estados deseados. En este punto el ambiente de decisión es definido y los datos son procesados y obtenidos en orden de encontrar pistas para identificar las oportunidades o problemas.
2. Definir una serie de objetivos concernientes a la decisión del problema y las medidas para conseguir esos objetivos: Estas medidas son llamadas atributos, para cada atributo se debe definir una escala de medida, la cual define cómo se desempeña el atributo con la finalidad de conseguir el objetivo y de esta manera las bases para comparar alternativas.
3. Definir los pesos para los criterios de evaluación: Los pesos definen las preferencias de los tomadores de decisiones expresando la importancia relativa de los atributos para medir una alternativa.
4. Diseño de una apropiada regla de decisión o función de agregación: La regla de decisión dicta cómo categorizar alternativas o decidir cuál alternativa es preferida sobre otra. El método de adición de peso es utilizado para agregar criterios en los diferentes niveles jerárquicos.

Después de definir la categorización de alternativas, un análisis de sensibilidad debe ser desarrollado para evaluar la robustez del análisis. Un análisis es considerado robusto si los cambios en las entradas (que serían los atributos y preferencias de los tomadores de decisiones) no afectan los resultados (categorización de alternativas). El proceso general termina por hacer recomendaciones para mantener mayores acciones.

4. REGION DE ESTUDIO

La Unidad de Manejo Forestal “1304-Valle del Mezquital”, la cual por extensión territorial ocupa el primer lugar dentro del estado de Hidalgo relativo a las otras cuatro unidades de manejo que lo conforman, tiene una superficie total de 642,654 hectáreas. Se localiza al suroeste del estado de Hidalgo, entre las coordenadas extremas 20° 42’ 19.98” y 19° 46’ 09.81” de latitud norte, y 99° 51’ 06” y 98° 46’ 44.48” de longitud oeste.

El valle del Mezquital, Hidalgo, abarca 28 municipios (INEGI, 2005) lo que representa aproximadamente el 34% de la superficie del estado de Hidalgo ; constituye un área de gran importancia ecológica, económica, social, histórica y cultural que se caracteriza por sus diversas condiciones ambientales lo que ocasiona que se presenten gradientes ecológicos que favorecen la presencia de diversos hábitats (López, 2001). Las variantes altitudinales, fisiográficas, de sustrato y suelo influyen de manera decisiva en el establecimiento de variadas formas de vida y en el desarrollo de una gran riqueza específica, lo que genera mosaicos de vegetación con un amplio potencial de recursos para la zona (López, 2001).

El valle del Mezquital junto con el desierto chihuahuense, la zona de Baja California, y el valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla/Oaxaca conforman las 4 grandes regiones áridas y semiáridas del país (Shreve, 1942). Las zonas áridas comprenden alrededor del 60% del total del territorio nacional, y aunque menos ricas que las regiones tropicales, son de gran valor, ya que presentan una enorme diversidad de especies vegetales. (Ayala, 2010). Figura 3.

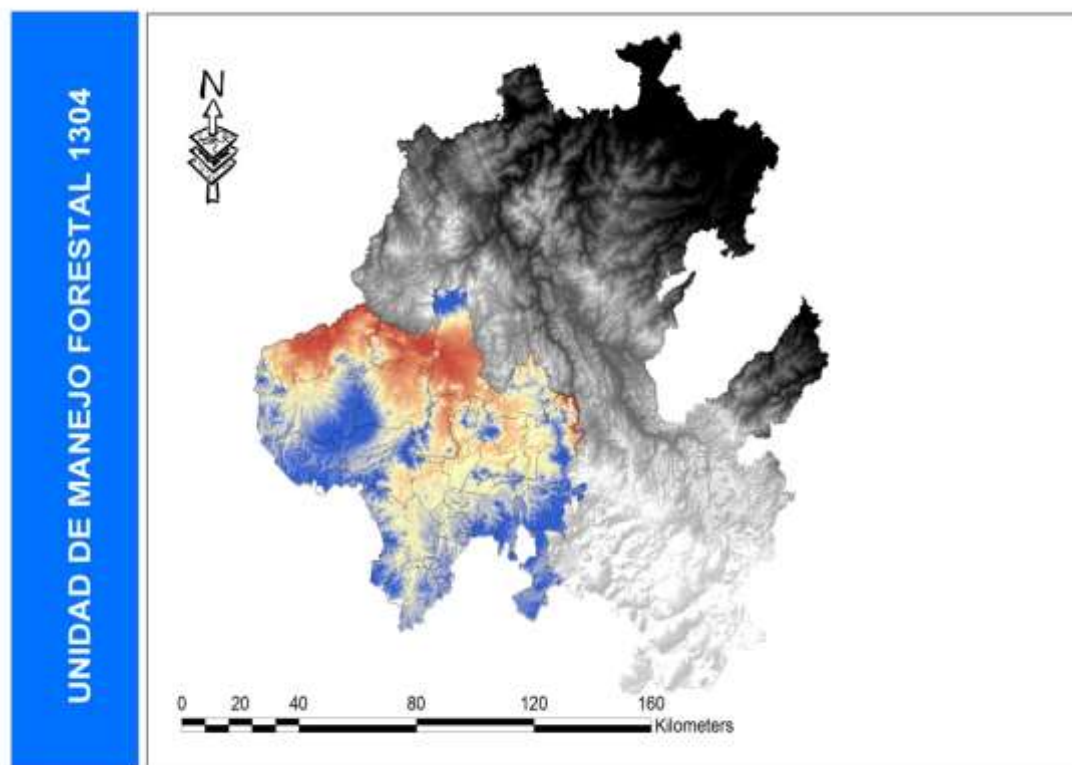


Figura 3. Ubicación geográfica de UMAFOR 1304

4.1 Aspectos Físicos

4.1.1 Clima

En el territorio de esta unidad se ubican dos grandes grupos de climas, el de los templados con menor proporción y el de los semisecos en la mayoría de los municipios. Dada la condición climática de la Unidad se pueden prever también

las condiciones de vegetación, tomando el clima como el principal factor para el desarrollo de los niveles de vegetación.

4.1.2 Geología y geomorfología

La Unidad de manejo forestal se ubica en el Altiplano Mexicano, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, en donde forma un amplio valle dividido por serranías y cerros separados. En el área afloran rocas de tipo sedimentario e ígneo que varían en edad y composición.

4.1.3 Suelos

En la UMAFOR inciden ocho diferentes unidades de suelo de acuerdo con la clasificación FAO – UNESCO. Los tipos de suelo son: cambisol (B), Feozem (H), Litosol (I), Luvisol (L), Planosol (W), Rendzina (E), Vertisol (V). (ERF 2010).

4.1.4 Hidrología

El área de estudio pertenece en su generalidad a la Región Hidrológica No. 26, Parcial, Alto Pánuco, Cuenca del río Tula. Desde el punto de vista administrativo, tanto la Cuenca del Valle de México como la de Tula, quedaron integradas al Consejo de Cuenca del Valle de México. (ERF 2010).

4.2 Aspectos biológicos

4.2.1 Flora

La vegetación esta descrita de acuerdo con la clasificación de Rzedowsky, 1971.

4.2.1.1 Bosque espinoso

Sus componentes son, en gran proporción, árboles con espinas, de 4 a 8m, o hasta 15m. Pueden ser formaciones densas, semiabiertas o abiertas, según las especies que lo conforman y las condiciones ambientales. La mayor parte de las comunidades son caducifolias. Entre los géneros que se destacan se encuentran *Prosopis juliflora*, *P. laevigata* "mezquite", *Phithecellobium flexicaule*, *P. ebano* "ebano", *P. pallens* "tenaza", *Cercidium spp.*, *Acacia farnesiana* "huizache", *Caesalpina spp*, *Opuntia spp*. Este tipo de vegetación se da mejor en suelos que se encuentran en terrenos planos o poco inclinados, profundos, oscuros, más o menos ricos en materia orgánica. También en suelos calcáreos de drenaje deficiente. El rango de altitudes varia de los 0 a los 2 200msnm, mientras que el clima que lo caracteriza es: Aw, Bs, Bw, Cw.

4.2.1.2 Bosque Mesófilo de Montaña

Es un bosque denso, por lo general de 15 a 35m de alto, aunque algunos árboles pueden llegar a medir más de 60m. Con frecuencia la comunidad incluye árboles perennifolios y de hoja decidua. El periodo de carencia de follaje del 75 % de las especies suele ser breve y se presenta en los meses más fríos del año. Es frecuente un sotobosque muy desarrollado y la presencia de epífitas. Algunos géneros comunes son: *Liquidambar*, *Salix*, *Alnus*, *Juglans*, *Clethra*, *Carya*, *Carpinus*, *Platanus*, *Pinus*, *Quercus*, *Magnolia*, *Podocarpus*, *Acer*, *Prunus*, *Abies*, además de diversas cicadáceas como *Dioon*, *Zamia* y *Ceratozamia*. Las características del suelo son que a menudo se localiza sobre sustrato de roca caliza, así como sobre laderas de cerros andesíticos, basaltos y muchos otros tipos de rocas. Los suelos son someros o profundos, con abundante materia orgánica y húmeda durante todo el año. La altitudinalidad

del bosque mesófilo varía de los 600 a menos de 2 700 msnm. El clima se caracteriza por Cf el cual es el más característico, también Af, Am, Aw, Cw.

4.2.1.3 Bosque de Pino

Constituidos por especies de pinos, cuya morfología foliar (hojas delgadas y flexibles) y disposición de las hojas le da una fisonomía particular. Las comunidades son siempre verdes debido a la fenología de los árboles dominantes. La altura de la comunidad es variable de 8 a 30m o incluso mayor. Entre los géneros más representativos se puede hablar de especies de *Pinus* como: *P. patula*, *P. arizonica*, *P. montezumae*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *P. engelmannii*. A veces presentes otros géneros como: *Alnus*, *Quercus*, *Juniperus*, *Arbutus*, *Salix*, *Buddleia*. Las características del suelo son áreas cubiertas por rocas ígneas, en suelos de pH ácido (5 a 7). El color, textura y contenido de nutrientes presentan variaciones considerables de un lugar a otro; son frecuentes las tierras rojas, más o menos arcillosas derivadas de basaltos; los suelos negros o muy oscuros son también frecuentes. La altura varía de 300 hasta 4 000 msnm; aunque la mayoría se localiza de 1 500 a 3 000. Los tipos de clima más representativos son Cw.

4.2.1.4 Bosque de Abies

Principales características fisonómicas y estructurales: Comunidad densa de árboles de hojas angostas y cortas, que varía de 30 a 40m de altura, aunque puede alcanzar hasta 50m. Las copas de los árboles comúnmente presentan un contorno triangular y se ramifican desde niveles relativamente bajos. Usualmente con un estrato arbóreo inferior, y estratos arbustivo, herbáceo y rasante. Entre los géneros representativos están; *Abies spp.* "oyamel" (*A. religiosa*, *A. concolor*, *A. duranguensis*, *A. guatemalensis*), *Quercus*, *Alnus*,

Arbutus, *Prunus*, *Garrya*. También formando bosques mixtos con *Cupressus*, *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Picea*. El suelo es de tipo profundo, bien drenados, pero húmedos todo el año; los sustratos geológicos son muy variados. La altitud va desde los 2000 y hasta los 3000 msnm, generalmente arriba de los 2500. El clima básicamente está dado por el tipo Cw.

4.2.1.5 Bosque de Táscate

Este tipo de vegetación es siempre verde y puede variar desde matorrales de 50cm de alto hasta bosques de 15m (las alturas más frecuentes son 2 a 6m). Por lo general son comunidades bastante abiertas aunque hay excepciones. También denominado bosque escuamifolio por sus hojas escamosas. Entre los géneros representativos se encuentran comúnmente *Juniperus flaccida*, *J. monosperma*, comúnmente asociado con *Pinus cembroides*, *J. mexicana*, *J. comitana*, *J. monticola*, *J. deppeana*. Conocidos como "cedro", "sabino", "enebro", "táscate", "tláxcal", "nebrito". Estos tipos de bosque prosperan sobre una gran variedad de rocas madres y suelos, incluyendo los suelos alcalinos así como los de contenido moderadamente elevado en sales solubles y de yeso, con drenaje deficiente. A veces en suelos poco profundos, pedregosos de laderas de cerros. La variación de la altitud va de los 1600 a los 2000 msnm; rara vez por debajo de los 1500, pero a veces a altitudes inferiores a los 1000. Los tipos de clima más común son; Cw, Cs, Bs.

4.2.1.6 Bosque de *Quercus* (Encino)

La mayoría son formaciones densas o al menos cerradas, aunque hay encinares con árboles separados con amplios espacios cubiertos por arbustos y herbáceas. Su altura varía entre 2 y 30m, alcanzando en ocasiones hasta 50m. La fisonomía de estos bosques está notablemente influida por el tamaño

de las hojas de las especies que lo forman, que usualmente son de menor tamaño y textura coriácea en áreas secas y de hojas grandes, relativamente delgadas y bellotas grandes en localidades muy húmedas. Algunos géneros y especies representativos son; *Quercus insignis*, *Q. strombocarpa*, *Q. oocarpa*, *Q. corrugata*, *Q. skinneri*, etc. En zonas semisecas: *Q. oleoide*, *Q. glaucooides*, *Q. macrophylla*, *Q. magnoliaefolia*, *Q. urbani*, etc. De regiones más secas: *Q. chihuahuensis*, *Q. emory*, *Q. jalisciensis*, *Q. mohriana*, etc. Se encuentra tanto en sustratos ígneos como sedimentarios, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos, y en suelos rocosos e inclinados o pedregosos, de diferentes texturas (de arcilla a arena), coloración variada (rojos, amarillos, negros o cafés) y, usualmente, de pH ácido (5.5 a 6.5). La altitud va de 0 a 3100 msnm; sin embargo se calcula que más del 95% se halla entre 1 200 y 2 800 msnm. Los tipos de clima están definidos por Cf, Cs, Cx, Af, Am, Aw, BS.

4.2.1.7 Matorral Xerófilo

Principales características fisonómicas y estructurales: Abarca comunidades de fisonomías muy diversas, características de las zonas áridas y semiáridas. Incluye comunidades, en las que predominan arbustos altos o árboles bajos de 3 a 5m de altura, caducifolios (generalmente por un periodo breve durante la época de secas), con hojas o foliolos de tamaño pequeño. Los matorrales crasicaules son comunidades arbustivas dominadas por plantas de tallo succulento (cactáceas grandes); la altura depende de la especie que lo conforma y puede ser hasta de 10m. En los matorrales rosetófilos predominan especies arbustivas o subarbustivas de hojas alargadas y angostas agrupadas en forma de roseta; el estrato subarbustivo espinoso y perennifolio a menudo es muy denso. Los bosques de *Yucca* (izotales) llegan a medir de 2 a 4m de

alto. En el matorral micrófilo predominan elementos arbustivos de hoja o foliolo pequeño; de altura variable (1 a 3m, con eminencias aisladas de hasta 6m) de acuerdo a su composición florística y las condiciones ambientales. Los matorrales espinosos se caracterizan por los géneros *Acacia*, *Bernardia*, *Bonetiella*, *Bumelia*, *Celtis*, *Cordia*, *Eysenhardtia*, *Flourensia*, *Gochnatia*, *Helietta*, *Lysiloma*, *Mimosa*, *Myrtillocactus*, *Opuntia*, *Pithecellobium*. Los matorrales crasicaules por *Carnegiea gigantea* "sahuaro", *Cercidium microphyllum*, *Pachycereus pringlei*, *Lophocereus schottii*, *Machaeocereus gummosus*, *Opuntia* spp., *Myrtillocactus geometrizans*, *Neobuxbaumia tetezo* "tetecho", *Lemaireocereus weberi* "cardon". Los elementos más característicos de los matorrales rosetófilos son *Agave* ("maguey", "lechuguilla"), *Dasyllirion* "sotol", *Hechtia* "guapilla", *Yucca* ("palma" o "izote"); estos matorrales incluyen especies no rosetófilas como *Parthenimum argentatum* "guayule", *Euphorbia antispyhilitica* "candelilla". La variante más notoria del matorral micrófilo está constituida por: *Larrea tridentata* "gobernadora", *Flourensia cerna* "hojasén", *Allionia incarnata*, *Prosopis laevigata*, *Celtis palida* "granjeno", *Opuntia leptocaulis* "clavelina", y gramíneas en el estrato herbáceo. Los suelos someros de laderas de cerros, en la mayoría de los casos formados de roca sedimentaria (roca caliza o riolita), pero también presentes en suelos de naturaleza volcánica; también desciende a suelos aluviales contiguos; también en sitios con poca inclinación, en terrenos planos sobre depósitos someros y algo pedregosos de las porciones inferiores de los abanicos aluviales en las bases de los cerros. La altitud está considerada entre 0 a 3 000 msnm. El clima queda representado por BW, BS. Existen comunidades en sitios con condiciones edáficas especiales y con 900 a 1 600 mm de precipitación.

4.2.1.8 Pastizal

Son comunidades vegetales en las que el papel preponderante corresponde a las gramíneas (i.e. estrato herbáceo dominante). Comprende las comunidades denominadas zacatonales, páramos de altura y sabanas. La altura media es de 20 a 70cm, aunque se mantienen casi siempre mucho más bajos a causa del pastoreo. La cobertura frecuentemente es menor del 50% y rara vez supera el 80%. Las sabanas están constituidas por praderas de gramíneas sin árboles o con árboles esparcidos. En general las gramíneas son amacolladas, ásperas y resistentes a las quemadas periódicas. Los géneros más representativos son; *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *B. hirsuta*, *Aristida spp*, *Hilaria spp.*, *Muhlenbergia spp.*, *Stipa*, *Calamagrostis*, *Festuca*. Los árboles más comunes de las sabanas son: *Byrsonima crassifolia*, *Curatella americana*, *Crescentia alata* y *C. cujete*. El tipo de suelo está caracterizado por ser de reacción cercana a la neutralidad (pH 6 a 8), con textura que varía de migajón arcilloso a migajón arenoso; sobre suelos rocosos o someros en terrenos inclinados, o bien en suelos profundos de lugares planos, de coloración rojiza a café o de color grisáceo, frecuentemente con un horizonte de concentración calichosa o ferruginosa. Las sabanas se desarrollan sobre terrenos planos o escasamente inclinados, en suelos profundos, y arcillosos; a causa de una capa impermeable, el drenaje interior es deficiente, lo cual, junto al escurrimiento nulo, ocasiona que los suelos se encharquen y sean fangosos. La altura en que se desarrolla este tipo de cobertura vegetal va de los 1100 a 2500 msnm, aunque existen también a 450 msnm. Los páramos de altura de 4 000 a 4 300 y las sabanas de 0 a 150. El clima para Pastizales es BS, BW; páramos de altura: ET; sabanas: Am, Aw. Los páramos de altura de 3 a 5, con mínimas de -10, y las sabanas van de 22 a 27. Los páramos de altura de 600 a 800, la

mayor parte en forma de nieve. En las sabanas mayor de 1 000 y puede llegar a ser de 2 500. 0 a 6 meses secos.

4.2.1.9 Vegetación acuática y subacuática

Es una formación leñosa, densa, frecuentemente arbustiva o bien arborescente de 2 a 25m de altura, de composición florística simple, prácticamente sin plantas herbáceas ni trepadoras y rara vez con alguna epífita o parásita. Algunos géneros representativos son; *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erecta*. Prospera en las orillas de las lagunas costeras, de bahías protegidas y desembocaduras de ríos, en donde hay influencia de agua de mar. Este tipo de vegetación por lo general está al nivel del mar, aunque en áreas en donde se generan microclimas de tipo tropical pueden conformarse también. El clima característico es el cálido con temperatura mayor a 20 °C. La precipitación no parece jugar un papel importante para su existencia.

4.2.2 Fauna

Desde el punto de vista faunístico y de acuerdo a Smith, 1941 en la UMAFOR converge en la Provincia Biótica Hidalguense. Por otro lado, la coloca como parte de la Provincia Biótica Sierra Madre Oriental con una extensión muy similar a la que ocupan las provincias Austro-Oriental e Hidalguense de Smith.

4.2.2.1 Herpetofauna

Los tipos de vegetación con los mayores números de especies fueron el Bosque de pino-encino y los terrenos de cultivo o agricultura, seguidos por el Bosque de encino, el Matorral Crasicaule y el Matorral desértico. (ERF 1304)

Muchas especies se presentaron exclusivamente en uno de los tipos de vegetación mencionados. Tales especies fueron las siguientes: en el Matorral crasicaule, *Physalaemus pustulosus*, *Gyalopion canum*, *Thamnophis marcianus*, *Ramphotyphlops braminus*, y *Crotalus atrox*; en el Matorral desértico, *Syrrhophus guttilatus*, *Tomodactylus nitidus*, *Elaphe flavirufa*, y *Masticophis mentovarius*; en el Matorral submontano, *Gerrhonotus ophiurus*; en el Bosque de encino, *Eleutherodactylus batrachylus*, *Chersodromus rubriventris*, y *Storeria storerioides*; en el Bosque de juníperos, *Imantodes gemilimetrosistratus* y *Leptophis mexicanus*; en el Bosque de encino-juníperos, *Spilotes pullatus*; en el Bosque de pino-encino, *Scincella lateralis* y *Thamnophis scalaris*; en "zonas agrícolas", *Ambystoma velasci*, *Ficimia olivácea*, *Tantilla bocourti* y *Kinosternon hirtipes*; en Pastizal, *Lampropeltis mexicana*; y en zonas urbanas, *Hemidactylus frenatus*. (ERF 1304)

A fin de simplificar el análisis de la distribución de las especies en los tipos de vegetación, se agruparon éstos de la siguiente manera: como Matorrales, el Matorral crasicaule, Matorral desértico, y el Matorral submontano; y como Bosques templados mixtos, el Bosque de encino, el Bosque de junípero, el Bosque de encino junípero y el Bosque de pino-encino. Se consideraron los registros de zonas agrícolas o campos de cultivo y de pastizales como registros de áreas perturbadas por igual, ya que se consideró que el pastizal es inducido en la mayoría de los casos.

En matorrales: *Sceloporus exsul*, *Crotalus scutulatus*, *Gerrhonotus ophiurus*, *Gerrhonotus infernalis*, *Physalaemus pustulosus*, *Gyalopion canum*, *Thamnophis marcianus*, *Ramphotyphlops braminus*, *Crotalus atrox*, *Syrrhophus guttilatus*, *Elaphe flavirufa*, *Masticophis mentovarius*, *Bufo punctatus*, *Conopsis*

nasus, *Sceloporus dugesi*, *Thamnophis eques*, *Syrrhophus marnocki* y *Tomodactylus nitidus*.

En Bosque de Encino: *Eleutherodactylus batrachylus*, *Syrrhophus longipes*, *Abronia taeniata*, *Scincella gemilimetrosingeri*, *Scincella lateralis*, *Ameiva undulata*, *Lepidophyma occulor*, *Lepidophyma sylvaticum*, *Xenosaurus sp.*, *Chersodromus rubriventris*, *Imantodes gemilimetrosistratus*, *Leptophis mexicanus*, *Sceloporus aeneus*, *Spilotes pullatus*, *Storeria hidalgoensis*, *Storeria occipitomaculata*, *Storeria storerioides*, *Thamnophis scalaris*, *Thamnophis sumichrasti*, *Crotalus durissus*, *Chiropterotriton multidentatus*, *Chiropterotriton chondrostegus*, *Pseudoeurycea belli*, *Spea hamilimetrosondi*, *Sceloporus scalaris*, *Geophis mutitorques* y *Salvadora bairdi*.

En matorrales: *Crotalus molossus*, *Sceloporus couchi*, *Tantilla rubra*, *Sibon sartorii*, *Lepidophyma flavimaculatum*, *Bufo punctatus*, *Bufo occidentalis*, *Rana neovolcanica*, *Hypsigena torquata*, *Crotalus molossus*, *Masticophis flagellum*, *Spea multiplicata*, *Rana montezumae*, *Pituophis deppei*, *Thamnophis cyrtopsis*, *Conopsis lineata*, *Crotalus triseriatus*, *Bufo compactilis*, *Sceloporus aeneus*, *Geophis latifrontalis*, *Masticophis taeniatus*, *Senticolis triaspis*, *Thamnophis elanogaster*, *Rana spectabilis*, *Hypopachus variolosus*, *Leptotyphlops dulcis* y *Salvadora grahamiae*; En matorrales y Bosque de pino: *Phrynosoma orbiculare*; En matorrales, Bosque Pino – Encino (incluye Encino – pino) y Bosque de pino: *Eumeces lynxe*, *Sceloporus parvus*, *Sceloporus gramilimetrosicus* y *Barisia imbricata*; En matorrales y Bosque Pino – Encino (incluye Encino – pino): *Sceloporus variabilis*, *Cnemidophorus gularis*, *Hyla eximia*, *Elaphe guttata*, *Trimorphodon tau*, *Bufo marinus*, *Kinosternon integrum*, *Eleutherodactylus augusti*, *Pseudoeurycea cephalica*, *Hyla godmani*, *Scincella silvícola*,

Drymarchon coráis, *Micrurus fulvius*, *Bufo valliceps*, *Smilisca baudini*, *Lampropeltis triangulum*, *Leptodeira septentrionalis*, *Hyla arenicolor*, *Syrrhophus verrucipes*, *Rana berlandieri*, *Sceloporus jarrovi*, *Sceloporus spinosus*, *Sceloporus torquatus*, *Hyla miotympanum* y *Rhadinaea gaigeae*.

En áreas cultivadas o agrícolas: *Amystoma velasci*, *Ficimia olivácea*, y *Kinosternon hirtipes*; En Pastizal: *Lampropeltis mexicana*; En áreas urbanas: *Hemidactylus frenatus*.

De nueva cuenta, parece probable que el gran número de especies en los matorrales y en los Bosques de encino y/o junípero y pino-encino se deba, en gran parte, a la extensión territorial relativa que ocupan el municipio y a que las áreas donde existe esta vegetación son continuas con áreas de elevación similar hacia el norte (el Altiplano Mexicano) y con sierras que conectan con el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. (ERF 1304).

4.2.2.2 Avifauna

Al igual que para la mayor parte de México, son relativamente pocos los estudios sobre aves que se han realizado en el municipio y en general en el estado de Hidalgo. Por esta razón, el conocimiento de la avifauna estatal es parcial, espacial y temporalmente; no obstante, en los últimos años el trabajo ha sido más intenso y sistemático. Asimismo, mucha de la información que se ha generado no es o no ha sido publicada, o bien, no es fácilmente accesible, lo cual acentúa la parcialidad del conocimiento que se tiene de la avifauna en la UMAFOR.

“En el período colonial, no conocemos información acerca del conocimiento que se tenía o que se hubiera generado sobre la avifauna del estado, salvo por

el expresado en algunas pinturas murales localizadas en conventos. Sin embargo, es probable que, además del conocimiento que los pobladores originales tuvieran sobre las aves, hayan existido algunos naturalistas novohispanos cuyo trabajo haya incluido alguna porción del municipio. Durante el período del México Independiente, en el siglo XIX, y hasta antes del inicio de la Revolución Mexicana de 1910, se realizaron algunos trabajos con aves. Estos trabajos fueron desarrollados por la Comisión Científica de Pachuca, que fue uno de los primeros intentos institucionales en México para tratar de conocer los recursos que tenía el país. Desafortunadamente, por las revueltas sociales, estos trabajos se abandonaron o incluso se repudiaron, pues se consideraban un producto de la intervención francesa o de la dictadura porfirista. Manuel María Villada fue uno de los naturalistas que más trabajaron el tema de las aves. Destaca su trabajo de 1873, donde de manera muy detallada hace la descripción de 17 especies de colibríes en el Valle de México, que incluye parte del sur de Hidalgo. Asimismo, las colectas a cargo de naturalistas europeos y estadounidenses como E. W. Nelson, R. Ridgway, W. Swainson y J. G. Wagler, sirvieron de base para la elaboración de listados y distribuciones de especies, así como revisiones taxonómicas que se llevaron a cabo en el siglo XX.

Los estudios realizados a partir del periodo posrevolucionario son más numerosos e incluyen tanto revisiones taxonómicas, como listados o nuevos registros de especies, tal es el caso de los trabajos realizados por Martín del Campo (1936, 1937) en el Valle del Mezquital; Arellano y Rojas (1956) cuyo estudio se enfocó en las aves acuáticas; y Pichardo (1987) que estudió la avifauna de Alfajayucan. En este periodo también se llevaron a cabo colectas

de especímenes en varios sitios del estado o trabajos a nivel regional que reportan datos de aves en Hidalgo.

Otros trabajos realizados recientemente, además de presentar listados de las especies, incluyen aspectos biológicos y ecológicos de la avifauna estatal. Este es el caso del trabajo de Sibley y West (1958) quienes analizaron la hibridación entre *Pipilo maculatus* y *P. ocai* en el centro de México. Recientemente, de la Barreda (2006), con información recopilada, analizó los patrones biogeográficos de la distribución de especies de aves en todo el estado. La construcción de la Central Hidroeléctrica Zimapán dio lugar a varios estudios para evaluar el impacto ambiental de dicha construcción, de los cuales derivaron reportes de nuevos registros de especies para el estado. Asimismo, Arregui (2005), Mauricio (2005) y Martínez-García (2006) estudiaron la relación entre la disponibilidad de néctar y la actividad de colibríes en diversas escalas espaciales y temporales; Ortiz-Pulido y Martínez-García (2006) reportan datos de anidación de *Calothorax lucifer*, y Cervantes-Cornihis (2006) evaluó la depredación de nidos artificiales en bordes agrícolas en el Valle del Mezquital.

Actualmente, existen varios estudios inéditos o en marcha; tal es el caso del trabajo realizado por el Consejo Estatal de Ecología y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo sobre el uso de las aves como indicadoras del grado de conservación en diferentes zonas áridas del sur del estado. Ortiz-Pulido y Bravo-Cadena generaron información sobre la distribución y abundancia de las aves en la región de Nopala-Hualtepec.

Se estiman entre 9,000 y 9,720 especies de aves en el mundo. Las aves mexicanas son un grupo particularmente importante ya que nuestro país ocupa

el 8vo lugar mundial en cuanto a número de especies (según los autores 1,100 aproximadamente), pues se presenta una mezcla de avifauna de origen neártico y neotropical, así como un número importante de endemismos (más de 100 del total de especies mexicanas, lo que equivale a un 9% aproximado).

En el estado, de acuerdo a la Red de Conocimiento sobre las Aves de México, a la fecha, existe la presencia de 507 especies de aves, solo en el municipio se registra la presencia de 285 especies de aves, lo que representa el 26% de la riqueza avifaunística del país”. (ERF 1304)

Esta riqueza de especies está distribuida en 17 órdenes, 65 familias y 187 géneros. Las familias con mayor número de especies son *Parulidae* (25), *Tyrannidae* (23), *Emberizidae* (21), *Icteridae* (17), *Anatidae* (13), *Scolopacidae* (13), *Trochilidae* (12) y *Accipitridae* (12).

La riqueza de especies registrada a la fecha por tipo de vegetación, no sólo refleja la influencia que tiene la importancia de la extensión de un determinado tipo de vegetación (por ejemplo, el matorral xerófilo y los bosques templados). En este sentido, los tipos de vegetación con un mayor número de especies de aves registradas son el bosque de encino, el matorral xerófilo, seguidos por la vegetación acuática y el bosque espinoso.

Considerando la estacionalidad de las especies de aves, ha sido registrado un mayor número de especies residentes permanentes en los bosques de encino y coníferas. Las especies residentes de invierno y las que tienen poblaciones residentes permanentes y residentes de invierno son más numerosas en la vegetación acuática y en el matorral xerófilo. Las especies transitorias o

accidentales son más comunes en los bosques de encino y en el matorral xerófilo.

En el municipio no han sido registradas especies consideradas en peligro de extinción por la legislación mexicana. De este modo, 3 especies están catalogadas como amenazadas y 15 especies en la categoría de protección especial. De la misma forma, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, tiene catalogadas 6 especies como Casi Amenazada, 1 (*Anthus spragueii*) vulnerable y 1 (*Dendroica chrysoparia*) en peligro. Así mismo, el Congreso de los Estados Unidos aprobó la Ley de Conservación de Aves Migratorias Neotropicales en el año 2000, en la cual enlista ciertas aves de importancia para su conservación dentro de las cuales 195 se encuentran registradas en el municipio.

La conservación de la avifauna no se puede circunscribir únicamente a las áreas naturales protegidas, por tal motivo es importante el que se fomenten y se lleven a cabo prácticas de uso sustentable de los recursos que aseguren la permanencia de la vegetación nativa a largo plazo. Asimismo, se deben buscar los mecanismos científicos, técnicos y logísticos para llevar a cabo estrategias adecuadas de restauración ecológica en aquellas zonas degradadas, e incrementar así la superficie con vegetación nativa. (ERF 1304)

Uso del suelo y vegetación en la región.

La vegetación, comprendida como la expresión evolutiva de aglomerados de especies en un lugar y a un tiempo determinado, ha sido el objeto de estudio de múltiples disciplinas. Acorde al conjunto de datos vectoriales correspondientes al Inventario Forestal Nacional 2000-2001 elaborado por el

Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Escala 1:250 000, se hizo el cálculo de la superficie por municipio y total por los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Imágenes de satélite

Se utilizaron Imágenes de satélite del sensor SPOT XS, cada una abarcando una superficie de 3,600 km² con 3 bandas del espectro electromagnético. Las imágenes cubren el 100 % de la superficie abarcada por la UMAFOR 1304 que corresponde a la región de trabajo. Estas imágenes fueron obtenidas de la Comisión Nacional Forestal y fueron previamente procesadas y georeferenciadas, sin embargo no contaban con archivo de metadatos que permitieran especificar por lo menos la fecha de la toma. Aun así fueron útiles, dado que este detalle se encontraba inscrito en el título de cada imagen, tal y como lo muestra el cuadro 2.

Cuadro 2. Relación de imágenes utilizadas en el proceso

	NOMBRE DE LA IMAGEN	COBERTURA	FUENTE
1.	s5_586309_20080414_3a_J	60x60 km	CONAFOR
2.	s5_586310_20080409_3a_J	60x60 km	CONAFOR
3.	s5_588309_20070228_3a_J	60x60 km	CONAFOR
4.	s5_588310_20070213_3a_J	60x60 km	CONAFOR
5.	s5_589309_20071207_3a_J	60x60 km	CONAFOR
6.	s5_589310_20080404_3a_J	60x60 km	CONAFOR

5.1.2 Información Cartográfica

La cartografía temática digital es compilada para atender las diversas variables, se procesa mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGis© 9.2. La identificación de las áreas se llevó a cabo mediante geoprocесamientos y análisis espaciales de las coberturas cartográficas que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Relación de capas de vectores utilizadas en el proceso

Nombre de la capa / Estudio	Fuente	Escala
Áreas naturales protegidas	INEGI (conjunto de datos topográficos de Hidalgo escala 1:50000)	1:50000
Localidades	INEGI (conjunto de datos topográficos de Hidalgo escala 1:50000)	1:50000
Curvas de nivel	INEGI (conjunto de datos topográficos de Hidalgo escala 1:50000)	1:50000
Uso de Suelo y Vegetación Estado de Hidalgo	GOBIERNO DEL ESTADO	1:50000
Diseño de muestreo del Inventario Estatal Forestal	GOBIERNO DEL ESTADO	1:50000
Microcuencas UMAFOR 1304	ERF 2010	1:250000
Unidades de gestión ambiental UMAFOR 1304	ERF 2010	1:250000
Climas_Hgo	ERF 2010	1:250000
Índice de Deforestación para el Estado de Hidalgo	INE	1:250000

5.1.3 Datos alfanuméricos

La zonificación ecológica comprende el análisis del territorio de manera integral, paso definitivo en la elaboración del diagnóstico ambiental territorial. En la zonificación se considera el paisaje como una entidad espacio temporal integrada, contribuyendo a presentar la dinámica de los procesos ecológicos y funcionamiento del paisaje; logrando así una planificación prospectiva del uso

de la tierra que garantice la conservación y uso sostenido de los recursos naturales.

Para realizar una conservación correcta de la diversidad biológica es necesario ubicar las áreas más ricas, las que contienen una mayor diversidad, aquellas con altos niveles de endemismos en los grupos biológicos y aquellas que contienen especies que se encuentran en la NOM 059 que proporciona los listados de especies con estatus de protección especial. La identificación de las áreas críticas para la conservación de la biodiversidad, es urgente dadas las elevadas tasas de deforestación y cambios en el uso de suelo que ocurren en la actualidad, lo que conlleva a la pérdida de importantes números de especies, así como de hábitats particulares y pérdida de la funcionalidad de los ecosistemas (SEMARNAT, 2007). Asimismo, se puede perder biodiversidad de manera importante debido en parte a la falta de estrategias que permitan identificar lo que es realmente prioritario conservar.

En este estudio se consideró como información alfanumérica las tablas obtenidas de la NOM 059 SEMARNAT, 2010., específicamente la riqueza de la fauna encontrada en la región de estudio, haciendo hincapié que por el tipo de región ambiental-climática solo se considera a la avifauna, anfibios y reptiles.

5.2 Enfoques y Desarrollo

5.2.1 Enfoques

En el presente trabajo se realizó una identificación a nivel regional de aquellas zonas de beneficios provistos de servicios ambientales ecosistémicos y que son reconocidos por el esquema de Pago por Servicios Ambientales en México especialmente hablando de los derivados de la conservación de la

biodiversidad y que son relevantes por su oferta y demanda, así como por el riesgo de perder dichos servicios. (González, 2011).

De tal modo que la identificación de zonas elegibles o prioritarias para el PSA se basó en gran medida en la metodología utilizada por Imbach (2005) y Ortiz y Cuanálo (1984). En la primera se explica que mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y el análisis para la toma de decisiones Multicriterio propuesta por Malczewski (1999) se identificaron las áreas prioritarias para el pago por servicios ambientales en Costa Rica. (González, 2011). En la segunda se explica de manera puntal los pasos a seguir para generar las áreas o unidades ambientales que delimitan espacialmente el área de estudio.

La metodología consiste de dos componentes principales cuya integración permite dar prioridades para el PSA; esto se refiere a que un mapa de provisión de servicios ecosistémicos es combinado con un mapa de la amenaza o riesgo a perder estos servicios. En esta metodología se le da prioridades a las diferentes actividades elegibles bajo los actuales esquemas de servicios ambientales de CONAFOR (que serían la conservación del bosque y los SAF) pero cada una es evaluada de forma diferente (González, 2011).

Dado que la información utilizada es un tanto heterogénea se debió utilizar un método que estandarizara u homogeneizara los criterios y escalas ya que estos toman valores muy diferentes entre sí. Este problema se resolvió mediante la estandarización de los criterios (Malczewski, 1999). En la cual todos los criterios son transformados en una escala común de medida y también el

significado de los valores es evaluado en términos del objetivo a obtener (González, 2011).

Antes de integrar conjuntar los criterios e indicadores para la generación de los mapas de oferta de servicios, demanda o riesgo, la importancia relativa de cada criterio y de cada indicador, es evaluada a través de la asignación de pesos mediante la consulta de literatura y por medio de la consulta con expertos.

Al obtener los pesos de los criterios, se realizó un análisis de consistencia de las proporciones de cada uno con la finalidad de identificar incongruencias en la matriz de pesos asignados por los expertos (González, 2011).

Con la finalidad de saber si uno o varios de los criterios son cíclicos se realizó un análisis de correlación entre los mismos y así poder determinar cuáles de ellos tiene mayor peso dentro de la propuesta.

Cabe señalar que para el presente trabajo la unidad mínima cartografiable es de 10 x 10 m.

5.2.2 Desarrollo

Para la delimitación y caracterización de las áreas de importancia del presente estudio se tomó en cuenta la metodología del levantamiento fisiográfico (Ortiz y Cuanálo, 1984), dicho método está basado en una modificación de la metodología de Webster y Beckett y está compuesta por los siguientes pasos según el diagrama propuesto en la Figura 4.

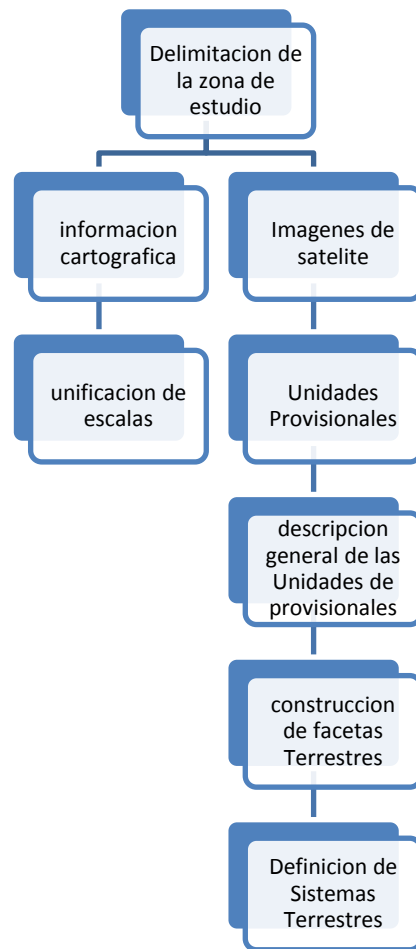


Figura 4.- esquema de los procesos realizados para la caracterización del área

6. RESULTADOS

6.1.1 Delimitación de la zona de estudio

6.1.1.1 Unidades o Sistemas terrestres provisionales

Este proceso se realizó mediante la utilización de imágenes aéreas específicamente de satélite del sensor SPOT XS con tres bandas de color, se delimitaron linderos en forma de polígonos que a simple vista tuvieran características similares toponímicamente y climáticamente hablando, considerando en gran medida que el clima es el factor principal para la creación

de zonas bióticamente homogéneas. Dichos linderos fueron hechos sobre un mosaico de imágenes de los años 2007 y 2008, con una resolución espacial de 3600km² cada una. Estas imágenes permitieron, mediante un sistema de Información Geográfica (SIG) delimitar más fácilmente dichas áreas, esto como una modificación a la metodología original, ya que para ese tiempo no existían las ventajas digitales actuales, es importante mencionarlo ya que según el método propuesto por los autores esto debió de hacerse mediante imágenes y cartografía impresa. En la Figura 5, se muestra el mosaico de imágenes de satélite utilizado para la UMAFOR 1304 en cobertura completa y en la Figura 6 se muestra solo el recorte que atañe específicamente al límite geopolítico de la Unidad. Para realizar el proceso de unión de las imágenes se utilizó la herramienta que viene integrada en la caja de herramientas del propio ArcGis 9.2 la ruta es la siguiente: *arctoolbox>data management tools>raster>raster dataset>mosaic to new raster*.

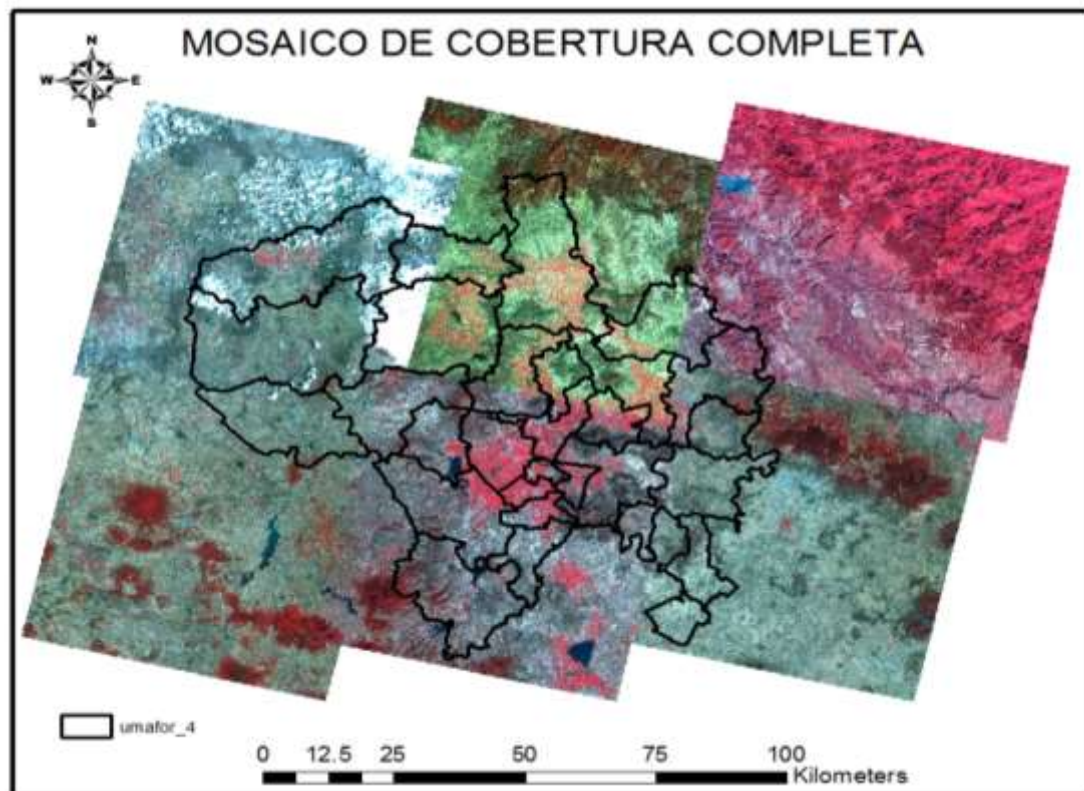


Figura 5. Mosaico de imágenes de cobertura de la UMAFOR 1304

En la imagen de la Figura 6 se puede observar el recorte del mosaico de imágenes el cual muestra solo el límite de la UMAFOR 1304, proceso elaborado mediante la herramienta: *spatial analyst tools>extraction>extract by mask*.

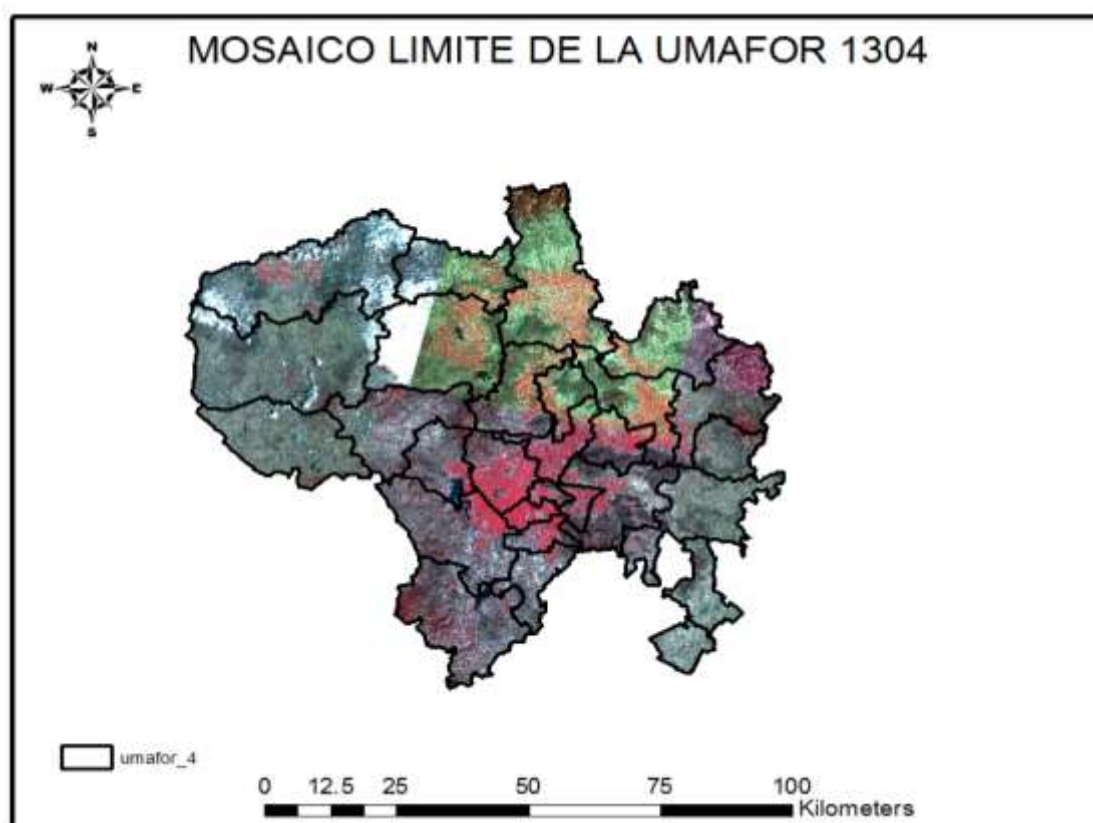


Figura 6. Recorte del mosaico de imágenes para la delimitación de la UMAFOR 1304

Dadas las condiciones climáticas de la Unidad de manejo, se determinó que se usaran como unidades provisionales o sistemas terrestres los polígonos generados por los tipos de clima que convergen en la UMAFOR 1304, esto debido a que por defecto las características biológicas flora y fauna se ven afectadas por el factor clima. De tal modo que para el presente trabajo se ubicaron según la capa de vectores de clima del Estudio Regional Forestal con escala 1:250000, nueve polígonos con características climáticas propias, lo que nos da un total de nueve Unidades provisionales a describir. Cabe mencionar que de acuerdo a los datos obtenidos en cuanto a hábitat naturales se refiere en los cuales se desarrollan las especies faunísticas que se mencionarán más adelante, sólo se hace una descripción del tipo de vegetación de cada una de

las unidades terrestres provisionales. La Figura 7, muestra las unidades provisionales delimitadas.

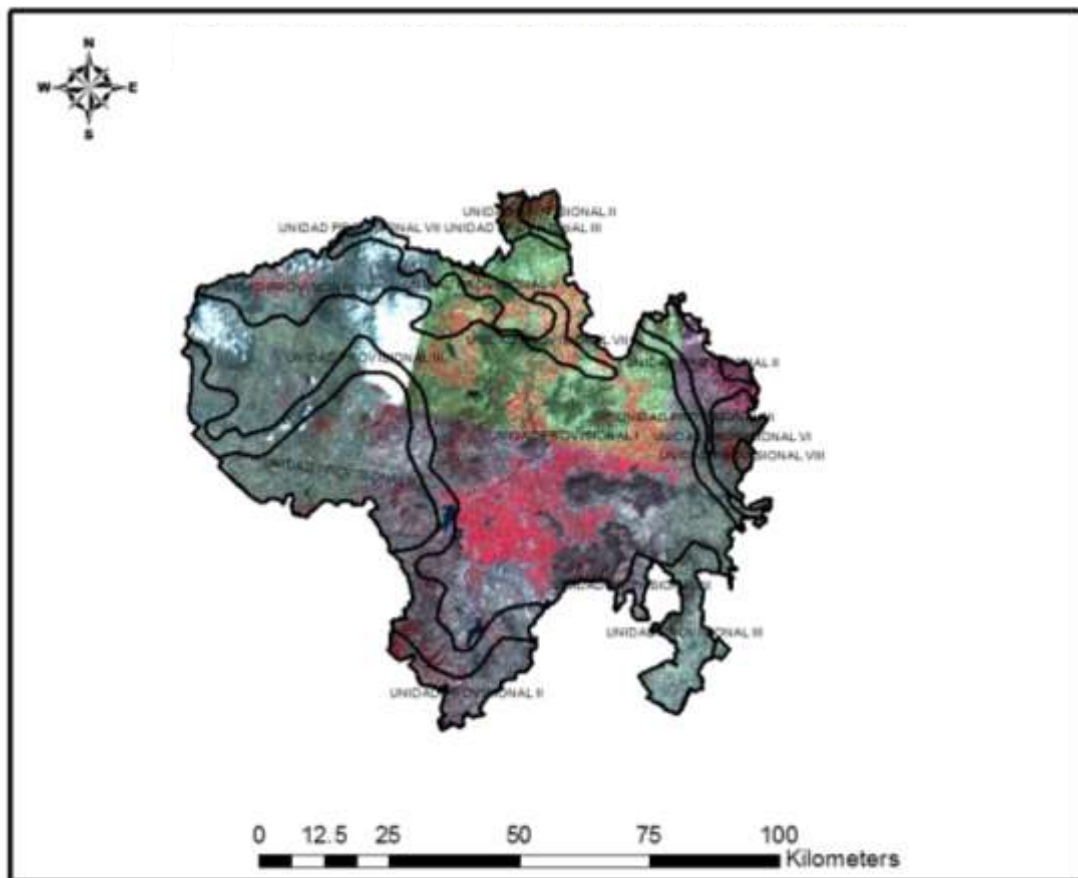


Figura 7. Unidades Terrestres delimitadas

En el Cuadro 4, se muestran los datos mencionados y se hace una descripción de cada Unidad Provisional Terrestre.

En el mapa de la Figura 8, se ve con mayor claridad la distribución de dichas unidades.

Cuadro 4. Descripción de las unidades terrestres

TIPO DE COBERTURA/UNIDAD PROVISIONAL	UNIDAD PROVISIONAL I		UNIDAD PROVISIONAL II		UNIDAD PROVISIONAL III		UNIDAD PROVISIONAL IV		UNIDAD PROVISIONAL V		UNIDAD PROVISIONAL VI		UNIDAD PROVISIONAL VII		UNIDAD PROVISIONAL VIII		UNIDAD PROVISIONAL IX	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
AREA SIN VEGETACION APARENTE	723	0			83	0.1	10	0	9		8	0.1						
BOSQUE DE ABIES											0				785	45.9		
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO											224	1.8						
BOSQUE DE ENCINO	4,607	1	4,724	4	1,391	1.3	685	1.4	1		1,141	9.2			71	4.2		
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	5,805	2	9,502	9	6,224	5.7					1,184	9.5			350	20.5		
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA			2,440	2		0												
BOSQUE DE PINO	2	0	1,448	1	974	0.9												
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	68	0	1,161	1	2,444	2.3												
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA			534	0	90	0.1												
BOSQUE DE TASCATE	6,241	2	3,725	3	2,258	2.1	1,612	3.3	4		2,019	16.3						
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA			4	0		0												
CUERPO DE AGUA	1,872	1	678	1	1,178	1.1	113						62	0.6				
MATORRAL CRASICAULE	66,924	20	6,936	6	10,185	9.4	22,549	45.8	8,574	45	1,456	11.7	1,810	18				
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	440	0	564	1	405	0.4					658	5.3						

MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	17,864	5	860	1	1,096	1	1,787	3.6	287	1.5			398	4				
MATORRAL SUBMONTANO			1,661	2	1,118	1					88	0.7					7	98.7
MEZQUITAL	220	0		0		0					186	1.5			104	6.1		
OTROS USOS	1,930	1	674	1		0	97											
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	170	0	512	0	867	0.8					820	6.6						
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	24,877	8	23,550	22	13,439	12.4	4,176	8.5	9				168	1.7	25	1.5	0	1.3
SELVA BAJA CADUCIFOLIA			16	0	18	0												
USO AGRICOLA	177,790	54	47,661	44	63,364	58.5	17,586	35.8	9,360	49.1	4,619	37.2	7,282	72.5	374	21.9		
USO URBANO	19,944	6	1,594	1	3,264	3	568	1.2	813	4.3	9	0.1	324	3.2				
TOTAL	329,475	100	108,246	100	108,398	100	49,183	100	19,057	100	12,413	100	10,044	100	1,709	100	7	100

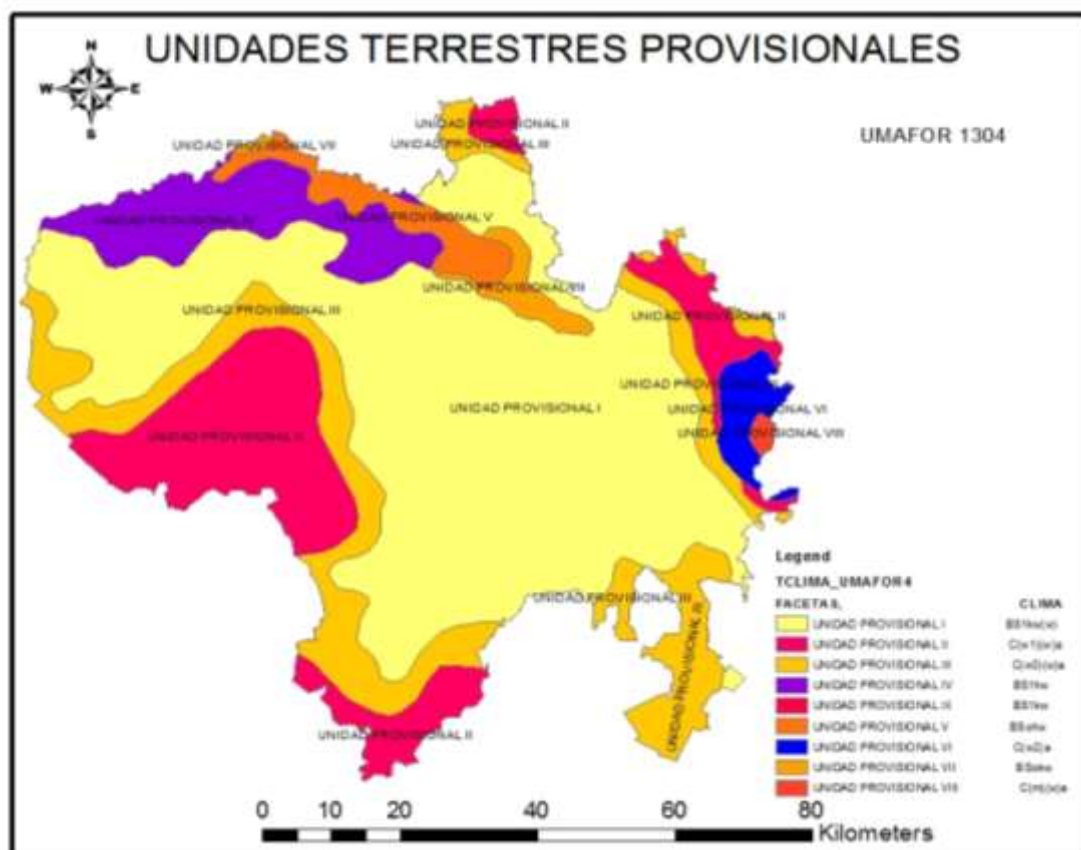


Figura 8. Unidades terrestres delimitadas de acuerdo a su importancia en extensión territorial

Como se puede observar en la columna “ha” del Cuadro 4, el polígono denominado “unidad provisional I” es el de mayor superficie, representando aproximadamente el 52% de la superficie total, seguido de la unidad provisional II con un 17% esto concuerda con la idea de que en la UMAFOR 1304 predominan los climas o sistemas climáticos árido y semiárido esto deja pocas posibilidades a tener suficiente cobertura forestal lo cual es un requisito indispensable en las reglas de operación del Proárbol que utiliza la CONAFOR para la identificación de Zonas Elegibles en áreas de pago diferenciado, para el Concepto de Apoyo B2. Servicios Ambientales de Proárbol 2012. (CONAFOR 2012) la cual dice que, Para la determinación de las zonas elegibles se utilizan

los criterios en las Reglas de Operación, como elemento normativo indispensable, entre los que destaca que el pago se otorgará para las superficies con bosques o selvas, que dentro de cada área propuesta tengan una cobertura forestal arbórea mayor del 50 por ciento.(CONAFOR, 2012).

Tras hacer una superposición e intersección de las capas de vegetación y uso de suelo, clima y tipos de suelo se obtuvieron 20 polígonos con características biótico-topográficas, similares, este tipo de superposición es utilizada en la planificación ambiental para la determinación de unidades de paisaje y como diagnostico dependiente de la escala. El Cuadro 5, se muestra la descripción de cada faceta terrestre encontrada de acuerdo al cruce de capas que se realizó.

Cuadro 5. Facetas terrestres en la UMAFOR 1304

FACETAS SISTEMA TERRESTRE UMAFOR 1304						
No.	FACETA TERRESTRE	AREA (ha)	PERIMETRO (m)	TIPO DE VEGETACION	TIPOS DE CLIMA	TIPOS DE SUELO
1	San Juan - Tula	296,428	617,013	Con un 54 % y 24 % respectivamente, los tipo de cobertura uso agrícola y matorral crasicaule son los que se pueden apreciar mejor en esta faceta	Existen los climas BS1kw(w), C(w0)(w)a y C(w1)(w)a, los cuales en orden de importancia se encuentran en 1ro, 2do y 3er lugar respectivamente	Dado el tamaño de esta faceta es en la cual convergen la mayoría de los tipos de suelo los cuales son: cambizol húmico, feozem calcarico, feozem haplico, feozem luvico, litosol, planosol molico, regosol calcarico, districo y eutrico, también se encuentra el rendzina y vertisol pelico

2	Tepanatepec	57,693	131,718	Con un 58 % del total de la superficie, el tipo de cobertura uso agrícola es el dominante en esta faceta. Sin embargo en una proporción relativamente importante existe el matorral crasicaule	a pesar de su gran superficie solo existe un tipo de clima el cual es: BS1kw(w) que pertenece al grupo de los semisecos semiáridos	litoso, vertisol pelico y rendzina son los tipo de suelo que abarcan la mayoría de la superficie de esta faceta
3	Alfajayucan	53,092	129,889	De acuerdo al mapa de uso de suelo y vegetación del Inventario Estatal Forestal, esta faceta se caracteriza por tener más del 51% de su superficie destinada al ámbito agrícola	Predomina el tipo de clima C(w1)(w)a el cual se caracteriza por estar dentro del grupo de los templados subhúmedos con temperaturas medias anuales de entre los 12 y 18°C	predominan los suelos vertisol pelico con textura fina y el vertisol Haplico con textura media

4	Salomón	46,336	129,104	La cobertura denominada como uso agrícola ocupa el 56 % de la superficie total, seguida del matorral crasicaule con un 21 %	Los climas más predominantes son BS1kw(w) y el C(w0)(w)a del grupo de los templados subhúmedos con temperaturas medias de entre los 12 y 18 °C . Cabe mencionar que el primero de estos es el que predomina mayormente a nivel de faceta	El vertisol pelico es el suelo con mayor ocupación a nivel de superficie de esta faceta, sin embargo en una proporción no mucho menor también existe como codominante el tipo de suelo litosol con texturas fina y media respectivamente.
5	El Molino	41,300	111,279	Existe una dominancia de la cobertura denominada uso agrícola con un aproximado del 46 % de su superficie, sin embargo el segundo lugar lo ocupa el matorral crasicaule con un 17 %	El tipo de clima dominante es el BS1kw(w) que pertenece al grupo de los semisecos	El tipo de suelo que domina es el Feozem Haplico con texturas mediana y fina.

6	Blanco - Amajaque	25,944	148,943	En esta faceta domina el bosque de táscate de acuerdo al mapa de Uso de suelo y vegetación del IEF-Hidalgo, con un porcentaje de 27% de ocupación de dicha vegetación	los climas más predominantes son C(w1)(w)a y el C(w2)a del grupo de los templados subhúmedos con temperaturas medias de entre los 12 y 18 °C	Los tipo de suelo dominantes son el Rendzina y litosol con texturas que van desde las finas hasta las medias
7	Nopala	23,953	80,983	La cobertura conocida como uso agrícola cubre un gran porcentaje de la superficie de este faceta con más de un 80 % del total.	En esta faceta predomina el clima C(w1)(w)a que se caracteriza por ser del grupo de los templados con temperaturas media anual de entre 12 y 18 °C	El tipo de suelo feozem haplico es el mayor dominancia con textura media

8	Pachuca - Cd. de México	20,901	154,865	La cobertura conocida como uso agrícola cubre un gran porcentaje de la superficie de este faceta con más de un 85 % del total.	El clima C(w0)(w)a es el mayor distribución a lo largo y ancho de esta faceta, sin embargo también existen climas como el BS1kw(w) y el C(w1)(w)a que aunque en menor proporción son de importancia dentro de la zona.	Dominan los suelo feozem haplico y litosol, el primero con texturas fina a media y el segundo con textura media.
9	Presa Boquilla Tecolotes	20,225	69,548	Dadas que se describen para esta faceta en cuanto a clima y suelo, la características de esta faceta domina el tipo de cobertura pastizal inducido y/o cultivado con un 51 % de ocupación del total de la superficie de esta faceta.	En esta faceta convergen los climas BS1kw(w), Bsokw y Bsohw de los cuales los primeros dos pertenecen al grupo de los semisecos-semiáridos y el tercero al de los secos áridos.	Predominan los suelo vertisol pelico con textura fina y vertisol calcarico con textura fina media.

10	Tepejí del Río	17,443	80,607	con un 47 % de pastizal cultivado es el tipo de cobertura que predomina en esta zona, sin embargo por relativa importancia es necesario decir que el matorral crasicaule es también de mucha importancia ecosistémica en esta zona	C(w0)(w)a y C(w1)(w)a son los climas dominantes	El tipo de suelo feozem haplico es el mayor dominancia con textura media
11	Endo	12,706	74,287	para esta faceta más del 60 % de su superficie está clasificada como de uso agrícola, seguido del matorral crasicaule con un 14 % de cobertura.	El tipo C(w1)(w)a es el clima que predomina en la zona, perteneciente al grupo de los templados subhúmedos con temperaturas que oscilan entre los 12 y 18 °C.	Domina el suelo Feozem haplico con textura fina y media.
12	Poanxho	9,529	50,220	Existe pastizal inducido con 61 % y bosque de encino con vegetación secundaria con 18 % de la cobertura total de la faceta respectivamente.	C(w0)(w)a es el clima dominante en la faceta.	Feozem haplico es el suelo existente en esta faceta el cual tiene una textura media.

13	El Salto	7,192	41,396	Con una cobertura de más del 53 % el uso que predomina en esta faceta es el agrícola segundo del pastizal inducido y/o cultivado con un 22%.	El tipo de clima dominante es el C(w1)(w)a que pertenece al grupo de los templados subhúmedos con temperatura promedio anual de entre los 12 y 18 °C.	Domina el suelo tipo Feozem calcarico con textura media.
14	San Andrés - Clara	4,485	35,799	Los tipos de cobertura bosque de pino-encino (incluye encino-pino) y bosque de encino-pino con vegetación secundaria son los que predominan a lo largo y ancho de la faceta con porcentajes del 49 y 33 % respectivamente.	C(w1)(w)a y C(w0)(w)a son los climas que dominan en la mayoría de la superficie de la faceta.	El tipo de suelo regosol eutrico es el de mayor dominancia en esta faceta.
15	Villa del Carbón	2,254	38,384	Pastizal inducido y bosque de encino con vegetación secundaria dominan el paisaje de esta faceta con porcentajes respectivos del 64 y 34 % respectivamente.	Los climas existentes en esta faceta son: C(w0)(w)a y C(w1)(w)a que pertenecen al grupo de los templados subhúmedos.	Feozem haplico y calcarico son los suelos dominantes.

16	Las Rosas	1,302	26,341	Con un 83 % de cobertura predomina el pastizal cultivado o inducido, dejando en segundo lugar al matorral crasicaule con 9 % del total de la superficie de esta faceta.	Con una dominancia del 100% el clima C(w0)(w)a es el representativo de esta zona. Con temperaturas medias anuales de entre los 12 y 18 °C .	Los suelos característicos de esta zona son el vertisol pelico y feozem aplico con texturas de fina a mediana.
17	Amealco - Presa Centenario	1,056	22,824	De acuerdo al mapa de uso de suelo y vegetación del Inventario Estatal Forestal, esta faceta se caracteriza por tener más del 51% de su superficie destinada al ámbito agrícola.	Predomina el tipo de clima C(w1)(w)a el cual se caracteriza por estar dentro del grupo de los templados subhúmedos con temperaturas medias anuales de entre los 12 y 18°C.	Predomina el tipo de suelo feozem Haplico con textura media, aunque también existen los suelos planosol molico con textura igual al primero.
18	Victoria - Moctezuma	653	21,526	Esta faceta está cubierta en su mayoría por el tipo de cobertura denominada bosque de pino-encino (incluye encino-pino) la cual ocupa el 64 % de la superficie total.	Existe como dominante el tipo de clima C(w0)(w) al cual pertenece al grupo de los templados subhúmedos con temperatura media anual que va de entre los 12 y 18 °C.	Existen los tipos de suelo regosol eutrico y feozem calcarico con un 60 y 40 % de dominancia respectivamente.

19	San Idelfonso	139	6,099	Solo se encuentra como tipo de cobertura el uso agrícola con unas 139 hectáreas	C(w0)(w)a es el tipo que predomina	Feozem haplico es el suelo existente en esta faceta el cual tiene una textura media
20	Presa El Molino	24	4,205	La más chica en superficie en comparación con las otras 19 facetas, solo con una cobertura de 24 hectáreas y con un solo tipo de cobertura uso agrícola con el 100 % de la misma.	existe solo un clima dominante de toda la faceta el cual es el C(w1)(w)a que pertenece al grupo de los templados subhúmedos, con temperatura media anual en un rango que va desde los 12 y hasta los 18 °C	El tipo de suelo feozem haplico es el único que existe en esta faceta, el cual tiene una textura media.

El mapa de la Figura 9, muestra las facetas terrestres identificadas dentro de la UMAFOR 1304.

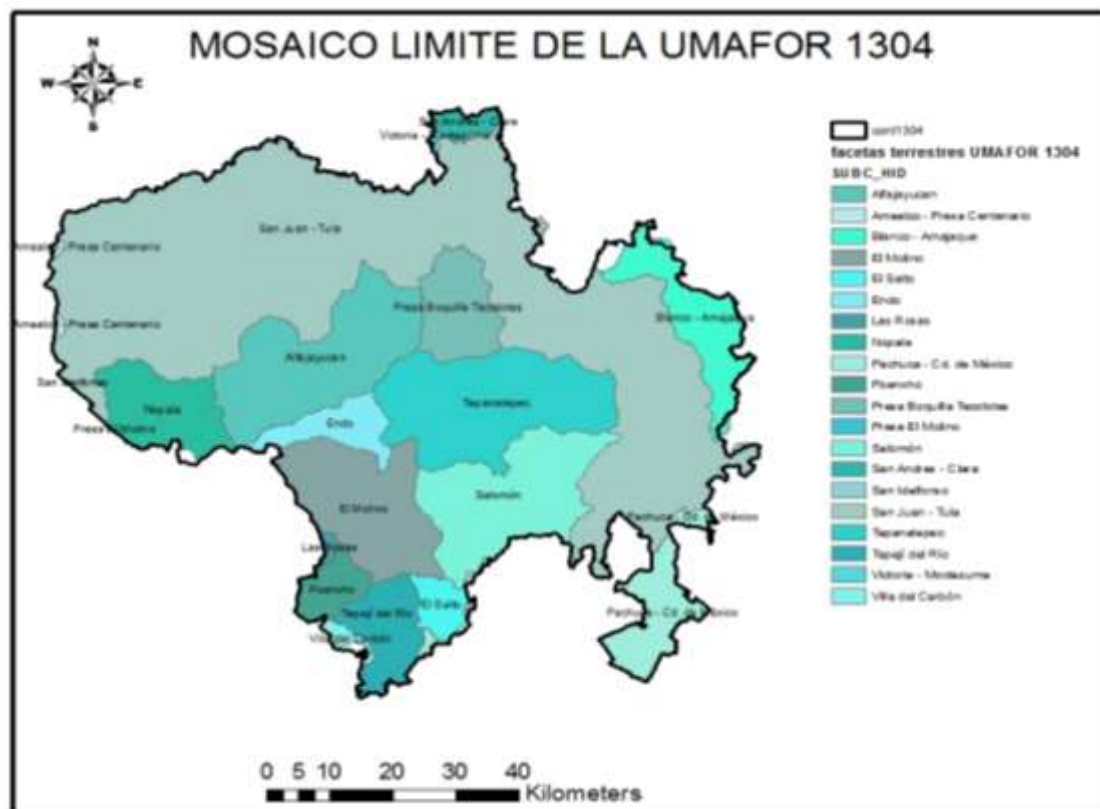


Figura 9. Facetas terrestres encontradas en la UMAFOR 1304

6.2 Asignación de valores a criterios e indicadores

El presente estudio requirió de la integración de un esquema jerárquico que mediante el uso de conceptos ambientales fuera integrando criterios y su importancia con la finalidad evaluar el desempeño de ciertas actividades. Así pues los criterios que se utilizaron para evaluar las zonas con prioridad por su importancia para la provisión de los servicios ambientales, su demanda y el riesgo o amenaza de perderlos, fueron elegidos acorde a la literatura consultada y la información disponible para la zona de estudio (González, 2011).

Se debe señalar que para el caso de la demanda para los servicios derivados de la conservación de la biodiversidad, no se considera una demanda como tal por los usuarios dado que estos servicios son importantes únicamente por el hecho de existir de la misma, que en este caso se remite únicamente a la conservación de los ecosistemas que la proveen y ciertos usos de la tierra que no alteran significativamente la función de los mismos.

Mediante la consulta de literatura y a través de expertos en los diferentes temas fue posible obtener el peso asignado a cada criterio e indicador los cuales permitieron identificar espacialmente las áreas elegibles para PSA derivados de la Biodiversidad.

Mediante el método de comparación "*pair wise comparision*" (comparación por partes desarrollado por Saaty, 1997) fue posible dar un peso (P) o valor a los criterios, mientras que para los indicadores se utilizó el método de "*Ratio estimation procedure*" (Procedimiento de estimación de porcentajes). Para ambos métodos se utilizó una escala de 0 a 100.

"De esta forma, el método *Pair wise comparison* se utiliza para el nivel jerárquico de más arriba porque es más preciso cuando se necesita comparar cada criterio con el restante e implica el cálculo de una proporción de consistencia de los resultados para evaluar la coherencia de comparaciones. En cambio, el *Ratio estimation procedure* es más fácil (simple y rápido) de utilizar por lo que se aplicó únicamente en el nivel jerárquico menor que corresponde a los indicadores de cada criterio" (González, 2011). Figura 10.

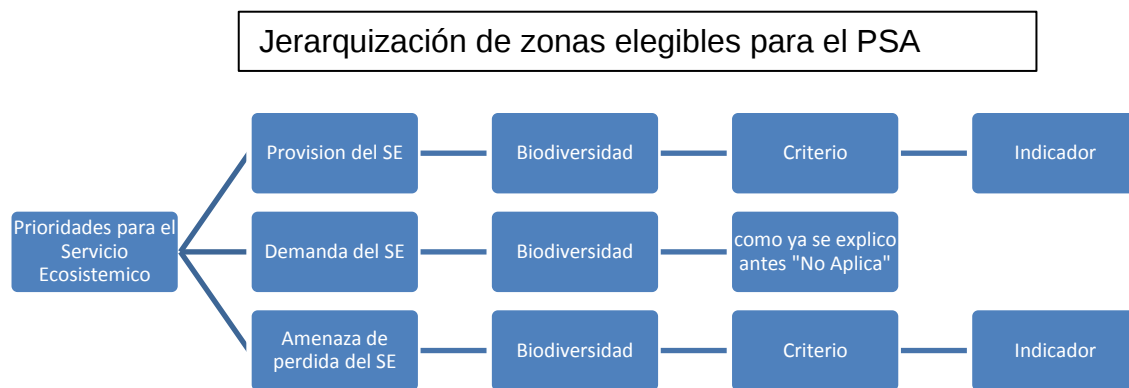


Figura 10. Estructura de la jerarquía para la priorización de zonas elegibles para el PSA.

En el presente estudio se utilizó el “*procedimiento de rangos record*”. Para los criterios e indicadores benéficos se usó la **Ecuación 1**, mientras que para los criterios e indicadores de costos se utilizó la **Ecuación 2**. La interpretación de estas ecuaciones es que cuando el criterio o indicador benéfico es el más alto, el valor es más atractivo y el criterio tiene que ser maximizado; y cuando el criterio o indicador de costos es mayor, el valor es menos atractivo y el criterio tiene que minimizarse. (González, 2011).

Ecuación 1:
$$X'_{ij} = \left(\frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \right) * 100$$

Ecuación 2:
$$X'_{ij} = \left(\frac{X_{jmax} - X_{ij}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \right) * 100$$

donde:

X'_{ij} = Valor del pixel estandarizado

X_{ij} = Valor de todos los pixeles en el mapa

X_{jmax} = Valor máximo del pixel en el mapa

X_{jmin} = Valor mínimo del pixel en el mapa

En el caso de variables cualitativas y categóricas se utilizó la **Ecuación 3**, mediante la cual se le asigna un valor con rango equivalente (de forma ascendente o descendente) a cada clase o categoría.

Ecuación 3: $\left(\frac{X_{ijmax}}{n} \right)$

donde:

X_{jmax} = Valor máximo del pixel en el mapa

n = Número de clases o categorías

6.3 Determinación de áreas por la provisión de Servicios Ambientales derivados de la conservación de la Biodiversidad

La conservación de la biodiversidad corresponde a la protección de especies de flora y fauna, esta puede ser de especies en específico o desde un ámbito más generoso es decir; la conservación de las funciones de los mismos ecosistemas. (González, 2011).

El pago por servicios ambientales destinado por la CONAFOR en nuestro país para la conservación de la biodiversidad se orienta a “Conservar la flora y fauna silvestre en sistemas forestales y sistemas agroforestales con cultivos bajo

sombra” (Diario Oficial de la Federación 2009). “Entendiéndose el concepto de vegetación forestal; como el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas, dando lugar al desarrollo y convivencia equilibrada de otros recursos y procesos naturales” (DOF, 2003).

De acuerdo a las categorías de Uso de Suelo y Vegetación que usa la CONAFOR para el PSA por concepto de Biodiversidad, en el presente estudio, se generó un mapa con zonas elegibles prioritarias para la conservación de la biodiversidad. Asumiendo que las zonas con mayor valor para la conservación son las únicas donde la biodiversidad provee la mayor cantidad de servicios ecosistémicos. (CONAFOR, 2012). Figura 11.

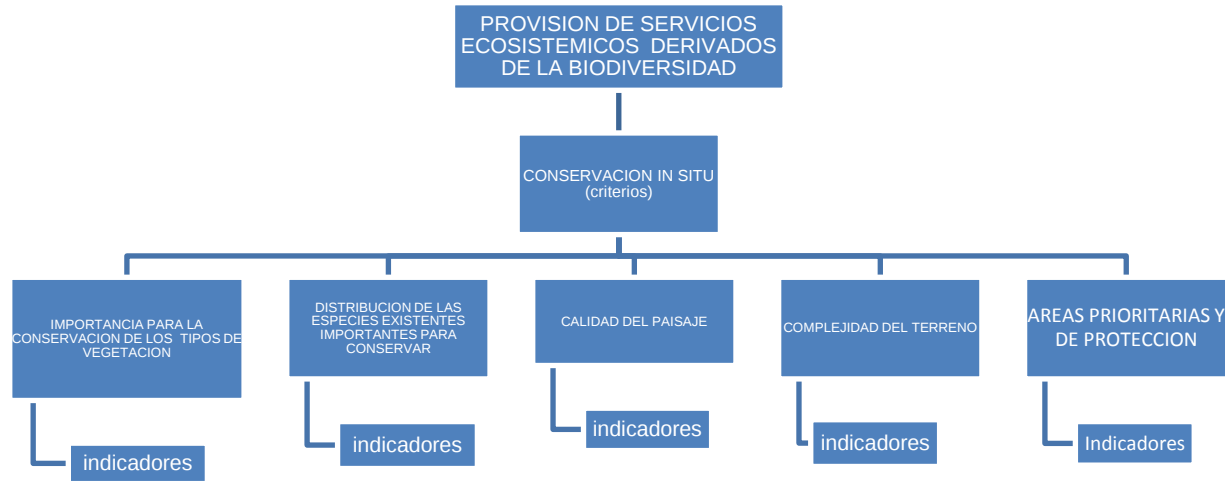


Figura 11 Estructura para la Jerarquía de priorización de las áreas para el PSA derivados de la conservación de la Biodiversidad

6.4 Criterios e indicadores para priorizar áreas para el PSA por conservación de la biodiversidad

En el esquema de la Figura 12, se aprecia de forma estructural la disposición de los criterios e indicadores utilizados para la priorización de áreas para el PSA por la conservación de la biodiversidad.

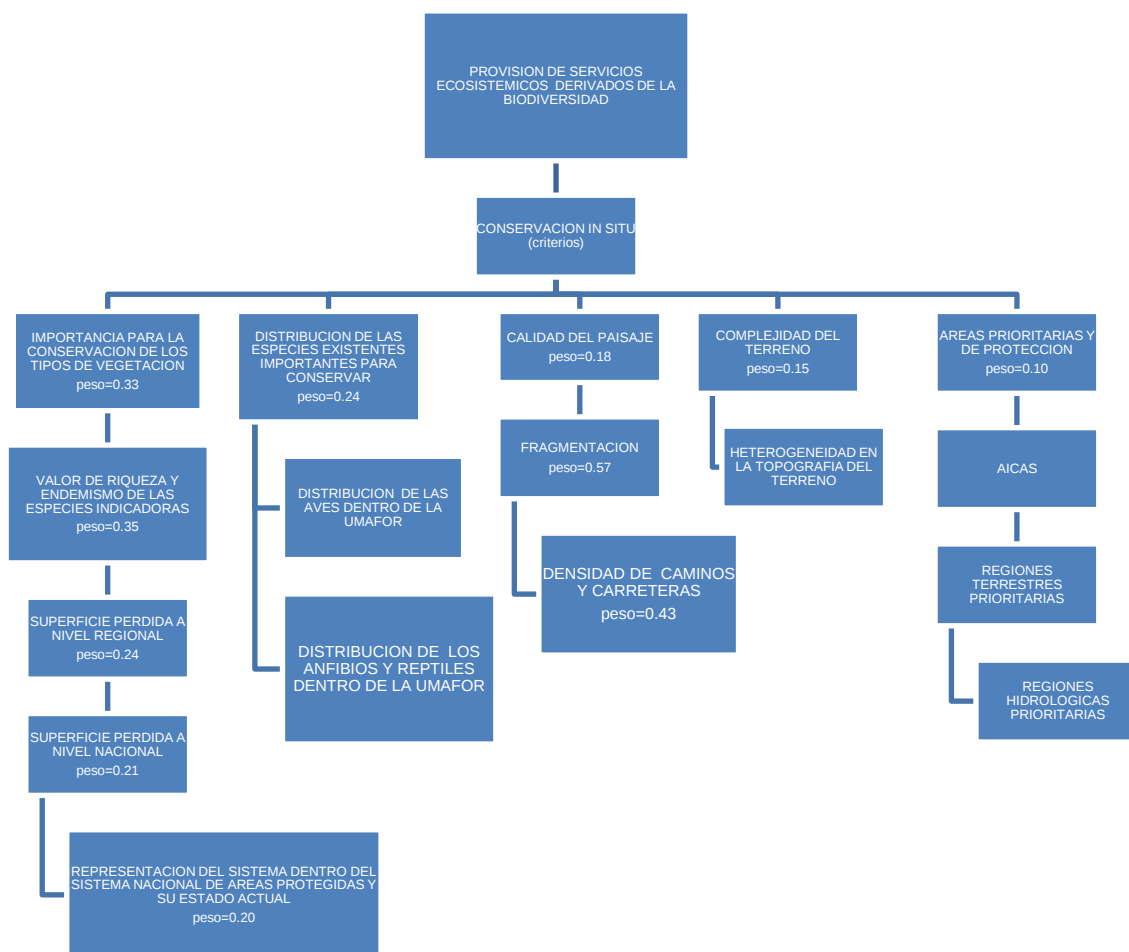


Figura 12. Esquema jerárquico de los criterios e indicadores a utilizar para priorizar áreas para el PSA, por la conservación de la biodiversidad.

6.4.1 Importancia para la conservación de ecosistemas en la Región

En concordancia con el mapa de Uso de suelo y vegetación del estado de Hidalgo el cual es derivado del Inventario Estatal Forestal escala 1:50000, se reportaron 25 categorías o coberturas, de las cuales 19 son de importancia forestal Cuadro 6, Figura 13.

Cuadro 6. Uso de Suelo y Vegetación UMAFOR 1304

Agrupación	superficie	%
AREA SIN VEGETACION APARENTE	832.43	0.13
BOSQUE DE ABIES	0.45	0
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	1,008.96	0.16
BOSQUE DE ENCINO	12,621.64	1.97
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	2,446.09	0.38
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	23,064.38	3.6
BOSQUE DE PINO	2,423.59	0.38
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	3,672.20	0.57
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	624.35	0.1
BOSQUE DE TASCATE	15,859.34	2.48
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	4.07	0
CUERPO DE AGUA	4,313.96	0.67
MATORRAL CRASICAULE	118,580.31	18.5
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	1,646.67	0.26
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	22,949.72	3.59
MATORRAL SUBMONTANO	2,874.08	0.45
MEZQUITAL	510.26	0.08
OTROS USOS	3,212.18	0.5
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	1,548.94	0.24
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	67,112.79	10.5
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	34.34	0.01

USO AGRICOLA	328,158.82	51.3
USO URBANO	26,516.53	4.14

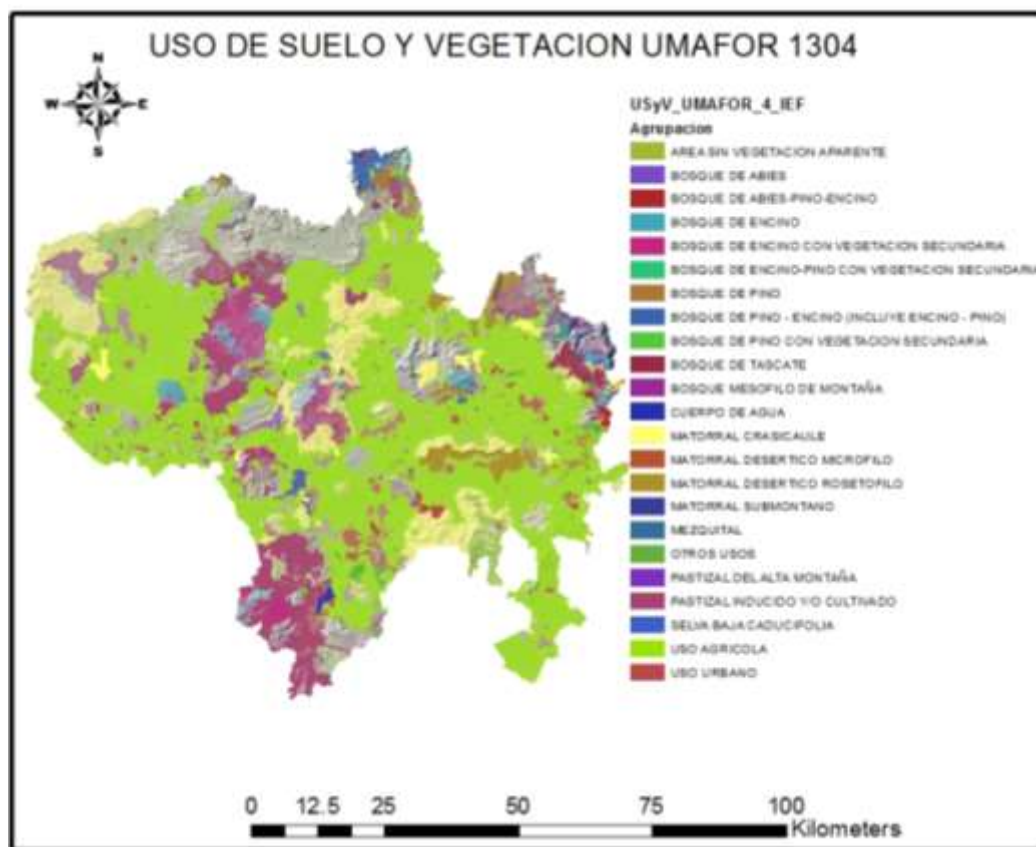


Figura 13. Mapa de Uso de Suelo y Vegetación

Para este documento se considerara a los tipos de vegetación reportados como ecosistemas (Rzedowski, 2006) y para la asignación de su valor dentro del estudio se consideraron cuatro indicadores base, los cuales se enumeran a continuación.

6.4.1.1 Valor de los ecosistemas por su riqueza y endemismo de especies

Flores y Gerez, 1994 citado por González, 2011 nos proporcionan una idea del número de especies endémicas y estatus de peligro de acuerdo a la NOM 059

esto con respecto a las especies que existen en el país. Trabajando bajo el supuesto de que los tipos de vegetación con mayor número de especies y endemismo son los más importantes para la protección de la Biodiversidad, entonces y mediante el uso de la **Ecuación 1**, se asigna a cada ecosistema un valor por la riqueza de especies y un valor por la cantidad de endemismos que se tienen, considerando que 100 es el valor más alto. Cuadro 7, Figura 14.

Cuadro 7. Valor de asignación de acuerdo al número de endemismos y riqueza de especies.

CATEGORIA DE ACUERDO AL INVENTARIO ESTATAL FORESTAL	SUB-AGRUPACION	AGRUPACION FINAL (FLORES Y GEREZ, 1994)	VALOR POR SU NUMERO DE ESPECIES	VALOR POR SU NUMERO DE ENDEMISMOS	VALOR FINAL (No. ESPECIES/No. ENDEMISMOS)	SUPERFICIE (ha)
BOSQUE DE ENCINO	BQ	BOSQUE DE ENCINO	100	53	87	12,622
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	BMM	BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	90	75	94	4
BOSQUE DE ABIES	BC	BOSQUE DE CONIFERAS	89	40	74	22,965
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	BC					
BOSQUE DE PINO	BC					
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	BC					
BOSQUE DE TASCATE	BC	BOSQUE TROPICAL	67	37	59	34
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	BT					
MATORRAL CRASICAULE	MATORRALES					
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	MATORRALES					
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	MATORRALES	MATORRALES	75	100	100	146,051
MATORRAL SUBMONTANO	MATORRALES					
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS					
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS					
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS	BOSQUES CON VEGETACION SECUNDARIA	61	0	35	26,135
MEZQUITAL	BE					
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	PA					
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	PA					
CUERPO DE AGUA	VA	VEGETACION SUBACUATICA				4,314
USO AGRICOLA	RESTO	RESTO DE ECOSISTEMAS	*	*	1	358,720
USO URBANO	RESTO					
OTROS USOS	RESTO					
AREA SIN VEGETACION APARENTE	RESTO					

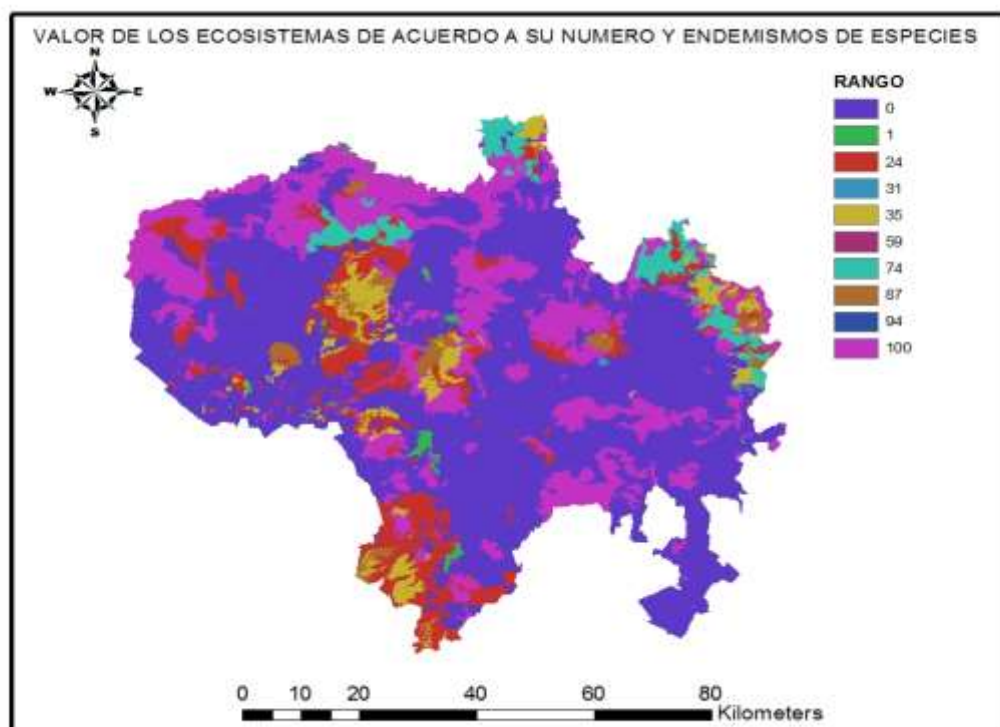


Figura 14. Valor de los ecosistemas de acuerdo a su número de especies y endemismos

6.4.1.2 Superficie pérdida a nivel regional.

El estado de Hidalgo pertenece a la depresión principal de la Sierra Madre Oriental, Reyes *et al.*, 2009, establece los ecosistema de mayor pérdida de superficie en dicha depresión, en un estudio realizado que ofrece datos que van desde el año 1989 al año 2005. Tomando en cuenta esta consideración y suponiendo que los ecosistemas de mayor pérdida de superficie son prioridad en la decisión de conservación, se tiene que mediante el uso de la Ecuación 1 propuesta anteriormente, los ecosistemas de mayor pérdida de superficie son los de mayor valor, para este caso se asigna el valor más alto según la escala utilizada por la metodología, es decir; 100 y este valor es el referente para

definir los valores menores, los cuales serán en proporción de la pérdida de superficie y serán menores. Cuadro 8. Figura 15.

Cuadro 8. Superficie perdida a nivel regional

Nombre de ecosistema	Superficie en 1989 km ²	Superficie en 2005 km ²	% de perdida	Valor asignado según su pérdida100
Bosque Tropical	244	223	8.6	100
Matorral Xerófilo	194	188	3.1	36
Bosque Templado	119	115	3.4	40
Demás ecosistemas	*	*	*	1

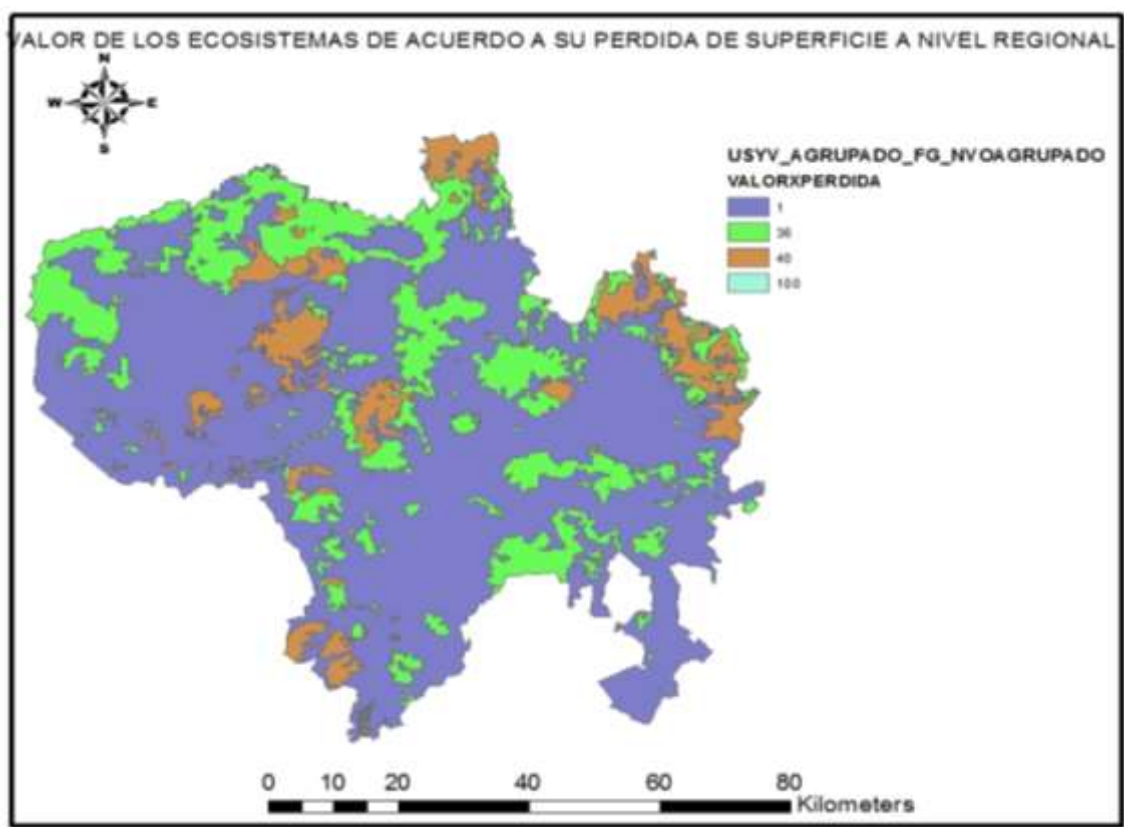


Figura 15. Mapa de valor de los ecosistemas de acuerdo a la superficie perdida a nivel regional.

6.4.1.3 Superficie perdida a nivel nacional

Sarukhan, 2009 propuso cuales eran los porcentajes de perdida de los ecosistemas más importantes en nuestro país, de tal modo que igual que se obtuvo el indicador anterior, se le dará el valor más alto al ecosistema que tenga la mayor superficie perdida, así pues en relación a este, se determinara

el valor menor para los ecosistemas con menores pérdidas de superficie. Como se muestra en el cuadro 9, Figura 16.

Cuadro 9. Superficie perdida a nivel Nacional

Tipo de ecosistema	Perdida de superficie %	Valor asignado según su pérdida
Bosque tropical (húmedo y seco)	76	100
Bosque mesófilo de Montaña	66	89
Bosques Templados	52	68
Zonas áridas y semiáridas	16	21
Demás ecosistemas	*	1

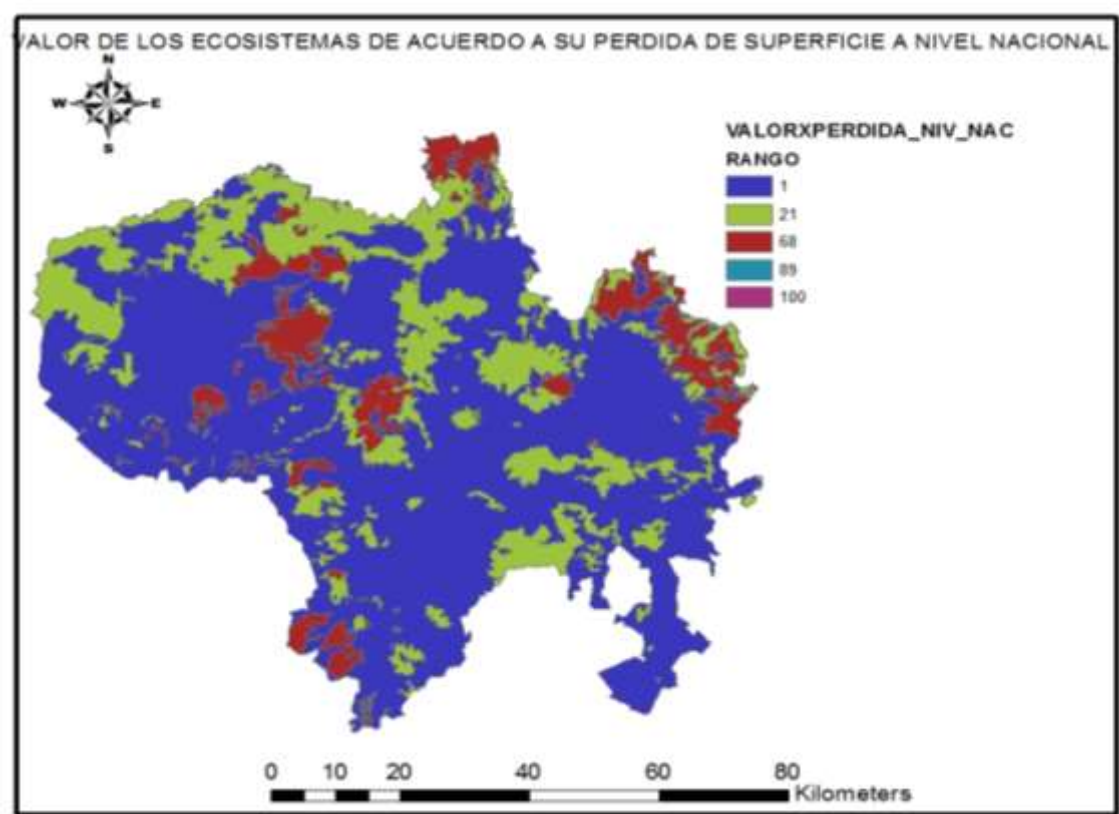


Figura 16. Valor de los ecosistemas por su pérdida de superficie a nivel nacional.

6.4.1.4 Representación de los ecosistemas dentro del sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas y su estado de conservación actual.

Suponiendo que los ecosistemas con menor superficie en estatus de protección sean los más desprotegidos y con la más alta tasa de vulnerabilidad a desaparecer, se asume que su superficie actual es por lo tanto muy poco

representativa dentro del territorio nacional, estatal y regional. De acuerdo con Benzury en estudios del 2009, para este trabajo los ecosistemas cuya superficie es la de menor representación dentro de alguna de las categorías del SNANP se les asignara el valor más alto por la prioridad de estos a ser protegidos, es decir 100. Continuando con la metodología de estandarización de los criterios anteriores y mediante el uso de la Ecuación 2, de acuerdo a su prioridad para ser protegidos se le asigna un valor al ecosistema propuesto, es decir, si se supone que los ecosistemas con menor superficie en el país tienen mayor prioridad de protección se le asignara el valor de 100 y con respecto a este valor se ponderarán los valores restantes menores.

Usando la media aritmética se promediaran los valores obtenidos de la columna denominada “Representación dentro del SINAP” y “Superficie actual en el País”. Como se muestra en el Cuadro 10. Figura 17.

Cuadro 10. Valor de los ecosistemas de acuerdo a su superficie y representación dentro del SINAP

	valor por su superficie actual en el País	valor por su representación dentro del SINAP	valor asignado promedio
Pastizal	100	29	100
Mezquital, palmar y vegetación de zonas costeras	13	100	88
Selva subcaducifolia	57	44	79
Bosque de coníferas	75	16	71
Bosque de encino	47	11	45
Selva caducifolia	47	10	45
Bosque mesófilo de Montaña	17	33	38
Bosque espinoso	17	24	32
Matorral Xerófilo	21	2	18
Selva perennifolia y subperennifolia	10	4	11
Demás ecosistemas	4	1	3

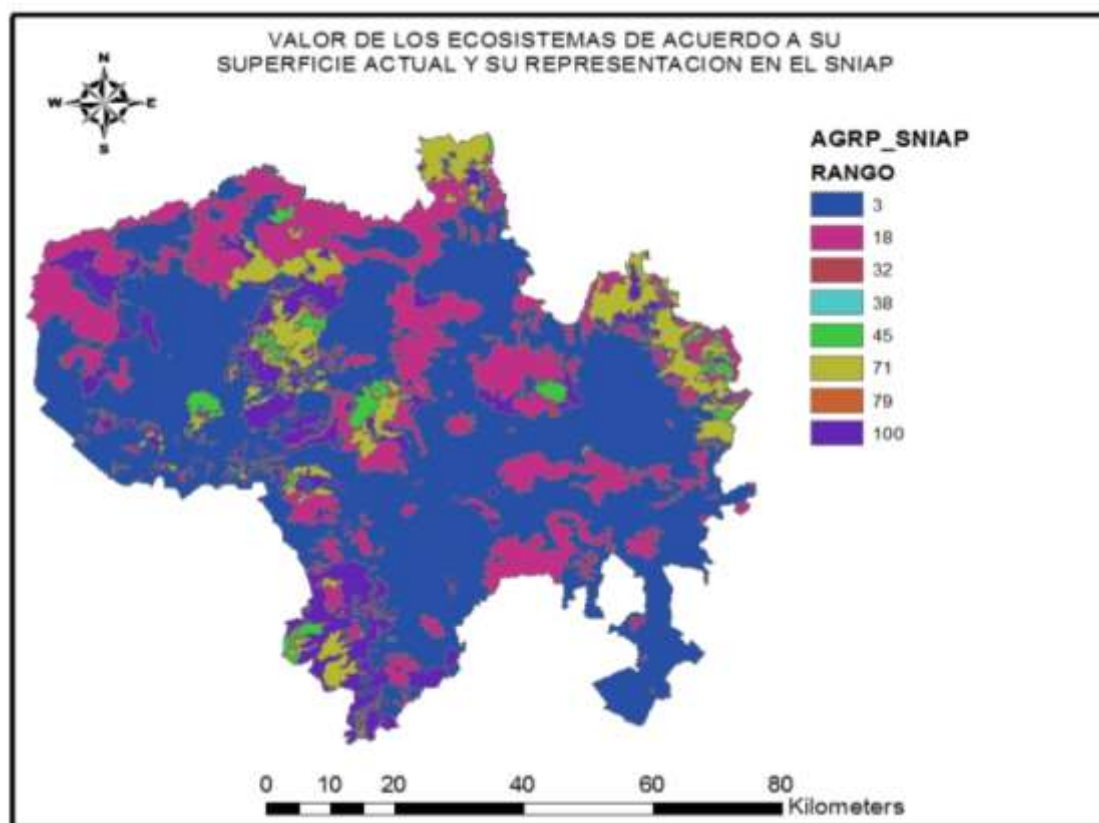


Figura 17. Mapa de valor de los ecosistemas de acuerdo a su superficie y su representación en el SINAP

De este modo al hacer la suma de los cuatro indicadores anteriores nos quedara un mapa que nos dará una idea de la importancia de los ecosistemas que existen en la UMAFOR 1304. Así , el modelo propuesto para la suma es el siguiente:

$$\text{MICE} = (\text{VERE} \times 0.35) + (\text{PSNR} \times 0.24) + (\text{PSNN} \times 0.21) + (\text{REDSINAP} \times 0.20)$$

donde:

MICE=Mapa de Importancia para Conservar Ecosistemas

VERE=Valor de los Ecosistemas por su Riqueza y Endemismo

PSNR=Pérdida de Superficie a Nivel Regional

PSNN=Pérdida de Superficie a Nivel Nacional

REDSINAP=Representación de los Ecosistemas Dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

El mapa resultante el de la Figura 18.

Nota: los valores usados o pesos dentro del modelo fueron obtenidos mediante la opinión de Expertos.

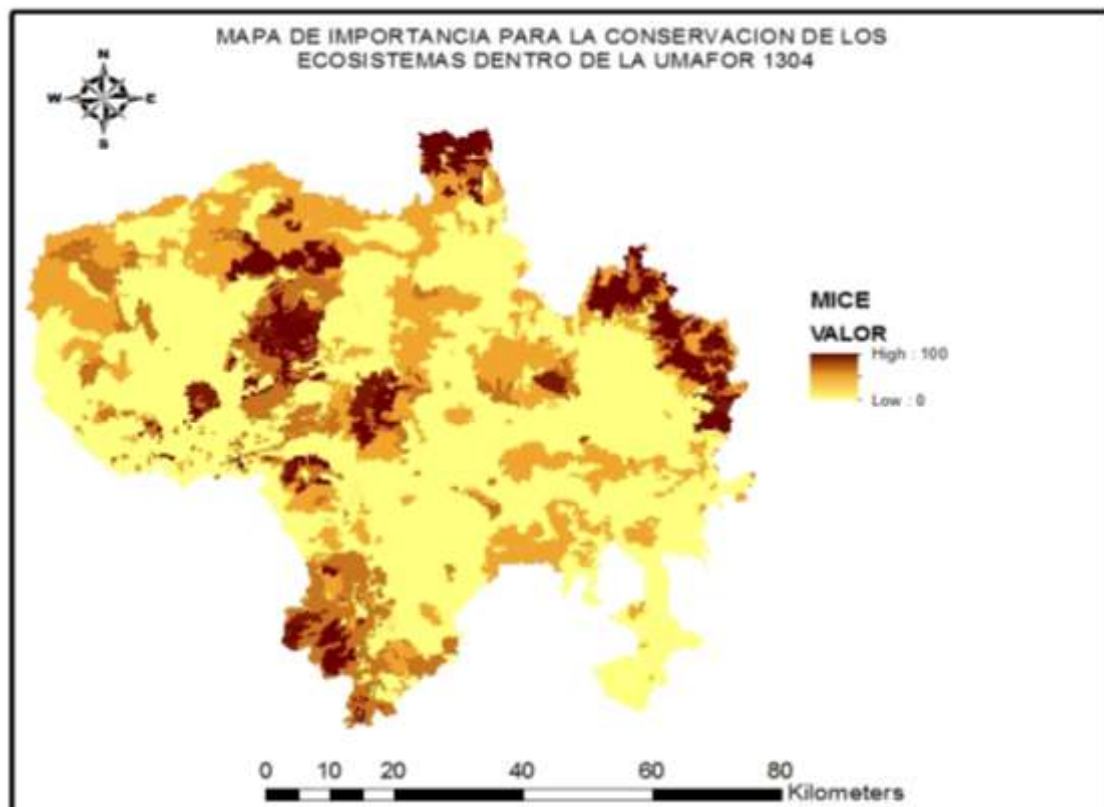


Figura 18. Mapa final de resultados de los Ecosistemas de Importancia para la Conservación.

6.4.2 Distribución de especies indicadoras dentro de los ecosistemas de la UMAFOR 1304.

6.4.2.1 Aves

Como ya se sabe la condición climática de la UMAFOR 1304 favorece a la conformación de bloques de flora y fauna muy específicos, de este modo como primer paso se decidió utilizar a la fauna característica de este tipo de zonas.

Identificando así a especies de aves, como indicadoras para hacer la consideración de protección a la biodiversidad faunística. De este modo, y gracias a la revisión del estudio realizado por Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México (CIPAMEX A.C.) donde se concentra una revisión bibliográfica muy completa sobre áreas prioritarias para la conservación de las aves en el Estado de Hidalgo. La cual denota que en el estado existen aproximadamente 456 especies de aves la cual representa el 41% de la riqueza de especies de aves de todo el país. Considerando este dato tan importante podemos mencionar que las áreas en las que se distribuyen las aves en hidalgo son mayormente las que corresponden al bosque de encino, bosque de coníferas y en tercer lugar el matorral xerófilo abarcando todos sus componentes internos, dicho lo anterior podemos definir que para el caso y región de estudio es decir, la UMAFOR 1304, en donde la mayor parte de la vegetación está representada por matorrales en especial el xerófilo, denota que las aves y el hábitat requerido por las mismas está presente en la zona, dejando así la pauta para poder usar a las aves como un indicador de zonas de protección que a su vez sean zonas que por sus características sean elegibles para el Pago por servicios ambientales (PSA).

Se han registrado seis especies consideradas en peligro de extinción por la legislación mexicana para todo el estado de Hidalgo, sin embargo por proporción en la UMAFOR 1304 se ubican si no todas la gran mayoría de ellas (CIPAMEX A.C.,2006), las cuales son: (*Cairina moschata*, *Dendrortyx barbatus*, *Spizaetus ornatos*, *Glaucidium sanchezi*, *Vireo atricapilla* y *Cyanolyca nana*). También se han registrado, 17 especies que tienen categoría o estatus de amenazadas y

39 especies en la categoría de protección especial, dichos datos obtenidos de la actualización de la NOM 059 SEMARNAT 2010.

A excepción de *S. semicollaris*, todas estas especies dependen de algún tipo de bosque. Asimismo, es preciso enfatizar que todas las especies en peligro de extinción, son especies prácticamente restringidas al bosque mesófilo de montaña, (CIPAMEX A.C. 2006) el cual es un tipo de vegetación bastante restringido y vulnerable a nivel estatal, y que no está incluido en ningún área natural protegida en Hidalgo de tal modo que tampoco se encuentra incluido en protección al interior de la UMAFOR 1304.

Tomando lo anterior en cuenta y la gran dificultad de posicionamiento de las aves, es necesario hacer agrupaciones por grandes grupos de vegetación para poder ubicar dichas especies dentro de la zona de estudio. El estado de Hidalgo tiene un uso de suelo y vegetación orientado en gran mayoría al uso agrícola según el mapa de uso de suelo y vegetación generado por el Inventario Estatal Forestal en el año 2011. Para este caso la UMAFOR 1304 no es la excepción, ya que dentro de ella el tipo de cobertura “uso agrícola” es el de mayor tamaño en superficie abarcando más del 51% del total, seguido de los matorrales con un 23% de ocupación, dejando en tercer lugar al pastizal inducido o cultivado con un poco más del 10% con fines de aprovechamiento ganadero. En el cuadro 11 Se indica la superficie y porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación definido por el mapa mostrado en la Figura 19.

Cuadro 11. Uso de suelo y vegetación en la UMAFOR 1304.

TIPO DE COBERTURA	AREA (ha)	%
AREA SIN VEGETACION APARENTE	832	0.13
BOSQUE DE ABIES	0	0.00

BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	1,009	0.16
BOSQUE DE ENCINO	12,622	1.97
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	2,446	0.38
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	23,064	3.60
BOSQUE DE PINO	2,424	0.38
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	3,672	0.57
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	624	0.10
BOSQUE DE TASCATE	15,859	2.48
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	4	0.00
CUERPO DE AGUA	4,314	0.67
MATORRAL CRASICAULE	118,580	18.53
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	1,647	0.26
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	22,950	3.59
MATORRAL SUBMONTANO	2,874	0.45
MEZQUITAL	510	0.08
OTROS USOS	3,212	0.50
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	1,549	0.24
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	67,113	10.49
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	34	0.01
USO AGRICOLA	328,159	51.27
USO URBANO	26,517	4.14

100.00

Fuente: mapa de uso de suelo y vegetación del Estado de Hidalgo, generado por el IEF 2010.

Mapa de distribución de cada tipo de cobertura de uso de suelo y vegetación en la UMAFOR 1304. En color amarillo se muestra la superficie abarcada por el uso agrícola, en color gris el grupo de los matorrales (m. crasicaule, m. desértico y m. submontano), por último en color azul el grupo de los pastizales (p. inducido y p. cultivado)

Como ya se sabe, según el mapa de la Figura 19, que para la región de estudio no existe coincidencia en cuanto a los tipos de vegetación debido a que los mapas de los cuales se habla en la bibliografía y en este estudio son generados en diferentes años y por diferentes autores, sin embargo la esencia de los mismos permanece en la descripción acertada de toda la región según cada tipo de vegetación. De tal modo que para fines del presente trabajo se hicieron las agrupaciones necesarias para hacer coincidir y equivaler los tipos de vegetación de la bibliografía con los del uso de suelo y vegetación del IEF-2010. Así pues el Cuadro 12 presenta los grandes grupos generados y su equivalencia con la bibliografía que corresponde a la distribución de las aves.

Cuadro 12. Agrupación de los tipos de cobertura vegetal necesarios

CATEGORIA DE ACUERDO AL INVENTARIO ESTATAL FORESTAL	SUB-AGRUPACION	AGRUPACION FINAL (FLORES Y GEREZ, 1994)	SUPERFICIE (ha)	Representación %
BOSQUE DE ENCINO	BQ	BOSQUE DE ENCINO	12,622	1.972
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	BMM	BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	4	0.001
BOSQUE DE ABIES	BC	BOSQUE DE CONIFERAS	22,965	3.588
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	BC			
BOSQUE DE PINO	BC			
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	BC			
BOSQUE DE TASCATE	BC			
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	BT	BOSQUE TROPICAL	34	0.005
MATORRAL CRASICAULE	MATORRALES	MATORRALES	146,051	22.820
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	MATORRALES			
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	MATORRALES			
MATORRAL SUBMONTANO	MATORRALES			
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS	BOSQUES CON VEGETACION SECUNDARIA	26,135	4.083
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS			
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS			
MEZQUITAL	BE	BOSQUE ESPINOZO	510	0.080
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	PA	PASTIZALES	68,662	10.728
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	PA			

CUERPO DE AGUA	VA	VEGETACION SUBACUATICA	4,314	0.674
USO AGRICOLA	RESTO	RESTO DE ECOSISTEMAS	358,720	56.049
USO URBANO	RESTO			
OTROS USOS	RESTO			
AREA SIN VEGETACION APARENTE	RESTO			

De este modo se pudo utilizar la capa de uso de suelo y vegetación en el sistema de información geográfica, con la finalidad de hacer la distribución de cada especie por tipo de vegetación.

En el cuadro 13, se muestran las especies de aves encontradas para la región, el status en el que encuentran y algunos otros datos descriptivos más, como son: eco-región de distribución, status dentro de la NOM 059 2010, y su estatus de endemismo. Es necesario aclarar que solo se tomaron en cuenta las especies que tienen estatus de peligro de extinción y amenazadas, con la intención de que el valor de dichas especies tuviera más peso dentro de la región.

Cuadro 13. Relación de especies de aves encontradas para la región de estudio

Especie	End	ECO-REGION SEGUN CONABIO					NOM	BLI	Veg
		SHPCV	SSPCT	BMMV	BCESMO	MXSMC			
Cairina moschata						1	P		VA
Penelope purpurascens		1	1	1			A		BTP, BTS, BQ, BMM
Crax rubra				1			A	NT	BTP
Dendrortyx barbatus	e			1			P	VU	BMM
Ictinia plumbea		1					A		BTP, BTS
Aquila chrysaetos						1	A		BE, MX
Spizaetus ornatus				1			P		BMM

Falco mexicanus					1		A		BC
Geotrygon albifacies				1			A		BMM
Aratinga holochlora	e	1	1	1			A		BTP, BTS, BMM
Pionus senilis		1	1	1			A		BTP, BTS, BMM
Glaucidium sanchezi	e			1			P		BMM
Automolus rubiginosus		1		1			A		BTP, BTS, BMM
Xiphorhynchus erythropygius		1		1			A		BTP, BTS, BMM
Grallaria guatemalensis				1	1		A		BQ, BC, BMM
Vireo atricapilla	s			1			P		BMM
Cyanolyca cucullata				1			A		BMM
Cyanolyca nana	e			1			P	VU	BMM
Aphelocoma unicolor				1	1	1	A		MX, BQ, BC, BMM
Myadestes unicolor		1		1	1	1	A		BTP, BTS, BQ, BC, BMM
Catharus frantzii				1			A		BMM
Turdus infuscatus				1	1		A		BQ, BC, BMM
Oporornis tolmiei				1		1	A		BE, MX, BMM, VA

Fuente: Avifaunas Estatales de México Capítulo HIDALGO (CIPAMEX A.C.)

De acuerdo con el cuadro 13 existe más de un tipo de vegetación por cada especie seleccionada, dado que una especie puede alternarse con otras en los distintos tipo de vegetación, de tal manera que para la distribución de las especies dentro de la cobertura se debió analizar la frecuencia de ellas para poder integrarlas en los distintos tipo de vegetación del mapa de uso de suelo y vegetación en la UMAFOR 1304.

Derivado de lo anterior, si se considera trabajar bajo el supuesto de que de acuerdo a la frecuencia de aparición de las especies de aves dentro de un tipo de vegetación, tendrá por lo tanto el valor más alto de acuerdo a la escala utilizada en la metodología. Así pues el valor por su número de aparición en el tipo de vegetación correspondiente tendrá un valor de 100. Cuadro 14, Figura 20.

Cuadro 14. Valor de las especies de aves de acuerdo a la frecuencia de aparición y estatus en la NOM 059 2010.

AGRUPACION FINAL (FLORES Y GEREZ, 1994)	VALOR POR LA FRECUENCIA DE APARICION DE ESPECIES POR TIPO DE COBERTURA	VALOR POR SU APARICION EN ESTATUS DE PELIGRO DE EXTINCION	VALOR FINAL
BOSQUE DE ENCINO	33	0	17
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	100	100	100
BOSQUE DE CONIFERAS	22	0	11
BOSQUE TROPICAL	44	0	22
MATORRALES	17	0	8
BOSQUES CON VEGETACION SECUNDARIA	0	0	0
BOSQUE ESPINOZO	6	0	3
PASTIZALES	0	0	0
VEGETACION SUBACUATICA	11	25	18
RESTO DE ECOSISTEMAS	0	0	0

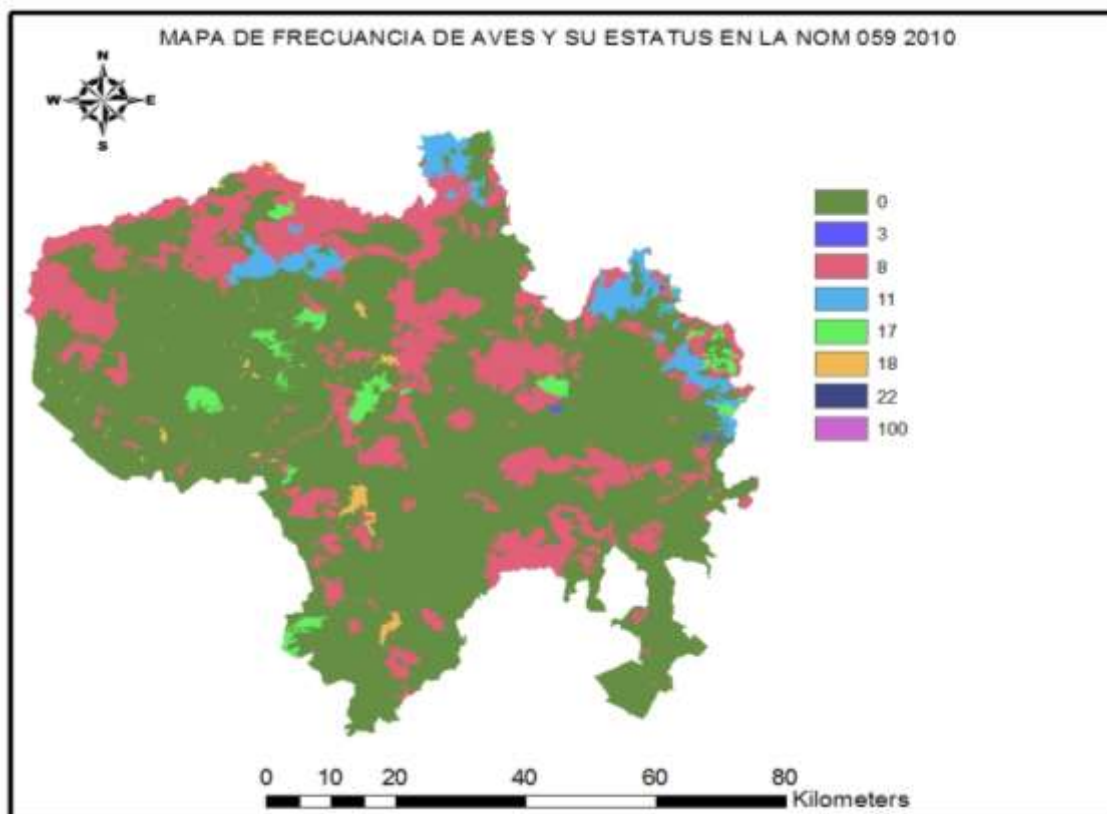


Figura 20. Grandes grupos de vegetación para la distribución de las aves

Después de realizado el proceso de selección de coberturas útiles como hábitat de la avifauna, se determinó la frecuencia en la que aparece cada especie en cada tipo de vegetación y se le asignó un valor de acuerdo a la frecuencia más alta y al estatus en el que se encuentra, así pues, la mayor frecuencia correspondió al valor o prioridad 100, siendo este valor el más alto dentro del rango, lo que significa que para el tipo de vegetación designado se encontró una frecuencia alta de aparición de especies con estatus de amenaza y en peligro de extinción. En la gráfica de la Figura 21, aparecen las frecuencias de las especies relacionadas al tipo de vegetación en el que se desarrollan.

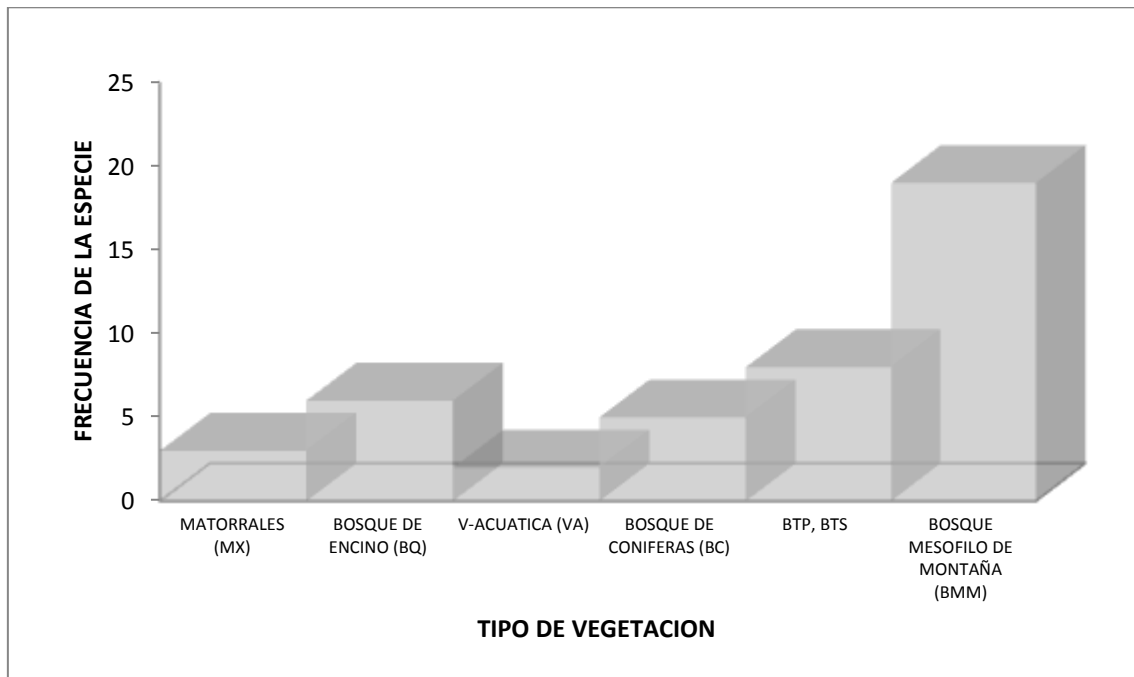


Figura 21. Frecuencia de especies por tipo de vegetación

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, el Bosque Mesófilo de Montaña es el que tiene mayor frecuencia de aparición de especies tanto en peligro de extinción como amenazadas, este echo indica que este tipo de vegetación es de mayor importancia para este tipo de fauna, sin embargo en el estado no existe algún grado de protección para esta vegetación aun cuando su superficie en el estado es muy amplia, aunque así no lo es para la UMAFOR 1304. En el Cuadro 15, se observan los nombres de las especies de aves encontradas por cada tipo de vegetación y su equivalente dentro del estudio.

Cuadro 15. Especies de aves organizadas por el tipo de vegetación en el que se desarrollan

VEGETACION ACUATICA (VA)	BOSQUE TROPICAL PERENIFOLIO (BTP)	BOSQUE TROPICAL SUBPERENIFOLIO (BTS)	MATORRAL XEROFILO (MX)	BOSQUE DE ENCINO (BQ)	BOSQUE DE CONIFERAS (BC)	BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA (BMM)
Cairina moschata (P)	Penelope purpurascens (A)	Penelope purpurascens (A)	Aquila chrysaetos (A)	Penelope purpurascens (A)	Falco mexicanus (A)	Penelope purpurascens (A)
Oporornis tolmiei (A)	Crax rubra (A)	Ictinia plumbea (A)	Aphelocoma unicolor (A)	Grallaria guatemalensis (A)	Grallaria guatemalensis (A)	Dendrortyx barbatus (P)
	Ictinia plumbea (A)	Aratinga holochlora (A)	Oporornis tolmiei (A)	Aphelocoma unicolor (A)	Aphelocoma unicolor (A)	Spizaetus ornatus (P)
	Aratinga holochlora (A)	Pionus senilis (A)		Myadestes unicolor (A)	Myadestes unicolor (A)	Geotrygon albigacies (A)
	Pionus senilis (A)	Automolus rubiginosus (A)		Turdus infuscatus (A)	Turdus infuscatus (A)	Aratinga holochlora (A)
	Automolus rubiginosus (A)	Xiphorhynchus erythropygius (A)				Pionus senilis (A)
	Xiphorhynchus erythropygius (A)	Myadestes unicolor (A)				Glaucidium sanchezi (P)
	Myadestes unicolor (A)					Automolus rubiginosus (A)
						Xiphorhynchus erythropygius (A)
						Grallaria guatemalensis (A)
						Vireo atricapilla (P)
						Cyanolyca cucullata (A)
						Cyanolyca nana (P)
						Aphelocoma unicolor (A)
						Myadestes unicolor (A)
						Catharus frantzii (A)
						Turdus infuscatus (A)
						Oporornis tolmiei (A)

6.4.2.2 Anfibios y reptiles

Al igual como se realizó con las aves en párrafos anteriores el uso de especies de biodiversidad específica es necesario para poder definir las zonas o áreas elegibles que se requieren de proteger e integrar en el PSA en la región de estudio, ya que, dadas las condiciones climáticas y topográficas no se pueden utilizar más opciones que las que sean muy propias de ellas.

Lo anterior mostro la pauta para decidir que se usaría también a los reptiles y anfibios como especie indicadora de zonas o áreas de protección Para este caso de estudio se utilizaron 37 especies de anfibios y reptiles que por su necesidad biológica de distribución son importantes en la UMAFOR 1304. Cabe señalar que aunque dichas especies no se encuentra en estatus de amenaza o peligro de extinción, si son raras y guardan cierta condición de endemismo dentro de la región. De este modo se consideró que de esas especies señaladas anteriormente, se utilizaron como indicadoras solo 21 especies en condición de abundancia “rara” y este atributo se consideró el de mayor peso dentro de la distribución de las mismas. De tal modo que como se ha manejado en la metodología, el valor más alto según la escala, será el que por frecuencia de aparición dentro de cada tipo de vegetación sea el más alto, es decir valor de 100.

Cuadro 16. Figura 22.

Cuadro 16. Valor de las especies por su condición de rareza

CATEGORIA DE ACUERDO AL INVENTARIO ESTATAL FORESTAL	SUB-AGRUPACION	AGRUPACION FINAL (FLORES Y GEREZ, 1994)	VALOR POR SU NUMERO DE ESPECIES EN CONDICION DE RARAS
BOSQUE DE ENCINO	BQ	BOSQUE DE ENCINO	46

BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	BMM	BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	0.00
BOSQUE DE ABIES	BC	BOSQUE DE CONIFERAS	0.00
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	BC		
BOSQUE DE PINO	BC		
BOSQUE DE PINO - ENCINO (INCLUYE ENCINO - PINO)	BC		
BOSQUE DE TASCATE	BC		
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	BT	BOSQUE TROPICAL	0.00
MATORRAL CRASICAULE	MATORRALES	MATORRALES	38
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	MATORRALES		
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	MATORRALES		
MATORRAL SUBMONTANO	MATORRALES		
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS	BOSQUES CON VEGETACION SECUNDARIA	0.00
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS		
BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	BVS		
MEZQUITAL	BE	BOSQUE ESPINOZO	
PASTIZAL DEL ALTA MONTAÑA	PA	PASTIZALES	0.00
PASTIZAL INDUCIDO Y/O CULTIVADO	PA		
CUERPO DE AGUA	VA	VEGETACION SUBACUATICA	0.00
USO AGRICOLA	RESTO	RESTO DE ECOSISTEMAS (zona agrícola riego y temporal)	100.00
USO URBANO	RESTO		
OTROS USOS	RESTO		
AREA SIN VEGETACION APARENTE	RESTO		

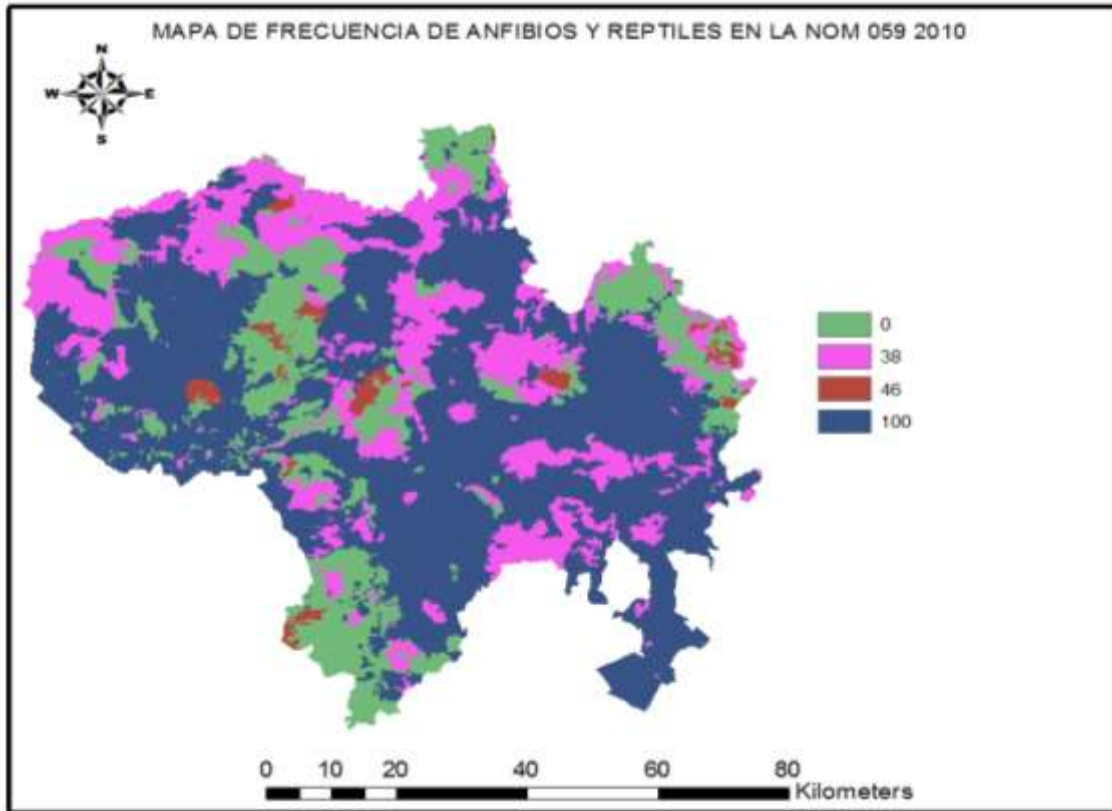


Figura 22. Mapa de frecuencia de anfibios y reptiles en la NOM 059

6.4.3 Calidad del paisaje

Para el presente trabajo la calidad del parche se evaluara mediante dos indicadores de calidad y anatomía; los cuales son:

6.4.3.1 Fragmentación

La fragmentación del paisaje puede medirse de distintas formas, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes; número de parches, tamaño del parche y la distancia media entre parches (Fahrig, 2003; McIntyre y Hobbs, 1999) o el porcentaje de la superficie que ocupan en el paisaje (Turner *et al* 2001).

Para poder determinar cuáles son las áreas del paisaje con mayor fragmentación se utilizó la capa vector de información del mapa de Uso de Suelo y Vegetación de la UMAFOR 1304 derivado del mapa general de uso de suelo y vegetación del Inventario Estatal Forestal. (IEF, 2010).

El análisis de la fragmentación se realizó mediante el uso del programa FRAGSTAT 4.0. Mediante una estandarización lineal utilizando la Ecuación 1 se establece cuáles son las áreas del paisaje más fragmentadas, de este modo se asigna el valor más alto, es decir 100, al número de parches más alto dentro de una clase o tipo de cobertura, para este proceso se debe de asumir que la superficie del paisaje más fragmentada es la que se debe de proteger, asumiendo que en esta ha habido una mayor implicación del hombre. Cabe mencionar que los tipos de cobertura que no son de interés forestal en la región se omitieron, dichos usos fueron; “uso urbano, “otros usos” y “área sin vegetación aparente” con la finalidad de no afectar por tamaño de superficie el número de parches, de tal modo se obtuvieron los datos del Cuadro 17. Figura 23.

Cuadro 17. Fragmentación del paisaje de acuerdo al número de parches por tipo de vegetación

TIPO DE COBERTURA	VALOR POR EL NUMERO DE PARCHES
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	1
BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA	1
MATORRAL SUBMONTANO	2
MATORRAL DESERTICO MICROFILO	3
PASTIZAL DE ALTA MONTAÑA	3
BOSQUE DE ENCINO-PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	3
BOSQUE DE ABIES-PINO-ENCINO	3
BOSQUE DE PINO	4
MEZQUITAL	4

BOSQUE DE PINO CON VEGETACION SECUNDARIA	5
BOSQUE DE PINO-ENCINO (INCLUYE ENCINO-PINO)	6
BOSQUE DE TASCATE	13
BOSQUE DE ENCINO	23
MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO	26
USO AGRICOLA	41
CUERPOS DE AGUA	45
BOSQUE DE ENCINO CON VEGETACION SECUNDARIA	58
MATORRAL CRASICAULE	94
PASTIZAL INDUCIDO O CULTIVADO	100

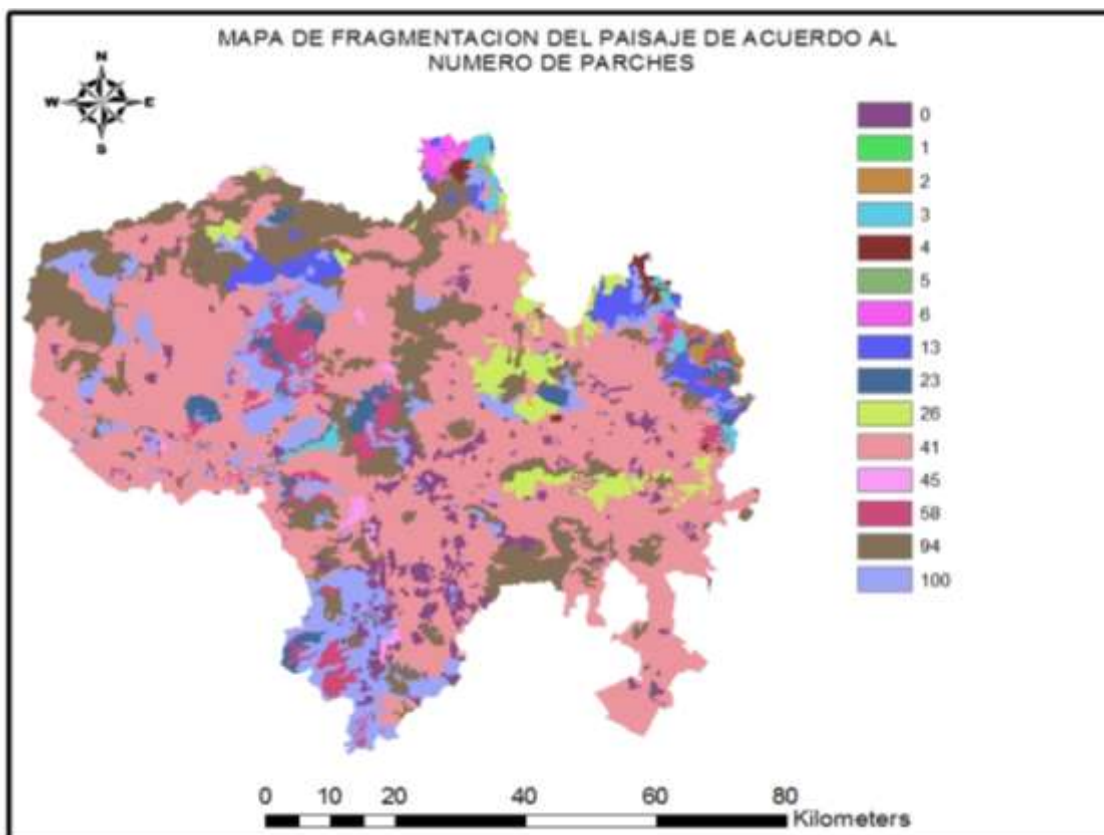


Figura 23. Mapa de Fragmentación del paisaje de acuerdo al número de parches

6.4.3.2 Densidad de caminos y carreteras

El hecho de que existan caminos y carreteras en las zonas de estudio se convierten en un factor que afecta la movilidad y distribución de las especies, este

causa un aislamiento entre las poblaciones de las mismas (Turner *et al* 2001, Laurence *et al* 2002, Bennett, 2004).

Tomando como base las cartas de los conjuntos de datos vectoriales 1:50000 se determinaron las vías de transportación que existen en la UMAFOR. Mediante un análisis espacial de distancia y proceso en SIG dicha capa se convirtió a formato raster con el objetivo de calcular la distancia de los caminos y carreteras a los tipos de ecosistemas en la región. Mediante estandarización lineal con el uso de la ecuación 1 se asignó el mayor valor a las áreas donde no existen caminos y carreteras, asumiendo que en estas existe menor perturbación de hábitat. Cuadro 18. Figura 24.

Cuadro 18. Fragmentación del paisaje de acuerdo a la distancia de caminos y carreteras.

DISTANCIA A CAMINOS Y CARRETERAS (KM)		VALOR
76		100
54		71
34		45
24		32
17		22
13		17
10		13
7		9
4		5
1		1

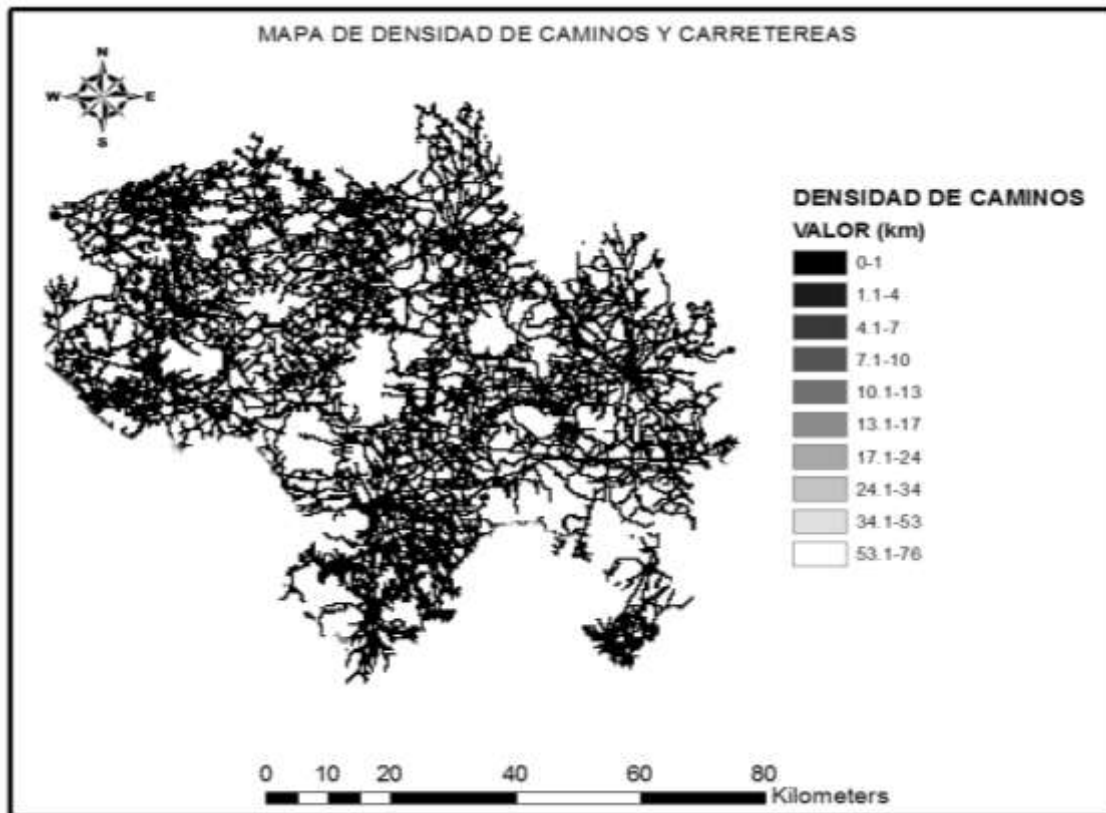


Figura 24. Densidad de caminos y carreteras

Terminados los mapas anteriores y mediante una suma de pesos sencilla se combinaron estos dos indicadores dando como resultado el mapa de la Figura 25, el cual hace alusión a la Calidad del Paisaje.

Calidad del paisaje: $[(DENCAM \cdot 0.43) + (FRAGPAIS \cdot 0.57)]$

donde:

Calidad del Paisaje= Mapa de calidad del Paisaje

FRAGPAIS= Fragmentación del paisaje

DENCAM= Densidad de caminos y carreteras

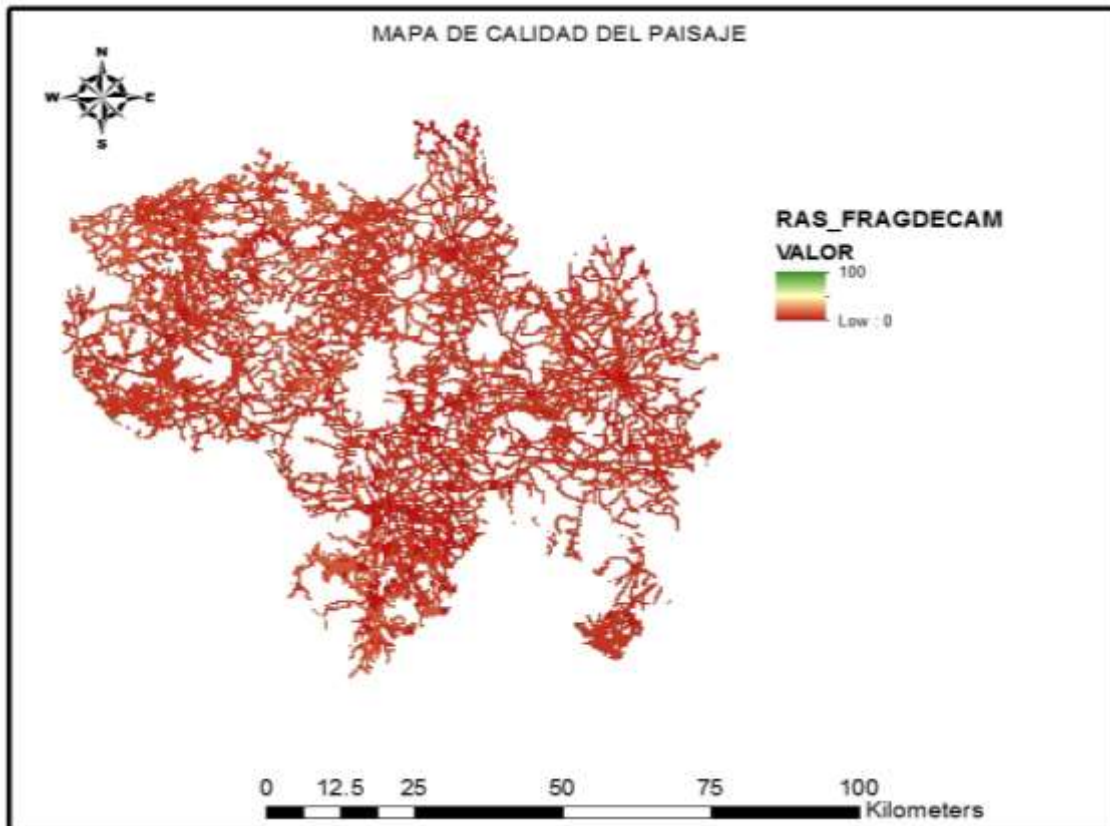


Figura 25. Calidad del Paisaje.

6.4.3.3 Complejidad del terreno

Según (Turner, 2001), las regiones naturales se forman por el agrupamiento de factores bióticos y abióticos característicos de cada uno de ellos, dichos factores pueden ser: topografía, humedad, tipo de suelo, tipo de vegetación, usos de suelo, temperatura, factores bióticos y también la intervención del hombre, que trata de obtener sus beneficios.

De este modo algunos autores mencionan que los hábitat con condiciones abióticas tiene más nichos con potenciales muy diversos que albergan a gran número de especies (Honnay y colaboradores, 2002).

Para el presente estudio y dado el párrafo anterior se asume que cuando el terreno tiene mayor o menor exposición al sol, humedad y variedad de especies vegetales esto da como indicativo que existan mayor diversidad de hábitats (Turner, 2001). De este modo para determinar la heterogeneidad del terreno se utilizó el modelo de elevación digital dispuesto por INEGI con escala 1:50000. Figura 26.

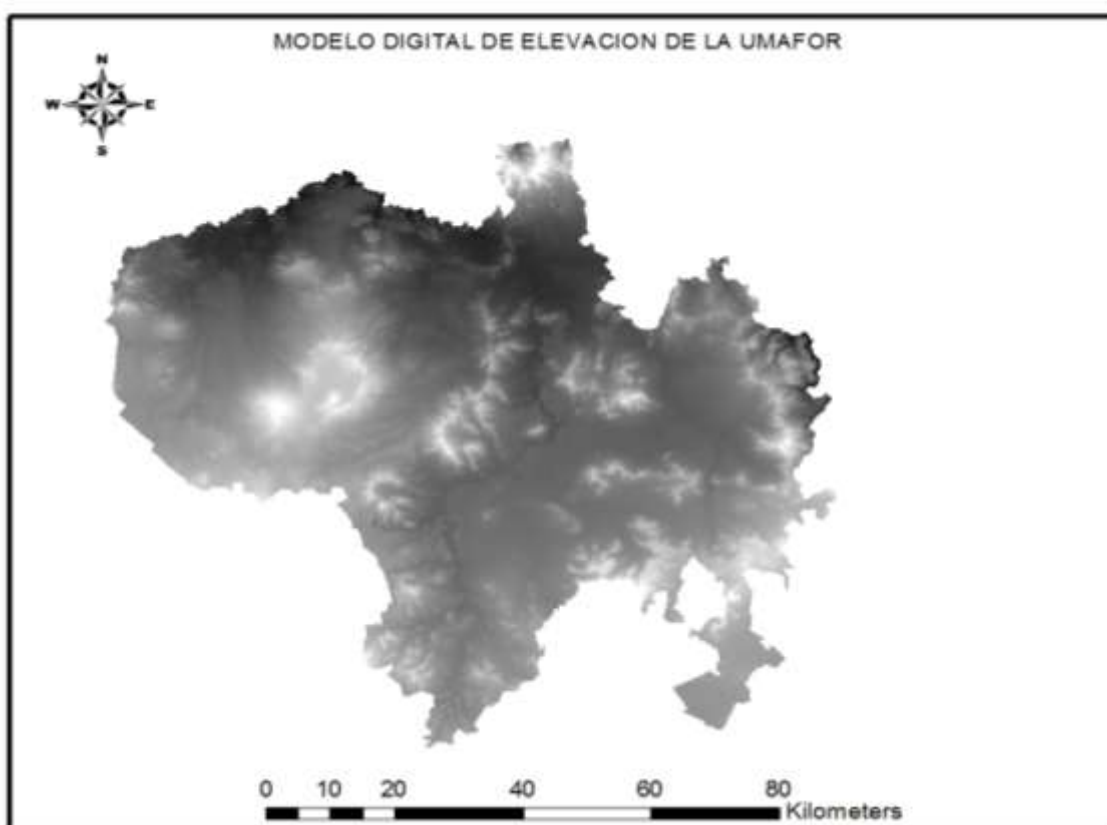


Figura 26. Modelo de Elevación Digital de la UMAFOR 1304

Mediante un proceso simple de cálculo de la desviación estándar a una ventana de (5x5 ha), se le calculó el valor para cada pixel. El peso del indicador se obtuvo mediante estandarización lineal utilizando la Ecuación 1, en la cual se le asignó el

valor más alto a las zonas donde el terreno presenta una mayor complejidad, es decir donde la desviación estándar es mayor. Figura 27.

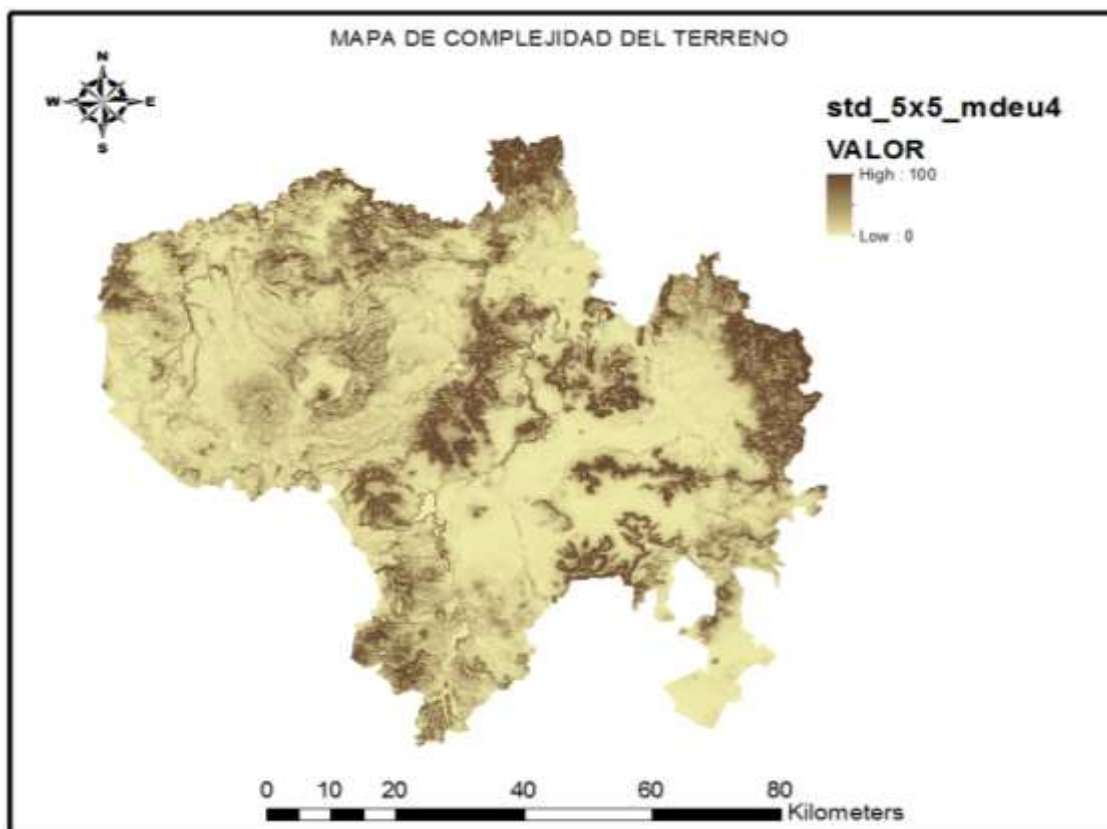


Figura 27. Mapa de complejidad del terreno

6.4.4 Áreas prioritarias y de protección

La acelerada pérdida y modificación de los sistemas naturales que ha presentado México durante las últimas décadas requiere, con urgencia, que se fortalezcan los esfuerzos de conservación de regiones con alta biodiversidad (CONABIO, 2008).

En este contexto, el Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la CONABIO se orienta a la detección de áreas, cuyas

características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad (CONABIO, 2008).

El objetivo general es la determinación de unidades estables desde el punto de vista ambiental en la parte continental del territorio nacional, que destaquen la presencia de una riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tenga una oportunidad real de conservación (CONABIO, 2008).

Para el presente estudio las áreas prioritarias y de protección están definidas por cuatro indicadores los cuales se mencionan a continuación.

6.4.4.1 Áreas de importancia para la conservación de las aves (AICAS)

Dado que los criterios para determinar AICAS están dados por especialistas y su definición territorial está sustentada según CONABIO. Mediante la estandarización lineal con el uso de la Ecuación 1, se determinó que las áreas con mayor superficie para la conservación de aves dentro de la UMAFOR tendrían el valor más alto, es decir 100. Cuadro 19 y Figura 28.

Dado que en la UMAFOR no existen áreas consideradas como de protección a las aves. Este indicador presenta los siguientes valores.

Cuadro 19. Superficie de Protección de Aves

Superficie de AICAS dentro de la UMAFOR (ha)	Valor
0	0

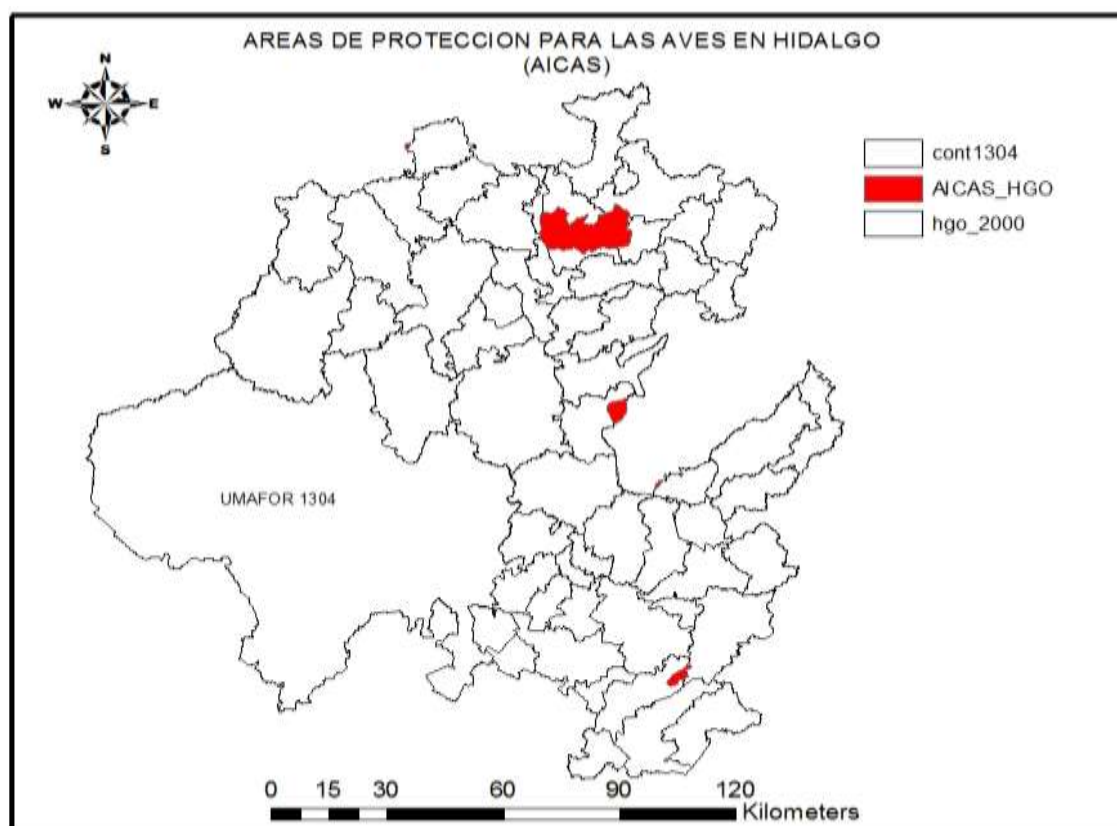


Figura 28. Mapa de AICAS

6.4.4.2 Regiones terrestres prioritarias.

De acuerdo con la CONABIO (Arriaga *et al.*, 2000), las Regiones Terrestres Prioritarias corresponden a “unidades físico-temporales estables desde el punto de vista ambiental en la parte continental del territorio nacional, que se destacan por la presencia de una riqueza ecosistémica y específica y la presencia de especies endémicas comparativamente mayor que en el resto del país, así como por una integridad biológica significativa y una oportunidad real de conservación.” La CONABIO reconoce 152 Regiones Terrestres Prioritarias (CONABIO *et al.*, 2008)

En el presente trabajo las regiones terrestres prioritarias dentro de la UMAFOR se designaron mediante la capa “vector” de las Regiones Terrestres Prioritarias para el Estado de Hidalgo (CONABIO, 2008), así pues si se asume que las regiones terrestres prioritarias son de importancia para la conservación de biodiversidad y que a su vez albergan gran variedad de hábitats para las especies, se asignó el valor más alto a las áreas de mayor superficie con esta característica dentro de la UMAFOR. Cuadro 20, Figura 29.

Cuadro 20. Valor a las regiones terrestres prioritarias

Nombre de la Región Terrestre Prioritaria	Superficie (ha)	Valor
Sierra Gorda-río Moctezuma	4,504.59	100
N/A	*	0

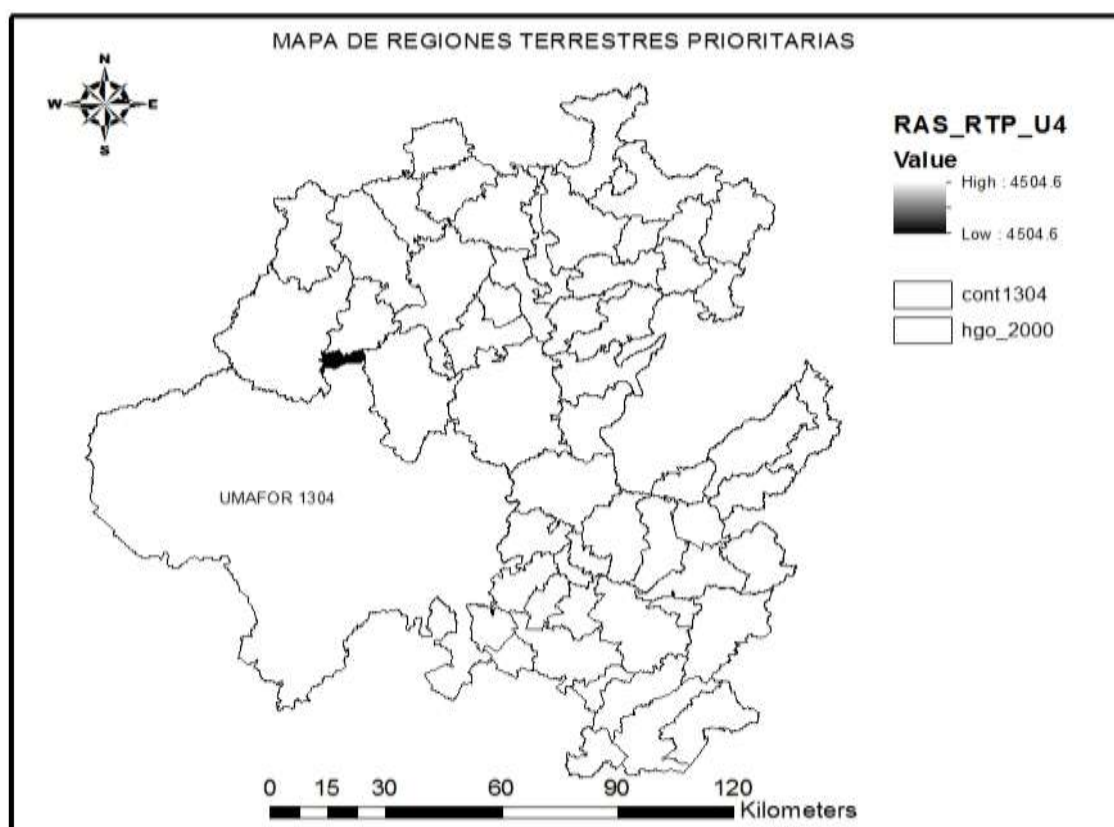


Figura 29. Mapa de Regiones Terrestres Prioritarias

6.4.4.3 Regiones Hidrológicas Prioritarias

Las Regiones Hidrológicas Prioritarias forman parte de una serie de estrategias instrumentadas por la CONABIO (Arriaga *et al.*, 2002), que tienen como objetivo “diagnosticar las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país considerando las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las áreas identificadas, para establecer un marco de referencia que pueda ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de planes de investigación, conservación, uso y manejo sostenido”(CONABIO 2008).

En el presente trabajo las regiones Hidrológicas prioritarias dentro de la UMAFOR se designaron mediante la capa “vector” de las Regiones Hidrológicas Prioritarias para el Estado de Hidalgo (CONABIO, 2008), así pues si se asume que las regiones hidrológicas prioritarias son de importancia para la conservación de biodiversidad que a su vez albergan gran variedad de hábitats para las especies y son de gran importancia para recarga de mantos freáticos. Se asignó el valor más alto a las áreas de mayor superficie con esta característica dentro de la UMAFOR.

Cuadro 21, Figura 30.

Cuadro 21. Regiones Hidrológicas prioritarias

Nombre de la Región Hidrológica Prioritaria	Superficie (ha)	Valor
Humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca	18,725	100
Confluencia de las Huastecas	4,043	22
Remanentes del complejo lacustre de la Cuenca de México	3141	17

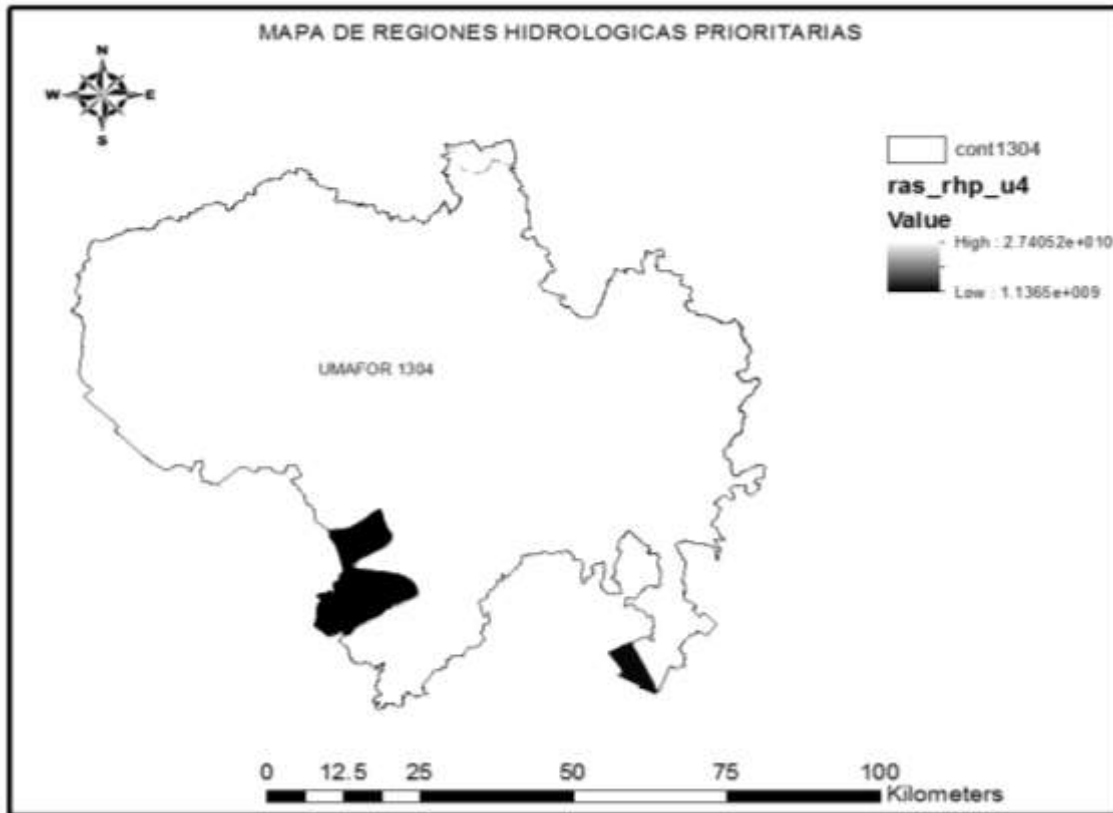


Figura 30. Mapa de regiones hidrológicas Prioritarias

6.5 Criterios e indicadores para priorizar áreas por el riesgo o amenaza de perder los Servicios Ambientales.

Pagar por la conservación de los bosques en zonas donde no es realmente necesario aplicar medidas de protección es una forma ineficaz e ineficiente de gastar los recursos destinados para proteger y conservar (Hartshorn, 2005).

Dado que las prácticas agrícolas, ganaderas y de manejo representan amenazas a la existencia y provisión de Servicios ambientales, así pues esto se debe tomar en cuenta como una amenaza.

Para este documento se considera como principal amenaza a la conservación del bosque la distribución espacial del riesgo de deforestar, y los criterios definidos para ello son los expuestos en el siguiente diagrama. Figura 31.

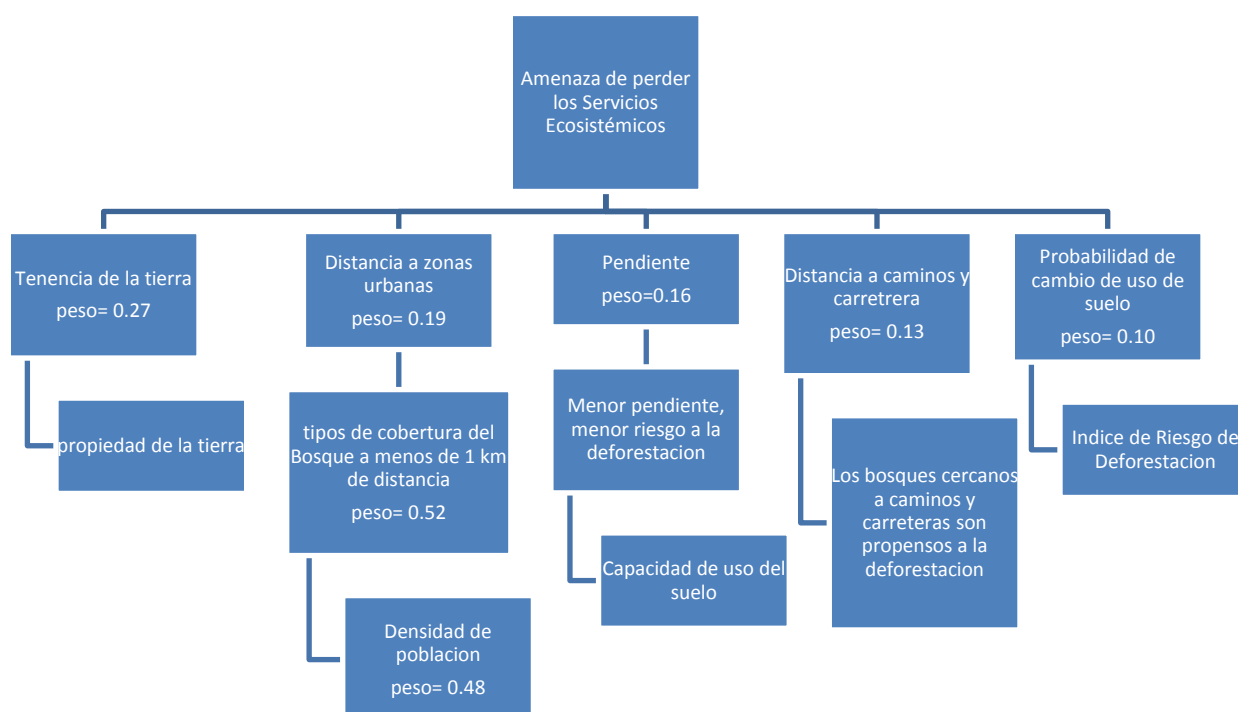


Figura 31. Esquema jerárquico para priorizar las áreas para el Pagos por servicios ambientales por el riesgo o amenaza de perder los Servicios Ecosistémicos con pesos asignados por Expertos en los temas.

6.5.1 Tenencia de la tierra

En nuestro entre el 60 y 80 % de los bosques tienen un tipo de propiedad ejidal o comunal (INE, 2009). Lo anterior tiene explicación en que al momento de realizar la repartición de tierras los predios con menor superficie fueron asignados a

personas de etnias indígenas, dejando así, las superficies mayores a los grandes poseedores que eran de la población mestiza (González, 2011).

En la Unidad de manejo en cuestión lo habitantes de la región presentan condiciones de alta y muy alta marginación, ellos dependen en gran medida de las actividades comerciales, agricultura y recolección. La gran dependencia económica que se tiene de la agricultura es un factor que provoca la alta deforestación de la región.

Dentro de la UMAFOR no se tienen predios con tipo de tenencia federal según la capa de información en formato vectorial (INE, 2006), exceptuando claro esta las superficies que son embalses, cuerpos de agua u orillas de las carreteras; así pues la superficie se divide en su mayor proporción tipos de tenencia ejidal, comunal, privada y otros tipos. Si asumimos que el tipo de propiedad tiene correlación directa con el nivel de marginación y a su vez este con el riesgo a la deforestación debido a la necesidad de aperturar caminos para las actividades agrícolas. Con todas estas características se asumió que la mayoría de la superficie ejidal es la más propensa a ser deforestada, de tal modo que por superficie y tipo de tenencia se realizó una estandarización lineal mediante la ecuación 1 y se le asignó el valor de 100 a la mayor superficie. Cuadro 23, Figura 32.

Cuadro 22. Tipo de tenencia de la tierra

Tipo de tenencia	Superficie (ha)	Valor
EJIDAL	235,991	100
PRIVADA	203,959	86

COMUNAL	20,567	9
OTRAS	8,133	4

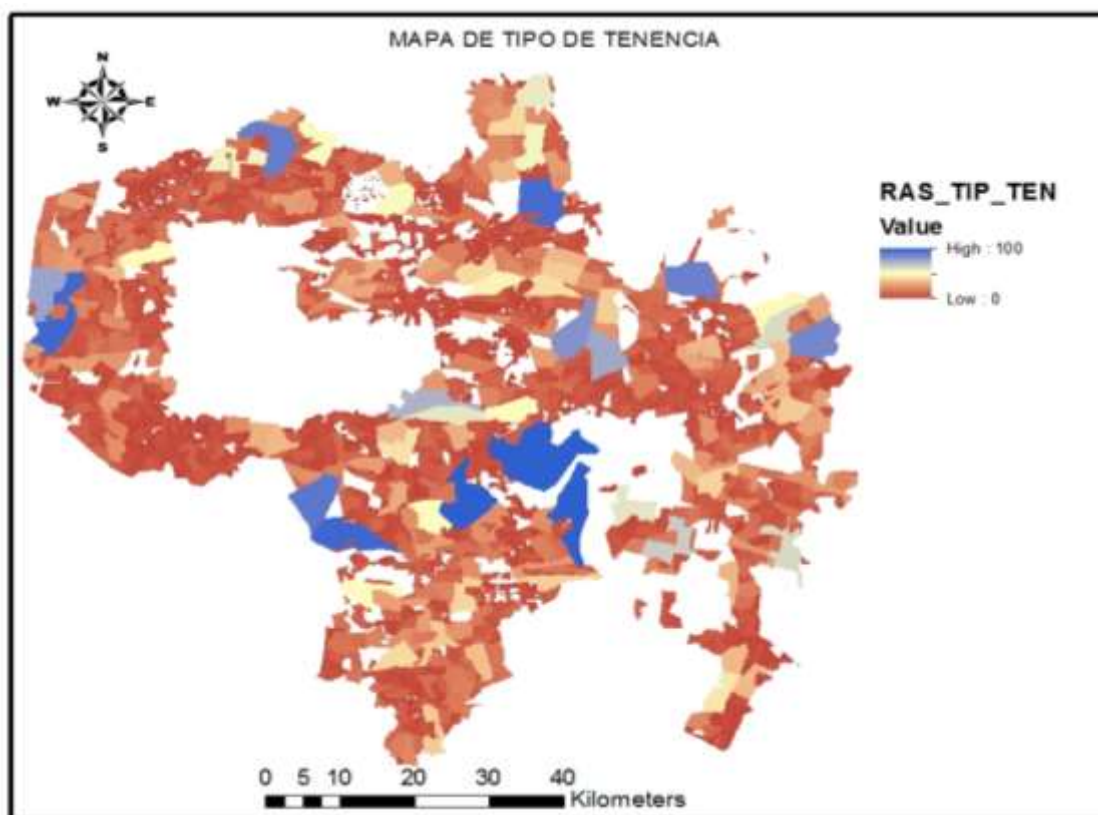


Figura 32. Mapa de tipo de tenencia de la tierra

6.5.2 Distancia a poblados

La cercanía del bosque a las poblaciones suele ser un factor importante considerado para el riesgo a la deforestación y degradación debido a la accesibilidad y cercanía del mismo a estos. En este sentido para dar valor a este criterio se usaran dos indicadores.

6.5.2.1 Bosques cercanos a poblados

Para este indicador se toma en cuenta la distancia del bosque a las poblaciones más cercanas, ya que es el más propenso a ser deforestado, la cual se establece

en 1 km (Leclero y Rodríguez, 1996). Así pues se genera un mapa de distancia de tipos de vegetación a poblaciones cercanas. Figura 33.

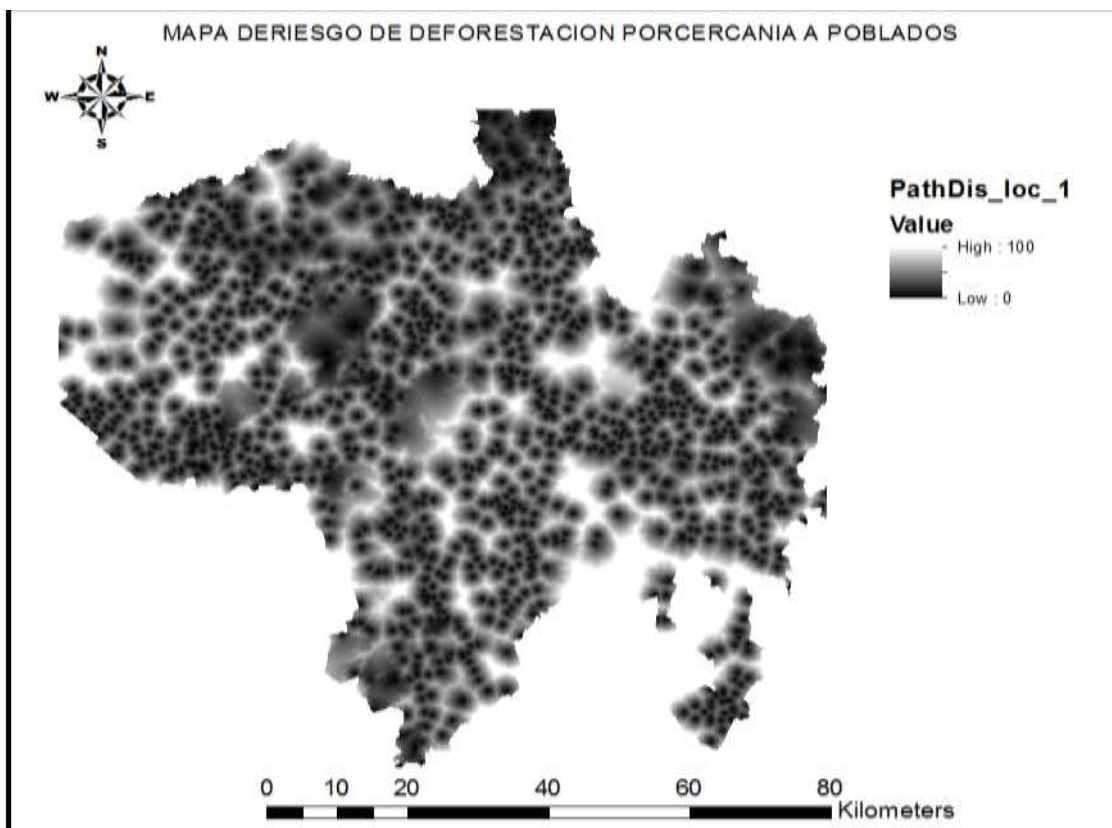


Figura 33. Mapa de riesgo de deforestación por cercanía a poblados

6.5.2.2 Densidad de población

De acuerdo al mapa de densidad de población generado por CONABIO, 2000; existen zonas con rangos de densidad que van desde los 0 habitantes hasta los 1256 habitantes por km^2 . Si asumimos que las zonas con mayor población son las que están más propensas a deforestarse, entonces mediante el proceso de estandarización usando la ecuación 1, se asigna el valor más alto a las zonas más

pobladas por el riesgo a deforestarse, así pues se tienen los datos del cuadro 24, Figura 34.

Cuadro 23. Densidad de población, hab. x km²

Densidad de población (hab. x km ²)	Valor
765-1256	100
473-764	67
299-472	35
196-298	21
134-195	12
98-133	7
76-97	4
63-75	2
55-62	1
41-54	3

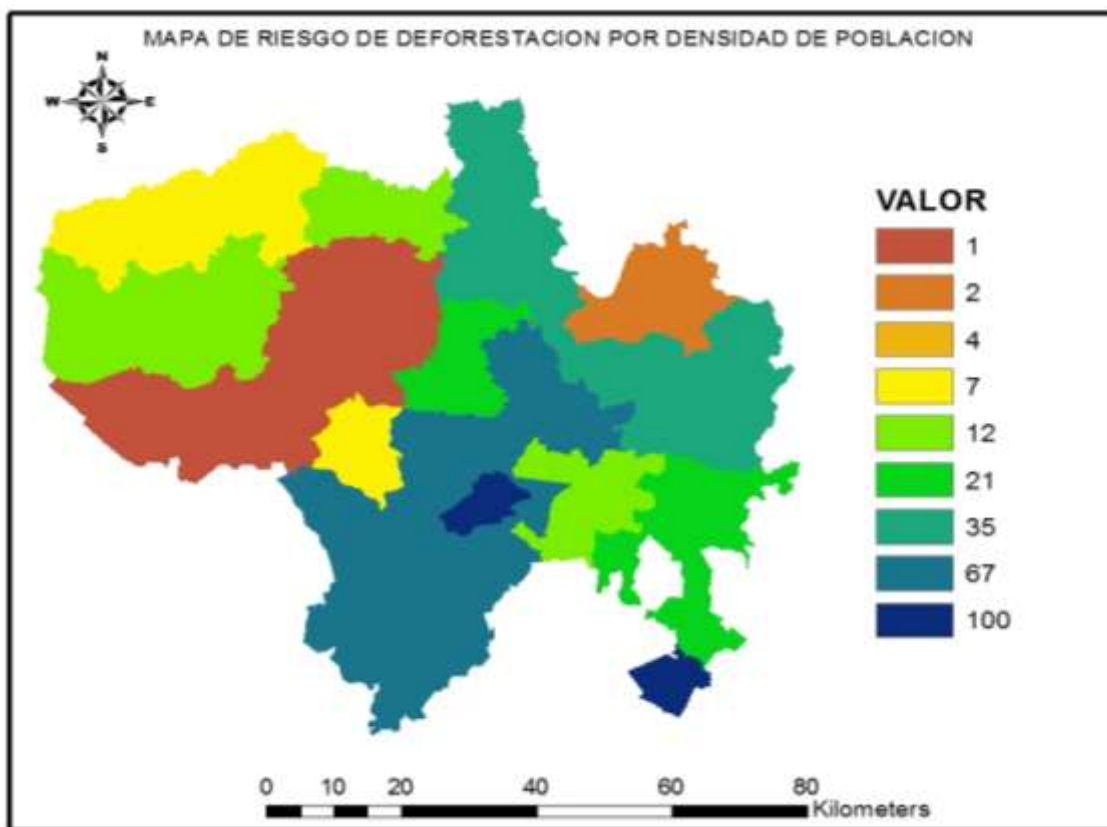


Figura 34. Mapa de riesgo de deforestación por densidad de población

Como paso final, estos dos indicadores se suman mediante una suma simple de pesos. Figura 35.

$$\text{DISTPOB} = [(\text{RIDEDISTPO} * 0.52) + (\text{RIDEFDENPOB} * 0.48)]$$

DISTPOB: Mapa de riesgo de deforestación por distancia a poblados

RIDEDISTPO: Bosque a menos de 1 km de poblaciones

RIDEFDENPOB: Riesgo de deforestación por densidad poblacional

Mapa de riesgo de deforestación por distancia a poblados

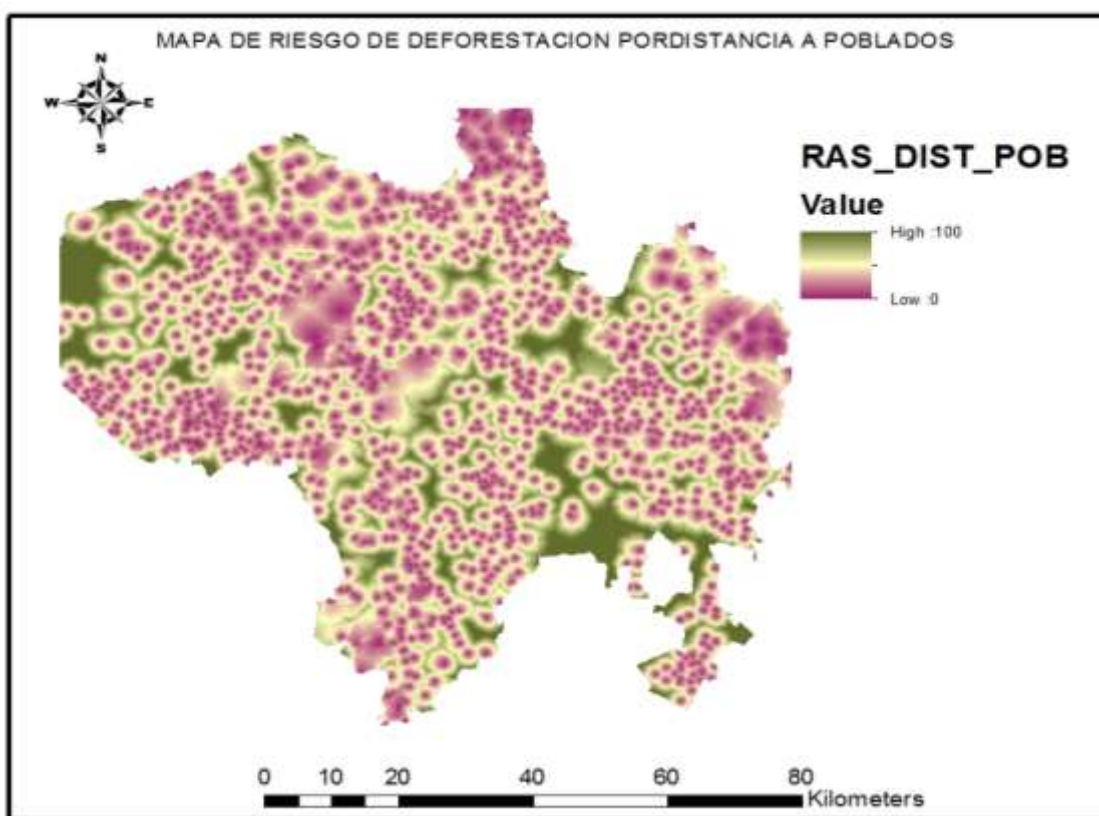


Figura 35. Mapa de riesgo de deforestación por distancia a poblados

6.5.3 Pendiente

Existe una correlación muy alta entre el riesgo de deforestación y la pendiente del terreno (Geist y Lambin, 2006). Mediante el uso del modelo de Elevación digital del terreno y con el uso de la extensión “slope”, se calculan los porcentajes de

pendiente para la UMAFOR, así pues usando la Ecuación 1, se asigna un valor de 100 a las zonas del terreno donde la pendiente sea menor. Cuadro 25, Figura 36.

Cuadro 24. Valor de acuerdo a las pendientes

PENDIENTE	VALOR
0-5	100
5-11	75
11-19	50
19-29	25
29-73	10

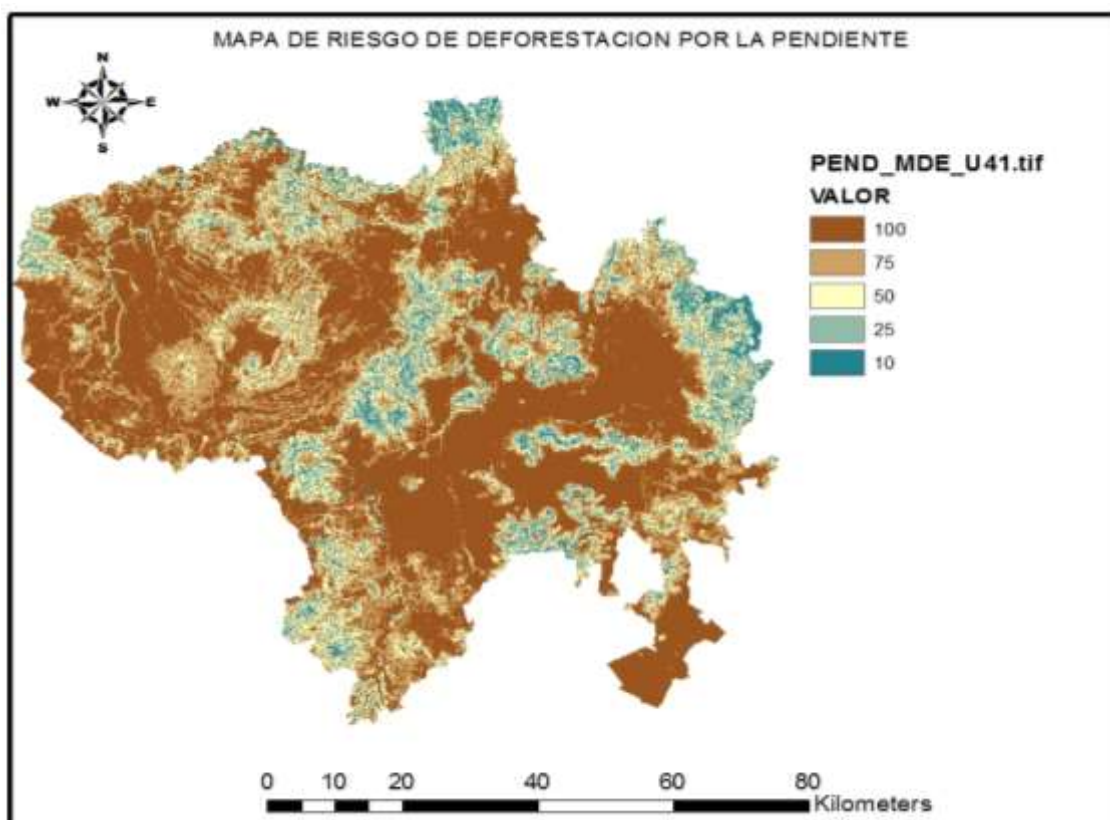


Figura 36. Mapa de riesgo de deforestación por pendiente

6.5.4 Distancia a caminos y carreteras

Debido a que la apertura de caminos y principalmente de carreteras, es un factor causante de cambio de uso del suelo. Acorde a la metodología empleada por Leclero y Rodríguez (1996), el bosque localizado 1km alrededor de caminos y carreteras presenta mayor riesgo de ser deforestado, por lo tanto, para efectos del presente estudio, se le asignó el mayor valor (100) para el PSA por el riesgo de deforestación (González, 2011). Figura 37.

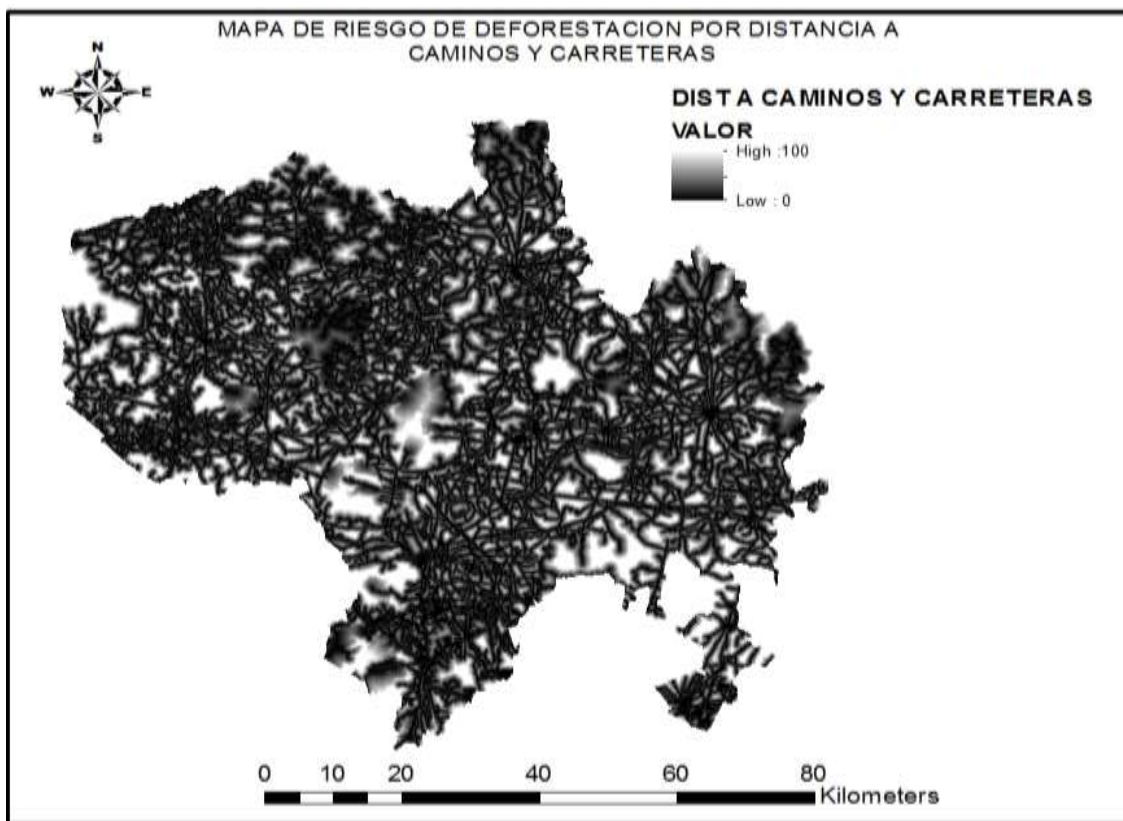


Figura 37. Mapa de riesgo de deforestación por distancia a caminos y carreteras

6.5.5 Probabilidad de cambio de uso de suelo

6.5.5.1 Índice de Riesgo de Deforestación

Para los bosques, los mapas del *Índice de Presión (Riesgo) Económico de Deforestación* permiten identificar cuáles son esas zonas con la mayor probabilidad de cambiar de uso de suelo por razones económicas en el futuro próximo. Si un programa busca evitar la deforestación en una zona de importancia ambiental, sólo tiene que combinar ambos mapas, el de presión económica y el de importancia ambiental, para encontrar las zonas donde los apoyos harían una mayor diferencia. (INE, 2008).

De acuerdo con el mapa de riesgo de deforestación de la UMAFOR y con el uso de la ecuación 1 se estandarizaron los valores. Así pues el mayor valor se le da a la categoría de riesgo “muy alto” y se asignaron los valores menores ponderando con expertos. Cuadro 26, Figura 38.

Cuadro 25. Valor de acuerdo al Índice de riesgo de deforestación

Nivel de Riesgo	Valor
Muy alto	100
Alto	80
Medio	60
Bajo	40
Muy bajo	20

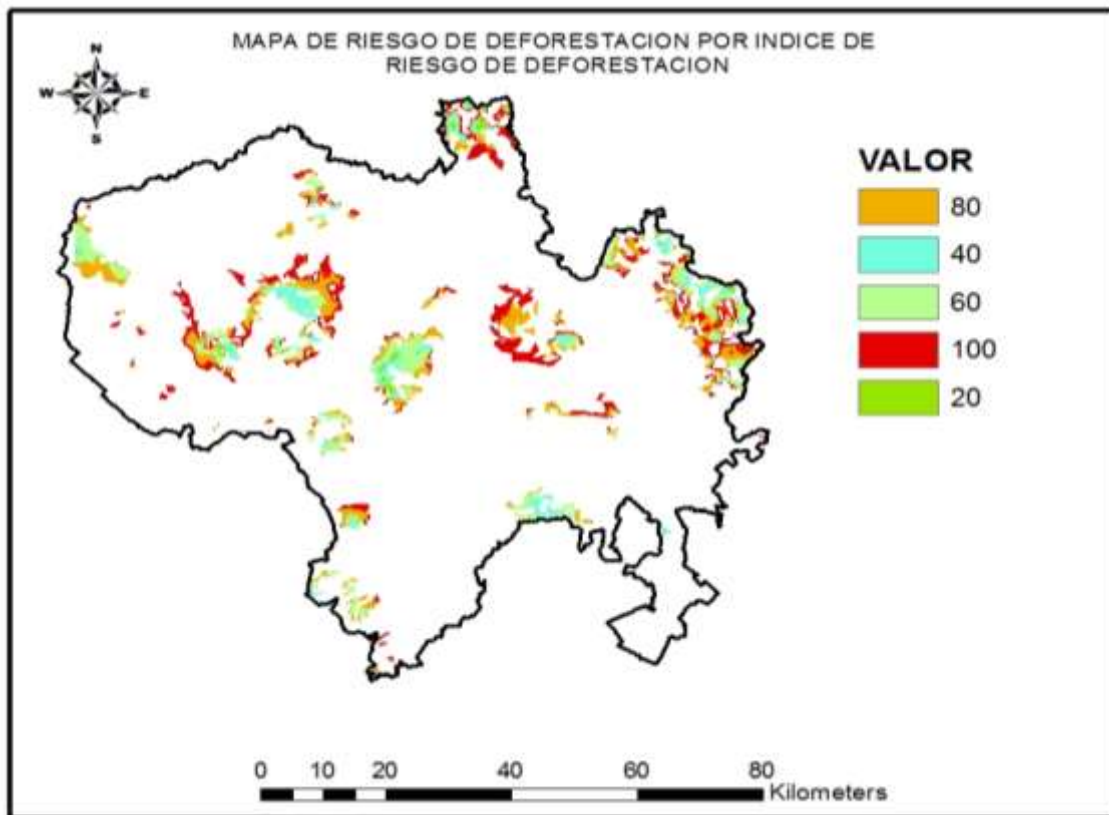


Figura 38. Mapa de riesgo de deforestación por IRDEF

6.5.5.2 Cambio de uso de suelo

Dado lo anterior para la determinación de cambio de uso de suelo se tomaron en cuenta dos indicadores que valorarían este criterio los cuales se mencionan a continuación. De tal modo que; con ayuda de la capa “vector” de cambio de usos de suelo de la UMAFOR se determinó que las superficies identificadas como “cambio de uso de suelo” pues se asume que son las que corren más riesgo a la deforestación. Cuadro 27, Figura 39.

Cuadro 26. Valor por tipo de cambio de uso de suelo

TIPO DE CAMBIO	SUPERFICIE (ha)	VALOR
FALSO CAMBIO	229	10

URBANIZACION	848	0
CAMBIO DE USO DE SUELO	894	100
RECUPERACION	11424	60
DEGRADACION	29284	80
SIN CAMBIO	599976	20

Finalmente mediante una suma de pesos simple se combinan los dos indicadores y se obtiene el mapa de probabilidad de cambio por uso de suelo.

Probabilidad de cambio de uso de suelo= $[(RDEFCUS \cdot 0.55) + (RDEFIRDEF \cdot 0.45)]$

Probabilidad de cambio de uso de suelo= Mapa de Probabilidad de cambio de uso de suelo.

RDEFCUS = Mapa de Riesgo de Deforestación por cambio de uso de suelo

RDEFIRDEF = Mapa de Riesgo de Deforestación por Índice de Riesgo de deforestación.

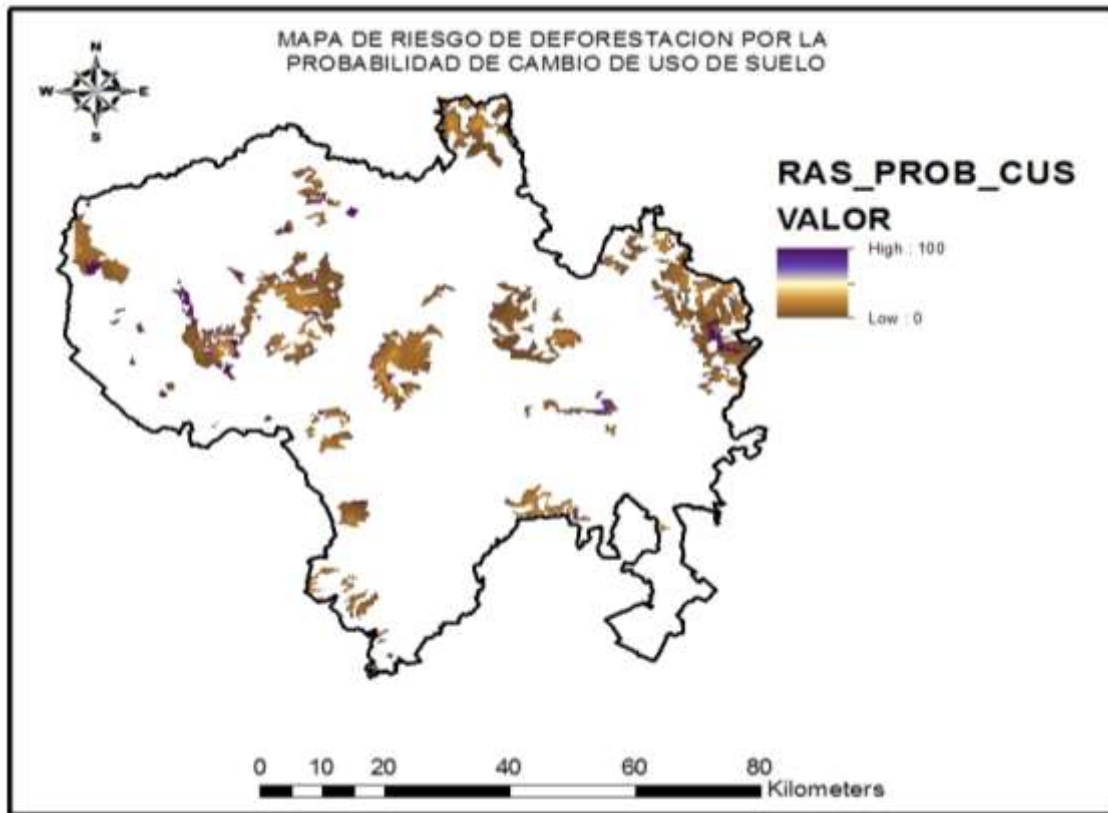


Figura 39. Mapa de riesgo de deforestación por la probabilidad de cambio de uso de suelo

7. CONCLUSIONES

La metodología expuesta en el presente trabajo permite identificar a una escala regional y de forma más certera, las áreas donde la provisión de Servicios Ecosistémicos es mayor y donde estos presentan una mayor demanda y un mayor riesgo de desaparecer.

Con el uso de esta metodología se identificaron las áreas elegibles de ser propuestas para el PSA de mayor prioridad, demanda y riesgo de perder los SE. Los resultados muestran que solo 911 ha de toda la superficie en la UMAFOR son

áreas de alta a muy alta prioridad por la oferta y el riesgo de perder los SE derivados de la conservación de la biodiversidad.

La metodología conjunta la información técnica disponible en la UMAFOR 1304 con la intención de ayudar a los encargados de tomar decisiones en la priorización de áreas para el PSA. Aunque, si bien es cierto el método se basa únicamente en datos técnicos, considera las opiniones de todas las partes interesadas, con el fin de tener los efectos deseados en los resultados y tiene la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios en las políticas institucionales y gubernamentales.

El método puede ser implementado por las gerencias estatales de CONAFOR, con el objetivo de que la toma de decisiones sobre la elección de Áreas prioritarias para el PSA se realice de una forma descentralizada y que todos los dueños de predios localizados en áreas importantes para el PSA, tengan las mismas oportunidades de participar y ser elegidos. Aunque el mecanismo con el cual la CONAFOR podría implementar esta metodología en la toma de decisiones, implicaría una modificación de sus procedimientos administrativos actuales.

A pesar de que en nuestro país ya se cuenta con gran parte de la cartografía de cobertura nacional en escala 1:50,000., siguen existiendo faltantes o vacíos de dicha información en ciertas regiones del país, esto dificulta para los trabajos de este tipo, la precisión en la identificación espacial resultante.

Como resultado de la metodología propuesta se identificaron las zonas elegibles para el Pago por Servicios Ambientales dentro de la UMAFOR 1304.

Las siguientes ecuaciones muestran los modelos generales usados para obtener cada uno de los objetivos propuestos en el estudio.

Oferta de Biodiversidad= [(criterio 1*W), (criterio 2*W)... (criterio n*Wn)]

Riesgo a perder los SE= [(criterio 1*W), (criterio 2*W)... (criterio n*Wn)]

PSA Biodiversidad= [(criterio 1*W), (criterio 2*W)... (criterio n*Wn)]

Provisión de SE= [(criterio 1*W), (criterio 2*W)... (criterio n*Wn)]

El mapa de la Figura 40, nos muestra gráficamente como quedaron dispuestos los polígonos que se proponen para la inclusión en el PSA dentro de UMAFOR 1304.

En el cual el rango de valor de 0-100 es significativo de que los valores más altos corresponde a zonas que tienen más valor para su conservación, esto según la metodología y la combinación de los respectivos mapas.

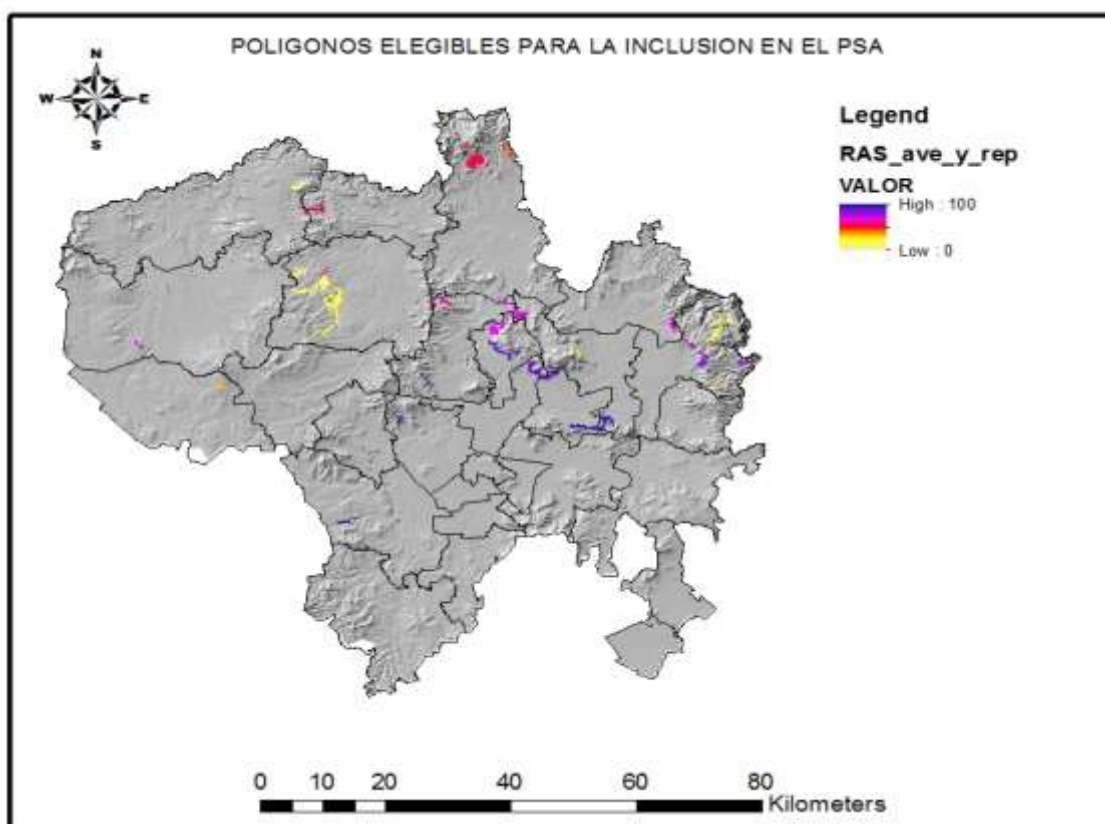


Figura 40. Mapa correspondiente a los polígonos elegibles para el PSA en la UMAFOR 1304

8. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, F.** 2012. Contaminación Aire, Agua & Suelo. BuenasTareas.com. Recuperado 05, 2012, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Contaminacion-Aire-Agua-Suelo/4074009.html>
- Anfibios y reptiles del valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 705- 712, 2010.
- Arriaga, L.,** Espinoza, J.; Aguilar, C.; Martínez, E.; Gómez, L. y Loa, E. (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Asociación de Silvicultores** de la Región del Valle del Mezquital A.C. Estudio Regional Forestal UMAFOR 1304. "Región Valle Del Mezquital". Hidalgo. 2010. 327 p.
- Astete, S.;** Sollmann, R.; Silveira, L. 2008. Comparative Ecology of Jaguars in Brazil. CAT News Special Issue - The Jaguar in Brazil no.4, p.9-14
- Ayala, F.** Espejel, I. Eaton, R. Daessle, W. 2011. Propuesta de evaluación rápida para el pago de servicios ambientales hidrológicos en zonas áridas
- Balvanera, P.,** H. Cotler et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp. 185-245.
- Beer, J;** Harvey, CA; Ibrahim, M; Harmand, J.M; Somarriba, E.; Jiménez, F. 2003.
- Bennett A.** 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN, San José Costa Rica. 278 p.
- Bezaury, J.** y Gutiérrez-Carbonell, D. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México; Estado de conservación y tendencias de cambio. Capital natural de México CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), México, v. II, p.385-431
- Binkley, D.** y Brown, T.C. 1993. Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America. *Water Resources Bulletin* no.29, p.729–740.
- Bosch, J.** y Hewlett, J. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration . *Journal of Hydrology* no.55, p.3-23
- Brooks, T.;** Mittermeier, R.; Da Fonseca, G.; Rylands, A.; Konstant, W.; Flick, P.; Pilgrim, J.; Oldfield, S.; Magin, G.; Hilton, C. T. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* no.16, p.909-923.

- Calder, I.** 2002. Forests and Hydrological Services: Reconciling public and science Perceptions (en línea). Land Use and Water Resources Research no.2, p. 2.1–2.12.
<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/47860/2/paper02-02.pdf>
- Campos, J.;** Alpízar, F.; Louman, B.; Parrotta, J. 2005. An Integrated Approach to Forest Ecosystem Services. Mery, G., Alfaro, R., Kanninen, M. and Lobovikov, M. (Eds.). 2005.
- Cantú, S.** 1953. La vega de Metztitlán en el estado de Hidalgo. Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística 75(1-3): 1-273.
- Carlson, J.;** Andrus, C.; Froehlich, H. 1990. Woody debris, channel features, and macroinvertebrates of streams with logged and undisturbed riparian timber in northeastern Oregon, USA. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences no.47, p.1103–1111.
- Castaño G.** 2001. Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación.
- Ceballos, G.** y Griselle, O. 2005. Los Mamíferos Silvestres de México. CONABIO- Fondo de Cultura Económica, Méx. 986 p.
- Chuvieco, E.** 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio, Ariel.
- Colegio de Postgraduados.** 2008. Evaluación Externa de los Apoyos de los Servicios Ambientales ejercicio fiscal 2007 (en línea). CONAFOR, Méx. 231p.
- CONABIO.** 2009. Regiones Terrestres Prioritarias de México (en línea).
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tcentro.html>
- CONAFOR** (Comisión Nacional Forestal, Mx). 2010a. Normateca - Decreto por el cual se crea la Comisión Nacional Forestal.
- CONAFOR** (Comisión Nacional Forestal, Mx).s/documento de Posición Institucional- PROÁRBOL- Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y Programa para Desarrollar el Mercado de Servicios Ambientales por Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para fomentar el establecimiento y mejoramiento de Sistemas Agroforestales (PSA-CABSA) (en línea). Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque. 7 p.
- CONAFOR. 2012.** Descripción técnica de la clasificación de la Zona Elegible en áreas de pago diferenciado, para el Concepto de Apoyo B2. Servicios Ambientales de ProÁrbol, correspondiente a la Convocatoria 2012. Procedimiento para la Identificación de Zonas de Elegibilidad (Áreas Prioritarias), y definición de áreas de pago diferenciadas en Servicios Ambientales 2012. CONAFOR 2012.

CONANP. 2010. Pago Por Servicios Ambientales en Áreas Naturales Protegidas. Dirección General de Operación Regional Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, no.387: 253–260.

Crist, P. 2000. Gap Analysis. Version 2.1.0. Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, EU.

De Smith M.; Goodchild M.; Longley P.. 2007. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools (en línea). 2 ed. London, GB, s.e. p. 1-15. http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SULMdT8qPwEC&oi=fnd&pg=PT16&dq=Goodchild+2006&ots=fjzGdNuE4Z&sig=NucKuggqSH696PKFIFSjV05__D8#v=onepage&q=Goodchild%202006&f=false 119.

Diario Oficial de la Federación. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada DOF 16-05-2008 (en línea). Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. 101 p.

Díaz, S. and Duffy, J.E. 2006. Biodiversity and ecosystem services In: Encyclopedia of Earth (en línea). Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment).

Escalante, T.; Rodríguez, G.; Morrone, J.J. 2005. Las provincias biogeográficas del componente mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales (en línea). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 2 (76):199-205.

Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 487-515

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2005. State of the World Forest 2005

Farber, S.; Costanza, R.; Wilson, M. 2002. Economic and ecological concepts for valuing Ecosystem services (en línea). *Ecological Economics* no.41: 375-392.

Ferrier, S. 2002. Mapping Spatial Pattern in Biodiversity for Regional Conservation Planning: Where to from Here? (en línea). *Sys. Biol.* 51(2):331-363.

Flores, J y Gerez, A 1994. Anfibios, reptiles, aves y mamíferos- Especies endémicas restringidas al tipo de vegetación. Fuente Original: SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca, Mx). 2000. Programa de Áreas Naturales Protegidas

de México 1995-2000. 120 p.

Forests in the Global Balance - Changing Paradigms. IUFRO World Series v.17, Helsinki, p. 97-116. 117

García, J; Cadenas, R y Simón, M. Aplicación de un sistema de evaluación Multicriterio a la conservación de fauna silvestre mediante un SIG. http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=20#divEvaluaciones5

Geist, S. Lambin, F. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11 (2001) 261–269. disponible en línea en: http://www.college.wustl.edu/~anthro/research/stone/lambin_LUCC_myths.pdf

GIS-Based Community Risk Assessment Tools for wildfire prediction and mitigation. 2011

González, B. 2011. Tesis. Identificación espacial de áreas prioritarias para el pago por servicios ambientales (PSA) hidrológicos y derivados de la conservación de la biodiversidad en la Sierra Madre Oriental, San Luis Potosí, México. 167 p.

Greenpeace. 2012. La Deforestación y sus Causas. Documento en línea: <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Bosques/La-deforestacion-y-sus-causas/>

Groombridge, B. 1992. Biological diversity; Species diversity; Biological diversity conservation.

Honnay, O; Piessens, K; Landuyt, W; Hermy, M; Gulinck, H. 2002. Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning* 63:241-250.

Imbach, P. 2005. Priority areas for payment for environmental services (PES) in Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. 99 p.

Limburg, K; O'Neill, R; Costanza, R; Farber, S. 2002. Complex systems and valuation. *Ecological Economics* no.41: 409-420.

Lambarri, M. 1987. Calidad y Cantidad del agua en México. Primera edición, Universo Veintiuno, México D.F. 152 p.

Malczewski, J. 1999. GIS and Multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, New York. 392 p.

Martínez, M; Ortiz, R., Barreda, B., Zuria, I.L. Bravo, J. y Valencia, J. 2007. HIDALGO. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, T.A. (Eds.), *Avifaunas Estatales de México*. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 49- 95.

- Mettermeier, R.** Goettsch, C. 1992. La Importancia de la Diversidad Biológica de México. CONABIO. MEXICO 1992. p 14
- México. 2012.** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente, ultima modificación DOF 04-06-2012. 114 p.
- Millenium Ecosystem Assessment.** 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis (en línea). Island Press, Washington, DC. P 155.
- Naidu, R.** Smith, E. Owens, G. Bhattacharya, P & Nadebaum, P. (eds) 2006. Managing Arsenic in the Environment: From soil to human health. CSIRO Publishing. Victoria. 122 p.
- Ortiz, C.** Cuanalo, H. 1984. Metodología del Levantamiento Fisiográfico, un sistema de clasificación de tierras. Segunda edición. COLPOS, Chapingo. 85 p.
- Pagiola, S,** 2008. "Payments for environmental services in Costa Rica, "Ecological Economics, Elsevier, vol. 65(4), pages 712-724.
- Quiroz, Y.** 2010. Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales. Temas de Ciencia y Tecnología vol. 14 número 41 mayo - agosto 2010 pp 33 – 40
- Reyes, H.** Olvera, F.; Sahagún, F.; Mass, J. 2009. Transformations of the forest cover and future scenarios in the Sierra Madre Oriental, Physiographic region, San Luis Potosí, Mexico. ISRSE 33. 33 International Symposium on Remote Sensing of Environment
- Ruiz M.,** García C., Sayer J. 2007. Los servicios ambientales de los bosques. 81-90. Septiembre 2007
- Rzedowski, J.** 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Sarukhán, J.** 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad (en línea). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 100 p.
- Sigüenza, A.,** Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, T.A. (Eds.), Avifaunas Estatales de México. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 49- 95.
- Smith, H.** 1941. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género Sceloporus. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. 110 p.

Taller en Pago por Servicios Ambientales, Barcelona. Fuente Original: Pagiola S.; Bishop J. y Landell, N. 2006. La venta de servicios ambientales forestales. Segunda Edición. SEMARNAT-INE.463 p.

Wunder, S. 2006. Artículo. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. 48 p.