



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

---

ESCUELA DE BIOLOGÍA

PROPUESTA DE CONSERVACIÓN EN EL AICA DE  
CUETZALAN, PUEBLA

Que para obtener el título de  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:  
JULIÁN GAY URIBE

Director de Tesis:  
M. EN C. GONZALO YANES GÓMEZ



Julio 2016

## **Agradecimientos**

A mi tutor el Maestro Gonzalo Yanes por todo el apoyo que me dio para la realización de esta tesis, desde los nombres de los programas hasta la interpretación de resultados. Gracias por las enseñanzas que este trabajo me dejó.

A mis sinodales el Doctor César Sandoval y el Maestro Silvestre Toxtle, por haber aceptado revisar este trabajo y por sus recomendaciones para mejorarlo.

A mis padres, Rosa Elena Uribe Flores y Cuauhtemoc Fabián Gay Aguilar, por el apoyo incondicional que me dieron no solo durante esta etapa final de la universidad sino durante toda la carrera. No podría haber logrado nada de esto sin ustedes.

A los amigos que durante la universidad hice, gracias por las risas y los buenos momentos.

A Getulio por acompañarme durante toda la carrera, tanto por sus consejos como por sus regaños. A Juana por acompañarme en los últimos semestres. Gracias a ambos por su amistad y apoyo.

A Karol y Juan Carlos, por ser mis mejores amigos y hermanos. Gracias por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas.

A todos ustedes, muchas gracias. Que este no sea solo el final de una etapa sino el principio de muchas otras.

## **Dedicatoria**

Este proyecto está dedicado a mis padres quienes siempre han estado para mi, y a mi hermano, quien sin importar donde esté sé que siempre me cuidará hasta que nos volvamos a ver.

## Índice

1. Resumen.....	6
2. Introducción.....	8
2.1 Conservación y especies indicadoras.....	9
2.2 Especies indicadoras.....	12
2.3 Las aves como indicadores efectivos de la Biodiversidad.....	13
2.4 Figuras de conservación en Puebla.....	13
2.5 El cambio en el uso del suelo y vegetación.....	18
2.6 Ecología del paisaje y Sistemas de Información Geográfica .....	18
2.7 Regiones terrestres prioritarias y Sitios Prioritarios Terrestres.....	21
2.8 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves.....	22
2.9 Justificación.....	25
3. Hipótesis.....	26
4. Objetivos.....	26
4.1 General.....	27
4.2 Particulares.....	27
5. Metodología.....	27
5.1 Caracterización del área de estudio.....	27
5.1.1 Ubicación, topografía y división política.....	27
5.1.2 Fisiografía.....	30
5.1.2.1 Subprovincias fisiográficas.....	30
5.1.2.2 Topoformas.....	31
5.1.3 Hidrología.....	33
5.1.3.1 Subcuencas.....	33
5.1.4 Suelos.....	34
5.1.5 Clima.....	36
5.1.6 Biogeografía.....	37
5.1.7 Uso de Suelo y Vegetación.....	39
5.1.8 Características ambientales dominantes.....	41
5.1.9 Caracterización demográfica.....	42
5.2 Análisis y verificación de campo.....	45

5.2.1 Análisis socioeconómico.....	45
5.2.2 Análisis ambiental.....	45
5.2.2.1 Cambio de uso de suelo y vegetación.....	45
5.2.2.2 Ecología del paisaje: Análisis de fragmentación.....	46
5.2.2.3 Selección de áreas prioritarias para la conservación.....	47
5.2.2.4 Verificación en campo.....	50
6. Resultados.....	51
6.1 Análisis socioeconómico.....	51
6.1.1 Datos municipales.....	51
6.1.1.1 Actividades de agricultura (sin uso de invernadero o vivero).....	51
6.1.1.2 Actividades de agricultura (con uso de invernadero o vivero).....	52
6.1.1.3 Actividades de ganadería.....	52
6.1.1.4 Actividades forestales.....	53
6.1.2 Datos de ejidos y comunidades.....	53
6.1.2.1 Actividades económicas.....	54
6.2 Verificación en campo de la cartografía.....	54
6.3 Análisis ecológico.....	57
6.3.1 Cambio de uso de suelo y vegetación entre 1984 y 2011 en el AICA de Cuetzalan.....	57
6.3.2 Deterioro de la cubierta vegetal.....	66
6.3.2.1 Deterioro de la cubierta vegetal del 2011 del AICA de Cuetzalan.....	66
6.3.2.1.1 Métrica del parche.....	66
6.3.2.1.2 Estadísticas/Medidas del paisaje.....	70
6.4 Área prioritaria para la conservación.....	73
7. Discusión.....	78
7.1 Factores socioeconómicos.....	78
7.2 Cambio de uso de suelo.....	79
7.3 Ecología del paisaje.....	80
7.4 Propuesta de conservación.....	82
8. Conclusiones.....	84
9. Referencias bibliográficas.....	85

**10. Anexo 1. Anexo fotográfico.....96**

## 1. Resumen

México ha sido reconocido en el mundo por la excepcional diversidad biológica y cultural que alberga puesto que poseemos casi el 70% de la diversidad mundial de especies. El hecho de que México sea uno de los cinco países con mayor diversidad biológica, nos confiere una gran responsabilidad ante el mundo, especialmente cuando se considera que una elevada proporción de esas especies son endémicas. En México se han registrado 1,107 especies de aves de 9,721 en el mundo de las cuales 599 se encuentran en el Estado de Puebla. 125 de las especies mexicanas son endémicas mientras que el estado de Puebla cuenta con 52 de ellas. Estas especies se concentran en las selvas bajas caducifolias de la vertiente del Pacífico de México, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur, las zonas áridas y semiáridas del centro de México y el Eje Neovolcánico Transversal. En el presente trabajo se realizó la propuesta de un área protegida dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) en el área de Cuetzalan en Puebla. El objetivo del presente trabajo fue proponer un área para la conservación de la naturaleza en dicha AICA con base en información geográfica, socioeconómica y biológica, y con herramientas de ecología del paisaje, evaluando el cambio de uso de suelo y el estado de conservación. El trabajo es necesario debido a que un AICA es un área de regionalización mas no de protección y en el AICA se encuentran especies en peligro de extinción como la Codorniz-coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*), el Zopilte rey (*Sarcoramphus papa*) y el Águila tirana (*Spizaetus tyrannus*). En esta zona no se encuentra ningún área natural protegida a pesar de su importancia ecológica. Para el análisis socioeconómico se utilizaron los censos agrícola, ganadero y forestal y el ejidal. Se demostró que el cultivo de café cereza y la agricultura de temporal son los que tienen mayor presencia, siendo notorio que el cultivo de café cereza es benéfico para la conservación. Para el análisis de cambio de uso de suelo y vegetación se utilizó el sistema de información geográfica QGIS. Se demostró que el mayor proceso de cambio es el de permanencia en el Bosque Mesófilo de Montaña, lo que demuestra que no es afectado por las actividades humanas. Para la ecología

del paisaje se usó el plugin LecoS y se observó que la mayor cobertura pertenece a la Agricultura de temporal (6231 ha), si bien la mayor área sin uso agrícola pertenece al bosque de conífera latifoliada perturbada (4286 ha). Para proponer el área protegida se utilizó el programa Marxan, el cual es utilizado para el diseño de áreas protegidas, y el sistema de información geográfica QGIS. Se realizaron dos diseños con objetivos de conservación al 10% y 30% y un diseño basado en la vegetación más conservada, utilizando cartas uso de suelo y vegetación de la serie V de INEGI. Se mostró que el área con objetivo de conservación al 10% es la más susceptible a la conservación, esto debido a que presenta la mayor cantidad de áreas viables. El proyecto es viable desde un punto de vista meramente ecológico, pero es necesario realizar un análisis social a partir de encuestas para conocer la opinión de los habitantes y autoridades locales sobre la formación de un área natural protegida en su comunidad.

## 2. Introducción

México ha sido reconocido en el mundo por la excepcional diversidad biológica y cultural que alberga (CONABIO, 2007). Poseemos casi el 70% de la diversidad mundial de especies y es uno de los países megadiversos (CONABIO, 2015). El hecho de que México sea uno de los cinco países con mayor diversidad biológica, nos confiere una gran responsabilidad ante el mundo, especialmente cuando se considera que una elevada proporción de esas especies son endémicas del país (CONABIO, 2007). Toda esta diversidad es debida a diversos factores como lo son la posición geográfica del país, su amplia diversidad de paisajes que va desde montañas hasta desiertos y que propicia diversos tipos de climas, extensión territorial, las zonas biogeográficas que se juntan en México (neártica y neotropical) y hasta su cultura (CONABIO, 2015).

Es innegable que el aumento de las presiones antropogénicas sobre la biodiversidad, en particular las que causan las elevadas tasas de cambio de uso de suelo, la modificación de los ecosistemas, la extracción ilícita y mal planeada de los recursos naturales, están conduciendo a una pérdida irreversible de especies o sus poblaciones y el deterioro de los ecosistemas. En el ámbito mundial, se considera a México como el segundo país con mayores índices de deforestación, que varían de acuerdo al tipo de vegetación, periodo y escala del estudio. Otros factores causales de la pérdida de la biodiversidad son el tráfico ilegal de especies, la contaminación y el establecimiento de especies invasoras. Lo anterior, sin duda tiene profundos impactos en la estructura y función de los ecosistemas, así como en la provisión de los servicios ambientales (CONABIO, 2007).

En la actualidad se busca que la conservación biológica sea acorde con la idea de satisfacer las necesidades humanas sin comprometer la salud de los ecosistemas. Se da por sentado que dicha sustentabilidad ecológica es complementaria a la conservación de las áreas silvestres, y que estas áreas sean representativas de la biodiversidad de una región o un país, sin embargo, dada la heterogeneidad de México y la elevada biodiversidad que alberga, existe un enorme reto para

conocerla y conservar porciones representativas de la misma. Tener una visión nacional de las prioridades de conservación es esencial, más aún en un país megadiverso como México, tomando en cuenta que, para lograr el éxito en la conservación y el uso sustentable, las acciones locales son fundamentales (Koleff y Urquiza-Hass, 2011).

## **2.1 Conservación y especies indicadoras**

Más allá del valor y la belleza intrínseca del paisaje y la vida silvestre, de los usos reales y potenciales de los millones de especies que integran la biota planetaria, de la provisión de materias primas y servicios ecológicos que brindan los ecosistemas para los procesos productivos de nuestras economías que posibilitan que el mundo sea habitable y placentero para la especie humana, más allá de todo ello, necesitamos conservar nuestros ecosistemas porque se encuentran en verdadera crisis de deterioro con serios problemas en el presente y para las generaciones futuras (Challenger, 2001). Como dijo Curry-Lindahl (1974): *"El hombre es el depositario de los recursos naturales de las generaciones venideras, tiene la obligación moral de administrar este capital insustituible en forma sabia y cuidadosa"*.

Se reconoce en la planeación sistemática de la conservación el proceso mediante el cual se deben de incluir los distintos niveles de la biodiversidad, desde paisajes y ecosistemas hasta especies, poblaciones y genes; sin embargo, generalmente no existe la información necesaria para todos los niveles, ni para los distintos elementos de cada nivel (Koleff y Urquiza-Hass, 2011). Por lo mismo una estrategia para solventar de cierta manera dicho problema es a través de la regionalización (CONABIO, 2008).

La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental, pues permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado. La importancia de regionalizaciones de tipo ambiental estriba en que se consideran análisis basados en ecosistemas, cuyo objetivo principal es incluir toda la heterogeneidad ecológica que prevalece dentro de un determinado

espacio geográfico para, así, proteger hábitats y áreas con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad, las cuales no hubiesen sido consideradas con otro tipo de análisis (CONABIO, 2008). Un esquema de regionalización biológica son las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) (CONABIO, 2004).

En México se han registrado 1,107 especies de aves de 9,721 en el mundo de las cuales 599 se encuentran en el Estado de Puebla (Hernández-Castán, 2013 A). 125 de las especies mexicanas son endémicas (CONABIO, 2007) mientras que el estado de Puebla cuenta con 52 especies endémicas (Hernández-Castán, 2013 B). Estas especies se concentran en las selvas bajas caducifolias de la vertiente del Pacífico de México, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur, las zonas áridas y semiáridas del centro de México y el Eje Neovolcánico Transversal (CONABIO, 2007).

Algunos sitios son extraordinariamente importantes para preservar las especies que dependen de los hábitats que en ellos se encuentran; en consecuencia, la protección vigorosa de estos sitios de crucial relevancia constituye una alternativa de conservación para numerosas especies de aves (CCA, 1999 C). De hecho, una proporción importante de los esfuerzos generales de identificación de áreas prioritarias de conservación en el mundo, a diferentes escalas, se basan en el análisis de la avifauna (Navarro-Sigüenza et al, 2011). Esto se ha justificado de diversas maneras, como por ejemplo el importante papel ecológico de las aves en los ecosistemas, su alta riqueza y grado de endemismo, sus elevadas tasas de extinción debido a actividades humanas y su papel como sustitutos (surrogates) en la toma de decisiones de conservación de áreas (Navarro-Sigüenza et al, 2011). En relación a este último punto, debido a que prácticamente en ningún lugar se conoce toda la biodiversidad, la planeación de la conservación basada en sustitutos puede ser efectiva para la biodiversidad menos conocida que habita en el mismo espacio geográfico o ambiente, a lo que se llama también “efecto sombrilla” (Navarro-Sigüenza et al, 2011). Por otra parte, dado que las aves son a menudo indicadores efectivos de la biodiversidad en otros grupos de especies

vegetales y animales, la protección de una red de AICAS reporta el beneficio adicional de contribuir a la supervivencia de muchos otros taxones (CCA, 1999 C). El resultado de un listado de AICA es muy importante puesto que contribuye a los procesos de designación de áreas protegidas o a la evaluación del impacto ambiental a diversos niveles. Las AICAS han servido como marco de referencia para posteriores análisis de prioridades de conservación de aves en México, como los realizados para la avifauna acuática, los resultantes de la aplicación de análisis biogeográficos modernos, las áreas clave para la biodiversidad (KBA) promovidas por Conservation International, los análisis de vacíos y omisiones en conservación en México coordinados por la CONABIO y la regionalización de prioridades de conservación (Navarro-Sigüenza et al, 2011).

En relación al análisis de vacíos y omisiones se concluyó que los sitios de prioridad extrema (SE), alta (SA) y media (SM) en aves se concentran a lo largo de las zonas montañosas en la Sierra Madre Occidental y Oriental, en la Sierra Madre de Chiapas, la Sierra Madre del Sur, los Chimalapas y el norte de la Península de Yucatán y Baja California, así como a lo largo del Eje Neovolcánico y su representatividad aumenta al ser traslapadas con las AICAs y las RTPs (Región Terrestre Prioritaria) (CONABIO, 2007).

En México el listado completo incluye un total 230 áreas, que incluyen más de 26,000 registros de 1,038 especies de aves (96.3% del total de especies para México según el American Ornithologist's Union). Adicionalmente, se incluye en al menos un área, al 90.2% de las especies listadas como amenazadas por la ley Mexicana (306 de 339 especies) y al 100 % de las especies incluidas en el libro de Collar et al. (1994, Birds to Watch 2). De las 95 especies endémicas de México (Arizmendi y Ornelas en prep.) todas están registradas en al menos un área (CONABIO, 2004). En Puebla existen cinco AICAS para la protección de 560 especies de aves (CONABIO, 2013). Las AICAS deben tener como objetivo el generar herramientas de difusión que sean utilizadas como una guía para fomentar el turismo ecológico tanto a nivel nacional como internacional y fomentar la cultura ecológica, especialmente en lo referente a las aves, sirviendo de base para la formación de clubes de observadores y de otros tipos de grupos

interesados en el conocimiento y la conservación de estos animales (Pizaña y Hernández, 2011) De hecho existen IBAs (Importance Bird Areas) en más de 120 países y se ha comprobado que estas son de vital importancia para las especies migratorias (Gill, 2007 A). Las IBAs agregan valor a las comunidades como espacios recreativos para las familias y por su posible manejo como ecoturismo que brinda ingresos a la comunidad (Gill, 2007 B). Sin embargo y observando todo esto, es importante mencionar que una gran proporción de estos sitios aún no está protegida bajo el esquema de las AP (CONABIO, 2007).

## **2.2 Especies indicadoras**

Son especies cuyas características poblacionales (presencia, densidad, éxito reproductor) permiten evaluar el estado general de un hábitat o localidad determinada. Las especies indicadoras pueden ser: a) de calidad ambiental o grado de “salud” de un ecosistema (cuando permiten evaluar cambios ambientales producidos por la contaminación o la destrucción de los hábitats); b) de los cambios poblacionales en otras especies; y c) del grado de riqueza o biodiversidad de una zona determinada (Esteve M.A. y Calvo J.F., 2000).

El funcionamiento de los indicadores ecológicos se basa en el supuesto de que la evaluación parcial de los elementos de un sistema natural y la implementación de programas de manejo con base en estos, permite la conservación de todo o gran parte del sistema (Isasi-Catalá, 2011).

Los indicadores ecológicos pueden ser y actuar a diferentes niveles jerárquicos, desde un gen hasta una comunidad o paisaje, y representar diferentes componentes de la biodiversidad (composición, estructura y función); entre los más ampliamente utilizados se encuentran los indicadores ecológicos a nivel de especie, basados en el estudio de las poblaciones y de la dinámica que las caracteriza. Las especies sucedáneas son indicadores ecológicos a nivel de especies, que actúan bajo los siguientes supuestos:

- Su riqueza o abundancia está relacionada con la presencia de un gran número de especies de otros taxones conocidos, principalmente taxones relacionados o con requerimientos similares

- La riqueza de especies y la diversidad de hábitat están relacionadas con la presencia de amenazas.

Las especies indicadoras de biodiversidad son aquellas cuyos patrones de distribución están relacionados con áreas de alta riqueza de especies, por lo que se les considera como un estimador del número de especies o taxones con las que se halla en simpatria. Las características de estas especies indicadoras son principalmente una amplia distribución (si bien esto puede ser relativo), restringidas ambientalmente, así como estar bien documentadas y ser fáciles de estudiar. Existen muchos ejemplos del uso de especies o grupos de especies indicadoras de biodiversidad, entre las que destacan aves, mariposas, escarabajos, briofitas y plantas, entre otros (Isasi-Catalá, 2011).

### **2.3 Las aves como indicadores efectivos de la Biodiversidad**

Anteriormente se refería a las aves como indicadores efectivos de la biodiversidad. La efectividad de las aves como indicadores de la biodiversidad ha sido puesta en duda debido a que su distribución es demasiado amplia para funcionar como sustitutos (surrogates) adecuados, sin embargo diversos estudios (Palitzsch y Rahbek, 2002; Moore et al, 2003; Warman et al, 2004; Tushabe et al, 2005; Rodrigues y Brooks, 2007; Wugt et al, 2012) han demostrado que las aves pueden desempeñar un papel desde adecuado hasta idóneo en la representación de áreas de interés para la conservación, si bien se hace la recomendación de que sea combinado con otro grupo para ampliar el rango de cobertura de especies (Palitzsch y Rahbek, 2002). Las aves se mantienen como uno de los mejores indicadores de biodiversidad y salud de un ecosistema. En el amplio espectro de la biodiversidad, las aves son los indicadores más visibles y accesibles de la interconexión de la vida en la tierra (Gill, 2007 B).

### **2.4 Figuras de conservación en Puebla**

El instrumento de la política ambiental con mayor fuerza jurídica para la conservación de la biodiversidad son las Áreas Naturales Protegidas (ANPs). La protección de estos sitios ha sido social y políticamente impulsada a partir del

reconocimiento de su importancia para conservar la biodiversidad, su contribución a la regulación del clima, el aprovisionamiento de agua y otros recursos naturales y como espacios idóneos para la investigación científica, la educación ambiental y el turismo de naturaleza (Pizaña y Hernández, 2011). La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), administra actualmente 176 áreas naturales de carácter federal que representan más de 25,394,779 ha (ver Cuadro 1) (CONANP, 2013)

Cuadro 1. Diferentes categorías de ANPs en México junto con su superficie en hectáreas y el porcentaje de la superficie a nivel nacional (CONANP, 2013).

<b>ANP</b>	<b>Categoría</b>	<b>Superficie en hectáreas</b>	<b>Porcentaje de la superficie del territorio nacional</b>
44	Reservas de la Biosfera	12,652,787	6.44
38	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6,740,875	3.43
8	Áreas de Protección de Recursos Naturales	4,440,078	2.26
66	Parques Nacionales	1,398,517	0.71
18	Santuarios	146,254	0.07
5	Monumentos Naturales	16,268	0.01
<b>176</b>		<b>25,394,779</b>	<b>12.93</b>

Puebla cuenta con cinco ANP de jurisdicción federal con una superficie aproximada de 254,686.16 ha (Cuadro 2). En cuanto a las ANP estatales, el estado cuenta al 2012 con cuatro parques metropolitanos, cinco reservas ecológicas, dos parques estatales y dos reservas estatales conformando un total de 74,267 ha (Cuadro 3). Las ANP representan cerca del 9.63% del territorio del estado (CONABIO, 2013).

Cuadro 2. Áreas Naturales Protegidas federales de Puebla (CONABIO, 2013).

<b>ANP</b>	<b>Categoría</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie aprox. en Puebla (ha)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Declaratoria</b>
Tehuacán-Cuicatlán	Reserva de la Biosfera	490,187	184,540	Oaxaca-Puebla	18-11-1998
Cuenca Hidrográfica del río Necaxa	Área de Protección de Recursos Naturales	39,557	32,292.28	Hidalgo y Puebla	20-10-1938
Malinche o Matlalcuéyatl	Parque Nacional	45,711	14,479.32	Tlaxcala y Puebla	06-10-1938
Pico de Orizaba	Parque Nacional	19,750	12,253.56	Veracruz y Puebla	04-01-1937
Iztaccíhuatl-Popocatepetl Zoquiapan y anexas	Parque Nacional	38,819	11,121	México, Puebla y Morelos	08-11-1935
		<b>635,024</b>	<b>254,686.16</b>		

Cuadro 3. ANPs estatales (CONABIO, 2013).

<b>Área Natural Protegida</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Reserva Estatal Sierra del Tentzo	57,815
Parque Estatal Humedal de Valsequillo	13,784.34
Reserva Ecológica Cerro Totolqueme	759.80
Parque Estatal Flor del Bosque	664
Reserva Estatal Cerro Zapotecas	586.43
Reserva Ecológica Cerro Mendocinas	229.90
Reserva Ecológica Cerro de Amalucan	135.90
Parque del Bicentenario	116
Reserva Ecológica Cerro Tepeyac	95.70
Parque Ecológico Revolución Mexicana	58
Ecoparque Metropolitano	38
Reserva Ecológica Cerro Comalo	21.60
Parque del Arte	13
<b>TOTAL</b>	<b>74,267.67</b>

Cabe resaltar que existen tres ANPs en Puebla con AICAS incorporadas a ellas, siendo Malinche o Matlacuéyatl (AICA C-52), Tehuacán-Cuicatlán (AICA C-31) e Iztaccíhuatl-Popocatépetl Zoquiapan y anexas (AICA C-72) (Pizaña y Hernández, 2011).

Otra estrategia para la conservación son las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) y se desempeñan como centros de pies de cría, bancos de germoplasma, alternativas de conservación y reproducción de especies en riesgo, actividades de educación ambiental, investigación, etc (López, 2011). Existen dos tipos de UMA: a) las de producción intensiva, en las que se promueve la reproducción de especies bajo condiciones de confinamiento y b) las de producción extensiva, que operan con la aplicación de técnicas de conservación y manejo de hábitat de las poblaciones en vida libre (López, 2011).

Para Puebla se tienen registradas un total de 207 UMAs que en conjunto representan una superficie de 109,807 ha; de ellas, 127 se encuentran registradas bajo la modalidad de intensivas, con una superficie de 14,055 ha, mientras que los predios registrados como UMAs extensivas dan un total de 80 y son los que reflejan la mayor parte de la superficie bajo manejo, con un total de 95,752 ha (López, 2011). Existen beneficios directos para los productores de la región, así como para la conservación y el manejo adecuado de los recursos naturales (López, 2011). El establecimiento de las UMAs también ha servido como un instrumento de organización de las actividades productivas y de conservación de la vida silvestre, al permitir la planeación y zonificación dentro de los predios para el manejo sustentable, porque ha permiti6 consolidar y formar comités como el de vigilancia, los de UMAs y los de difusión, entre otros; es un esquema alternativo de manejo responsable de la vida silvestre. Aunado a esto, el sistema de UMAs ha incorporado áreas boscosas al manejo y conservación de la vida silvestre, considerándose en consecuencia como un sistema versátil en el cual pueden participar y operar los productores para favorecer la acción libre y conjunta que permita incrementar la calidad de vida de los pobladores de la región (López, 2011).

Una propuesta para la conservación es trabajar en conjunto con ejidatarios y propietarios de tierras para un correcto manejo de los recursos que las mismas ofrecen (Askins, 2000) como pueden ser los acuerdos de cooperación con los interesados locales (CCA, 1999 A). Se pueden buscar la manera de lograr acuerdos con los propietarios de tierras privadas o los grupos de usuarios locales en los que éstos se comprometan a mantener el hábitat como un área protegida y evitar ciertas actividades que destruyen o alteran el entorno, así como su urbanización. En México, tales iniciativas dependerán, en gran medida, de la capacidad para garantizar a los grupos locales un acceso continuo a los recursos vitales, identificando las alternativas productivas a la silvicultura, el pastoreo de ganado y otras prácticas agrícolas, y también de los esfuerzos educativos que se realicen (CCA, 1999 A).

## **2.5 El cambio en el uso del suelo y vegetación**

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Aunque existen eventos naturales, tales como los huracanes, que propician variaciones en la cobertura natural, durante las últimas décadas, las actividades humanas se han convertido en el principal desencadenador de la transformación de los ecosistemas (Velázquez et al, 2002).

El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espacio temporal de la cubierta vegetal o "análisis del cambio de uso/cobertura del suelo" (Velázquez et al, 2002). Con este procedimiento se realiza un cruce de los datos, el cual aporta información sobre la transformación del suelo.

En Puebla se han realizado estudios sobre el cambio de uso de suelo como el de Castelán et al (2007), quien trabajó en la subcuenca del Río San Marcos donde se hizo evidente la deforestación producida por el cambio de uso de suelo destinado a uso de agricultura entre los años 1976-2000. Otro estudio fue realizado por Evangelista et al (2010), quien analizó también el cambio de uso de suelo entre los años de 1988-2003 en la Sierra Norte de Puebla.

## **2.6 Ecología del paisaje y Sistemas de Información Geográfica**

La conservación de los ecosistemas suele estar orientada hacia solo ciertas especies. Sin embargo, no se toma en cuenta la forma en que el ambiente afecta a estas poblaciones. Muchas veces el hecho de que una especie se encuentre en alguna categoría de riesgo es síntoma de que algo anda mal en el área donde habita. Por lo mismo, la conservación debe ser abordada desde una aproximación de paisaje (Burke, 2000), puesto que si el paisaje es analizado correctamente se pueden generar mejores reservas que funcionen para las especies clave que en él habiten (Hansson y Angelstam, 1991).

De acuerdo con Santos y Tellería (2006) la evolución de los paisajes fragmentados presenta varias etapas:

1. Pérdida regional de la cantidad de hábitat, lo que conlleva una disminución regional de las especies.
2. Disminución del tamaño medio y aumenta el número de fragmentos de hábitat, lo que reduce progresivamente el tamaño de las poblaciones.
3. Incrementa la distancia entre fragmentos, lo que origina que los individuos presenten dificultades para comunicarse entre fragmentos.
4. Se produce el efecto de borde, esto es, que al producirse un aumento de la relación perímetro/superficie los hábitats periféricos producen interferencias.

Estas tendencias pueden producir en estados avanzados la extinción regional de diversas especies. Esta pérdida suele ajustarse a un patrón encajado, es decir, las especies se pierden según un determinado orden, de modo que cada una de ellas desaparece al alcanzar los fragmentos un umbral de tamaño dado. Este patrón tiene unas implicaciones conservacionistas obvias, ya que la superficie total de hábitat disponible en una región no define por sí solo su capacidad para retener una determinada comunidad de especies. Por ejemplo, 100 fragmentos de 1 ha no reunirán nunca a todas las especies presentes en un fragmento de 100 ha, ya que solo albergarán réplicas del limitado número de aquellas capaces de persistir en ese contexto de fragmentación extrema. La pérdida encajada de especies es, en última instancia, la suma de la respuesta diferencial de cada una de las especies al proceso de fragmentación, y el orden en el que desaparecen es un índice de su vulnerabilidad ante la misma (Santos y Tellería, 2006).

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha servido para llevar a cabo estos estudios de paisaje (Menon y Bawa, 1997). Las imágenes de percepción remota procesadas en un SIG, permiten integrar y analizar la heterogeneidad espacial en formato digital, fácilmente mensurable. Con la tecnología SIG es posible por un lado, modificar el tamaño del píxel y variar así el nivel de resolución de la imagen -tamaño de grano-, permitiendo un análisis de la heterogeneidad espacial a diferentes escalas; por otro lado es posible calcular los índices de paisaje, ya sea en forma directa a través de un módulo específico, o en

forma indirecta, a través de formatos de importación y exportación de datos, permitiendo el intercambio de informaciones con otros programas (Moizo-Marrubio, 2004). Estos resultados suelen combinarse con datos socioeconómicos del área de estudio (Menon y Bawa, 1997).

Se han realizado diversos trabajos combinando los Sistemas de Información Geográfica con la ecología de paisaje con resultados favorables, demostrando ser efectiva su implementación (Menon y Baea, 1997; Brawn et al, 2001; Millington et al, 2003; Niggebrugge et al, 2007; Ribas y Gontijo, 2014).

Para los análisis de ecología del paisaje existen diversos programas, siendo uno de los más populares el software Fragstats, sin embargo, este programa no permite la visualización de los resultados en un SIG. Para llevar a cabo este trabajo se recurrió al plugin LecoS. Éste es un complemento para el Sistema de Información Geográfica QGIS. Su nombre viene de Landscape Ecology Statistics. Hace uso de las librerías científicas de python SciPy y Numpy para calcular índices de paisaje básicas y avanzadas y provee varias funciones para análisis del paisaje.

La utilidad de LecoS se ha demostrado en diversos trabajos. Jung (2013) realizó un estudio de polinizadores en Serbia, utilizando los datos de CORINE landcover-data set con el objetivo de caracterizar la heterogeneidad y características de los paisajes a varias escalas. Un estudio similar fue hecho por Duarte (2014), el cual realizó la caracterización de la municipalidad de Coimbra, Portugal, utilizando también los datos de CORINE landcover-data set, realizando además un análisis del cambio del uso de suelo. Otro trabajo con polinizadores fue llevado a cabo en Ohio, Estados Unidos por Sponsler y Johnson (2015), los cuales, utilizando datos sobre el uso de suelo, fueron capaces de analizar el éxito que tenían las colmenas de abejas en relación a la distancia que debían recorrer para llegar a los parches de vegetación. Cabe resaltar que en México no existen estudios donde LecoS haya sido utilizado.

Existen programas para el diseño de áreas naturales protegidas y uno de ellos es el Marxan. Este es un programa gratuito para el diseño de áreas de conservación. Provee ayuda para solucionar diversos problemas de conservación como: el

diseño de nuevos sistemas de reservas, reportar la efectividad de reservas existentes (Marxan, 2015). Es posiblemente el programa de planeación de conservación más ampliamente utilizado en el mundo (Ball et al, 2009). La utilidad de Marxan se ha demostrado tanto para áreas protegidas terrestres como marinas (Amber, 2001). En Inglaterra, Delavenne et al (2012) realizaron un estudio en el Canal de la Mancha donde comparó al software Marxan con el software Zonation. Los resultados mostrados por Marxan mostraron ser más eficientes. La más famosa aplicación de Marxan a una gran escala fue la creación de la Gran Barrera de Coral en Australia, donde el programa fue utilizado para la selección de las zonas de "no-pesca" (Ball et al, 2009). También fue utilizado para la selección de las áreas más importantes para la conservación en toda Australia. Pero no solamente ha sido utilizado de esta manera en Australia. Flores y Ochoa (2010) realizaron el informe de las Áreas potenciales de distribución y GAP con base en la herpetofauna de México. Lo que hicieron fue seleccionar a nivel república las áreas más importantes para la conservación utilizando datos herpetofaunísticos junto con el programa Marxan y un análisis de complementariedad. Cabe resaltar que para este caso el resultado final fue posible con la combinación del resultado del programa Marxan y del análisis de complementariedad.

## **2.7 Regiones terrestres prioritarias y Sitios Prioritarios Terrestres**

Las regiones terrestres prioritarias corresponden a unidades físico-temporales estables desde el punto de vista ambiental en la parte continental del territorio nacional, que destacan por la presencia de una riqueza ecosistémica y específica y una 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. Esto último implicó necesariamente considerar las tendencias de apropiación del espacio por parte de las actividades productivas de la sociedad a través del análisis del uso del suelo (Arriaga et al, 2000). Dentro de la zona de estudio se encuentra la región terrestre prioritaria de Cuetzalan la cual se definió como prioritaria para la conservación por la existencia de bosques mesófilos de montaña y selva alta perennifolia. El principal servicio ambiental que posee es el

aporte de agua en las cañadas con vegetación natural y el control de inundaciones. Su importancia para la conservación es nivel 3 (alto) (Arriaga et al, 2000).

En las últimas décadas, la planeación sistemática surgió como una de las ramas de la biología de la conservación para brindar una guía clara y completa en el proceso de creación de sistemas representativos de áreas para la conservación. El uso de este enfoque en los análisis de vacíos y omisiones de conservación de la biodiversidad terrestre y acuática epicontinental permitió integrar diversos criterios biológicos e incorporar información acerca de las principales amenazas. Los sitios terrestres prioritarios para la conservación detectados en el análisis de optimización cubren 594,894 km<sup>2</sup> (30.36% de la superficie), 12.9% de esta superficie se localiza en algún área protegida (que equivale a 3.9 % de la superficie continental del país) (CONABIO, 2015). Los sitios prioritarios son aquellos hexágonos que permiten cumplir con las metas de conservación establecidas para los distintos elementos de la biodiversidad seleccionados en la menor área posible. Se clasifican con una importancia Extrema (175), Alta (1145) y Media (1093). Los sitios seleccionados 100% de las veces (denominados irremplazables) se consideran los de mayor prioridad a escala nacional (son los denominados de prioridad extrema y alta n=1,320). De estos solamente 7.6 % se encuentran bajo protección parcial o total por áreas protegidas, cubren 325,817 km<sup>2</sup> y representan 16.6 % de la superficie nacional (CONABIO, 2015). Las prioridades de conservación para los diversos ecosistemas y grupos de especies deben utilizarse para optimizar los recursos dedicados a las acciones de conservación; es imperativo mantener los hábitats conservados, restaurar los que requieren acciones más urgentes y albergan elementos únicos de la diversidad biológica, fortalecer las áreas protegidas, ampliar el abanico de instrumentos que contribuyen a la conservación (CONABIO, 2015).

## **2.8 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves**

La idea del programa de Áreas Importantes para la Conservación de las Aves se originó en una serie de estudios inéditos que a principios de los años ochenta

realizaron BirdLife International y la Oficina Internacional para la Investigación de los Humedales (IWRB, por sus siglas en inglés), por encargo de la Comisión de la Comunidad Europea y el Consejo de Europa (CCA, 1999 B).

Reconociendo que estas investigaciones no sólo merecían una mayor atención, sino que también representaban potencialmente una poderosa herramienta para la conservación, BirdLife International puso en marcha una iniciativa para identificar y recabar datos sobre los sitios más importantes para la avifauna a través del continente europeo, y también para garantizar un amplio acceso a la información. En 1989 se publicó el documento Important Bird Areas in Europe (Áreas importantes para la conservación de las aves en Europa), hecho que marcó el nacimiento del concepto AICAs y que constituye un hito en la evolución de la estrategia de BirdLife Partnership para la conservación de las aves en Europa (CCA, 1999 B).

Conscientes de las excelentes oportunidades para la conservación de las aves que el concepto y el programa AICAs significan tanto nacional como internacionalmente, los socios de BirdLife han puesto en marcha programas AICAs en todo el mundo. En 1994 se publicó el documento Important Bird Areas in the Middle East (Áreas importantes para la conservación de las aves en el Medio Oriente), y se han iniciado programas en África, Asia y América. La Comisión para la Cooperación Ambiental, en colaboración con otras organizaciones, ha contribuido al desarrollo del programa AICAs en América del Norte, a partir de 1995 en Estados Unidos y desde 1996 en México y Canadá. Los socios de BirdLife que de manera conjunta están realizando el programa en Canadá son Bird Studies Canada y la Federación Canadiense para la Naturaleza; en Estados Unidos, el programa se está manejando como un esfuerzo de cooperación entre la American Bird Conservancy y la National Audubon Society, en tanto que en México la institución encargada de llevar adelante la empresa es el Consejo Internacional para la Preservación de las Aves–Sección México (CIPAMEX), sección mexicana de BirdLife International (CCA, 1999 A).

La red de IBAs incluye tierras públicas protegidas como refugios federales de vida silvestre, así como tierras privadas y comunitarias (Gill, 2007 B).

Para identificar las AICAS en el territorio mexicano, se invitó a especialistas e interesados en la conservación de las aves a un primer taller que se llevó a cabo en Huatulco, Oaxaca del 5 al 9 de junio, de 1996 en donde se reunieron alrededor de 40 especialistas, representantes de universidades y organizaciones no gubernamentales de diferentes regiones en México para proponer de manera regional Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México. En este Taller se identificaron 170 áreas, mismas que se difundieron, invitando a más personas a participar para conformar 193 áreas nominadas durante 1996-1997 (CONABIO, 2004).

Estas áreas fueron revisadas por la coordinación del programa AICAS y se constituyó una base de datos. La estructura y forma de la base de datos fueron adecuándose a las necesidades del programa. La información gráfica recabada en el taller que incluía los mapas dibujados por los expertos de todas las áreas que fueron nominadas, se digitalizó y sistematizó en CONABIO incorporándose en su sistema de información geográfica (CONABIO, 2004).

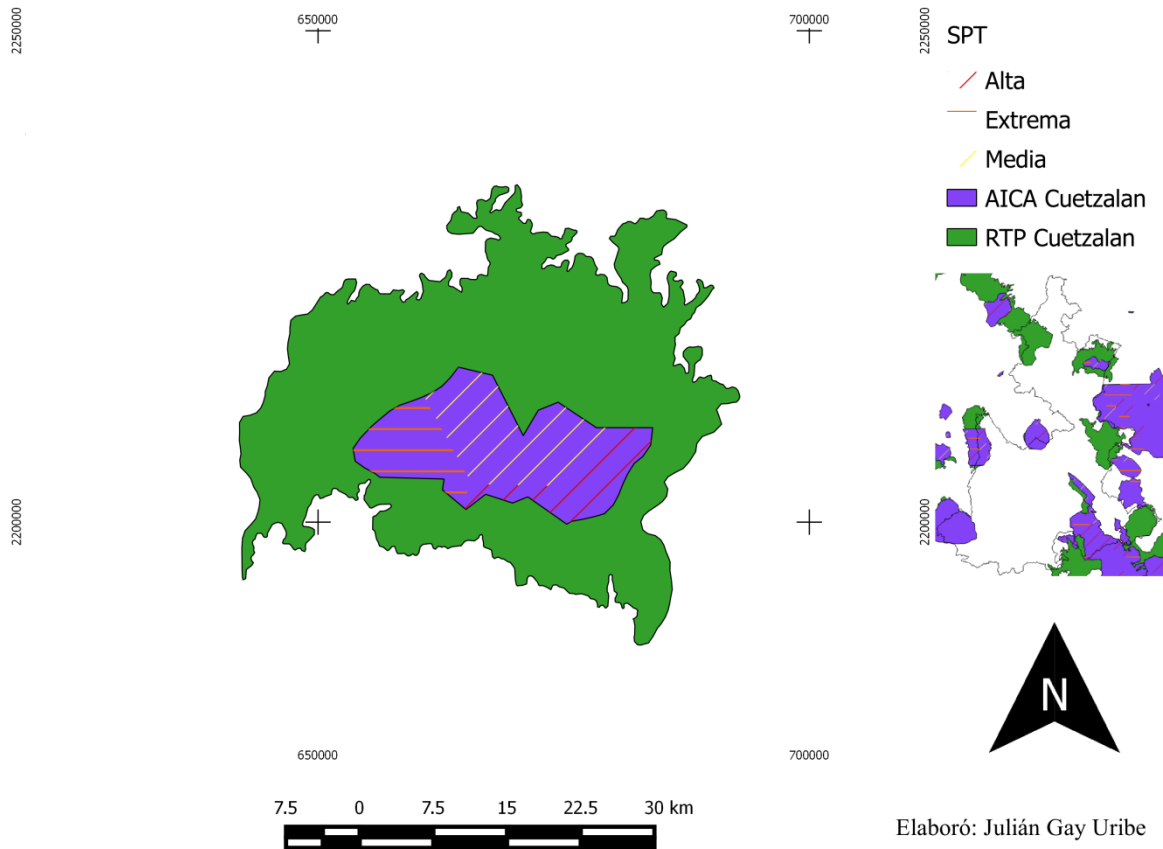
En mayo de 1997, durante una reunión del Comité Consultivo, la Coordinación y técnicos de la CONABIO, se revisaron, con el apoyo de mapas de vegetación, topografía e hidrografía, las 193 áreas propuestas, revisando los polígonos, coordenadas y límites (CONABIO, 2004).

Durante 1998 el programa entró a una segunda fase en la cual se regionalizó, con el apoyo financiero del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C., (FMCN) formándose 4 coordinaciones regionales (Noreste, Noroeste, Sur y Centro). En cada región se organizaron dos talleres para revisar las AICAS, anexándose y eliminándose aquellas áreas que de acuerdo a la experiencia de los grupos de expertos así lo ameritaron, concluyendo con un gran total de 230 AICAS, las cuales quedaron clasificadas dentro de alguna de las 20 categorías definidas con base en criterios de la importancia de las áreas en la conservación de las aves; dichos criterios resultaron de discusiones trilaterales y se adaptaron a partir de los utilizados por BirdLife International. Igualmente se concluyó una lista de 5 áreas de prioridad mayor por Región, en donde se tienen identificados los

grupos locales que son capaces de implementar un plan de conservación en cada AICA. Los nuevos mapas se digitalizaron a escala 1:250,000 (CONABIO, 2004).

## **2.9 Justificación**

Un AICA es una forma de regionalización, pero no ofrece ningún tipo de protección como tal. El presente trabajo es necesario debido a que dentro del AICA existen especies que se encuentran en peligro de extinción como la Codorniz-coluda veracruzana (*Dendrortyx barbatus*), el Zopilte rey (*Sarcoramphus papa*) y el Águila tirana (*Spizaetus tyrannus*). Esta región cuenta también con la presencia del 10% de las especies endémicas y amenazadas de herpetofauna (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2009) y 9 especies endémicas de aves. Es importante resaltar también que en esa zona de la sierra norte no existe ningún área natural protegida, a pesar de que su importancia ecológica es reconocida al poseer un Área de Importancia para la Conservación de las Aves, ser una Región Terrestre Prioritaria (CONABIO, 2008) y poseer un sitio prioritario terrestre para la conservación (Fig. 1) (CONABIO, 2007). Este trabajo aportará un área prioritaria para la conservación en el AICA de Cuetzalan, la cual podrá ser utilizada para la protección de la flora y fauna presente dentro de la misma.



Elaboró: Julián Gay Uribe

Figura 1. Muestra la Región Terrestre Prioritaria (RTP) de Cuetzalan, el AICA de Cuetzalan y los Sitios Prioritarios Terrestres (SPT) en la región de Cuetzalan.

Cabe resaltar también que el humedal de Valsequillo, en Puebla, fue declarado área natural protegida estatal y sitio RAMSAR en 2012 por su avifauna entre otras razones de biodiversidad (Rose-Burney y Hernández, 2013).

### 3. Hipótesis

Si al interior del AICA de Cuetzalan se encuentra alguna categoría de paisaje poco fragmentada, entonces se recomienda su protección bajo alguna figura de conservación.

### 4. Objetivos

## 4.1 GENERAL

Proponer un área para la conservación de la naturaleza en el AICA de Cuetzalan, Puebla, con base en información geográfica, socioeconómica y biológica, mediante herramientas de ecología del paisaje.

## 4.2 PARTICULARES

- Evaluar el cambio de uso del suelo en un espacio de tiempo en el AICA con herramientas de Sistemas de Información Geográfica.
- Evaluar el estado de conservación, fragmentación y otras variables estadísticas de la vegetación con herramientas de la ecología del paisaje y a través de una salida de campo.
- Proponer una o varias áreas de conservación a partir del análisis y la evaluación de la avifauna y el estado de conservación de la vegetación.

## 5. Metodología

### 5.1 Caracterización del área de estudio

#### 5.1.1 Ubicación, topografía y división política

La región de Cuetzalan forma parte de las "Regiones Terrestres Prioritarias" (RTP) señaladas por CONABIO en el 2000 debido a la existencia de bosque mesófilo de montaña presente en las cañadas y selva alta perennifolia en las partes bajas. Sin embargo, dados los requerimientos ambientales de ambos tipos de vegetación hay un nivel de fragmentación muy grande y la coexistencia con bosques de encino y de éste en asociación con pino, así como grandes extensiones perturbadas. El único manchón significativo de selva alta se ubica entre las cotas de 200 y 400 msnm y el bosque mesófilo se presenta en las laderas entre los 1,200 y 1,800 msnm. (CONABIO, 2000).

El AICA que interesa a este trabajo es el AICA 38, perteneciente a la región de Cuetzalan (Fig. 2).

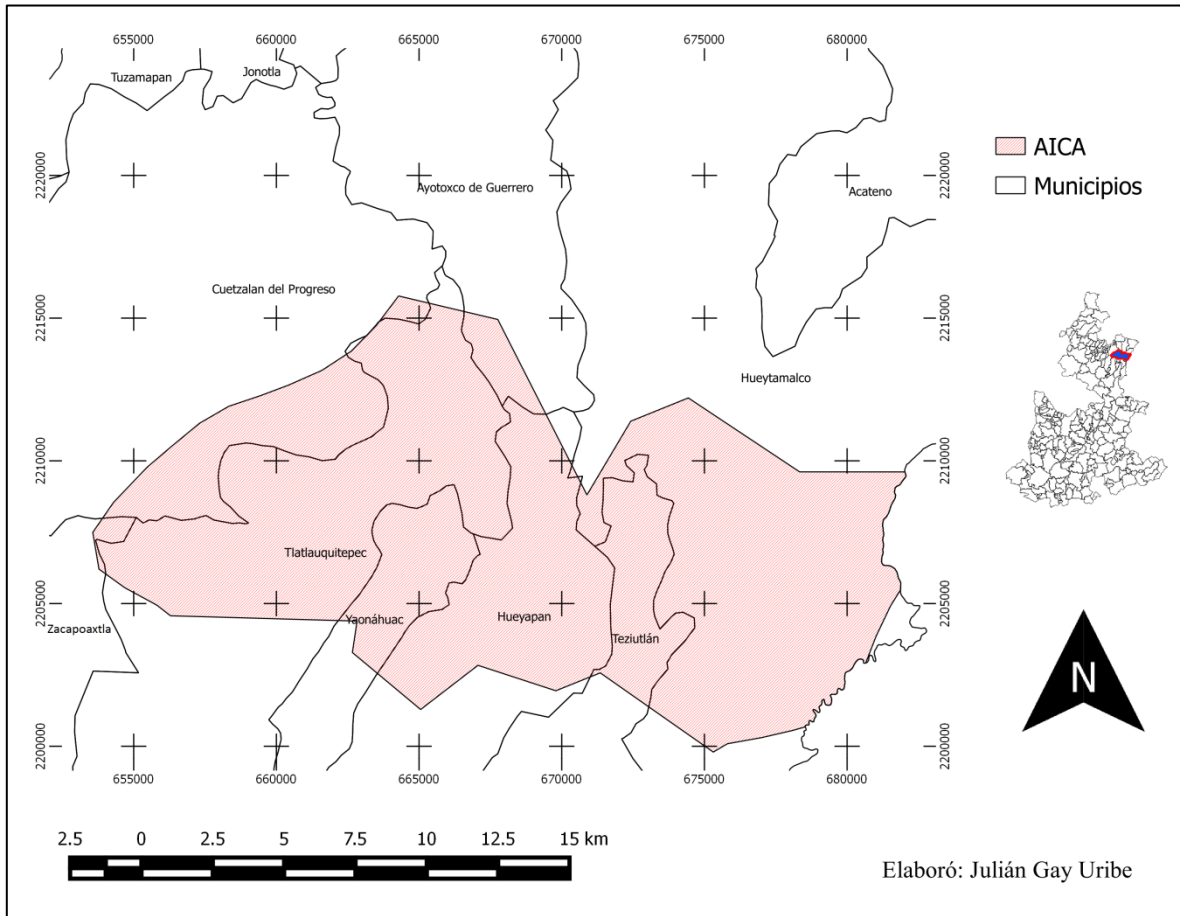


Figura 2. Ubicación del área de estudio en el estado de Puebla. INEGI (2013).

Esta AICA pertenece a la categoría Mex-1 de 1999 y a la categoría A1 de la organización Birdlife International (2007), la cual indica que dicha AICA posee al menos una especie catalogada por la IUCN como "En peligro crítico", "en peligro" o "vulnerable"(CCA, 1999 A). Presenta un área de 26001.9 hectáreas y su vegetación es de Bosque mesófilo de montaña (CONABIO, s.f.).

Los municipios que abarca son Zacapoaxtla, Yaonáhuac, Teziutlán, Hueyapan, Tlatlauquitepec, Cuetzalan del progreso, Ayotoxco de Guerrero y Hueytamalco (Cuadro 4) y presenta un rango altitudinal que va desde los 180 a los 1836 msnm (Fig. 3).

Cuadro 4. Área y porcentaje de los municipios presentes en el área de estudio.

Clave	Área Km <sup>2</sup>	Municipios	Área Km <sup>2</sup> dentro del AICA	%
21076	323.16	Hueytamalco	79	25.24
21186	300.6	Tlatlauquitepec	71	23.48
21043	181.39	Cuetzalan del progreso	24	14.17
21207	179.35	Zacapoaxtla	1	14.01
21025	104.31	Ayotoxco de Guerrero	5	8.15
21174	89.81	Teziutlán	16	7.01
21075	69.93	Hueyapan	42	5.46
21204	31.74	Yaonáhuac	16	2.48

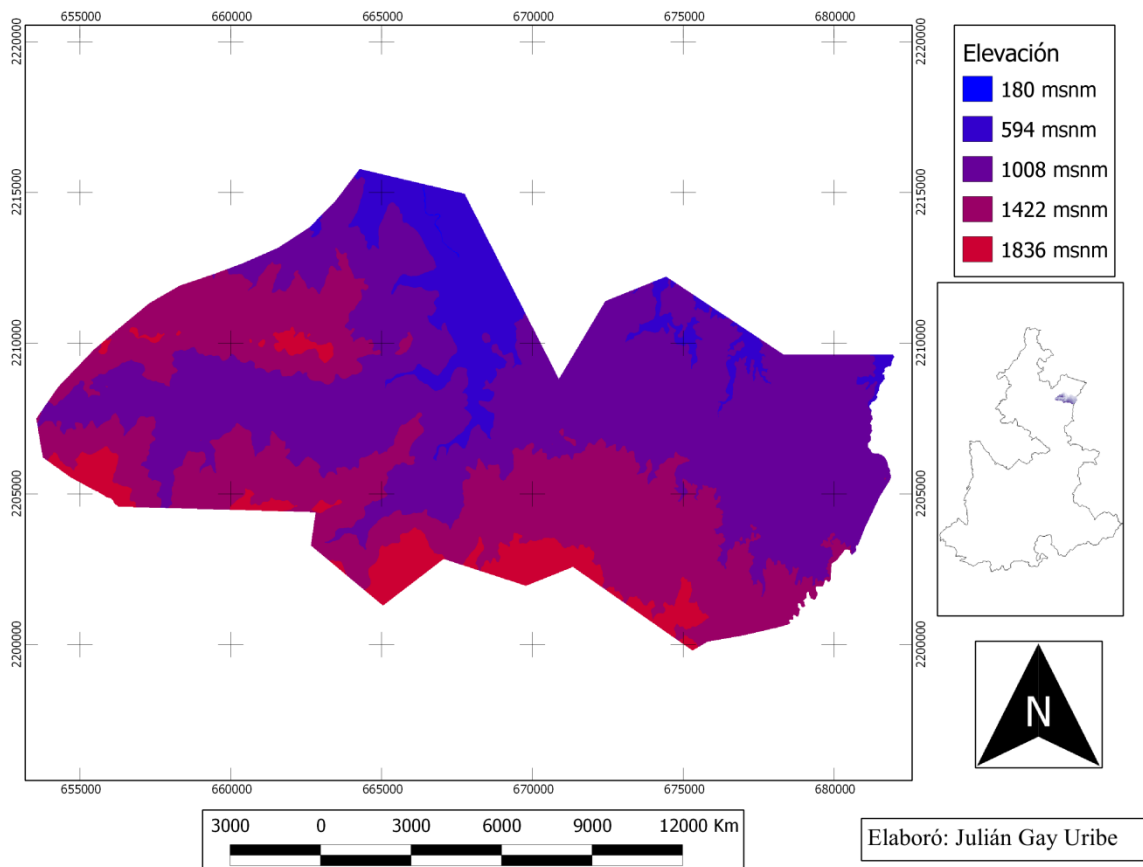


Figura 3. Rango de altitud del área de estudio. (INEGI, 2013).

## 5.1.2 Fisiografía

### 5.1.2.1 Subprovincias fisiográficas

El AICA de Cuetzalan se encuentra ubicado en las subprovincias del Carso Huasteco, el cual presenta un área dentro del AICA de 130.47 Km<sup>2</sup> (51.84%) y Chiconquiaco, con un área de 121.21 Km<sup>2</sup> (48.16%) (Figura 4).

La subprovincia del Carso Huasteco es una sierra plegada que difiere en dos aspectos, fundamentalmente, con relación a las otras subprovincias de la Sierra Madre Oriental. Por un lado, presenta un fuerte grado de disección e incluso desarrollo de cañones, y por el otro, posee un grado de expresión de rasgos propios de un carso mayor. El área que comprende el Carso Huasteco dentro de territorio poblano pertenece a la región conocida como Sierra Norte de Puebla. Se ubica en la porción septentrional del estado. Limita al norte y noreste con la subprovincia Llanuras y Lomeríos, de la Llanura Costera del Golfo Norte; al este, con la subprovincia Chiconquiaco, del Eje Neovolcánico; al sureste, sur y oeste, con la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, también del Eje Neovolcánico; hacia el noroeste se interna en territorios veracruzano e hidalguense. El sistema de topoformas que domina es el de sierra alta escarpada, que cubre prácticamente toda esta zona; pues el de sierra baja sólo abarca el área situada al este y norte de Pantepec, y el de llanura aluvial intermontana, la zona próxima a Xicotepec de Juárez (INEGI, 2000).

La subprovincia Chiconquiaco constituye el extremo oriental del Eje Neovolcánico. Penetra a la entidad por sus bordes centro-este y noreste; en una superficie que corresponde a 2.15% del territorio estatal y pertenece a la totalidad de los municipios de Acateno y Hueytamalco; y a parte de los de Tenampulco, Ayotoxco de Guerrero, Hueyapan, Teziutlán, Quimixtlán y Chichiquila. En esta zona limita al oeste con las subprovincias: Llanuras y Lomeríos, de la Llanura Costera del Golfo Norte; Carso Huasteco, de la Sierra Madre Oriental; y Lagos y Volcanes de Anáhuac, del Eje Neovolcánico; mientras que hacia el norte, este y sur se

introduce en territorio veracruzano. En ella dominan los lomeríos de tobas asociados con llanuras, aunque en algunas áreas se encuentran sin éstas; pero también hay una sierra volcánica de laderas tendidas, parte de una sierra volcánica de laderas tendidas con cañadas, dos mesetas basálticas y una llanura aluvial (INEGI, 2000).

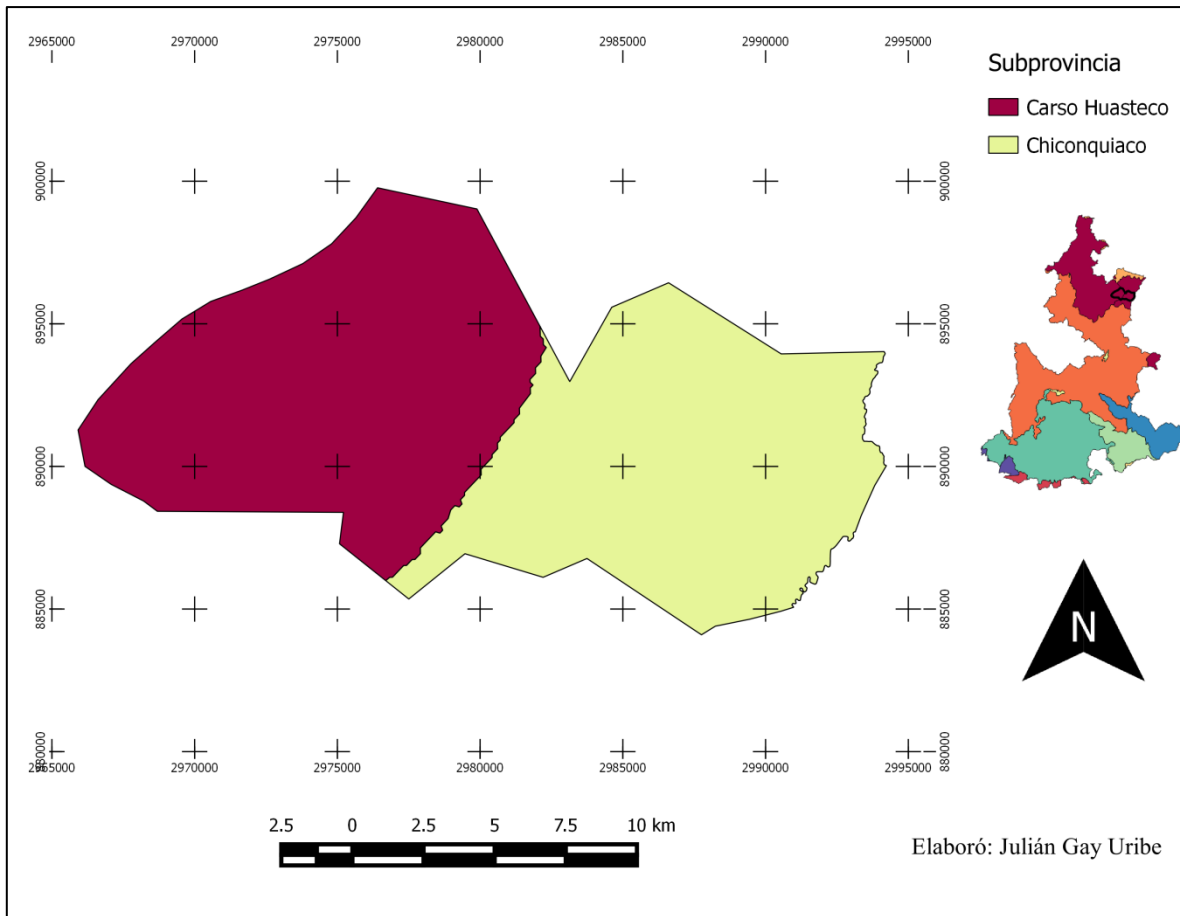


Figura 4. Subprovincias presentes en el área de estudio. INEGI (2001).

### 5.1.2.2 Topoformas

Las topoformas presentes en el AICA de Cuetzalan son: Sierra Alta Escarpada, Sierra Baja, Sierra Volcánica de Laderas Escarpadas y Sierra Volcánica de Laderas Tendidas con Lomerío (Fig. 5, Cuadro 5)

Cuadro 5. Sistema de toposformas presentes en el área de estudio.

Topoformas	Área Km <sup>2</sup>	%
Sierra Volcánica de Laderas Escarpadas	115.61	45.93
Sierra Alta Escarpada	84.88	33.72
Sierra Baja	45.59	18.12
Sierra Volcánica de Laderas Tendidas con Lomerío	5.60	2.23

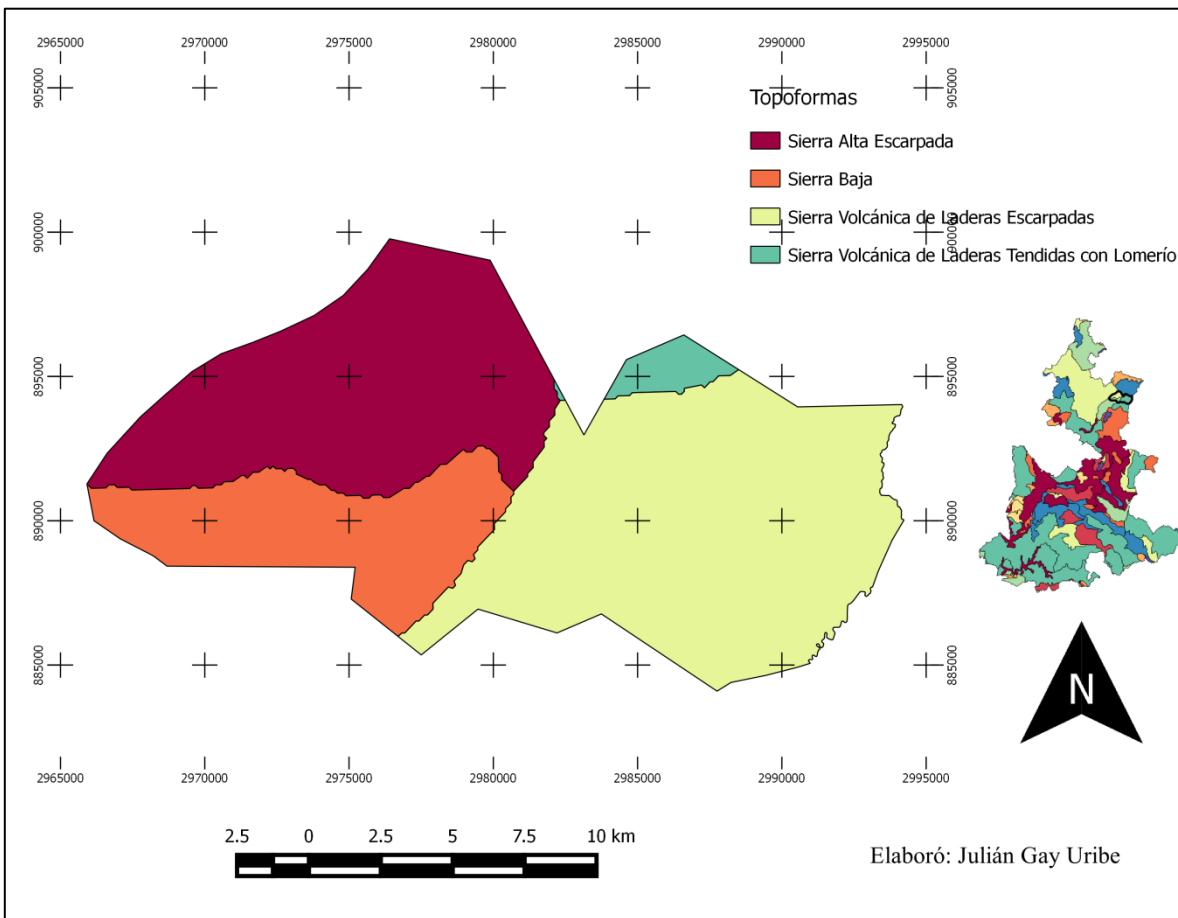


Figura 5. Sistema de toposformas presentes en el área de estudio. INEGI (2001).

### 5.1.3 Hidrología

#### 5.1.3.1 Subcuencas

Las subcuencas presentes en el AICA de Cuetzalan son: Altongo, Tecuantepec - Apulco, Troncones y Zanja de Arena (Fig. 6), siendo la más representativa la de Tecuantepec - Apulco (Cuadro 6).

La subcuenca Tecuantepec - Apulco ocupa el 90% de la cuenca del río Tecolutla, alcanza una extensión de 7162.77 km<sup>2</sup>, entre los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz y Puebla; siendo este último el que abarca la mayor de dicha área; las altitudes varían de los 90 a los 3,250 msnm (Rosas-Avila, 2008).

Cuadro 6. Subcuencas presentes dentro del área de estudio.

<b>Subcuenca</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Tecuantepec - Apulco	233.43	92.75
Troncones	17.52	6.96
Altongo	0.73	0.29
Zanja de Arena	0.0026	0.001

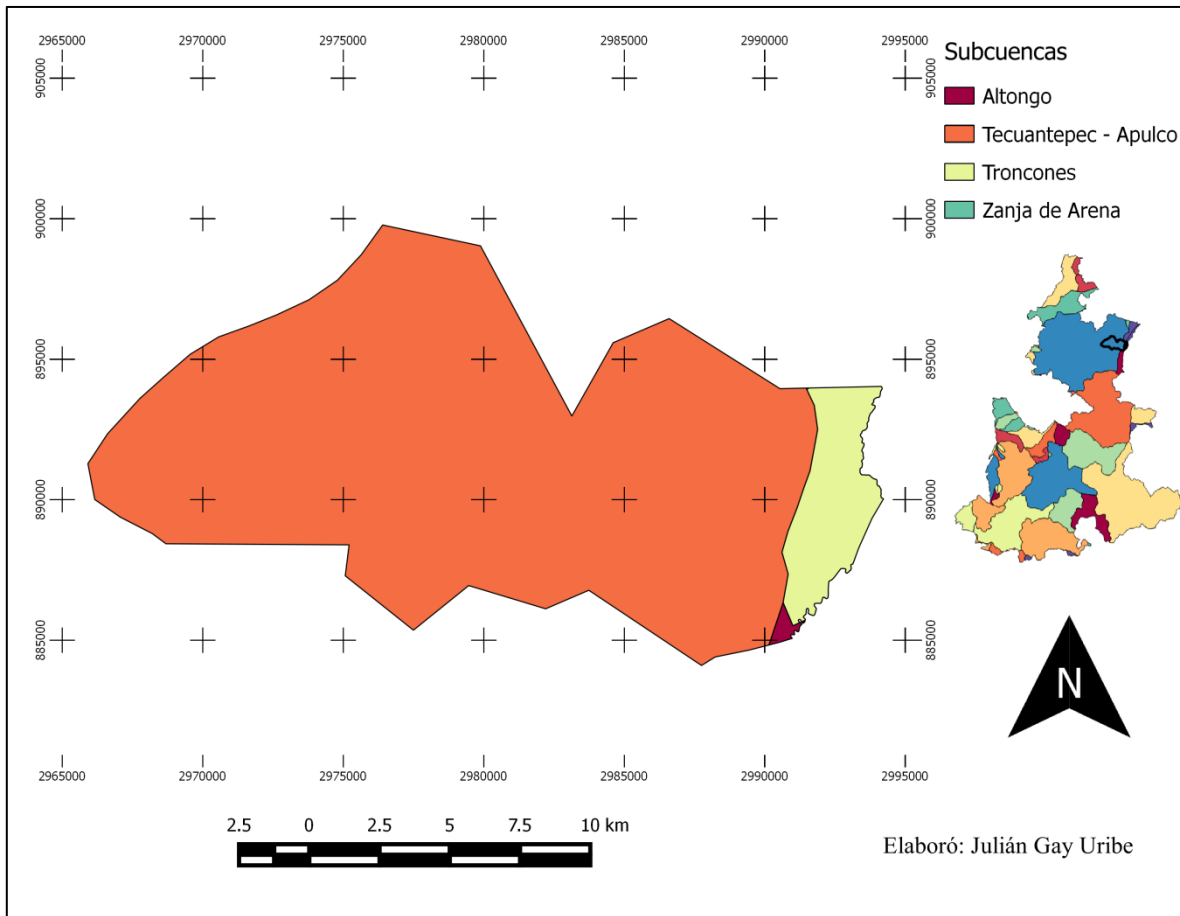


Figura 6. Subcuencas presentes dentro del área de estudio. INEGI (2014).

### 5.1.4 Suelos

El AICA de Cuetzalan consta de 9 tipos de suelos diferentes (Fig. 7): Andosol Úmbrico, Andosol N, Andosol Umbrihúmico, Leptosol Éutrico, Luvisol Húmico, Luvisol Profóndico, Acrisol Hiperdístrico, Regosol N y Leptosol N. Los tipos de suelo más predominante son Andosol N, Andosol umbrihúmico y Acrisol hiperdístrico (Cuadro 7). El que menos área ocupa es Andosol Úmbrico.

Cuadro 7. Tipos de suelo presentes en el área de estudio.

Clave	Suelo	Área Km <sup>2</sup>	%
ANum+LVcrdy/2	Andosol N	59.58	23.06
ANhuulen+ANdy+LVcrdy/2	Andosol	58.05	22.46

Umbrihúmico			
ACdyhlen+RGdyh/2	Acrisol	53.82	20.83
Hiperdístico			
LVhuap+ANumlep+ANphhum/3	Luvisol Húmico	52.21	20.21
RGeu+PHha/1	Regosol N	15.99	6.19
LVpfhu+ANdy+LVdy/3R	Luvisol	6.009	2.33
Profónico			
LPli+PHcalep+RGeulep/2	Leptosol N	5.15	2.00
LPeuli+RGeu/2	Leptosol Éutrico	4.018	1.55
ANumlen+ANdy+LPdyli/2	Andosol	3.57	1.38
Úmbrico			

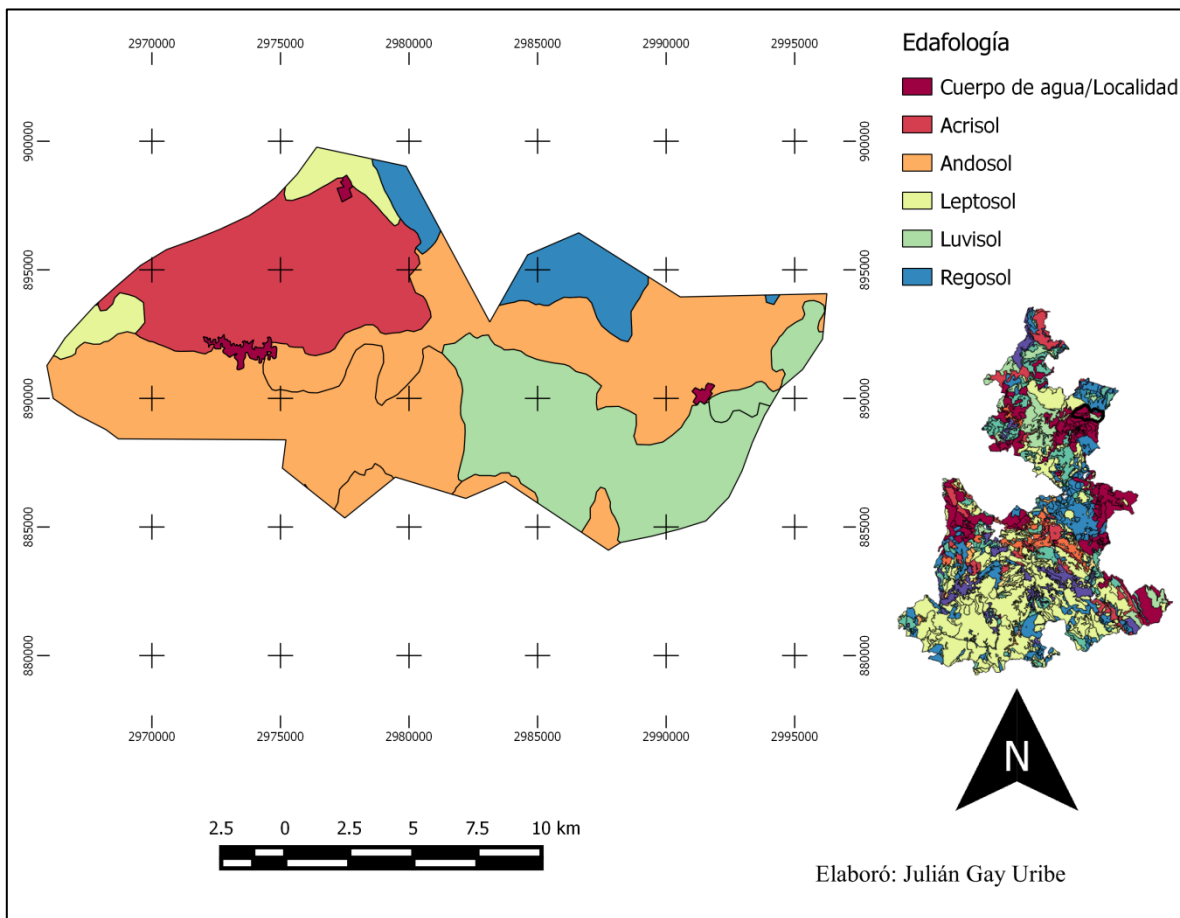


Figura 7. Distribución de los tipos de suelos presentes en el área de estudio.  
INEGI (2006).

### 5.1.5 Clima

Solo existen dos tipos de climas en toda el AICA, el Semicálido húmedo del grupo C ((A)C(fm)) y el templado húmedo (C(f)) (Fig. 8), de los cuales el primero es el que presenta la mayor extensión abarcando más de la mitad del territorio (Cuadro 8).

Cuadro 8. Climas presentes dentro del área de estudio.

Clave	Clima	Área	%
(A)C(fm)	Semicálido húmedo del grupo C	198.80	76.31
C(f)	Templado, húmedo	61.70	23.69

Clima (A)C(fm): Semicálido húmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.

Clima C(f): Templado, húmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.

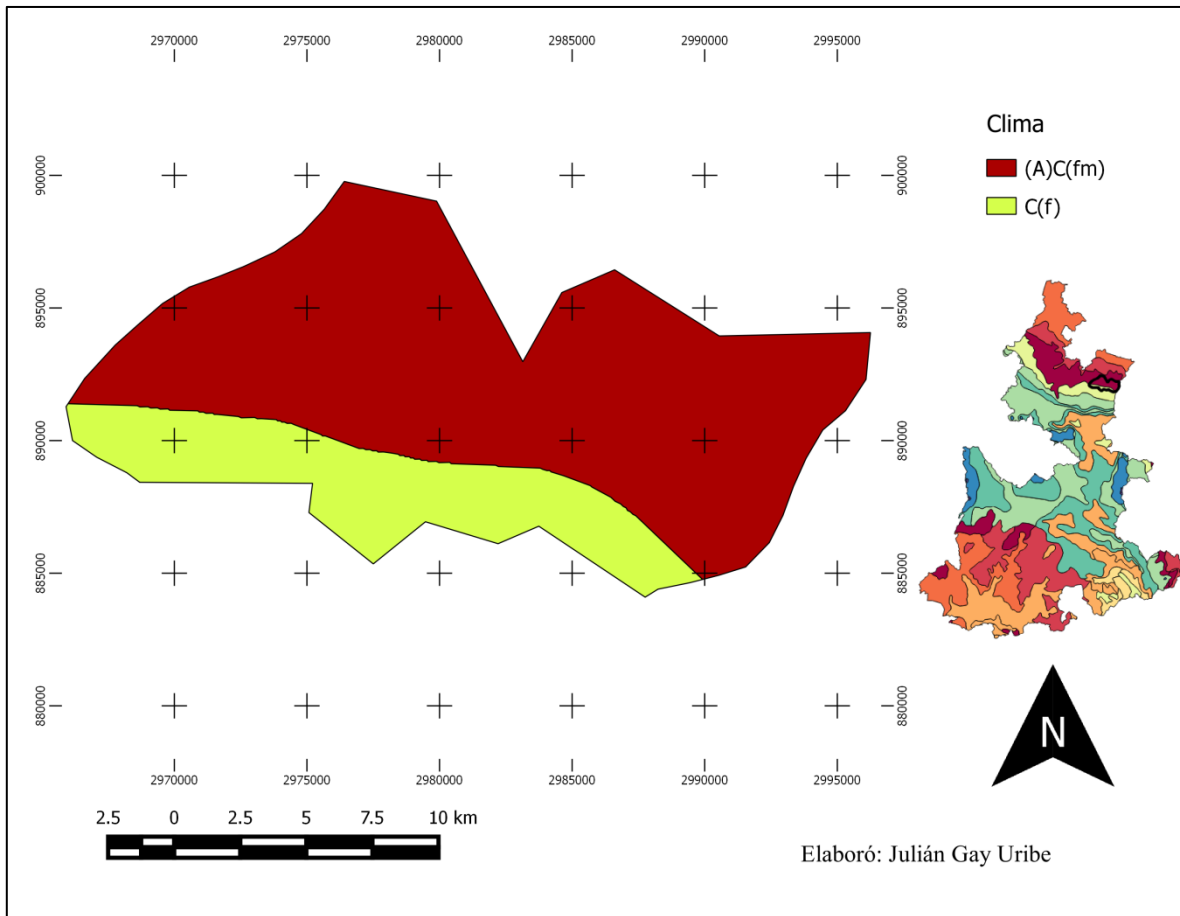


Figura 8. Distribución de los climas presentes dentro del área de estudio. (INEGI, 1991).

### 5.1.6 Biogeografía

Las provincias biogeográficas que se encuentran en el AICA de Cuetzalan son la del Golfo de México con un área de 79.14 Km<sup>2</sup> dentro del AICA (31.45 %) y la Sierra Madre Oriental con 172.54 Km<sup>2</sup> (68.55 %) (Fig. 9).

Sierra Madre Oriental: se ubica en el este de México, en los estados de San Luis Potosí, Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Puebla y Querétaro, por encima de 1500 m de altitud. Corresponde al sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental, que se extiende desde el centro de Nuevo León en el norte hasta Puebla y Veracruz en el sur, donde se une con el Eje Volcánico Transmexicano. La ladera occidental es más seca; la oriental es más húmeda, pues recibe los vientos alisios del Golfo de México. Esto, aunado a la existencia de

valles alargados, facilita la existencia de elementos tropicales a elevaciones relativamente altas y elementos montañosos a altitudes menores. Predominan los bosques templados, principalmente de encino, aunque también hay bosques de pino y otras comunidades vegetales.

La provincia de la Sierra Madre Oriental se caracteriza por los siguientes taxones de vertebrados: saurios (Anguidae: *Abronia graminea* y *A. taeniata*); serpientes (Colubridae: *Rhadinea gaigae*); aves (Phasianidae: *Dendrortix barbatus*; Psittacidae: *Rhynchopsitta terrisi*; Strigidae: *Glaucidium sanchezi*); y mamíferos (Muridae: *Peromyscus a. aztecus*) (Morrone, 2005).

Existen varios análisis recientes que han reconocido unidades menores dentro de la Sierra Madre Oriental, basados en taxones de hongos, anfibios y reptiles, aves y mamíferos (Morrone, 2005).

Golfo de México: se ubica en la costa del Golfo de México, en el este de México (estados de Veracruz, Tabasco, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Chiapas y Campeche), Belice y el norte de Guatemala. Se caracteriza por los siguientes taxones de vertebrados: peces (Poeciliidae: *Gambusia eurystoma*); anfibios (Hylidae: *Hyla ebraccata* y *H. microcephala*); saurios (Anguidae: *Celestus eneagramus*); serpientes (Elapidae: *Micrurus elegans* y *M. limbatus*); aves (Caprimulgidae: *Caprimulgus maculicaudus*; Emberizidae: *Arremon arauntiirostris*; Formicariidae: *Taraba major*; Icteridae: *Psarocolinus wagleri*; Momotidae: *Electron carinatum*; Tyrannidae: *Deltarhynchus flammulatus* y *Ornithion semiflavum*); y mamíferos (Dasyproctidae: *Dasyprocta mexicana*; Didelphidae: *Caluromys derbianus aztecus*; Muridae: *Peromyscus leucopus incensus*) (Morrone, 2005).

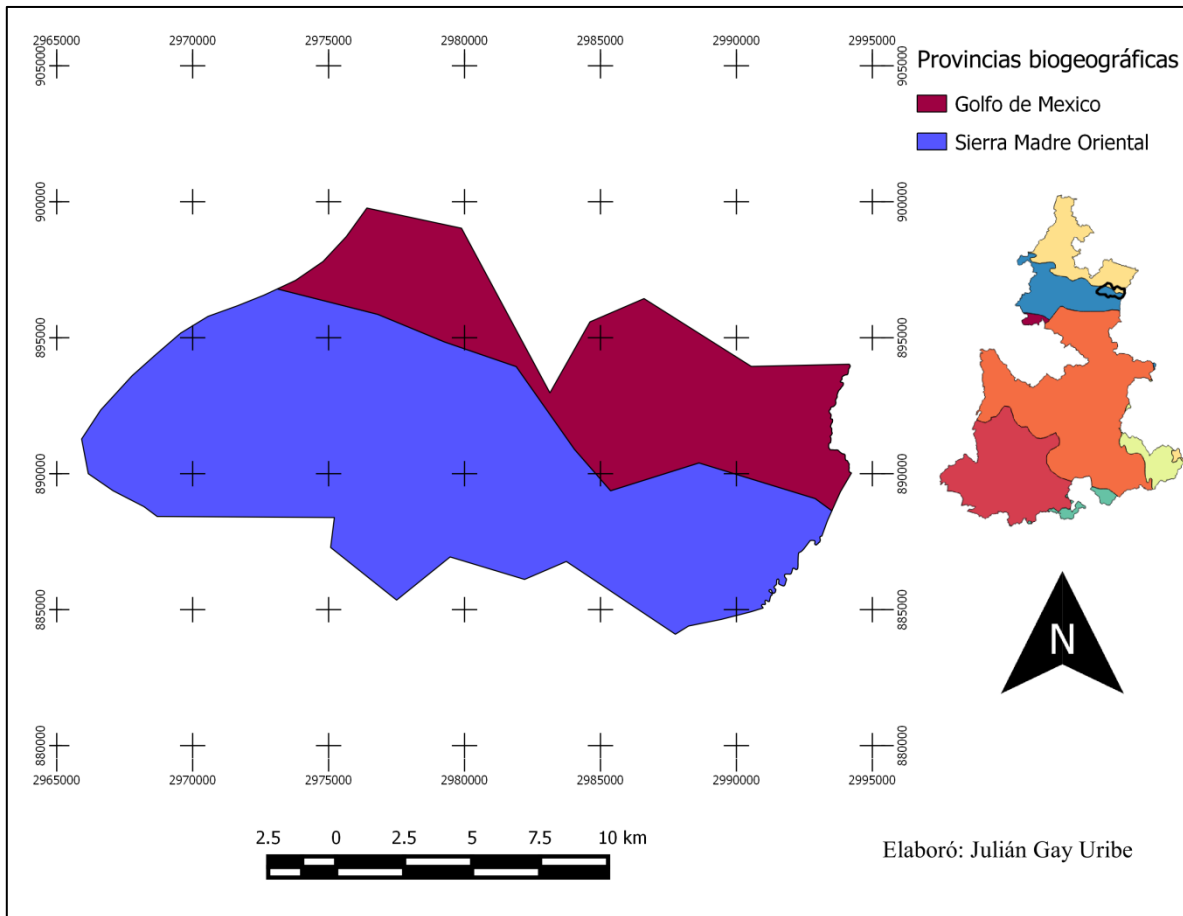


Figura 9. Distribución de las provincias biogeográficas presentes dentro del área de estudio. CONABIO, 1997.

### 5.1.7 Uso de Suelo y Vegetación

Los datos obtenidos de la Serie V de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (2011) escala 1:250000 indican que el 49.71% de la superficie corresponde al uso agropecuario mientras que el 22.87% corresponde a vegetación primaria (esto sin contar el cuerpo de agua, las zonas urbanas) y el 26.60 % a la vegetación secundaria (Cuadro 9). Dentro de la vegetación primaria el que más área presenta es el Bosque mesófilo de montaña (17.22%) ubicado en la zona sur/suroeste del AICA de acuerdo a la Serie V (Fig. 10).

Cuadro 9. Tipo de uso de suelo y vegetación del área de estudio de acuerdo a la Serie V de INEGI.

<b>Vegetación</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Agricultura de Temporal Permanente	75.84	30.13
Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino-Encino	44.25	17.58
Bosque mesófilo de montaña	43.33	17.22
Pastizal Inducido	23.84	9.47
Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque Mesófilo de Montaña	15.18	6.03
Pastizal Cultivado	14.99	5.96
Bosque de Encino-Pino	13.18	5.24
Agricultura de Temporal Anual y Permanente	7.78	3.09
Vegetación Secundaria Herbácea de Bosque Mesófilo de Montaña	5.29	2.10
Agricultura de Temporal Anual	2.64	1.05
Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Alta Perenifolia	2.06	0.82
Cuerpo de Agua	1.35	0.54
Bosque de Pino-Encino	1.02	0.41
Zona Urbana	0.72	0.29
Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque Mesófilo de Montaña	0.13	0.05

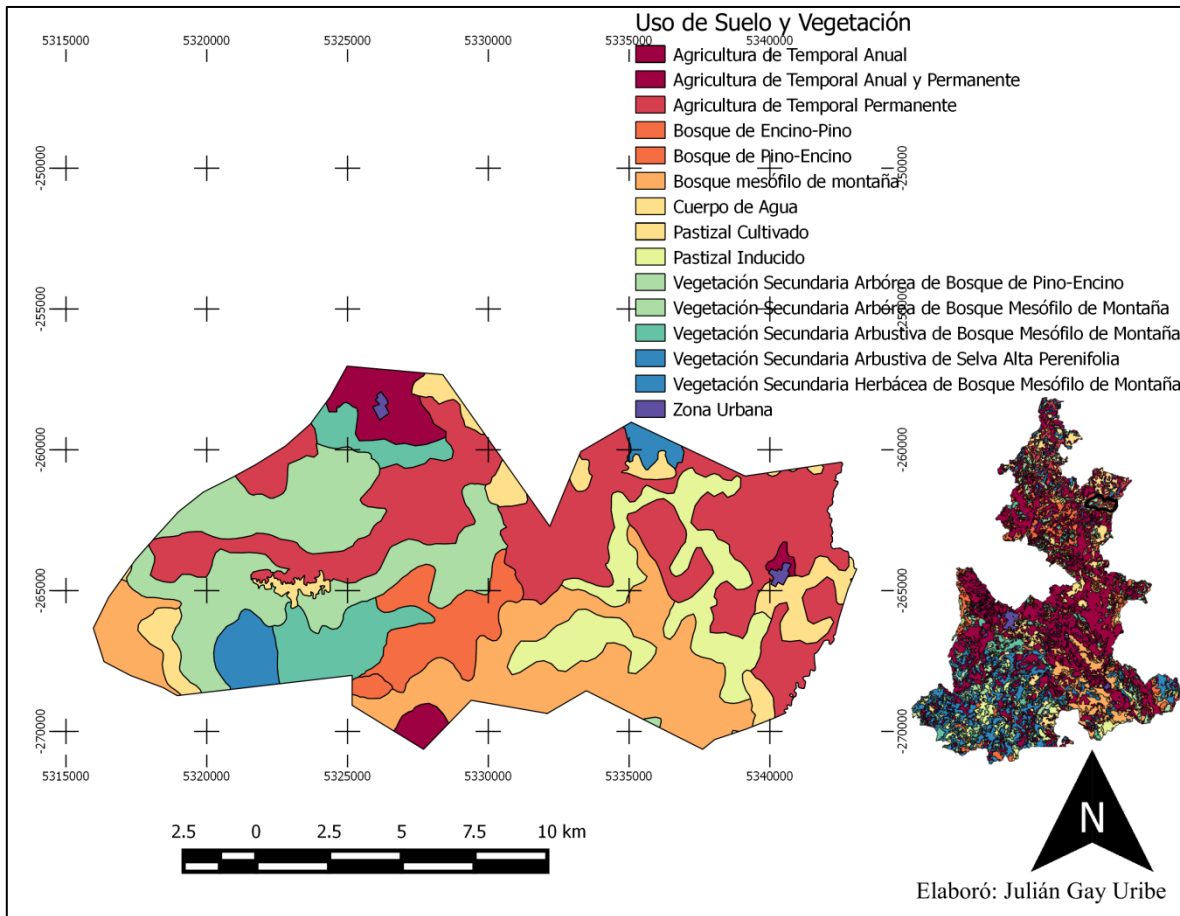


Figura 10. Tipo de uso de suelo y vegetación presente en el área de estudio de acuerdo a la Serie V. INEGI, 2011.

### 5.1.8 Características ambientales dominantes

A continuación, se presentan las características ambientales mayormente dominantes en el AICA de Cuetzalan (cuadro 10).

Cuadro 10. Características ambientales dominantes.

Variable ambiental	V.A. Dominante	V.A. Subdominante	Atributos del área con base en variables ambientales
Topografía	1231- 1523 msnm	649 - 940 msnm	Productividad

			agrícola no muy alta
Topoformas	Sierra laderas escarpadas	Sierras altas	No se prestan para actividades agrícolas
Edafología	Andosoles		Se encuentra en pendientes elevadas poco adecuadas para actividades agrícolas
Clima	Semicálido	Templado	Facilitan la alta productividad de los ecosistemas
Provincias biogeográficas	Sierra Madre Oriental	Golfo de México	Presentan especies amenazadas o endémicas como <i>Abronia graminea</i>
Uso de Suelo y Vegetación	Agrícola	Pino-Encino	Uso principalmente agrícola

### 5.1.9 Caracterización demográfica

Fue consultado el "Censo de Población y Vivienda, 2010" (INEGI, 2010). La información utilizada de este se basó en los trabajos de Valenzuela (2012) y Dorado-Ramírez (2001) donde también realizaron estudios demográficos.

El municipio con la mayor población es Teziutlán, y el de menor población es Yaonáhuac. Sin embargo, el municipio con el mayor porcentaje dentro del AICA es Hueytamalco, cuya población es de 26689 (cuadro 11).

El promedio de edad dentro de los municipios que conforman el AICA de Cuetzalan es 22 años. Existe un total de 71101 casas habitadas (Teziutlán posee el mayor número de casas habitadas).

El municipio de Yaonáhuac presenta el mayor porcentaje de población entre los 15 y 29 años mientras que Cuetzalan presenta el mayor porcentaje de población mayor a los 60 años (cuadro 11).

En cuanto a la educación, Cuetzalan es el municipio con la mayor cantidad de población mayor a 6 años que no sabe leer ni escribir (8346) y así mismo es el municipio con la mayor cantidad de personas que hablan una lengua indígena (30738) (cuadro 11).

Cuadro 11. Datos demográficos de los municipios que conforman el AICA de Cuetzalan.

<b>Municipio</b>	<b>Población total</b>	<b>Edad mediana</b>	<b>Porcentaje de población de 15 a 29 años</b>	<b>Porcentaje de población de 60 y más años</b>	<b>Población total de 6 y más años que no sabe leer y escribir</b>
Cuetzalan del Progreso	47433	22	26.4	9.9	8346
Zacapoaxtla	53295	22	27.5	8.6	6813
Hueyapan	11868	20	29.7	7.3	1638
Tlatlauquitepec	51495	23	27.3	9.6	6177
Teziutlán	92246	25	27.6	8.3	6446
Yaonáhuac	7514	23	30.7	9	739
Ayotoxco de Guerrero	8153	23	27.4	9.2	1106
Hueytamalco	26689	23	26.8	9.8	3833

## **5.2 Análisis y verificación de campo**

### **5.2.1 Análisis socioeconómico**

Se consultó el "Censo Agrícola, Ganadero y Forestal" (INEGI, 2007) y el "Censo Ejidal" (INEGI, 2007). De estos se extrajo la información inherente a las principales actividades económicas realizadas en los municipios (ejidos y comunidades) ubicados dentro del AICA de Cuetzalan, las cuales incluyen actividades turísticas, actividades de extracción de materiales de construcción, actividades de extracción de otros materiales, actividad artesanal, actividad industrial, actividad agrícola, actividad ganadera, actividad forestal, actividad pesquera, actividad acuícola y actividades de recolección. Para los municipios de Hueyapan y Yaonáhuac el INEGI no presentó datos.

### **5.2.2 Análisis ambiental**

#### **5.2.2.1 Cambio de uso de suelo y vegetación**

Se realizó un análisis del cambio de uso de suelo y vegetación del AICA de Cuetzalan. Para ello se utilizaron las cartas vectoriales 1:250000 de uso de suelo y vegetación pertenecientes a la región donde se encuentra ubicada el AICA. Los años elegidos fueron 1984 y 2011 (ambos con el mismo tamaño de pixel) y posteriormente se realizó una matriz de cambio de uso de suelo y vegetación entre dichas fechas. Para ello los tipos de vegetación (o categorías del paisaje) fueron agrupados de la siguiente manera:

- Bosque mesófilo de montaña
- Vegetación secundaria
- Conífera-latifoliada
- Pastizal cultivado
- Pastizal inducido
- Agricultura de temporal
- Otras coberturas
- Otras coberturas vegetales

La matriz se realizó utilizando el sistema de información geográfica QGIS (ver 2.6.0), entrecruzando las coberturas de un tipo de vegetación específico de ambas fechas y evaluando las zonas donde coincidían. Los tipos de vegetación fueron elegidos con base en la metodología utilizada por Velázquez et al (2002), clasificando las coberturas según su tipo de vegetación y uso de suelo. Posteriormente se realizó el cálculo de la tasa de cambio, para el cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$\delta_n = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

donde  $\delta$  es la tasa de cambio (expresada en % al ser multiplicada por 100),  $S_1$  es la superficie en la fecha 1,  $S_2$  es la superficie en la fecha 2 y  $n$  es el número de años entre las dos fechas. Esta ecuación fue tomada también de la metodología de Velázquez et al (2002). El porcentaje de la tasa de cambio fue presentado también como una gráfica. Esto permitió conocer cómo ha sido el deterioro ambiental de la zona de estudio. Además, se realizó un diagrama de flujo para calcular la probabilidad de cambio o permanencia de cada tipo de vegetación, esto con base en la metodología de Velázquez et al (2002).

### 5.2.2.2 Ecología del paisaje: Análisis de fragmentación

Se realizó un análisis de la fragmentación del AICA utilizando el programa QGIS con su complemento LecoS (Landscape Statistical ecology). Con base en los estudios realizados por Menon y Bawa (1997) y Ribas y Gontijo (2014), se eligieron los siguientes índices (Cuadro 12):

Cuadro 12. Muestra los índices utilizados para el análisis de ecología del paisaje junto con su descripción.

<b>Índice</b>	<b>Descripción</b>
Land cover	Indica el área total de una clase.
Edge length	Indica la longitud total del borde de una clase.
Number of patches	Indica el número de parches de cada clase.

Greatest patch area	Indica el parche de mayor tamaño de cada clase.
Smallest patch area	Indica el parche de menor tamaño de cada clase.
Mean patch area	Indica la media del tamaño de los parches de cada clase.
Median patch area	Indica la mediana del tamaño de los parches de cada clase.
Shannon Index*	Expresa la diversidad que existe dentro del paisaje por tipos de parches.
Shannon equitability*	Expresa la uniformidad de clases que existe dentro del paisaje.
Simpson Index*	Expresa la diversidad que existe dentro del paisaje por número de parches.

\* solo aplicable a nivel de paisaje.

Las clases utilizadas para los análisis de paisaje fueron Agricultura de Temporal, Conífera Latifoliada, Conífera Latifoliada Perturbada, Bosque Mesófilo de Montaña Perturbado, Cuerpo de Agua, Mancha Urbana, Pastizal, Selva Alta y Mediana Perennifolia Perturbada, Vegetación Secundaria Arbustiva y Herbácea, Zona Inundable.

Se utilizaron estos datos para la selección de las zonas menos fragmentadas (más conservadas) pues son consideradas como susceptibles para la conservación y se realizaron cuadros explicativos de los resultados abarcando todos los tipos de vegetación y los tipos de vegetación que no incluían actividades agrícolas.

Se calculó también la proporción entre el perímetro (edge length) y el área (land cover) para calcular el efecto de borde, el cuál es definido como el resultado de la interacción entre dos ecosistemas adyacentes cuando los dos son separados por una transición abrupta conocida como borde (Murcia, 1995).

### **5.2.2.3 Selección de áreas prioritarias para la conservación**

Para la selección de las áreas prioritarias para la conservación se utilizó el programa Marxan y el programa QGIS (ver 1.8.0) y su complemento Qmarxan. Se

utilizaron los tipos de vegetación utilizados para el análisis de cambio de uso de suelo y vegetación, omitiendo la clase "otras coberturas", pues esta incluía el cuerpo de agua formado por la presa "La soledad" y dos zonas urbanas pertenecientes a los municipios de Tlatlauquitepec y Hueytamalco. Se utilizaron también 35 de las 300 especies de aves presentes en el AICA de Cuetzalan (obtenidas de <http://avesmx.conabio.gob.mx/verzona?tipo=aica&id=38>), las cuales fueron elegidas debido a que se encuentran en alguna de las categorías de riesgo de la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) (cuadro 13) El programa Marxan solicita también los costos de los terrenos o tipos de suelo para conservar, esto con el motivo de seleccionar la opción económicamente más viable. Debido a que no es completamente necesario conseguir dichos datos para el presente trabajo puesto que no se encuentra bajo la dirección de alguna dependencia de gobierno, estos datos se dejaron en 0, esto con la finalidad de que el programa solamente se centrara en datos de biodiversidad.

Cuadro 13. Se muestran los nombres comunes de las especies utilizadas para la selección de las áreas prioritarias para la conservación junto con su nombre científico y su clasificación en la NOM-059.

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>NOM-059-SEMARNAT-2010</b>
Codorniz-coluda veracruzana	<i>Dendrortyx barbatus</i>	En peligro de extinción
Zopilote rey	<i>Sarcoramphus papa</i>	
Águila tirana	<i>Spizaetus tyrannus</i>	
Gavilán bicolor	<i>Accipiter bicolor</i>	Amenazada
Paloma-perdiz cara blanca	<i>Geotrygon albifacies</i>	
Perico mexicano	<i>Aratinga holochlora</i>	
Perico barrado	<i>Bolborhynchus lineola</i>	
Loro corona blanca	<i>Pionus senilis</i>	
Colibrí ala castaña	<i>Lamprolaima rhami</i>	
Tucán pico canoa	<i>Ramphastos sulfuratus</i>	

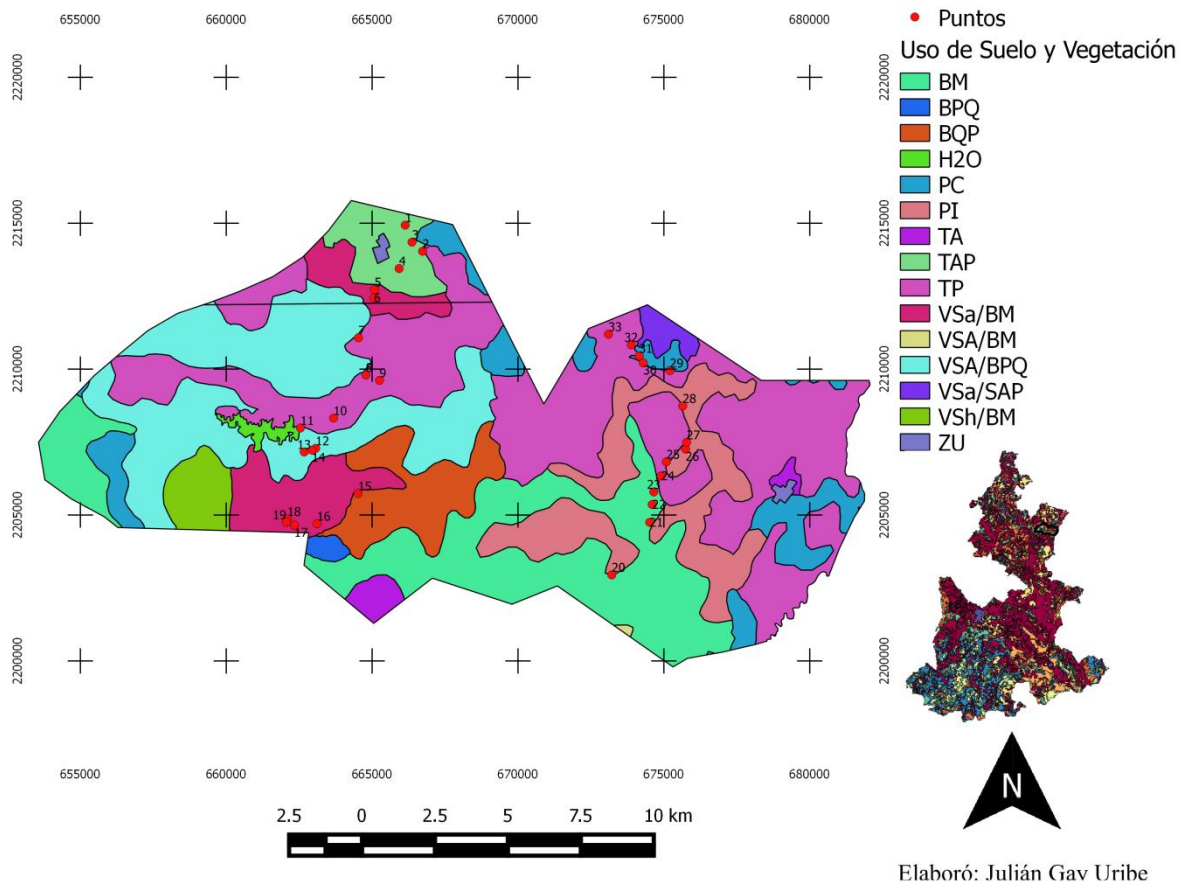
Trepatroncos manchado	<i>Xiphorhynchus erythropygius</i>	
Chara unicolor	<i>Aphelocoma unicolor</i>	
Clarín unicolor	<i>Myadestes unicolor</i>	
Zorzal de Frantzius	<i>Catharus frantzii</i>	
Mirlo negro	<i>Turdus infuscatus</i>	
Chipe de Tolmie	<i>Oporornis tolmiei</i>	
Codorniz silbadora	<i>Dactylortyx thoracicus</i>	Sujeta a protección especial
Aguililla de Swainson	<i>Buteo swainsoni</i>	
Aguililla aura	<i>Buteo albonotatus</i>	
Milano de Misisipi	<i>Ictinia mississippiensis</i>	
Gavilán pecho rufo	<i>Accipiter striatus</i>	
Gavilán de Cooper	<i>Accipiter cooperii</i>	
Aguililla ala ancha	<i>Buteo platypterus</i>	
Halcón-selvático de collar	<i>Micrastur semitorquatus</i>	
Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	
Perico pecho sucio	<i>Aratinga nana</i>	
Trogón de collar	<i>Trogon collaris</i>	
Tucaneta verde	<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	
Carpintero pico plata	<i>Campephilus guatemalensis</i>	
Hojarasquero pecho rufo	<i>Sclerurus mexicanus</i>	
Mirlo-acuático norteamericano	<i>Cinclus mexicanus</i>	
Clarín jilguero	<i>Myadestes occidentalis</i>	
Zorzal corona negra	<i>Catharus mexicanus</i>	
Semillero pizarra	<i>Haplospiza rustica</i>	
Oropéndola Moctezuma	<i>Psarocolius montezuma</i>	

Estos datos fueron introducidos y procesados con Qmarxan y analizados posteriormente con Marxan. Se eligieron cuatro metas de conservación por especie de ave y tipo de vegetación: 10%, 30%, 60% y 90%. Esto se realizó con la intención de obtener diversas opciones de áreas para conservar. También se utilizó solamente la vegetación más conservada, esto es, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Encino-Pino y sus respectivas vegetaciones secundarias.

Dentro de este trabajo entendemos como una zona viable a aquella que por sus circunstancias, en este caso biológicas, su conservación tiene probabilidades de poder llevarse a cabo (RAE, 2014).

#### **5.2.2.4 Verificación de campo**

Se realizó una salida de campo la cual abarcó los días 21 a 23 de Marzo de 2015 para fotografiar la zona y comparar la información que aparece en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación con lo que había en realidad, contando con un total de 33 puntos muestreados los cuales fueron georreferenciados utilizando un GPS de la marca Garmin. Dichos puntos fueron cargados en el programa QGIS junto con las cartas del INEGI correspondientes a la Serie I y la Serie V para comprobar si la información mostrada coincidía con lo observado en el campo y para comprobar el porcentaje de viabilidad tanto de Marxan como de las áreas seleccionadas subjetivamente. Se realizó también una prueba de Chi cuadrada para comparar lo observado en campo con lo que se esperaba de las cartas. En cada punto se tomaron fotografías, las cuales se encuentran en el Anexo 1. La ruta puede ser observada en la figura 11.



Elaboró: Julián Gav Uribe

Figura 11. Muestra el Uso de Suelo y Vegetación del AICA de Cuetzalan junto con los puntos georeferenciados.

## 6. Resultados

### 6.1 Análisis socioeconómico

#### 6.1.1 Datos municipales

##### 6.1.1.1 Actividades de agricultura (sin uso de invernadero o vivero)

Estas actividades se dividieron en las diferentes unidades de producción existentes. A continuación, se muestran los municipios que presentan más unidades de producción.

Tlatlauquitepec presenta más unidades de producción de cultivo de alfalfa verde (9), de pasto cultivado (145), de producción de riego (104) y de producción de temporal (8123); Cuetzalan del progreso presenta más unidades de producción de cultivo de café cereza (4669), de cultivo de naranja (1306), y de otros cultivos (1823). A nivel general se puede apreciar que el mayor porcentaje de unidades de

producción son las de Temporal (58.27%) seguida de las de cultivo de café cereza (19.60%). En cuanto a la superficie plantada Tlatlauquitepec posee la mayor superficie cultivada en hectáreas de alfalfa verde (6 ha), agricultura de riego (269.50 ha) y agricultura de temporal (14440.24 ha); Hueytamalco posee la mayor superficie cultivada en hectáreas de café cereza (5178.24 ha), naranja (2272.20 ha), pasto cultivado (1111.10 ha) y otros cultivos (2656.81 ha); Cuetzalan del Progreso posee la mayor superficie cultivada en hectáreas de caña de azúcar (554.30 ha). Al igual que con las unidades de producción, la agricultura general presenta el mayor porcentaje (67.11%) seguido del cultivo de café cereza (16.38%)..

#### **6.1.1.2 Actividades de agricultura (con uso de invernadero o vivero)**

Cuetzalan del progreso es el municipio con más unidades de producción con vivero (134) y que reportan venta (25). Sin embargo, aunque también es el municipio con más unidades de producción con invernadero (54), Zacapoaxtla es el municipio con el mayor número de invernaderos que reportan venta (14).

#### **6.1.1.3 Actividades de ganadería**

Fueron divididas en las unidas de producción existentes. Se presentan los municipios con más unidades.

Zacapoaxtla es el municipio con más unidades de producción de ganado bovino (1073) y porcino (3092). Tlatlauquitepec es el municipio con más unidades de producción de caprinos (48) y de ovinos (30). Cuetzalan del progreso es el municipio con más unidades de producción de colmenas (420). A nivel general se puede apreciar que el mayor porcentaje de unidades de producción son las de ganado porcino (71.43%) seguida de las de cultivo de ganado bovino (23.20%). En cuanto a las cabezas de ganado, Hueytamalco posee la mayor cantidad de ganado bovino (7493); Zacapoaxtla posee la mayor cantidad de ganado porcino (8335); Tlatlauquitepec posee la mayor cantidad de ganado ovino (10231) y, junto con Ayotoxco de Guerrero, la mayor cantidad de ganado caprino (80). El mayor

porcentaje de cabezas de ganado son de porcino (42.83%) seguido de bovino (28.42%).

#### 6.1.1.4 Actividades forestales

El municipio con la mayor superficie reforestada es Tlatlauquitepec (679.37 ha) y el municipio con la mayor superficie forestada es Teziutlán (49.89 ha).

La información presentada anteriormente puede ser resumida en el siguiente cuadro (14):

Cuadro 14. Resume la información socioeconómica de los municipios que conforman al AICA de Cuetzalan

<b>Tipo de información</b>	<b>Valor dominante</b>	<b>Valor subdominante</b>	<b>Importancia para la conservación</b>
<b>Actividades de agricultura (sin uso de invernadero o vivero)</b>	Unidades de producción de temporal (Tlatlauquitepec)	Unidades de producción de temporal (Cuetzalan del Progreso)	Puede permitir la presencia de árboles junto con el cultivo.
<b>Actividades de agricultura (con uso de invernadero o vivero)</b>	Unidades de producción con vivero (Cuetzalan del progreso)	Unidades de producción con vivero (Tlatlauquitepec)	Presentes en pastizales.
<b>Actividades de ganadería</b>	Unidades de producción de ganado porcino (Zacapoaxtla)	Unidades de producción de ganado porcino (Tlatlauquitepec)	No afecta a la conservación.

#### 6.1.2 Datos de ejidos y comunidades

El municipio de Zacapoaxtla es el que cuenta con el mayor número de ejidos y comunidades (10), seguido por Hueytamalco (9), Tlatlauquitepec (4) y Ayotoxco de

Guerrero (3). Para los municipios de Cuetzalan del Progreso y Teziutlán no se cuenta con esta información.

#### **6.1.2.1 Actividades económicas**

Se pudo observar que la actividad más realizada es la agrícola (28 ejidos y comunidades) seguida de la de recolección (20 ejidos y comunidades), la ganadera (15 ejidos y comunidades), la forestal (6 ejidos y comunidades), la extracción de materiales de construcción (5 ejidos y comunidades), la pesquera (3 ejidos y comunidades), la acuícola (2 ejidos y comunidades), la artesanal (2 ejidos y comunidades), la turística (2 ejidos y comunidades) y la industrial (1 ejido o comunidad).

#### **6.2 Verificación en campo de la cartografía**

Se hizo un cuadro comparativo (15), indicando el uso de suelo marcado por el INEGI y la verificación de campo junto con el proceso de cambio y el nivel de coincidencia. Las siglas presentadas en la columna de Uso de suelo y vegetación corresponden a:

- TAP: Temporal Anual/Permanente
- VSa/BM: Vegetación Secundaria arbustiva de Bosque Mesófilo de Montaña
- TP: Temporal Permanente
- VSA/BPQ: Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino-Encino
- BQP: Bosque de Encino-Pino
- PI: Pastizal Inducido
- BM: Bosque Mesófilo de Montaña
- PC: Pastizal Cultivado

Cuadro 15. Muestra la información proporcionada por las cartas de INEGI y lo que pudo observarse en campo.

<b>Punto</b>	<b>Uso de suelo y vegetación</b>	<b>Verificación de campo</b>	<b>Proceso de cambio y nivel de coincidencia</b>
1	TAP	Agricultura con remanentes de bosque mesófilo	Alteración/Medio
2	TAP	Agricultura con remanentes de bosque mesófilo	Alteración/Medio
3	TAP	Agricultura con remanentes de bosque mesófilo	Alteración/Medio
4	TAP	Agricultura con remanentes de bosque mesófilo	Alteración/Medio
5	VSa/BM	VS/BM Perturbado	Alteración/Medio
6	VSa/BM	VS/BM Perturbado	Alteración/Medio
7	TP	Cafetales y BM relativamente bien conservado	Alteración/Medio
8	TP	Cafetales y BM relativamente bien conservado	Alteración/Medio
9	TP	Cafetales y BM relativamente bien conservado	Alteración/Medio
10	TP	Cafetales y BM relativamente bien conservado	Alteración/Medio
11	TP	Cafetales y BM relativamente bien conservado	Alteración/Medio
12	VSA/BPQ	VSA/BPQ	Permanencia/Alto

13	VSA/BPQ	VSA/BPQ	Permanencia/Alto
14	VSA/BPQ	VSA/BPQ	Permanencia/Alto
15	BQP	BQP	Permanencia/Alto
16	VSa/BM	BM Perturbado	Recuperación/Medio
17	VSa/BM	BM Perturbado	Recuperación/Medio
18	VSa/BM	BM Perturbado	Recuperación/Medio
19	VSa/BM	BM Perturbado	Recuperación/Medio
20	PI	PI	Permanencia/Alto
21	BM	BM	Permanencia/Alto
22	BM	BM	Permanencia/Alto
23	BM	BM	Permanencia/Alto
24	TP	Potreros	Alteración/Bajo
25	TP	Potreros	Alteración/Bajo
26	PI	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
27	PI	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
28	PI	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
29	PC	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
30	PC	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
31	PC	Cultivos y Potreros	Alteración/Medio
32	TP	Selva	Recuperación/Bajo
33	TP	Selva	Recuperación/Bajo

Con la información del cuadro anterior se realizó una comparación en lo esperado y lo observado (cuadro 16) y se realizó una prueba de Chi cuadrada para comprobar si existía diferencia significativa (cuadro 17).

Cuadro 16. Comparación de la vegetación observada con la vegetación esperada, de acuerdo a lo observado en las cartas de INEGI y en campo. Los números corresponden al tipo de vegetación presente en cada punto muestreado.

<b>Vegetación</b>	<b>Observado</b>	<b>Esperado</b>
TAP	0	4
Vsa/BM	6	6
TP	5	9
VSA/BPQ	3	3
BQP	1	1
PI	1	4
BM	3	3
PC	3	3
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>33</b>
<b>%</b>	<b>66.67</b>	

Cuadro 17. Prueba de Chi cuadrada

	<b>Observado</b>	<b>Esperado</b>
<b>Observaciones de campo</b>	22	16.5
<b>Predicción modelo</b>	11	16.5
<b>Chi cuadrada</b>		<b>0.055511105</b>

La prueba de Chi cuadrada mostró que no existe una diferencia significativa entre coincidencias y no coincidencias, a favor de las mismas y que, por lo tanto, ambas son igualmente probables. Este análisis no es concluyente para descalificar la cartografía y es necesario obtener más puntos en el campo.

### **6.3 Análisis ecológico**

#### **6.3.1 Cambio de uso de suelo y vegetación entre 1984 y 2011 en el AICA de Cuetzalan**

Se realizó una matriz de cambio de uso de suelo y vegetación entre las fechas de 1984 y 2011. Los datos corresponden a las cartas de uso de suelo y vegetación proporcionados por INEGI (Fig. 12 y 13). Las leyendas utilizadas en los mapas son:

- BM: Bosque Mesófilo de Montaña
- VS: Vegetación Secundaria
- CL: Conífera-Latifoliada
- PC: Pastizal Cultivado
- PI: Pastizal Inducido
- TM: Agricultura de Temporal
- OC: Otras Coberturas
- OCV: Otras Coberturas Vegetales

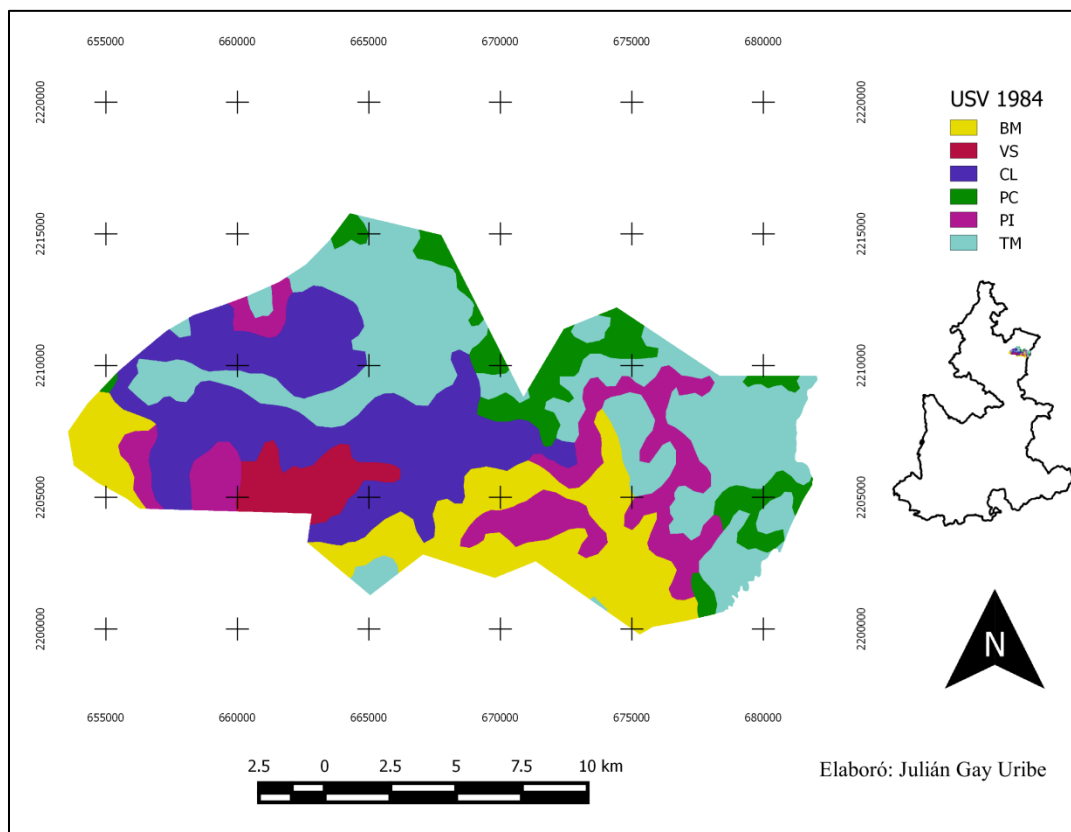


Figura 12. Mapa de uso de suelo y vegetación del AICA de Cuetzalan, correspondiente al año de 1984 (INEGI, 1984).

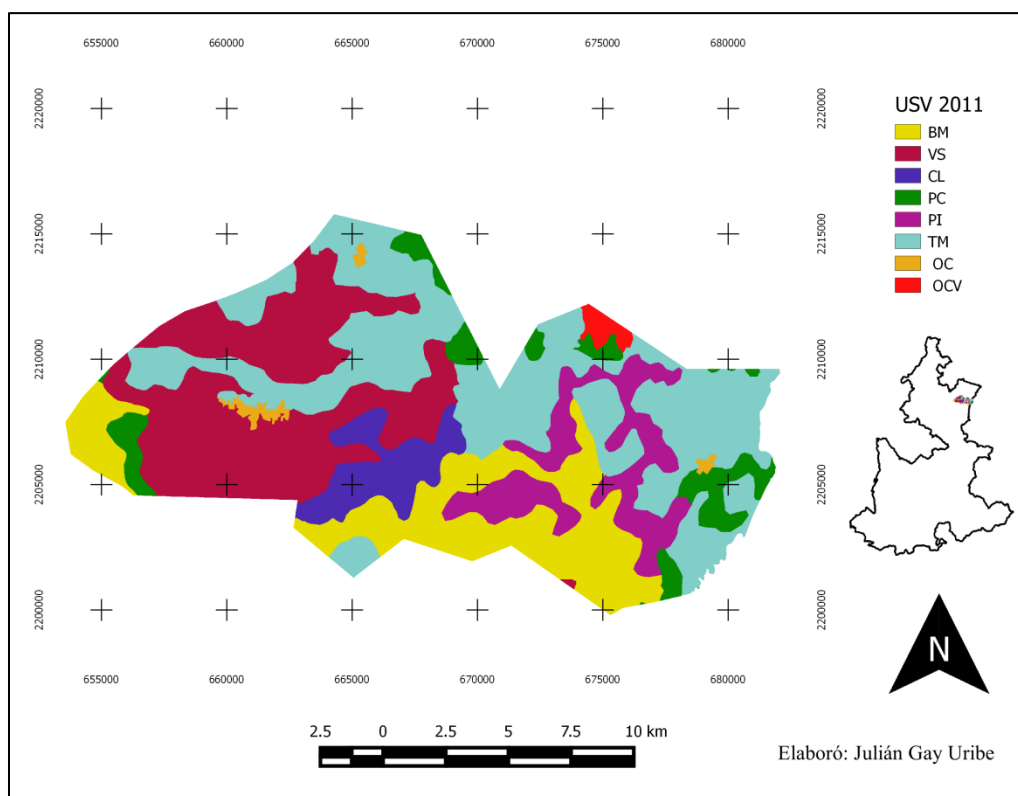


Figura 13. Mapa de uso de suelo y vegetación del AICA de Cuetzalan, correspondiente al año de 2011 (INEGI, 2011).

Los datos del año 1984 se leen como líneas arrojando la suma total de hectáreas en las celdas del lado derecho; y los datos del año 2011 se leen como columna arrojando el resultado total en las celdas de abajo (Cuadro 18). De esta forma, de las 4248 ha de bosque mesófilo de montaña que había en 1984, 3831 ha fueron conservadas, 9 ha se transformaron en vegetación secundaria, 1 ha se transformó en conífera-latifoliada, 93 ha se transformaron en pastizal cultivado, 257 ha se transformaron en pastizal inducido y 57 ha se transformaron en agricultura de temporal, dando un total de 4364 ha de bosque mesófilo de montaña para el 2011.

Cuadro 18. Matriz de cambio de uso de suelo y vegetación del AICA de Cuetzalan entre los años 1984 y 2011.

Formación 1984	Formación 2011									Tasa de cambio (%)
	Bosque Mesófilo de Montaña	Vegetación Secundaria	Conífera-Latifoliada	Pastizal cultivado	Pastizal inducido	Agricultura de temporal	Otras coberturas	Otras coberturas	Total general año 1984	
Bosque Mesófilo de Montaña	3831	9	1	93	257	57	0	0	4248	0.10
Vegetación Secundaria	0	942	127	0	0	0	0	0	1069	6.48
Conífera-Latifoliada	184	4215	1303	8	32	737	135	0	6614	- 5.83
Pastizal cultivado	3	14	0	924	9	977	0	163	2092	- 1.22
Pastizal inducido	331	556	0	236	1868	348	0	0	3340	- 1.23
Agricultura de temporal	15	797	0	248	235	6604	74	46	8019	0.31

Otras coberturas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Otras coberturas vegetales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Total general año 2011	4364	6532	1431	1508	2401	8723	210	208		

Los valores de la tasa de cambio (Fig. 14) señalan que "conífera-latifoliada", "pastizal inducido" y "pastizal cultivado" fueron las categorías que tuvieron pérdidas, mientras que "vegetación secundaria", "agricultura de temporal" y "bosque mesófilo de montaña" tuvieron ganancias. La mayor pérdida de "conífera-latifoliada" está relacionada con la ganancia de "vegetación secundaria", es decir, sucedió un proceso de deforestación, posiblemente debido a que el uso de suelo pasara a ser de agricultura y después de abandonarla, lo que daría paso a este nuevo tipo de uso de suelo. También es notable la ganancia de "bosque mesófilo de montaña", y que la "agricultura de temporal" junto con "pastizal cultivado" y "pastizal inducido" sufrieran pocas modificaciones.

El total general de 1984 es de 25,382 ha mientras que el de 2011 es 25,377 ha. La diferencia existente entre ambos posiblemente sea debida a la interpretación de la vegetación por parte del INEGI o a la resolución de las imágenes.

Cabe resaltar que la categoría "otras coberturas" (la cual incluye zonas urbanas y un cuerpo de agua) y "otras coberturas vegetales"(que incluye la vegetación de selva) no estaban consideradas dentro de los datos de 1984, por lo que su tasa de cambio fue de un 100%.

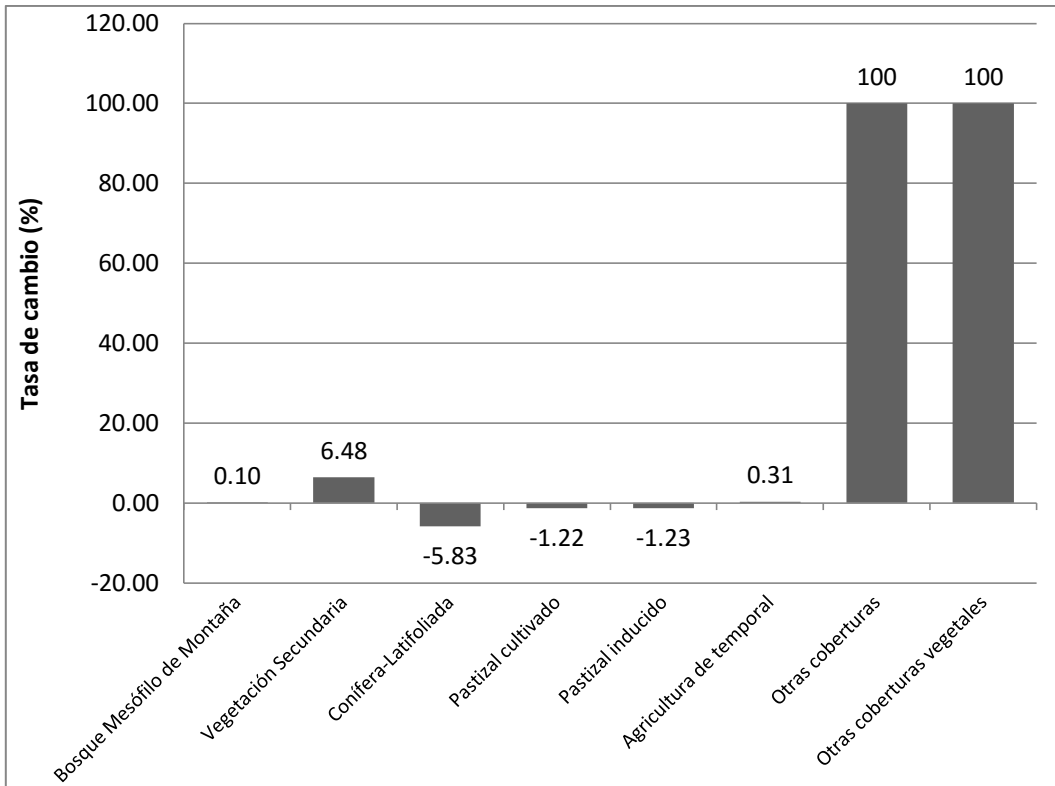


Figura 14. Gráfica que muestra la tasa de cambio (%) del uso de suelo y vegetación del AICA de Cuetzalan.

Se realizó también un diagrama de flujo, mostrando la probabilidad de cambio de un tipo de uso de suelo a otro (Fig. 15).

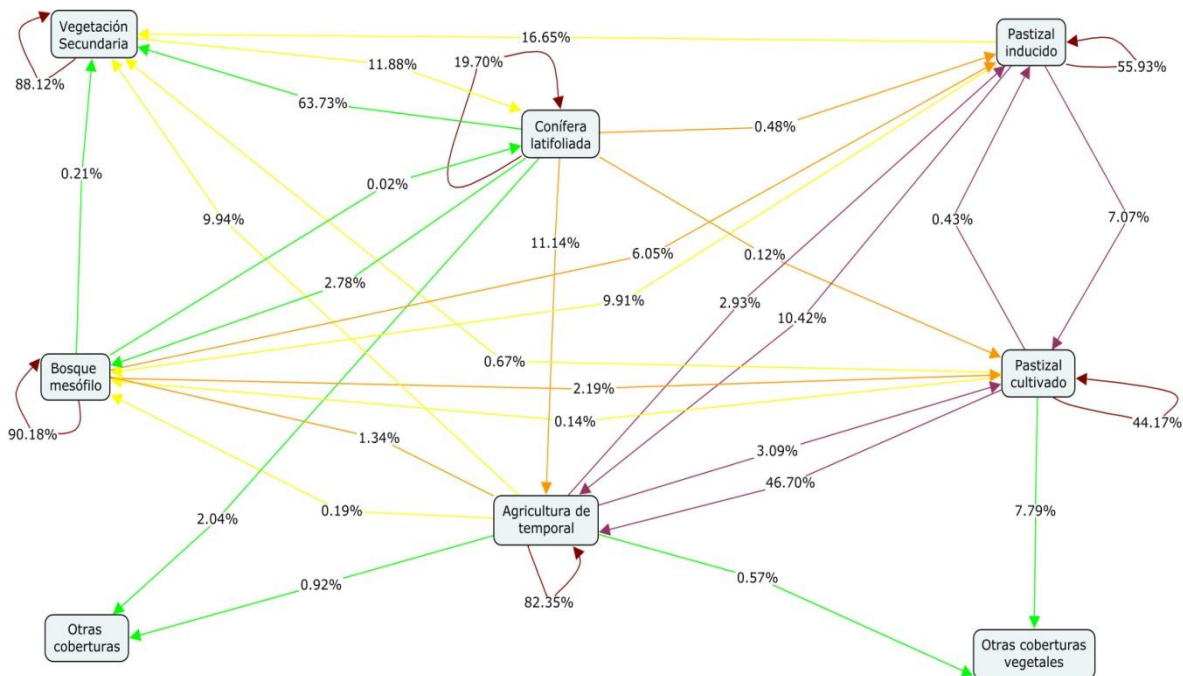


Figura 15. Diagrama de flujo que muestra la probabilidad de cambio existente de un tipo de uso de suelo a otro. Las flechas moradas indican permanencia, las flechas verdes indican alteración, las flechas naranjas indican deforestación, las flechas amarillas indican recuperación, y las flechas violetas indican cambio entre cultivos.

La permanencia representa la ausencia de cambios; la alteración implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un remplazo total de la misma; la deforestación es el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos; la recuperación es la transformación de un uso de suelo agrícola a uno de uso forestal; el cambio entre cultivos indica el cambio de un tipo de cultivo hacia otro.

El anterior diagrama de flujo puede ser interpretado también a través del cuadro 19. Para el mismo se consideró como una probabilidad alta las que abarcan del 60% al 100%, media las que abarcan de 30% a 59% y baja las que abarcan de un 0% a 29%.

Cuadro 19. Síntesis del diagrama de flujo que muestra la probabilidad de que suceda algún tipo de proceso en un cierto uso de suelo y vegetación.

<b>Probabilidad del proceso</b>	<b>Valor de probabilidad</b>	<b>Proceso</b>	<b>Uso de suelo y vegetación</b>
90.18	Alta	Permanencia	Bosque mesófilo
88.12		Permanencia	Vegetación secundaria
82.35		Permanencia	Agricultura de temporal
63.73		Alteración	Conífera latifoliada - Vegetación secundaria
55.93	Media	Permanencia	Pastizal inducido
55.93		Permanencia	Pastizal inducido
46.7		Cambio entre cultivos	Pastizal cultivado - Agricultura de temporal
44.17		Permanencia	Pastizal cultivado
19.7	Baja	Permanencia	Conífera latifoliada
16.65		Recuperación	Pastizal inducido - Vegetación secundaria
11.88		Recuperación	Vegetación secundaria - Conífera latifoliada
11.14		Deforestación	Conífera latifoliada - Agricultura de temporal
10.42		Cambio entre cultivos	Pastizal inducido - Agricultura de temporal
9.94		Recuperación	Agricultura de temporal - Vegetación secundaria
9.91		Recuperación	Pastizal inducido - Bosque mesófilo
7.79		Alteración	Pastizal cultivado - Otras coberturas vegetales

7.07		Cambio entre cultivos	Pastizal inducido - Pastizal cultivado
6.05		Deforestación	Bosque mesófilo - Pastizal inducido
3.09		Cambio entre cultivos	Agricultura de temporal - Pastizal cultivado
2.93		Cambio entre cultivos	Agricultura de temporal - Pastizal inducido
2.78		Alteración	Conífera latifoliada - Bosque mesófilo
2.19		Deforestación	Bosque mesófilo - Pastizal cultivado
2.04		Alteración	Conífera latifoliada - Otras coberturas
1.34		Deforestación	Bosque mesófilo - Agricultura de temporal
0.92		Alteración	Agricultura de temporal - Otras coberturas
0.67		Recuperación	Pastizal cultivado - Vegetación secundaria
0.57		Alteración	Agricultura de temporal - Otras coberturas vegetales
0.48		Deforestación	Conífera latifoliada - Pastizal inducido
0.43		Cambio entre cultivos	Pastizal cultivado - Pastizal inducido
0.21		Alteración	Bosque mesófilo - Vegetación secundaria
0.19		Recuperación	Agricultura de temporal - Bosque mesófilo
0.14		Recuperación	Pastizal cultivado - Bosque

		n	mesófilo
0.12		Deforestación	Conífera latifoliada - Pastizal cultivado
0.02		Alteración	Bosque mesófilo - Conífera latifoliada

### **6.3.2 Deterioro de la cubierta vegetal**

Se le asignó una clase a cada tipo de vegetación (Cuadro 20), y se realizaron los análisis de métrica del paisaje (Cuadro 21) y de medidas de diversidad del paisaje (Cuadro 22).

#### **6.3.2.1 Deterioro de la cubierta vegetal del 2011 del AICA de Cuetzalan**

##### **6.3.2.1.1 Métrica del parche**

La agricultura de temporal es la que presenta una mayor cobertura (7207.68 ha). Otras coberturas vegetales fueron las que menor cobertura presentaron (172.07 ha) (Fig. 16).

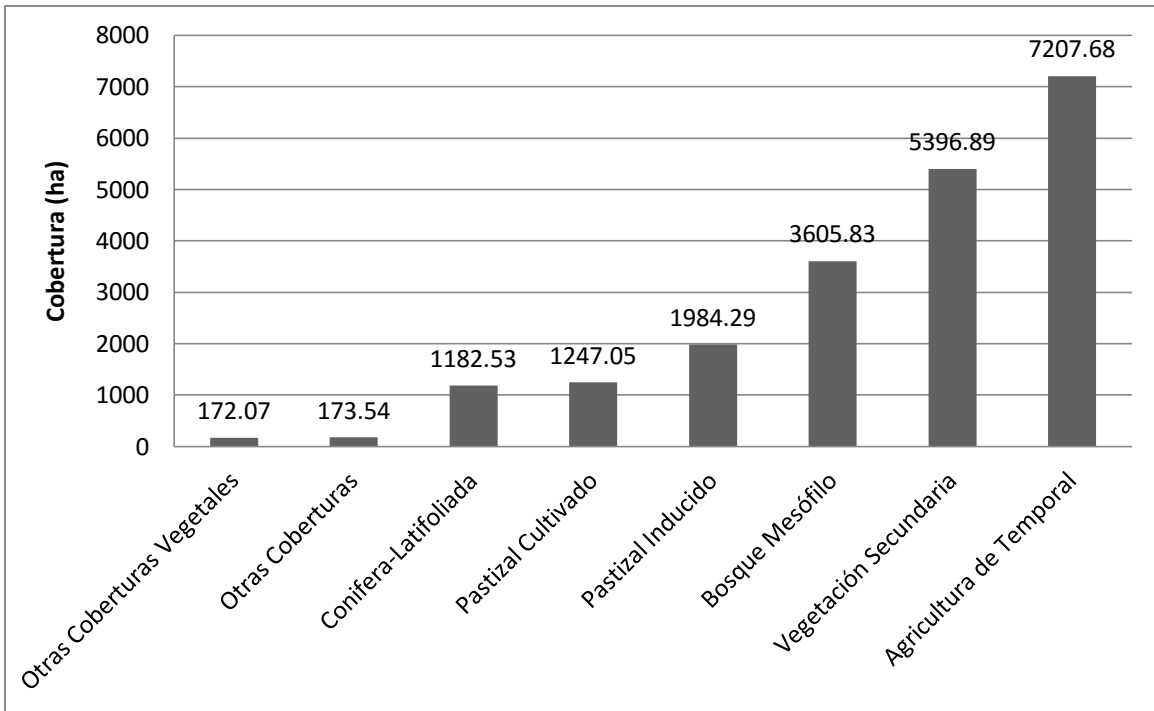


Figura 16. Gráfica que muestra la cobertura total de los diferentes tipos de vegetación del AICA de Cuetzalan en 2011.

Estos datos presentan una tendencia similar a la presentada por el total de borde, siendo la agricultura de temporal la que presenta un mayor valor (199710 m) y otras coberturas vegetales las que presentaron el menor valor (9506 m) (Fig.17).

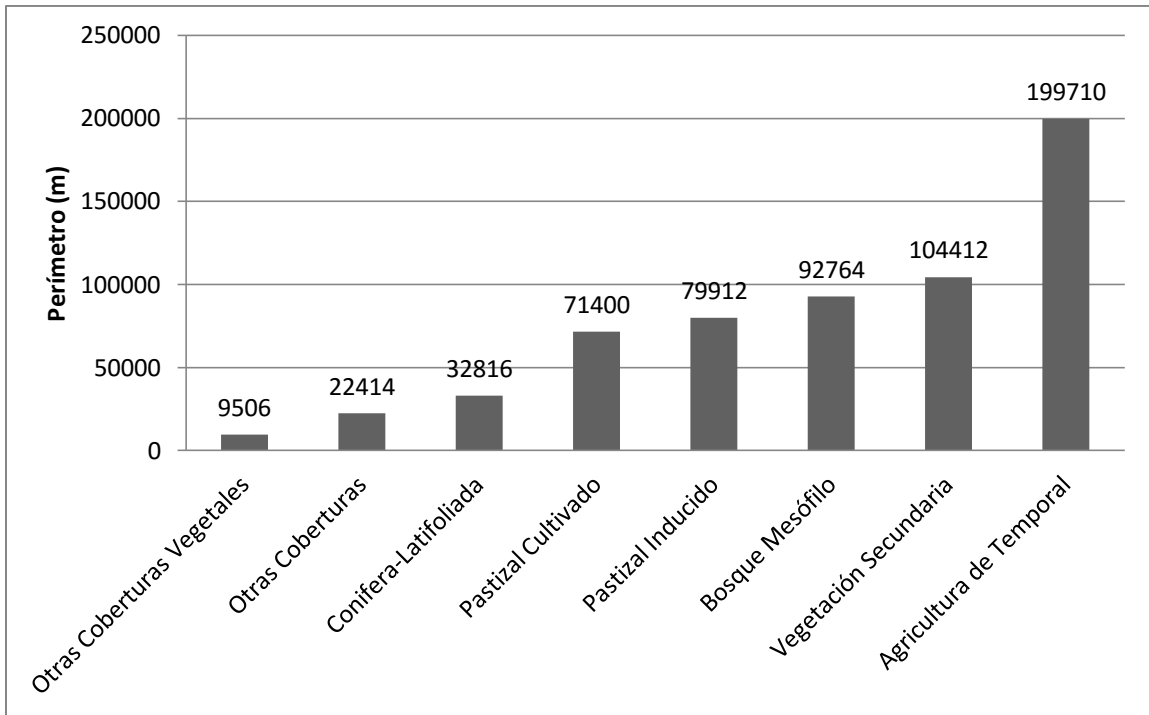


Figura 17. Gráfica que muestra el perímetro de los diferentes tipos de vegetación del AICA de Cuetzalan en 2011.

El pastizal cultivado fue la categoría con mayor número de parches (13) mientras que las categorías de otras coberturas vegetales y conífera latifoliada fueron las que presentaron menos parches (1) siendo éstas las que presentaron un menor grado de fragmentación (Fig. 18).

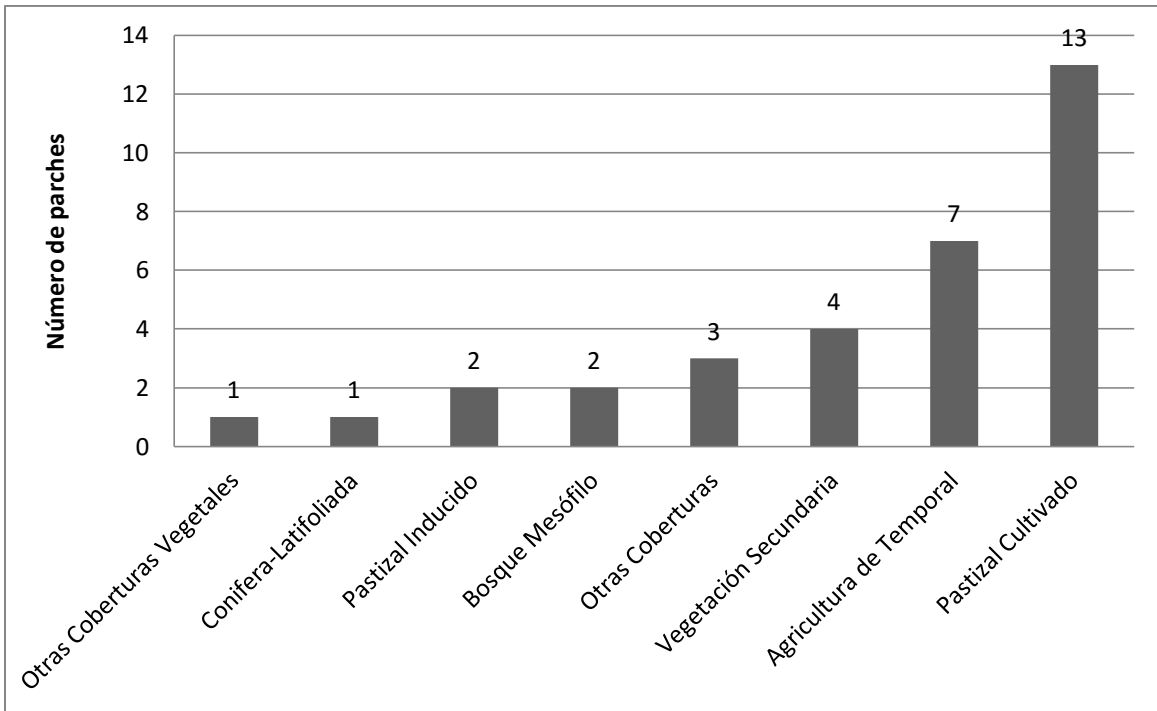


Figura 18. Gráfica que muestra el número de parches de los diferentes tipos de vegetación del AICA de Cuetzalan en 2011.

Con base en la media y mediana del tamaño del parche, los parches que presentaron el mayor tamaño son los pertenecientes a la categoría de bosque mesófilo (1802.91 ha), y los que presentaron el menor tamaño son los pertenecientes a la categoría de otras coberturas (57.84 ha) (Fig. 19).

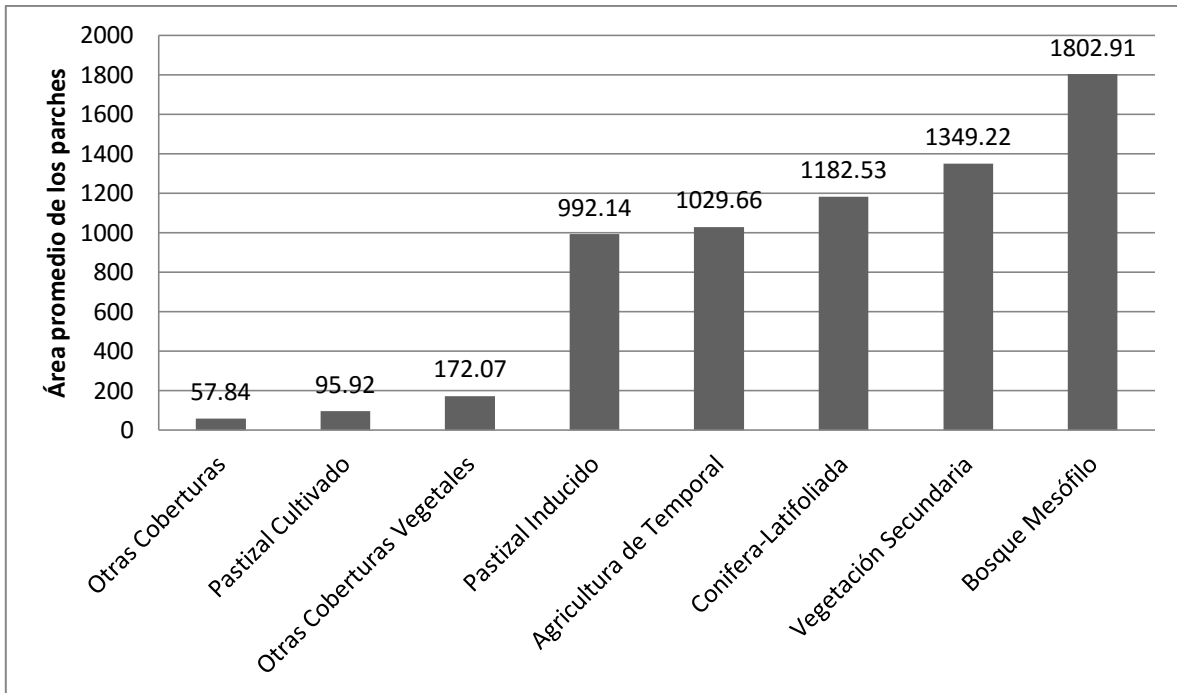


Figura 19. Gráfica que muestra el área promedio de los parches de los diferentes tipos de vegetación del AICA de Cuetzalan en 2011.

La categoría de vegetación secundaria fue la que presentó el parche de mayor tamaño (3476.2511 ha) siendo la misma categoría la que presentara el parche de menor tamaño (0.0049 ha)

#### 6.3.2.1.2 Estadísticas/Medidas del paisaje

El Índice de Shannon marcó un valor de 1.65, el cual indica una alta diversidad, esto debido al tamaño y número de parches. Esto queda confirmado por el Índice de Simpson (0.77), cuyo resultado expresa la misma información.

El Índice de uniformidad de Shannon marcó un valor de 0.79, el cual indica que la distribución de áreas entre los distintos tipos de parches es variada, es decir, tienden en una cierta medida a la igualdad.

Cuadro 20. Muestra la clase perteneciente a cada tipo de vegetación.

<b>Vegetación</b>	<b>Clase</b>
Bosque Mesófilo	1
Vegetación Secundaria	2
Conífera-Latifoliada	3
Pastizal Cultivado	4
Pastizal Inducido	5
Agricultura de Temporal	6
Otras Coberturas	7
Otras Coberturas Vegetales	8

Cuadro 21. Métricas del paisaje obtenidas con el plug-in LecoS de QGIS.

<b>Clase</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Longitud del borde</b>	<b>Número de parches</b>	<b>Área del mayor parche</b>	<b>Área del menor parche</b>	<b>Área media del parche</b>	<b>Mediana del área del parche</b>
1	3605.8316	92764	2	3063.2693	542.5623	1802.9158	1802.9158
2	5396.8992	104412	4	3476.2511	0.0049	1349.2248	960.3216
3	1182.5366	32816	1	1182.5366	1182.5366	1182.5366	1182.5366
4	1247.0598	71400	13	429.1714	0.196	95.92767692	59.633
5	1984.2942	79912	2	1427.1838	557.1104	992.1471	992.1471
6	7207.6893	199710	7	3061.6474	0.3332	1029.6699	451.7653
7	173.5433	22414	3	113.337	28.6062	57.84776667	31.6001
8	172.0782	9506	1	172.0782	172.0782	172.0782	172.0782

Cuadro 22. Medidas de la diversidad del paisaje obtenidas con el plug-in LecoS de QGIS.

<b>Índice</b>	<b>Valor</b>
Índice de Shannon	1.65
Índice de uniformidad de Shannon	0.79
Índice de Simpson	0.77

A continuación, se muestra un cuadro (23) donde se resumen los índices más importantes para la conservación junto con sus valores máximos y la clase a la que corresponden. También se muestra un cuadro (24) con los mismos índices indicados solo para la vegetación conservada.

Cuadro 23. Resumen de los resultados de ecología del paisaje.

<b>Índice</b>	<b>Clase dominante</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Importancia</b>
Cobertura	Agricultura de temporal	7207.68 ha	Su importancia radica en el hecho de ser la clase que más área abarca dentro del área de estudio.
Perímetro	Agricultura de temporal	199710 m	Asociado con la cobertura.
Efecto de borde	Vegetación secundaria	19.35	Los parches adyacentes no le afectan demasiado.
Número de parches	Pastizal Cultivado	13 parches	Indica el nivel de fragmentación de esa clase.
Media del área del	Bosque Mesófilo	1802.91 ha	Más susceptible

parche			de incorporarse a la conservación.
--------	--	--	------------------------------------

Cuadro 24. Resumen de los resultados de ecología del paisaje para vegetación conservada.

<b>Índice</b>	<b>Clase</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Importancia</b>
Cobertura	Vegetación secundaria	5396.89 ha	Su importancia radica en el hecho de ser la clase que más área utiliza dentro del área de estudio.
Perímetro	Vegetación secundaria	104412 m	Asociado con la cobertura.
Efecto de borde	Vegetación secundaria	19.35	Los parches adyacentes no le afectan demasiado.
Número de parches	Vegetación secundaria	4 parches	Indica el nivel de fragmentación de esa clase.
Media del área del parche	Vegetación secundaria	1349.22 ha	Más susceptible de incorporarse a la conservación

#### 6.4 Área prioritaria para la conservación

Se realizaron tres propuestas de áreas prioritarias para la conservación. Para llegar a dichas propuestas se realizaron mapas con metas de conservación al 10%, 30%, 60% y 90%. Se seleccionaron solamente los mapas de 10% y 30% (Figs. 20 y 21) puesto que sus tamaños eran los adecuados para generar un área

protegida, esto debido al área que ocupan y a que se encuentran en zonas de vegetación conservadas. En las zonas que Marxan seleccionó como las mejores opciones se midió el área total en hectáreas de cada tipo de vegetación más conservada (cuadros 25 y 26). También se realizó dicha medición utilizando solamente la vegetación más conservada, esto es, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Encino-Pino y sus respectivas vegetaciones secundarias. Esta selección abarca el 48.21% de la superficie total del AICA (Fig. 22) (Cuadro 27). Los resultados de ecología del paisaje de dicha vegetación pueden ser consultados en el cuadro 24.

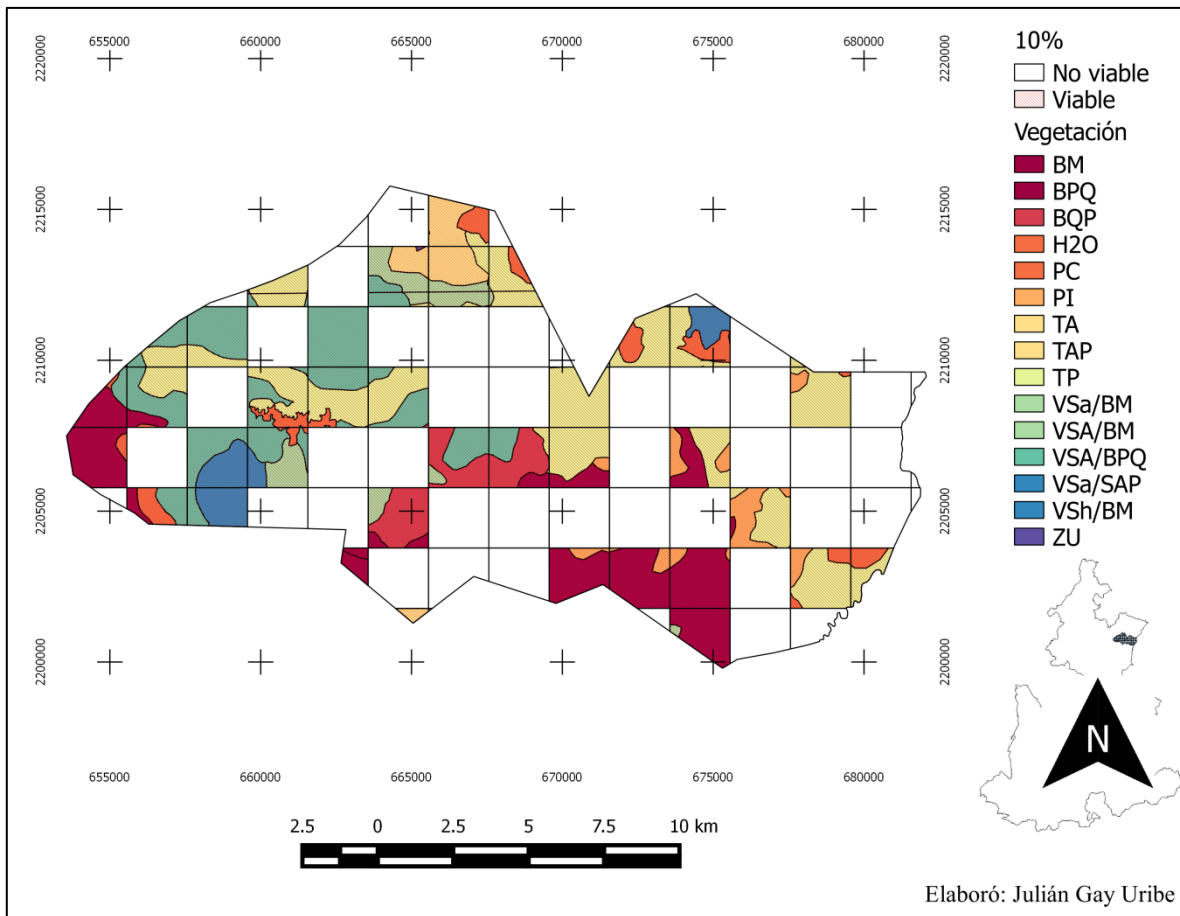


Figura 20. Mapa que muestra los objetivos de conservación al 10% de acuerdo a Marxan.

Cuadro 25. Muestra el área en hectáreas de cada tipo de uso de suelo dentro del área de 10% seleccionada por Marxan y el porcentaje total que ocupa dentro del AICA.

<b>Uso de suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>% dentro del AICA</b>
Bosque Mesófilo de Montaña	2207	
Vegetación secundaria	3394	
Conífera-latifoliada	788	
Pastizal Cultivado	537	
Pastizal Inducido	473	
Agricultura de temporal	4137	
Otras coberturas	121	
Otras coberturas vegetales	134	
<b>Vegetación conservada</b>	<b>6523</b>	
<b>Total</b>	<b>11791</b>	<b>46.46</b>

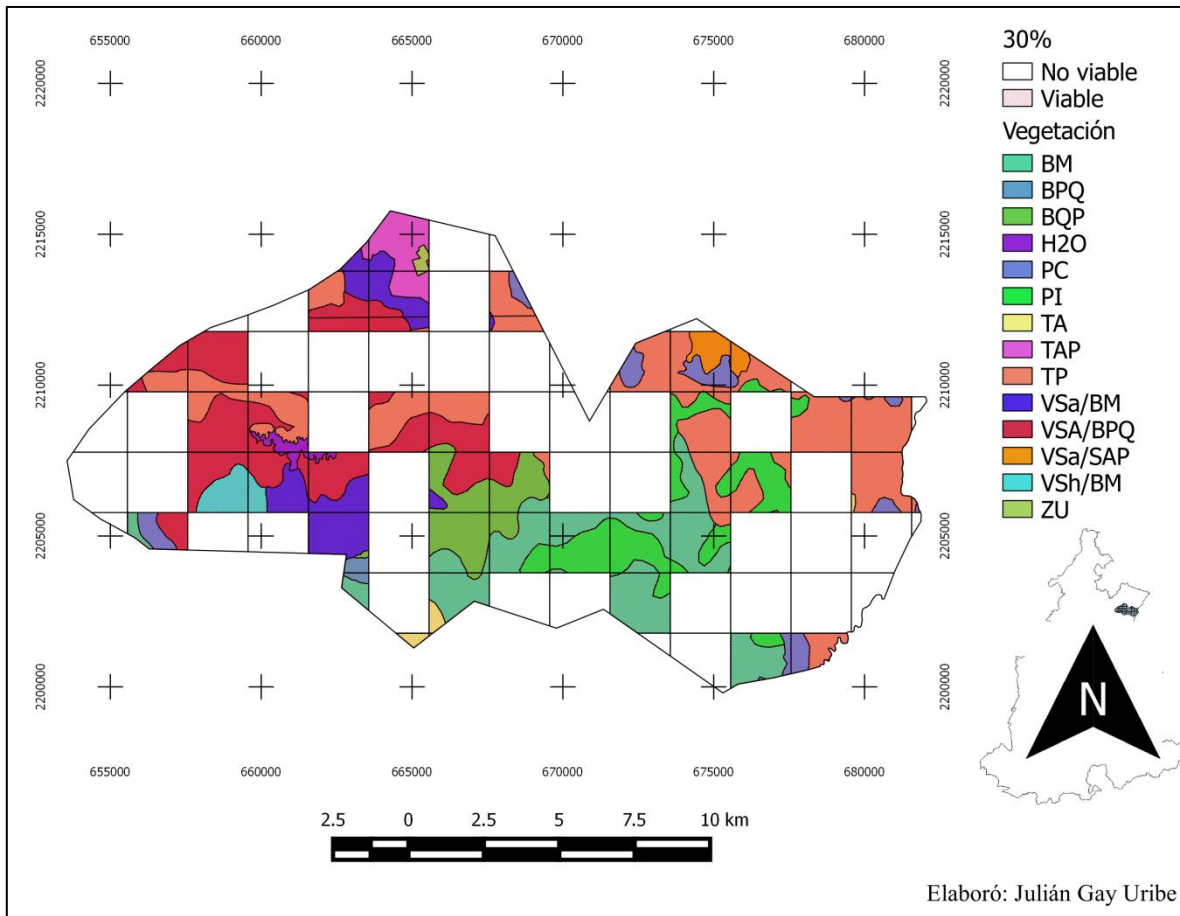


Figura 21. Mapa que muestra los objetivos de conservación al 30% de acuerdo a Marxan.

Cuadro 26. Muestra el área en hectáreas de cada tipo de uso de suelo dentro del área de 30% seleccionada por Marxan y el porcentaje total que ocupa dentro del AICA.

Uso de suelo	Área (ha)	% dentro del AICA
Bosque Mesófilo de Montaña	2024	
Vegetación secundaria	3601	
Conífera-latifoliada	934	
Pastizal Cultivado	479	
Pastizal Inducido	1265	

Agricultura de temporal	3939	
Otras coberturas	142	
Otras coberturas vegetales	185	
<b>Vegetación conservada</b>	<b>6744</b>	
<b>Total</b>	<b>12569</b>	<b>49.53</b>

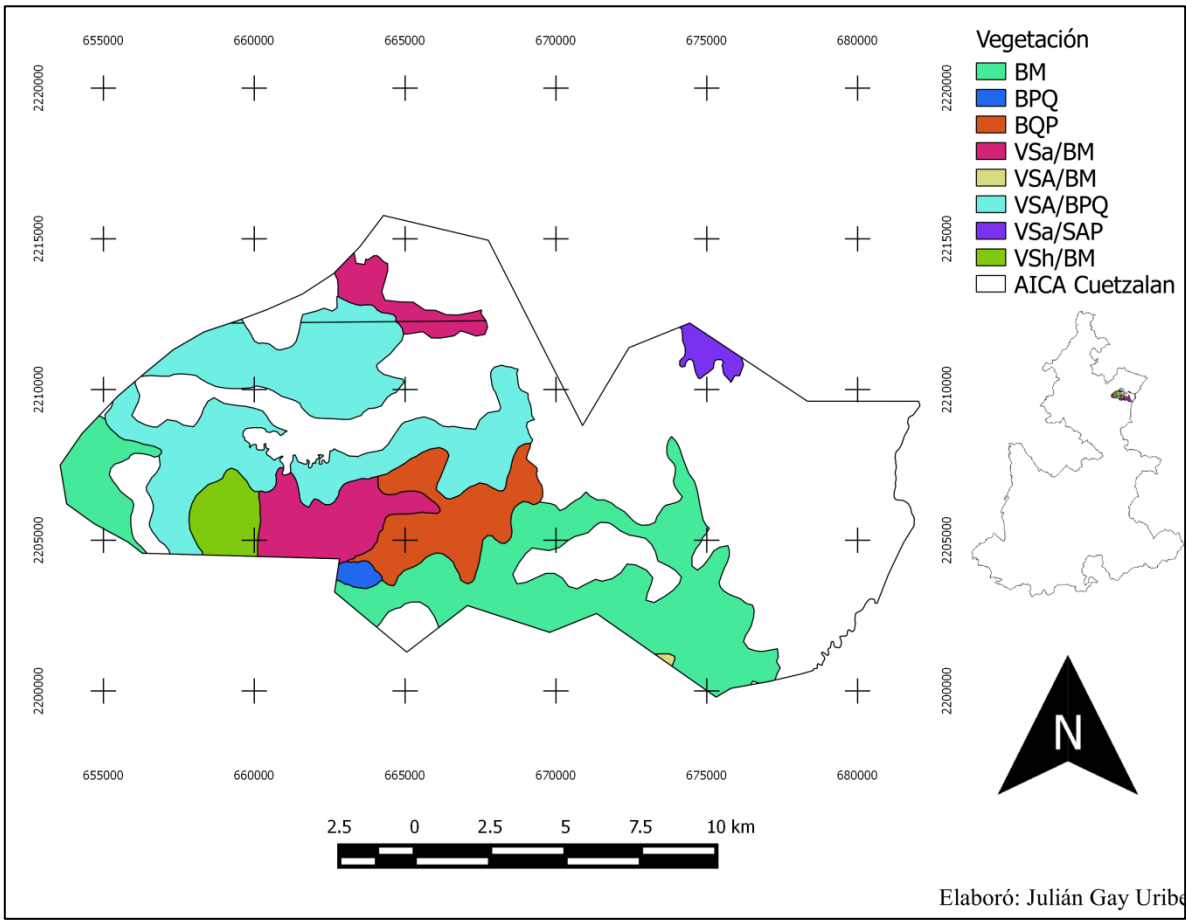


Figura 22. Tipos de uso de suelo y vegetación más conservados (cartográficamente).

Cuadro 27. Muestra el área en hectáreas de cada tipo de uso de suelo dentro del AICA de Cuetzalan y el total de la vegetación conservada, junto con el porcentaje que este tipo de vegetación ocupa en el AICA.

<b>Uso de suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>% dentro del AICA</b>
Bosque Mesófilo de Montaña	4364	
Vegetación secundaria	6532	
Conífera-latifoliada	1431	
Pastizal Cultivado	1508	
Pastizal Inducido	2401	
Agricultura de temporal	8723	
Otras coberturas	210	
Otras coberturas vegetales	208	
<b>Vegetación conservada</b>	<b>12535</b>	
<b>Total</b>	<b>25377</b>	<b>49.40</b>

La viabilidad fue seleccionada con base en la cantidad de hectáreas de vegetación conservada dentro de cada propuesta. Si bien la propuesta con base en la vegetación más conservada presentó la mayor cantidad de vegetación conservada (12535 ha) la propuesta utilizando un objetivo de conservación al 30% presentó un mayor porcentaje dentro del AICA (49.53%). Hay que tener en consideración que el área con objetivo de conservación al 30% fue seleccionada por Marxan.

## **7. Discusión**

### **7.1 Factores socioeconómicos.**

Utilizando los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI (2007) se pudo observar que existe un gran número de unidades de producción agrícolas y

ganaderas, entre las que destacan el cultivo de café cereza (5178.24 ha) y la agricultura de temporal (14440.24 ha).

Se sabe que el cultivo de café de sombra es de bajo impacto sobre la vegetación original (Anta-Fonseca, 2006) y favorece la conservación de la biodiversidad mientras sea manejado de manera tradicional y no en masa (Greenberg et al, 1997; Donald, 2004; Tejeda-Cruz y Sutherland, 2004; Anta- Fonseca, 2006).

Por otro lado, no se recomienda el cultivo del maíz (agricultura de temporal) en zonas de gran pendiente debido a que, si bien su producción no es afectada, incrementa las tasas de erosión y escurrimiento (Sánchez et al, 2013; SAGARPA, 2014).

Se observó que también existe una gran cantidad de unidades de producción ganaderas siendo la de mayor presencia las de producción de ganado porcino (3092), sin embargo, la mayor cantidad de cabezas de ganado pertenecen al ovino (10231).

Las unidades de producción ganaderas también tienen un impacto sobre la vegetación, esto debido a que es necesario realizar deforestación para el pastoreo del ganado (FAO, 2015) y conlleva problemas de conservación para las aves (Azpiroz et al, 2012; Mastrangelo y Gavin, 2012).

## **7.2 Cambio de uso de suelo.**

Se pudo realizar correctamente la evaluación del cambio de uso de suelo en el AICA, utilizando datos de INEGI de los años los años 1984 y 2011 junto con un Sistema de Información Geográfica. Esta evaluación permitió demostrar que ha existido un proceso de deforestación que ha llevado al bosque de conífera-latifoliada a convertirse en vegetación secundaria, puesto que presenta una tasa de cambio de -5.83%. También se encontró que los tamaños de las zonas utilizadas para la agricultura no han sido modificados de una manera considerable, puesto que la tasa de cambio de agricultura de temporal fue de 0.31%, mientras que la de pastizal cultivado y pastizal inducido fue de -1.22% y -1.23%, respectivamente. Es interesante notar, sin embargo, que la mayor probabilidad de ocurrencia la tiene el Bosque mesófilo (90.18%) con un proceso de permanencia,

lo que podría indicar que este tipo de vegetación no es afectado por actividades humanas, a diferencia del mencionado bosque de conífera-latifoliada. Tanto en el trabajo de Castelán et al (2007) como en el de Evangelista et al (2010), el cambio de uso de suelo presentó un proceso de deforestación, puesto que de Bosque Mesófilo de Montaña cambió a uso de agricultura. Aunque en el AICA de Cuetzalan también hubo una pérdida de Bosque Mesófilo de Montaña, éste pasó a Vegetación secundaria, lo que podría deberse a una tala moderada o un cambio hacia uso de agricultura, y al haber un abandono del mismo, produciría el cambio hacia vegetación secundaria.

Los análisis realizados durante la verificación de campo no pudieron demostrar que las cartas de INEGI sean fiables o no fiables (cuadro 17).

### **7.3 Ecología del paisaje**

Utilizando los datos de las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI de 2011 se pudo realizar el análisis de la ecología del paisaje del AICA. Se mostraron las zonas que presentaban mayor fragmentación y también los tamaños generales de las mismas (cuadro 22), los cuales no solamente coincidieron con los datos presentados en la evaluación del cambio de uso de suelo, sino que también con los datos presentados con los censos ejidales y agropecuarios del análisis socioeconómico, esto debido a que las actividades agropecuarias de la zona se ven reflejadas dentro del uso de suelo.

Los índices más importantes fueron la cobertura, el perímetro, el número de parches y la media del área del parche. Esto debido a que sus valores nos indican los tamaños y distribuciones de los parches de los distintos tipos de vegetación, pudiendo conocer así las áreas que se encuentran mayormente conservadas y que, por lo tanto, son más viables para la conservación. Con estos resultados observamos que la agricultura de temporal es el tipo de uso de suelo más extenso (7207.6893 ha), teniendo 7 parches de un tamaño promedio de 1029.6699 ha. Dentro de la vegetación natural, el Bosque mesófilo es el que presenta el promedio de parches más grandes (1802.9158 ha), sin embargo, la vegetación secundaria se encuentra más fragmentada (4 parches) con un tamaño promedio

de 1349.2248 ha. Se calculó también la proporción entre el perímetro y la cobertura, puesto que esta nos indica el efecto de borde, y se observó que la vegetación secundaria es el tipo de vegetación natural con menor efecto de borde. Hablando estrictamente de la vegetación sin presencia de actividades agrícolas la mayor cobertura la presentó vegetación secundaria con 5396.8992 ha, teniendo a su vez el mayor perímetro (104412 m), lo que la vuelve una zona idónea para la conservación. La clase más perturbada fue también la vegetación secundaria (4 parches). Sin embargo, los parches más grandes fueron presentados por la clase de bosque mesófilo (1802.9158 ha).

Santos y Tellería, en el 2006, mencionan que la fragmentación afecta en gran medida a la conservación y puede llegar a provocar la extinción de las especies que sean más vulnerables a la misma. Si bien la fragmentación no ha crecido en gran medida dentro del AICA de Cuetzalan, esta es notoria, principalmente en el cambio que existe de conífera-latifoliada a vegetación secundaria.

Moizo-Marrubio (2004) y Menon y Bawa (1997) destacan la importancia de utilizar un SIG para el estudio de los índices del paisaje y que también pueden ser combinados con los datos socioeconómicos, acción que también se realizó y demostró estar relacionada con el tipo de uso de suelo y los resultados de los índices del paisaje. Otros estudios realizados en la India (Menon y Bawa, 1997) y en Brasil (Ribas y Gontijo, 2014) han demostrado la efectividad del uso de SIG para la evaluación de los índices del paisaje con fines de conservación, obteniendo resultados afines a los obtenidos en el presente trabajo.

En México, Maya (2013) realizó un trabajo utilizando la ecología del paisaje para la selección de las áreas más aptas para la conservación, concluyendo que dichas áreas eran las que presentaban la mayor cantidad de vegetación conservada como sucedió en el presente trabajo. Cabe resaltar que si bien en el trabajo de Maya (2013) se seleccionó la mejor área para la conservación, no se utilizó un software especializado para ello, a diferencia del presente trabajo donde fue utilizado Marxan. En Reino Unido (Niggebrugge et al, 2007), Bolivia (Millington et al, 2003) y Estados Unidos (Brawn et all, 2001) también se utilizaron los SIG para evaluar índices de paisaje, esta vez centrados hacia una especie o tema en

particular (gasterópodos en el caso de Reino Unido, deforestación en el caso de Bolivia y aves en el caso de Estados Unidos). En estos tres trabajos, y en los anteriormente mencionados, se utilizaron los mismos índices de paisaje o índices afines a los utilizados por los autores, para la evaluación de la ecología del paisaje del AICA y es posible comprobar que la metodología utilizada por los mencionados autores fue efectiva para la realización del presente trabajo.

#### **7.4 Propuesta de conservación**

Como se mostró en los resultados, fue posible proponer tres áreas de conservación mostradas en las figuras 20, 21 y 22, siendo las primeras dos creadas utilizando software especializado para la creación de áreas protegidas y la tercera seleccionando las áreas con vegetación más conservada. Diversos autores (Amber, 2001; Ball et al, 2009; Flores y Ochoa, 2010; Delavenne et al, 2012) han mostrado que el software especializado Marxan es idóneo para la creación de áreas naturales protegidas, tanto marinas como terrestres, puesto que arroja mejores resultados que usando otros programas como Zonas u otras metodologías como la de Complementariedad. Estos trabajos han sido realizados en Inglaterra (Delavenne et al, 2012, 2012), Australia (Ball et al, 2009) y México (Flores y Ochoa, 2010).

Tanto a las zonas seleccionadas por Marxan como a la seleccionada subjetivamente se les comparó con los datos obtenidos en la salida de campo. Se evaluó que lo observado coincidiera con lo especificado por las cartas de INEGI y se revisó cual tenía un mayor porcentaje de viabilidad. En cuanto a la verificación, el área elegida con un criterio de conservación del 30% fue la que más coincidencias presentó con los datos referidos por las cartas de INEGI (81.82%). Esto posiblemente sea debido a la localización de las áreas seleccionadas por Marxan. La propuesta de vegetación conservada fue la que presentó una menor cantidad de vegetación perturbada cartográficamente, por lo que sería la mejor opción de conservación. Es importante mencionar, sin embargo, que la propuesta con un criterio de conservación al 30% abarca una mayor cantidad dentro del AICA, aunque incluye usos de suelo antropogénicos como agricultura y zonas

urbanas. También es menester mencionar que la propuesta con un criterio de conservación al 30% toma en consideración las distribuciones de las especies de aves presentes en el AICA que se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo de la NOM-059.

## 8. Conclusiones

- El cultivo de café cereza presente en el lugar permite la conservación debido a que presenta un bajo impacto sobre la vegetación
- Existe actividad ganadera dentro del AICA, siendo principalmente visible por los pastizales existentes.
- Entre los años de 1984 y 2011 se ha presentado un proceso de alteración el cual ha provocado el aumento de la vegetación secundaria y la reducción del bosque de conífera-latifoliada.
- El Bosque mesófilo de montaña es el tipo de vegetación natural menos afectado por las actividades humanas.
- La fiabilidad de las cartas de INEGI no es demostrable y es necesario un tamaño de muestra del área de estudio más amplio.
- La correcta utilización de los Sistemas de Información Geográfica junto con los análisis de ecología del paisaje nos permiten seleccionar de manera adecuada las áreas más viables para la conservación, de manera que exista un equilibrio entre la población del lugar y los recursos naturales.
- El área propuesta con base en la vegetación conservada es la que presenta la mayor cantidad de vegetación conservada dentro del AICA.
- El área propuesta con objetivos de conservación al 30% muestra ser la mejor opción con base en el análisis realizado con Marxan.
- El proyecto es viable desde un punto de vista meramente ecológico, es necesario realizar un análisis social a partir de encuestas para conocer la opinión de los habitantes y autoridades locales sobre la formación de un área natural protegida en su comunidad.

## 9. Referencias bibliográficas

- Amber L. S. 2001. Exploration of Marxan for utility in Marine Protected Area Zoning. Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master in Science in the Department of Geography. University of Victoria.
- Anta-Fonseca, S. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*. Num. 80. P.p: 19-31. México.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Askins, R. 2000. Landscape ecology: The key to bird conservation. Pp: 239-240. En: *Restoring North America's Birds: Lessons from landscape ecology*. Yale University Press. United States of America.
- Azpiroz, B. A., Isacch, J. P., Dias, R. A., Di Giacomo, A. S., Suertegaray, F. C., Morales, P. C. 2012. Ecology and conservation of grassland birds in southeastern South America: a review. *Journal of Field Ornithology*. Volume 83. Issue 3. P.p: 217-246.
- Ball, Ian. R., Possingham, H. P., Watts, M. E. 2009. Marxan and Relatives: Software for Spatial Conservation Prioritization. En Moilanen, A., Wilson, K. A., Possingham, H. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools* (pp. 190-191). Oxford.
- Brawn, J. D.; Robinson, S. K.; Thompson III, F. R. 2001. The Role of Disturbance in the Ecology and Conservation of Birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 32. P.p: 251-276.
- Burke, V. J. 2000. Landscape Ecology and Species Conservation. *Landscape Ecology*. No. 15. P.p: 1-3.
- Esteve MA, Calvo JF. 2000. Conservación de la naturaleza y biodiversidad en la Región de Murcia. En: Calvo JF, Esteve MA, López Bermúdez F (Coords.) *Biodiversidad. Contribución a su conocimiento y conservación en la Región*

- de Murcia: 193-214. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia.
- Castelán, V. R., Ruiz, C. J., Linares, F. G., Pérez, A. R., Tamariz, F. V. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 64. P.p: 75-89.
- CCA. 1999 A. Herramientas para la preservación de las AICAS. P: 20. En: Áreas Importantes para la Conservación de las Aves de América del Norte: directorio de 150 sitios relevantes. Comisión para la Cooperación Ambiental. Canadá.
- CCA. 1999 B. Introducción. P: 20. En: Áreas Importantes para la Conservación de las Aves de América del Norte: directorio de 150 sitios relevantes. Comisión para la Cooperación Ambiental. Canadá.
- CCA. 1999 C. Las bases biológicas de las AICAS. P: 2. En: Áreas Importantes para la Conservación de las Aves de América del Norte: directorio de 150 sitios relevantes. Comisión para la Cooperación Ambiental. Canadá.
- Challenger, A. Estrategias para la conservación de ecosistemas. Gaceta Ecológica, núm. 61. Pp. 22-29.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), The Nature Conservancy - Programa México (TNC), Pronatura. (2007). 'Sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad'. Escala 1: 1000000. D.F., México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), (2004). 'Regiones Terrestres Prioritarias'. Escala 1:1000000. México.
- CONABIO. s.f. Consultado el 7 de Junio de 2015. <http://avesmx.conabio.gob.mx/verzona?tipo=aica&id=38>

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1997. Provincias biogeográficas de México. Escala 1:4000000. México, D. F. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> Consultado el 29 de Junio de 2015.
- CONABIO. ¿Qué es un país megadiverso?. Consultado el 2 de Septiembre de 2014 <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>
- CONABIO. 2004. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). Consultado el 26 de Agosto de 2014. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>
- CONABIO. 2008. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html> Consultado el 29 de Junio de 2015.
- CONABIO. 2008. Regionalización. Consultado el 26 de Agosto de 2014. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>
- CONABIO. 2015. Sitios prioritarios terrestres. Consultado el 27 de Octubre de 2015. <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/vaciosyom1.html>
- CONABIO. 2015. Vacíos y omisiones en conservación. Consultado el 27 de Octubre de 2015. <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/vaciosyom.html>
- Conabio-Conanp-TNC-Pronatura-FCF, UAN L. 2007. Aves. En: Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy- Programa México, Pronatura, A.C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Conabio-Conanp-TNC-Pronatura-FCF, UAN L. 2007. Introducción. En: Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The

- Nature Conservancy- Programa México, Pronatura, A.C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- CONANP. 2013. Áreas protegidas decretadas. Consultado el 26 de Agosto de 2014. [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/)
- Curry-Lindahl, K. 1974. Conservar para sobrevivir. Pp: 19-20. En: Conservar para sobrevivir: una estrategia ecológica. Diana. México.
- Delavenne, J., Metcalfe, K., Smith, R. J., Vaz, S., Martin, C. S., Dupuis, L., et al. 2012. Systematic conservation planning in the eastern English Channel: comparing the Marxan and Zonation decision-support tools. *Journal of Marine Science*. International Council for the Exploration of the Seas. 69 (1). P.p: 75-83.
- Donald, P., F. 2004. Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems. *Conservation Biology*. Volume 18. Issue 1. P.p: 17-38.
- Dorado-Ramírez, O. R. 2001. Sierra de Huautla-Cerro Frío, Morelos: Proyecto de reserva de la biosfera. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. Q025. México D. F.
- Duarte, A. 2014. Using open source tools for characterization of a landscape. The LecoS plugin. Consultado el 10 de Junio de 2015. [http://qgis.org/es/site/about/case\\_studies/portugal\\_coimbra.html](http://qgis.org/es/site/about/case_studies/portugal_coimbra.html)
- Evangelista, O. V., López, B. J., Caballero, N. J., Martínez, A. M. A. 2010. Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. Núm. 72. P.p: 23-38.
- FAO. 2015. Livestock Interactions. <http://www.fao.org/ag/ca/4.html>. Consultado el 07 de Julio de 2015.
- Flores Villela, O. y L. Ochoa Ochoa, 2010. Áreas potenciales de distribución y GAP análisis de la herpetofauna de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DS009. México D. F.

- Gill, F. 2007 A. Migration and navigation. P: 295. En: Ornithology, 3rd edition. Freeman. United States of America.
- Gill, F. 2007 B. Conservation. Pp: 675-677. En: Ornithology, 3rd edition. Freeman. United States of America.
- Greenberg, R., Bichier, P., Sterling, J. 1997. Bird Populations in Rustic and Planted Shade Coffee Plantations of Eastern Chiapas, México. Biotropica. Volume 19. Issue 4. P.p: 501-514.
- Hansson, L., Angelstam, P. 1991. Landscape ecology as a theoretical basis for nature conservation. Landscape Ecology. Vol. 5. No. 4. P.p: 191-201.
- Hernández-Castán, J, Jiménez Moreno, F.J, Mendoza Cuamatzi, R, Rose-Burney, J, López Télles, M.C, Torres Flores, R, et al. A). 2013 A. Introducción. P: 13. En: Aves del Estado de Puebla. Jardín Etnobotánico Francisco Peláez R. A.C.-Peace Corps-USAID-Benemerita Universidad Autónoma de Puebla-Instituto de Biología BUAP-Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-H. Ayuntamiento de la Ciudad de Puebla a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Servicios Públicos. México.
- Hernández-Castán, J, Jiménez Moreno, F.J, Mendoza Cuamatzi, R, Rose-Burney, J, López Télles, M.C, Torres Flores, R, et al. 2013 B. Endemismos de aves en Puebla. P: 13. En: Aves del Estado de Puebla. Jardín Etnobotánico Francisco Peláez R. A.C.-Peace Corps-USAID-Benemerita Universidad Autónoma de Puebla-Instituto de Biología BUAP-Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-H. Ayuntamiento de la Ciudad de Puebla a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Servicios Públicos. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1984. Cartas de uso de suelo y vegetación escala 1:250000. Edición 1984. Formato shp. Aguascalientes, Ags. México.  
[http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=\\*&sort=date:D:S:d1&entsp=a\\_\\_inegi\\_politica\\_p72&lr=lang\\_es|lang\\_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&urlang=es&access=p&entqrm=0&ud=1&q=%22Cartas+de+Uso+del+Suelo+y+V](http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es|lang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&urlang=es&access=p&entqrm=0&ud=1&q=%22Cartas+de+Uso+del+Suelo+y+V)

vegetaci%C3%B3n%22+inmeta:edicion%3D1984&dnavs=inmeta:edicion%3D1984 Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1:250000 Serie II (Continuo Nacional). Formato shp. Aguascalientes, Ags., México. [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial\\_serieii.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx) Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2011. Uso de suelo y vegetación; Datos vectoriales escala 1:250000 serie V (Capa unión). Formaro shp. Aguascalientes, Ags. Mexico. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ususuelo/Default.aspx> Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2013. Áreas Geoestadísticas Municipales escala: 1:250000. Marco Geoestadístico 2013 versión 6.0c (Inventario Nacional de Viviendas 2012). Aguascalientes, Ags., México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Aguascalientes, Ags., México. Formato Bil. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2014. Subcuencas Hidrológicas de México, escala: 1:50000. Edición: 2. Continuo de subcuencas del territorio Mexicano, basado en las cartas de la Red Hidrológica escala 1:50000 generadas por INEGI. Aguascalientes, Ags., México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> Consultado el 29 de Junio de 2015.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1991. Fisiografía; Datos vectoriales escala 1:1000000. Aguascalientes, Ags., México. Formato shp.

- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/fisiografia/infoescala.aspx>  
Consultado el 29 de Junio de 2015.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Climatología; Datos vectoriales escala 1:1000000. Formato shp. Aguascalientes, Ags. México.  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx>  
Consultado el 29 de Junio de 2015.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. México
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, Libro electrónico. INEGI. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. INEGI. México
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Censo Ejidal. INEGI. México
- Isasi-Catalá, E. 2011. Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y claves: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*. Vol. 36. No. 1. P.p: 31-36.
- Jung M. 2013. LecoS - A QGIS plugin for automated landscape ecology analysis. *PeerJ PrePrints* 1:e116v2 <https://dx.doi.org/10.7287/peerj.preprints.116v2>
- Koleff, P., Urquiza-Hass, T. 2011. Conservación de la biodiversidad de México: planeación, prioridades y perspectivas. Pp: 13, 15. En Koleff P., Urquiza-Hass T. (coord), *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad–Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Marxan. 2015. <http://www.uq.edu.au/marxan/index.html?p=1.1.1> Consultado el 9 de Abril del 2015.
- Mastrangelo, M. E., Gavin, M. C. 2012. Trade-Offs between Cattle Production and Bird Conservation in an Agricultural Frontier of the Gran Chaco of Argentina. *Conservation Biology*. Volume 26. Issue 6. P.p: 1040-1051.

- Maya, O, C. 2013. Delimitación de áreas prioritarias para la conservación en el marco del ordenamiento ecológico en la cuenca del Río Tlapaneco. Tesis para obtener el título de Bióloga. Escuela de Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Menon, S., Bawa, K. S. 1997. Applications of geographic information systems, remote-sensing, and a landscape ecology approach to biodiversity conservation in the Western Ghats. *Current science*. Vol. 73. No. 2. P.p: 134-145.
- Millington, A. C., Velez-Liendo, X. M., Bradley, A. V. 2003. Scale dependence in multitemporal mapping of forest fragmentation in Bolivia: implications for explaining temporal trends in landscape ecology and applications to biodiversity conservation. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. No. 57. P.p: 289-299.
- Moizo-Marrubio, P. 2004. La Percepción Remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología del Paisaje. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*. No. 4. Pp: 1-24.
- Moore, J. L., Balmford, A., Brooks, T., Burgess, N., Hansen, L., Rahbek, C., et al. Performance of sub-saharan vertebrates as indicator groups for identifying priority areas for conservation. *Conservation Biology*. Volume 17. Pp: 207-218.
- Morrone, J., J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. No. 76. P.p: 207-252.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tree*. Vol 10. No. 2. P.p: 58-62.
- Navarro-Sigüenza, A., Lira-Noriega, A., Arizmendi, M. del C., Berlanga, H., Koleff, P., García-Moreno, J., et al. 2011. Áreas de conservación para las aves: hacia la integración de criterios de priorización. Pp: 112, 116. En Koleff P., Urquiza-Hass T. (coord), *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad–Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.

- Niggebrugge, K., Durance, I., Watson, A. M., Leuven, R. S. E. W., Ormerod, S. J. 2007. Applying landscape ecology to conservation biology: Spatially explicit analysis reveals dispersal limits on threatened wetland gastropods. *Biological conservation*. No. 139. P.p: 286-196.
- Palitzsch Lund, M. Rahbek, C. 2002. Cross-taxon congruence in complementarity and conservation of temperate biodiversity. *Animal Conservation*. Volume 5. Pp: 163-171.
- Pizaña Soto, J. C., Hernández Hernández, C. L. 2011. Protección y conservación de la biodiversidad del Estado de Puebla. Pp: 312, 326-327. En: *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- RAE (Real Academia Española). 2014. *Diccionario de la lengua española*. 23a edición. España.
- Ribas, R. P., Gontijo, B. M. 2014. Análise multitemporal da evolução estrutural da paisagem por meio de técnicas de sensoriamento remoto e métricas de paisagem. *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes*. No. 5. P.p: 38-44.
- Rodrigues, A., Brooks, T. 2007. Shortcuts for biodiversity conservation planning: the effectiveness of surrogates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. Volume 38. Pp: 713-737
- Rosas-Avila, J. C. 2008. *Ecogeografía del género Pinus (Linnaeus, 1753) en la subcuenca Tecuantepec - Apulco, México*. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.
- Rose-Burney, J; Hernández, B, A. 2013. Valsequillo: Humedal de importancia internacional. *Saberes y Ciencias*. La jornada de Oriente. México.
- Sánchez, V. B., Tosquy, V. O. H., López, S. H., Esqueda, E. V., Palacios P. G. 2013. Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Volume 16. Issue 3. P.p: 497-504.

- Santos, T., Tellería, J. L. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*. No. 15. P.p: 3-12.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2014. Cultivo en franjas. Programa de apoyo al desarrollo rural. México.
- Sponsler D, Johnson R. 2015. Honey bee success predicted by landscape composition in Ohio, USA. *PeerJ* 3:e838 <https://dx.doi.org/10.7717/peerj.838>
- Tejeda-Cruz, C., Sutherland, W. J. 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation*. Volume 7. Issue 2. P.p: 169-179.
- Tushabe, H., Kalema, J., Byaruhanga, A., Asasira, J., Ssegawa, P., Balmford, A., et al. 2005. A nationwide assessment of the biodiversity value of Uganda's important bird areas network. *Conservation Biology*. Volume 20. Pp: 85-99.
- Urbina-Cardona, J., Flores-Villela, O. 2009. Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology*, Volume 24, No. 4. P.p: 1031-1041.
- Valenzuela, G., D. 2012. Tercer y cuarto informe técnico semestral "Extendiendo la conservación de la selva seca en la cuenca del Río Balsas: Propuesta para un área natural protegida en la Mixteca baja poblana". Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.
- Velázquez, A., Mas, J.F., Díaz-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P.C., Castro, R., et al. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. Universidad Nacional Autónoma de México. Número 62. P.p: 21-37.
- Warman, L., Forsyth, D. Sinclair, A. Freemark, K., Moore et al, H., Barrett, T., et al. 2004. Species distributions, surrogacy, and important conservation regions in Canada. *Ecology Letters*. Volume 7. Pp: 374-379.
- Wugt Larsen, F., Bladt, J., Balmford, A. & Rahbek, C. 2012. Birds as biodiversity surrogates: will supplementing birds with other taxa improve effectiveness?. *Journal of Applied Ecology*. Volume 49. Pp: 349-356.



## 10. Anexo 1. Anexo fotográfico.

Se realizó una salida al campo del 21 al 23 de Marzo del 2015 para comprobar los datos de la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI (2011) (Fig. 23).

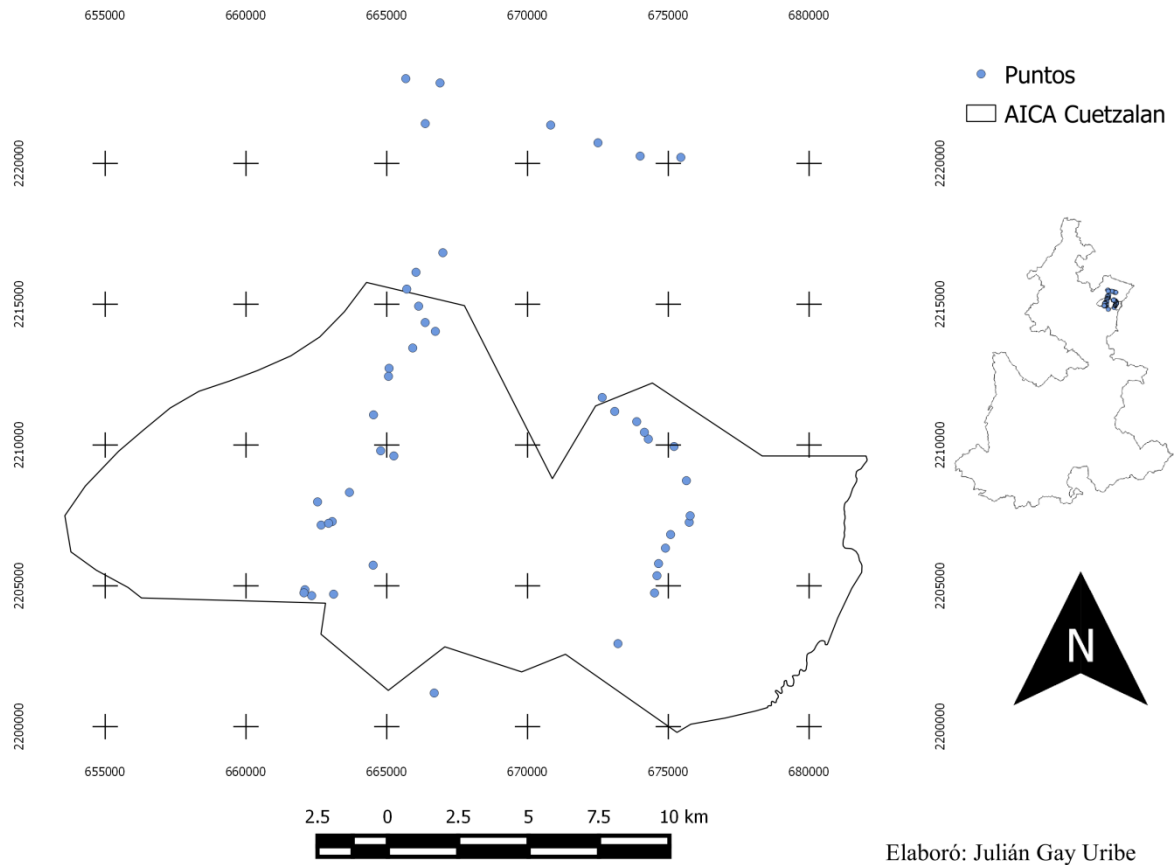


Figura 23. Muestra el camino recorrido durante la salida al campo en el AICA de Cuetzalan.



Figura 24. Uso agrícola con remanentes de bosque mesófilo.



Figura 25. Vegetación Secundaria con Bosque Mesófilo de Montaña Perturbado



Figura 26. Cafetales y Bosque mesófilo relativamente bien conservado.



Figura 27. Vegetación secundaria arbórea con bosque de pino-encino



Figura 28. Bosque mesófilo perturbado



Figura 29. Bosque mesófilo perturbado



Figura 30. Bosque mesófilo



Figura 31. Potreros



Figura 32. Invernadero



Figura 33. Potreros



Figura 34. Potreros



Figura 35. Cultivo de plátano



Figura 36. Selva



Figura 37. Cerro Guadalupe Yaonáhuac. Área protegida por el Ayuntamiento de Yaonáhuac.