

106



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

VALORACIÓN DE IMPACTOS ECOLÓGICOS CON
LÓGICA DIFUSA Y SIG's

T E S I S

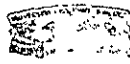
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G A

P R E S E N T A :

Maria de Lourdes Juárez Marusich.

290926

Dr. Luis Bojórquez Tapia



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

2001



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

MAT. MARGARITA CHAVEZ CANO
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis
Valoración de Impactos Ecológicos con Lógica Difusa y SIG's
realizado por María de Lourdes Juárez Marusich
con número de cuenta 9550357-8 , pasante de la carrera de Biología
Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dr. Luis Antonio Bojórquez Tapia
Propietario	M. en C. Salvador Sánchez Colón
Propietario	Dra. Irene Pisanty
Suplente	Dr. Martin Ricker
Suplente	Dra. Rosalba Landa

[Handwritten signatures and initials]

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología
Dra. Edna María
Edna M. Suarez



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

Un sueño más hecho realidad

Felizmente soy Bióloga!!!!

Pero todo este trabajo fue solamente posible con el apoyo de mucha gente

Luis . Un millón de gracias por hacerme parte del mejor equipo de trabajo, por otorgarme el mejor tema de tesis, ser mi guía profesional y académica, y por ser mi amigo . Sabes que mi respeto y admiración hacia ti son incondicionales

Salvador, Irene, Martín y Rosalba : Gracias por el apoyo que me brindaron para poder realizar mi examen profesional en una época difícil para la UNAM.

L'Île de France, Pinolillo, Chambritas, Georgette, Bunny, Paola, DoReMy, Saaaalo . Gracias por aguantarme un año en el Laboratorio de Análisis Ambientales, de apoyarme en todo momento, darme siempre una sonrisa y por ser mis amigos. L'Île te debo varias desveladas aguantando mis malos chistes!! Mil gracias!!

Papá, Mamá, Pera y TODA mi Familia : Que les puedo yo decir!! Gracias por estar conmigo en todo momento, siempre con un buen consejo para salir adelante y hacerme sentir fuerte. Su apoyo y amor incondicional lo llevo siempre en mi corazón.

A todos mis amigos . Gracias por todo ese ánimo, apoyo y amistad. Los quiero!!

Pero quiero agradecer especialmente a una estrellita que desde muy lejos me guió y me seguirá guiando por el mejor camino... . esta tesis es para ti abuelita!!!!

Ahora comienza una nueva etapa de mi vida en los Bosques de Canadá!!!!!!

Gracias a todos

Luli

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	4
II 1	Evaluación de Impacto Ambiental	4
II 2	Sistemas de Información Geográfica	7
II 3	Lógica Difusa	9
III.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
IV.	MÉTODO	21
IV 1	Sistemas de Información Geográfica	21
IV 2	Significancia de Impactos Ecológicos.	21
IV 2. 1	Membresías de Impacto con base en b y k	21
IV 2. 2	Membresías de Impacto con base en la distancia	26
IV 2. 3	Membresías de Impacto con base en la Vulnerabilidad Ambiental	27
IV 2. 4	Significancia de impacto	28
IV 2. 5.	Significancia final de impacto con medidas de mitigación	28
IV 2. 6.	Lógica Convencional (Manifestación de Impacto Ambiental)	29
V.	RESULTADOS	30
V. 1	Bosque de Encino	30
V 2	Bosque de Pino-Pino/Encino	31
V 3	Bosque de Cañada	31
V 4	Pastizal/Agricultura	34
V 5	Zonas Urbanas	35
V 6	Análisis Espacial	35
V.7	Lógica Convencional (Manifestación de Impacto Ambiental)	36
VI.	DISCUSIÓN	42
VII.	CONCLUSIÓN	47
VIII.	LITERATURA CITADA	48
ANEXO 1.	Lista de especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos registradas en la zona este y sur de la cuenca del Valle de México	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de decisiones SI y ENTONCES las reglas El caso de los conjuntos difusos de b, k e Impacto	14
Tabla 2. Definición de los criterios que determinan la significancia de impacto con b y k	23
Tabla 3. Tabla de decisiones de b,k y s	24
Tabla 4. Valores de impacto calculados mediante la ecuación $I = b^{j-k}$	25
Tabla 5. Valores promedio de impacto	24
Tabla 6. Tabla de decisiones entre la Distancia y el Impacto	24
Tabla 7. Tabla de decisiones de Vulnerabilidad Ambiental e Impacto	28
Tabla 8. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, y m asignados para el Bosque de Encino	32
Tabla 9. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, y m asignados para el Bosque de Encino / Pino-Encino	32
Tabla 10. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, y m asignados para el Bosque de Cañada	33
Tabla 11. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, y m asignados para zonas de Pastizal / Agricultura	33
Tabla 12. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, y m asignados para las zonas Urbanas	37
Tabla 13. Hectáreas afectadas propuestos por los sectores Conservación, Industrial y Colonos	39
Tabla 14. Valores de membresía de Significancia de Impactos con base en la distancia	38
Tabla 15. Significancias finales de Impacto con lógica convencional y logica difusa Logica Convencional (L C), Logica Difusa (L D), Bosque de Pino (B P), Bosque de Pino-Encino (B PE), Bosque de Cañada (B.C), Pastizal/Agricultura (P/A) y Urbano (U)	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de los lineamientos básicos para realizar una Evaluación de Impacto Ambiental	6
Figura 2. Función de membresía de un conjunto "crispy" y función de membresía de un conjunto difuso	9
Figura 3. Función de membresía triangular del conjunto difuso de Impacto Bajo	12
Figura 4. Proceso de defuzzificación de los conjuntos difusos b y k produciendo el conjunto difuso de Impacto	14
Figura 5. Área de estudio	20
Figura 6. Mapa de tipos de vegetación a 500m en ambos lados de la carretera La Venta-Colegio Militar	16
Figura 7. Representación gráfica de los conjuntos difusos de b, k, s, d y va	23
Figura 8. Mapa de percepciones finales de Impacto Ecológico propuesto por el sector Conservación	39 a
Figura 9. Mapa de percepciones finales de Impacto Ecológico propuesto por el sector Industrial	40
Figura 10. Mapa de percepciones finales de Impacto Ecológico propuesto por los colonos de la zona	41

I. INTRODUCCIÓN

México, al igual que otros países en vías de desarrollo, enfrentan un acelerado crecimiento industrial y una interminable actividad urbana. En las últimas décadas, la migración hacia las grandes urbes y la concentración de actividades económicas han ocasionado la dispersión de asentamientos humanos con demandas de vivienda, tierras, agua potable, electricidad y vías de comunicación. La extracción, el procesamiento y el uso de los recursos naturales no solo han cambiado el uso del suelo, también han incrementado la generación de desechos sólidos, de emisiones atmosféricas y contaminación del agua (Pisanty-Levy 1993).

La práctica de proyectos de desarrollo, como la construcción de vías de comunicación, ha generado un daño ambiental, desafiando a los bienes y servicios tanto económicos como no económicos proporcionados por los recursos naturales. Dichos bienes y servicios son apreciados de diferente manera por los sectores económicos interesados, provocando una rivalidad por el mismo recurso. Debido a la disminución de la calidad de vida y del bienestar de los sectores, así como a las diferentes perspectivas de desarrollo y del mejoramiento de la calidad ambiental surgen los conflictos o impactos ambientales (Bojórquez-Tapia y Ongay-Delhumeau 1992; Bowonder 1987).

Los gobiernos de todo el mundo han establecido las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) como herramientas de apoyo en la resolución de conflictos ambientales y en la toma de decisiones (Rau y Wooten 1996). Las Evaluaciones de Impacto Ambiental son análisis integrativos que examinan a fondo las opciones técnicas y ambientales de actividades, y toman en consideración los conflictos generados de la ejecución de un proyecto de desarrollo (Bojórquez Tapia y García 1998). Una EIA provee la información necesaria para reconocer y valorar los efectos positivos y negativos de actividades causadas por el hombre, y contiene las bases técnicas de negociación entre actores sociales. De acuerdo con Hollick (1981), Bojórquez Tapia y García (1998), el objetivo principal de una EIA es minimizar los impactos negativos que generan los conflictos ambientales.

Debido a que la valoración de impactos ambientales debe de identificar y medir los efectos ecológicos, sociales y económicos de una actividad, refleja éstos mismos valores (ecológicos, sociales y económicos) y, considera el costo o beneficio ambiental en la realización de proyectos de desarrollo (Rau y Wooten 1996). Evaluar los costos y beneficios desde diferentes puntos de vista económicos de una misma actividad, conlleva a una incorrecta toma de decisiones (Folliot, Bojórquez-Tapia, Hernández en preparación). Por otro lado, los costos económicos y ambientales están relacionados con las preferencias de los valores de la sociedad, la cultura, las facilidades y servicios que existan en una comunidad, aunque difieren al ser

cuantificados. El costo de los bienes económicos está relacionado con la utilidad que la sociedad les atribuye y son cuantificables en términos monetarios. La calidad ambiental es menos fácil de cuantificar (Shopley y Fuggle 1984). Consecuentemente, la evaluación de los impactos o conflictos ambientales es completamente dependiente de juicios, opiniones e información subjetiva. Cabe mencionar que, las decisiones relativas no pueden ser tomadas sin considerar el cuadro de valores sociales.

Uno de los problemas de datos más frecuentes en las Evaluaciones de Impacto Ambiental es la dificultad de definición de impactos en una misma escala (Rau y Wooten 1996). Debido a que es necesaria la opinión del público y de expertos dentro de la evaluación, hay altos rango de error. Sin embargo para lograr que la validez del contenido de un estudio pueda ser alcanzada, diversas técnicas han sido desarrolladas para asegurar que la identificación y la evaluación de los impactos ambientales se haga con juicios aceptables, tal es el caso de las matrices de Leopold (1971), los diagramas de flujo y los análisis *ad hoc* (Jain 1971). Holling (1978) reconoce la importancia de combinar varios métodos para lograr resultados rigurosos y, sin embargo, son pocas las técnicas que conjuntan las carencias de información, la imprecisión en el manejo de los datos, así como la opinión, la experiencia y el sentido común de los grupos o actores sociales involucrados. Por otro lado, trabajar a grandes escalas requiere de alta tecnología que facilite el entendimiento de las interrelaciones entre los componentes de un ecosistema, y los Sistemas de Información Geográfica cumplen con estos objetivos.

El objetivo de este estudio es aplicar lógica difusa y Sistemas de Información Geográfica para valorar impactos ecológicos y apreciar las percepciones de los conflictos ambientales de los actores sociales involucrados. Además, permite analizar la eficiencia de las medidas de mitigación. Este método toma en consideración la incertidumbre, la experiencia, la intuición, la información y conocimientos subjetivos de los expertos o de los sectores afectados. En general, la técnica se basa en un conjunto de nueve indicadores de impacto valorados en una escala ordinal. Estos indicadores son combinados creando conjuntos triangulares difusos (Zadeh 1965) que, a través de reglas de inferencia y métodos de defuzificación (Bojadziev 1995) se obtiene el valor que represente de la mejor manera la información contenida en el conjunto difuso de impacto. Las medidas de mitigación son evaluadas con la misma escala ordinal y permiten valorar la significancia del impacto final. Las percepciones y estimaciones de los impactos ecológicos de cada sector involucrado se presentan en forma de mapas.

El método se presenta con un ejemplo sobre el proyecto carretero La Venta-Colegio Militar que se encuentra en la porción sur occidental de la Ciudad de México. La técnica es aplicada para valorar los impactos ecológicos de la construcción de la autopista sobre la cobertura vegetal (hasta 500m de cada lado de la autopista). Los impactos fueron estimados por tres diferentes actores sociales involucrados en el proyecto.

Los resultados demuestran que a pesar de que los actores sociales perciban a los impactos de diferente manera de acuerdo a los intereses y principios que les convengan, la importancia y las oportunidades en implementar medidas correctivas modifican la intensidad de las significancias de los impactos. El uso de Sistemas de Información Geográfica además de permitir almacenar, analizar e integrar toda la información (Azuares y Ramírez 1994), ofrece la ventaja de dar una dimensión física al problema y priorizar las alternativas de acción. La lógica difusa integra la incertidumbre asociada al describir el fenómeno (Davidson, Theodoropoulos y Bloksma 1994) y la información subjetiva proporcionada por expertos o actores sociales. Este método incrementa el análisis de las percepciones de los grupos involucrados, además de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Durante los años 60s y debido a la práctica de actividades de desarrollo, se incrementaron las preocupaciones hacia la degradación de la calidad ambiental. En respuesta a éstas críticas hacia los gobiernos de muchos países, se establecieron políticas ambientales que demandan la realización de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) antes de la realización de cualquier proyecto de desarrollo (Ortolano 1997).

En Estado Unidos, en 1969, se institucionalizó la "National Environmental Policy Act" que promueve una productividad y armonía entre la gente y el medio ambiente. Por otro lado, propone un mayor entendimiento de los sistemas ecológicos y los recursos naturales (Holling 1978, Ortolano 1997, Rau y Wooten 1996).

El marco jurídico de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) en México se encuentra en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y en el Reglamento de Impacto Ambiental de la Ley de Ecología. La Dirección General de Ordenamiento de Zonas Ecológicas de Impacto Ambiental del Instituto Nacional de Ecología (INE), que forma parte de la SEMARNAP, es la responsable de evaluar las EIA federales (Diario Oficial 1988).

Según la ley, una Evaluación de Impacto Ambiental está encaminada a proteger al ambiente, preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo los efectos negativos de las actividades humanas sobre el ambiente. Se requiere de una EIA cuando se pretendan realizar obras y actividades que puedan causar un "desequilibrio ecológico" o rebasar los límites establecidos en las leyes ambientales o Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables. Tal es el caso de las vías generales de comunicación, obras hidráulicas, explotación de minerales, plantaciones forestales, obras en áreas naturales protegidas, actividades pesqueras y desarrollos inmobiliarios, entre otros.

Desde el punto de vista teórico, una Evaluación de Impacto Ambiental es una herramienta de planeación que provee la información necesaria para valorar las posibles consecuencias positivas y negativas de un proyecto de desarrollo (Beattie 1995, Harashina 1995, Holling 1978; Parashar y Paliwal 1997; Pisanty-Levy 1993), sirve para reconocer los efectos de actividades causadas por el hombre al ambiente. De acuerdo con Bojórquez-Tapia (1994) el objetivo de una EIA es minimizar los impactos negativos que generan los conflictos ambientales, así como determinar las medidas de mitigación adecuadas para proteger al ambiente. Los conflictos ambientales aparecen cuando existen diferentes perspectivas de desarrollo y del mejoramiento de la calidad ambiental (Bowonder 1987), debido a la disminución de la calidad de vida y del bienestar de los actores sociales involucrados o afectados.

Ya que una EIA es fundamental en la toma de decisiones para asegurar la prevención de los posibles conflictos ambientales, debe de contener las bases técnicas de negociación entre sectores (Crowfoot y

Wondolleck 1990). Esto se logra con información analítica y predictiva, al igual que datos y suposiciones bien fundamentados (Davis 1989; Beattie 1995), así mismo, debe de incorporar la opinión pública dentro del análisis.

Para la elaboración de una EIA no existe un método específico ni un patrón bien definido, ya que los aspectos dependerán del tipo de proyecto sobre el que se va a aplicar, las características ambientales del sitio del proyecto, de la intensidad y extensión de los posibles impactos generados y de la profundidad de la modalidad de Evaluación de Impacto Ambiental requerida. Con respecto a este último punto, la ley en la materia considera tres modalidades: el Informe Preventivo, la Manifestación de Impacto Ambiental y el Estudio de Riesgo (Diario Oficial 1988). En general, los lineamientos básicos para llevar a cabo una Evaluación de Impacto Ambiental de manera competente son la caracterización ambiental, la predicción y el análisis de los impactos (Bojórquez-Tapia 1989).

La primera etapa para la realización de una EIA consiste en identificar los componentes ambientales más importantes, así como las actividades del proyecto (Bojórquez-Tapia 1989; Bojórquez-Tapia y García 1998; Parashar et al 1997). Para ello es necesario contratar equipos de especialistas en áreas relacionadas a flora, fauna, geología, hidrología, y a fin de describir las relaciones entre las variables del ecosistema. A través de reuniones multidisciplinarias, en el siguiente paso es indispensable predecir los posibles impactos. La interacción de matrices es uno de los métodos más utilizados y da los mejores resultados, la cantidad de información se reduce y permite identificar los impactos más relevantes. Los diagramas de flujo describen las relaciones causa y efecto de los componentes ambientales del sistema (Bojórquez-Tapia 1989). Para lograr entender el comportamiento de las variables es necesaria la ayuda de modelos de simulación cualitativos (Holling 1978; Kane 1972), crear diferentes escenarios para identificar los componentes ambientales más sensibles, y de esta manera valorar la significancia de impacto para establecer las medidas correctivas, programas preventivos y alternativas del proyecto. Finalmente, el reporte de los resultados se presenta en una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA).

A pesar de que existan leyes para proteger a los ecosistemas y se hagan esfuerzos por combinar el desarrollo socioeconómico y la conservación de los recursos naturales, las EIA son aún incipientes. Infortunadamente, las EIA han fracasado como herramienta de planeación debido a las dificultades técnicas en predecir impactos (Lawrence 1993; Lee 1998; Ross 1994), por la falta de fondos económicos, de expertos, de información y de tiempo, y principalmente por razones administrativas, institucionales y burocráticas (Pisanty-Levy 1997).

De acuerdo con Bojórquez-Tapia y García (1998), es importante mencionar que muchas de las EIA que han sido aprobadas en México, suelen ser descripciones incoherentes, utilizan métodos predictivos sin rigor científico y las conclusiones suelen estar mal fundamentadas. Esto demuestra la falta de conocimientos y de experiencia por parte de las autoridades al permitir la ejecución de proyectos de desarrollo, que aumentan los posibles conflictos ambientales. Aunado a los intereses políticos y económicos que puedan presentarse.

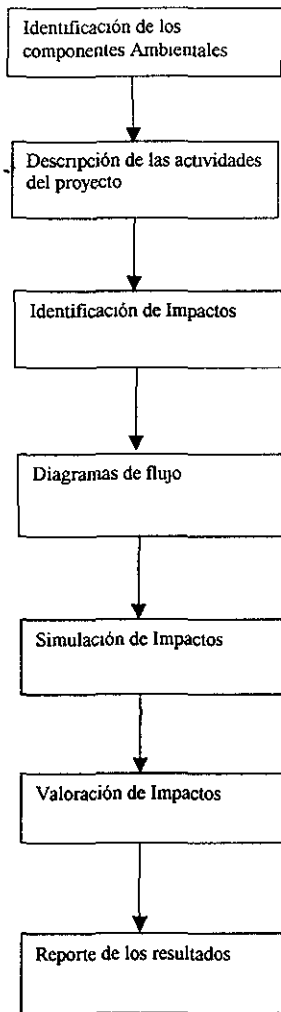


Figura 1. Diagrama de flujo de los lineamientos básicos para realizar una Evaluación de Impacto Ambiental.

II. 2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta poderosa que facilitan el análisis requiriendo en las Evaluaciones de Impacto Ambiental. Un SIG es un conjunto de programas de computadora que sirve para compilar, almacenar, analizar, manipular y desplegar datos con una misma referencia espacial (Azua y Ramírez 1994; Burrough 1989; Congalton 1992; Foote S/A). En general, los Sistemas de Información Geográfica incluyen tres tipos de componentes: tecnológicos (material y equipos de cómputo), informativos (bases de datos geográficos) y de infraestructura (personal capacitado, instalaciones y servicio de mantenimiento) (Dickinson and Calkins 1998). La información espacial proviene de diversas fuentes tales como datos de campo georreferenciados, mapas impresos, imágenes satélite y fotografía aérea, que deben transformarse a un formato digital. Esta transformación se puede realizar por diversos métodos como el de barrido o "escaneado", el cual consiste en desplazar un "scanner" sobre el mapa para lograr una imagen digital. Con una tableta digitalizadora que transfiere las coordenadas (x, y) en señales eléctricas hacia la computadora y, si se trata de imágenes de satélite, la información se registra directamente en formato digital.

Los formatos raster y vectorial son los principales modelos de almacenamiento de información en un Sistema de Información Geográfica. Sus características principales son la capacidad de adaptación a algún sistema de coordenadas (UTM, latitud- longitudud o x, y) y la organización en "capas" de información. En formato vectorial, el conjunto de objetos se representa a partir de puntos, líneas y polígonos, definidos por coordenadas reales (x, y) (Azua y Ramírez 1994). De manera general, en este formato se requiere menos memoria de almacenamiento, las capas tienen poco contenido de información y debido a su naturaleza lineal es ideal para representar límites administrativos, ríos, redes telefónicas, eléctricas o de gas. Por otro lado, en el formato raster el mundo real es representado por una sucesión regular de celdas o píxeles, donde cada píxel o unidad básica toma un valor numérico y la resolución es inversa a su tamaño (Groupe Système d'Information Géographique S/A). En este formato el espacio de almacenamiento es mayor, los datos son fáciles de manejar, asegura una compatibilidad con las imágenes de satélite y de video digital, y ofrece ventajas cuando se realizan análisis de recursos naturales.

Las operaciones realizadas con comandos y las reglas de análisis definidas por el usuario, forman parte de la manipulación y del análisis de datos (Azua y Ramírez 1994). La información incorporada a un Sistema de Información Geográfica se distingue por las variables discretas (tipos de suelo o vegetación) y continuas (rangos de temperatura, precipitación, elevación). Los mapas que relacionan un número con un nombre por ejemplo 1= bosque de pino, 2= matorral xerófilo son llamados nominales, los mapas binarios indican la presencia o ausencia de un elemento, los ordinales utilizan números para dar un rango de valor (1=muy alto, 2=alto), los de intervalo no tienen un cero verdadero (1=10-15°, 2= 15-20°) y por último los mapas de razón presentan un valor de cero verdadero (0=0 msnm). De esta manera, una o más capas de información pueden ser algebraicamente combinadas y transformadas en nuevas "capas" para su análisis posterior. Los datos de salida pueden ser mediante el despliegue de mapas, tablas o gráficas.

En nuestros días, diversos sistemas de software para Sistemas de Información Geográfica han sido desarrollados y su uso depende de la cantidad de información manejada, del equipo de cómputo disponible, así como de su capacidad de análisis. IDRISI, Arc/INFO, Arc View e ILWIS son algunos ejemplos de los Sistemas de Información Geográfica disponibles en el mercado (Fuente, S/A). El sistema GRASS (Geographical Resources Analysis Support System) presenta ventajas sobre los antes mencionados, ya que sus diferentes versiones están disponibles gratuitamente en internet, su capacidad de análisis es poderosa para la modelación espacial de procesos ecológicos y no presenta limitaciones en la cantidad de información a manejar. Sin embargo, debido a que este programa se diseñó como procesador de imágenes presenta limitaciones en el formato vectorial.

Por su capacidad de almacenar grandes cantidades de información georreferenciada y atributaria, de separarla en capas, de combinarlas, de modificarlas e integrarlas, los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en una importante herramienta en la toma de decisiones de los planes de manejo. Por esto, la aplicación de Sistemas de Información Geográfica es cada vez más eficiente en análisis de recursos naturales, planeación de uso del suelo, bioconservación, infraestructura, análisis demográficos y Evaluaciones de Impacto Ambiental.

II. 3. LÓGICA DIFUSA

Matemáticamente, un conjunto se define como una colección de objetos con una misma característica, y los objetos individuales de dicha colección se dice que son elementos del conjunto o que pertenecen al conjunto. Por definición los objetos pueden o no pertenecer al conjunto, pero nunca pertenecer parcialmente. A dichos conjuntos se les denomina "CRISPY". En 1965, Lofti Zadeh introduce la lógica difusa basada en una teoría de conjuntos difusos, donde un elemento no necesariamente pertenece o no a un conjunto, sino que hay un continuo de "grados de pertenencia" (Figura 2)

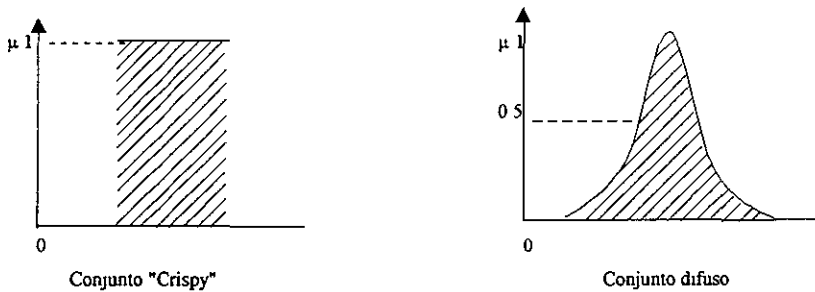


Figura 2 Función de membresía de un conjunto "crispy" y función de membresía de un conjunto difuso.

En la década de los 60's se creía que en los años venideros el hombre llegaría a construir máquinas "pensantes". Sin embargo, pasadas tres décadas no se ha podido cumplir con esta meta y aún las computadoras no logran simular el razonamiento de los humanos porque están facultadas para trabajar con matemáticas precisas, mientras que el mundo real está lleno de imprecisión, incertidumbre, experiencia e intuición (Masayuki Oyagi S/A). La lógica difusa pretende ligar la incertidumbre del mundo real con la precisión de modelos matemáticos; intenta aplicar un razonamiento más humano al lenguaje de las computadoras, es decir, subjetivo, incierto y flexible (Maki Arao S/A). Permite encontrar todos los valores posibles entre el SI/NO, VERDADERO/FALSO, 1/0, FRÍO/CALIENTE o BLANCO/NEGRO (Roman Winkler S/A).

Los sistemas y fenómenos que vivimos a diario son imprecisos, es decir, al describir su naturaleza existe una incoherencia entre el mundo real y el propio entendimiento. En algunos casos, el mismo concepto puede poseer distintos grados de imprecisión de acuerdo al contexto o al tiempo, así como de la información y juicios subjetivos de quien define al conjunto, o las diferentes percepciones de un fenómeno (Hirohide Usuda S/A). Tal es el caso de la valoración de los impactos ambientales. Esta evaluación refleja los intereses y

preferencias de la sociedad, al considerar el costo o beneficio ambiental en la implementación de proyectos de desarrollo

Matemáticamente, la lógica difusa se expresa de la siguiente manera

Sea U nuestro universo cuyos elementos denotaremos x . Un conjunto difuso (FS, por su nombre en inglés "fuzzy set") A de U es el conjunto de pares ordenados.

$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U, \mu_A(x) \in [0,1] \right\} \quad (1)$$

Donde $\mu_A(x)$ es llamada la *función de membresía* (FM) del conjunto difuso A y es tal que:

$$\mu_A(x): U \rightarrow [a_1, a_2] \quad (2)$$

Por simplicidad Zadeh (1965) considera que.

$$\mu_A(x) \rightarrow [0, 1] \quad (3)$$

La definición de un conjunto difuso establece el comportamiento del mismo en el sistema. Por esto, es importante seleccionar las funciones de pertenencia o de membresías adecuadas. Mientras más se aproximen estas funciones al comportamiento del fenómeno, de mejor manera se reflejará el mundo real, sin embargo, su definición es subjetiva (Bock y Salski 1998).

La función de membresía (μ_A) señala el grado en que un elemento x de A pertenece a este conjunto difuso. Mientras más cercano a 1 sea este valor, el grado de pertenencia es mayor. Si el valor es 0 no existe un valor de membresía al conjunto. Estas funciones definen las características de cada una de las variables lingüísticas, cuyos valores son palabras o frases en un lenguaje natural, son calificativos del conjunto difuso (nulo, bajo, alto, muy alto, rápido, viejo, rojo, etc). De acuerdo al problema a solucionar y con el conocimiento de los expertos se describen las funciones del sistema, las cuales pueden ser triangulares, trapezoidales, parábolas o de cualquier otro tipo. Cabe mencionar que existe un número indefinido de ellas para cada sistema, debido a los diferentes juicios y a la subjetividad de la información (Hirohide Usida S/A).

Siguiendo el ejemplo de los impactos ambientales, éstos podrían evaluarse en diferentes categorías dependiendo de la intensidad del impacto, por ejemplo: impacto nulo, impacto bajo, impacto alto e impacto muy alto. Sin embargo, el rango de cada categoría variará en función de las percepciones e intereses de quien define el fenómeno.

Los números triangulares difusos son frecuentemente utilizados ya que su representación gráfica y operaciones son simples (Figura 3). Además es importante mencionar que se pueden construir fácilmente con poca información (Bojadziev 1995) Los extremos derecho e izquierdo del triángulo especifican los puntos en donde el conjunto difuso toma un valor de pertenencia o membresía de cero, y en el pico del triángulo el valor de pertenencia es igual a uno. ~

Al igual que en los conjuntos *crispy*, en los conjuntos difusos se pueden realizar operaciones de intersección, unión y negación o complemento. Lofti Zadeh (1965) propuso el "operador mínimo" para la intersección (4) y el "operador máximo" para la unión (5).

Intersección

$$C = A \cap B$$

$$\mu_A(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4)$$

Unión

$$D = A \cup B$$

$$\mu_D(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (5)$$

Complemento de A

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (6)$$

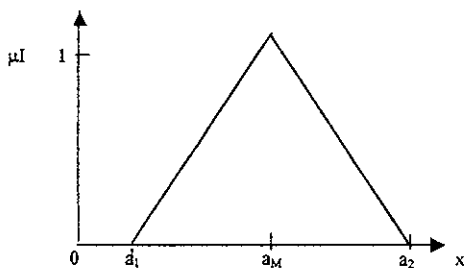
Las reglas de inferencia son el producto de las variables lingüísticas. En otras palabras es la relación que existe entre los conjuntos difusos y están designadas para tener una conclusión o consecuencia del problema. La evaluación de las posibles relaciones entre conjuntos originan un nuevo conjunto difuso asociado a la solución del sistema. De acuerdo con Bojórquez-Tapia (1998) el impacto de la construcción de la carretera La Venta- Colegio Militar sobre la cobertura vegetal puede ser estimado a través de los índices *b* y *k*. Los detalles se encuentran en el método y en el correspondiente artículo.

Por ejemplo, al correlacionar a los conjuntos difusos de *b* y *k* se produce un tercer conjunto difuso que representa la solución de la variable Impacto (*s*).

"Si *b* es bajo y *k* es alto entonces el Impacto (*s*) es alto"

La parte "Si. ." es llamada condición y la parte "entonces. ." es la conclusión. Estas reglas de inferencia pueden ser llevadas a una tabla de decisiones (Tabla 1).

Figura 3. Función de membresía triangular del conjunto difuso de Impacto Bajo El eje de las ordenadas expresa el grado de pertenencia o membresía de la(s) variable(s) lingüística(s) representadas en el eje de las abscisas. Los puntos a_1 y a_2 toman un grado de membresía de cero al conjunto difuso de Impacto Bajo El grado de membresía del punto a_M es de uno.



Conjunto triangular difuso de Impacto Bajo

$$\mu_S(x) = \begin{cases} (x-a_1)/(a_M - a_1) & \text{para } a_1 \leq x \leq a_M \\ (x-a_2)/(a_M - a_2) & \text{para } a_M \leq x \leq a_2 \\ 0 & \text{de otra manera} \end{cases} \quad (7)$$

En donde $[a_1, a_2]$ es el intervalo supuesto y el punto $(a_M, 1)$ es el pico del triángulo

Existen varios métodos para determinar el valor ideal del nuevo conjunto difuso, conocidos como "métodos de descomposición" o "defuzificación". Su objetivo es encontrar el valor que represente de la mejor manera la información contenida en el nuevo conjunto difuso.

Uno de los métodos de defuzificación más utilizados es el del "centro de gravedad" o "centroide", ya que es fácil de calcular, el valor de salida, o valor defuzificado tiende a moverse suavemente a través de su región difusa y asimila toda la información o conocimientos acumulados en el último conjunto difuso.

Sin embargo al igual que las funciones de membresía, el método de defuzificación ajustado depende de la infraestructura del sistema.

Aritméticamente, el centroide de la región difusa de C está definido por

$$R \leftarrow \frac{\sum d_i \mu_C(d_i)}{\sum \mu_C(d_i)} \quad (8)$$

en donde d_i es el valor del dominio y $\mu_C(d_i)$ es el grado de membresía para ese punto del dominio.

La defuzificación forma parte de la fase final del razonamiento difuso, en donde los valores de salida de los nuevos conjuntos difusos son transformados a un valor "crispy". De esta manera, la estimación del "centroide" (R), en el caso de los impactos ambientales representa la significancia del impacto, o bien, el punto que contiene la mayor información de los criterios empleados (Figura 4).

La lógica difusa, fuzzy o borrosa ha sido aplicada en áreas tan diversas como el control, la medicina, la biología, la ecología, la política, las matemáticas, la física, la sociología, las finanzas, la psicología y la ingeniería (Hirohide Usida S/A).

Tabla 1 Tabla de decisiones: SI . . y ... ENTONCES las reglas. El caso de los conjuntos difusos de b, k e Impacto. Las variables lingüísticas de los conjuntos difusos son: (N) nulo, (B) bajo, (A) alto y (M) muy alto

<i>b</i>	<i>k</i>			
	<i>N</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>M</i>
<i>N</i>	N	B	B	M
<i>B</i>	B	A	A	M
<i>A</i>	A	A	M	M
<i>M</i>	M	M	M	M

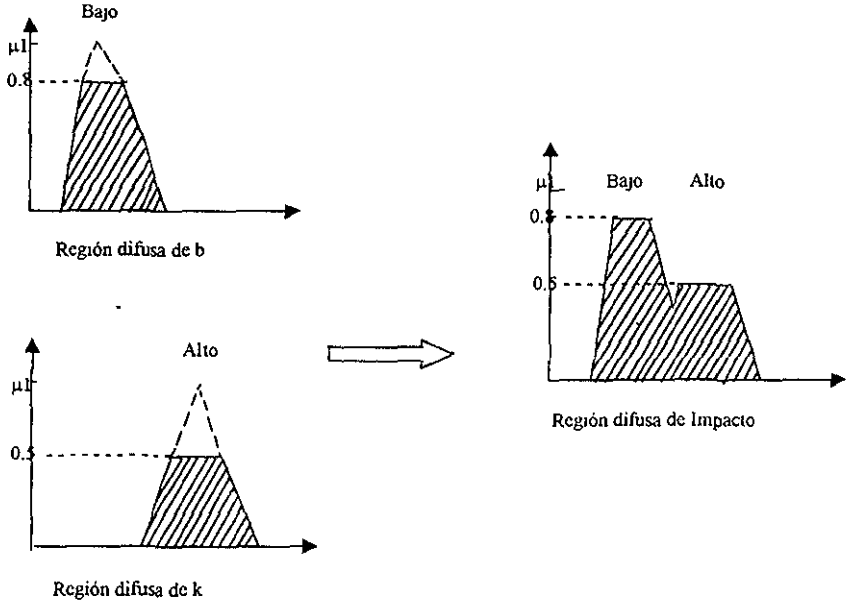


Figura 4. Proceso de defuzificación de los conjuntos difusos b y k produciendo el conjunto difuso de Impacto. El grado de membresía del conjunto difuso b de bajo es de 0.8 y del conjunto difuso k de alto es de 0.5. Estos grados de membresía son los puntos en donde se truncan las funciones. De acuerdo a las reglas de inferencia el centroide del conjunto difuso de Impacto se encuentra en la categoría de los Altos

III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 5) se encuentra en el extremo sur occidental de la zona urbana de la Ciudad de México, comprende la autopista La Venta- Colegio Militar. Su ubicación geográfica está entre los 99° 20', 99° 10' longitud oeste y los 19° 10', 19° 20' latitud norte. Se incluye en la porción oriental de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. Presenta dos unidades morfoestructurales (1) Talud Transicional y (2) Estructuras Tectovolcánicas mayores (López Recéndez 1987).

El trazo de la autopista abarca 224 ha, su longitud es de 23.3 km a partir del entronque con la carretera de cuota a Toluca hasta la autopista de cuota a Cuernavaca a la altura del Colegio Militar. La carretera cruza cuatro delegaciones del Distrito Federal: Cuajimalpa, Alvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan.

Clima

El tipo de clima del área de estudio es templado lluvioso con verano fresco largo (C(w2)(w)b(i')), García (1988). La temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C. El cociente de precipitación/temperatura es mayor a 55 por lo que se considera el subtipo más húmedo de los subhúmedos. La humedad relativa promedio se encuentra en el rango de los 50 y 60% en la época de secas, mientras que en época de lluvias el valor es de 75 al 80%.

Geología

En la zona de influencia del trazo afloran rocas de dos grandes unidades litológicas, correspondientes a las sierras de las Cruces y Chichinautzin, agrupadas en tres formaciones geológicas principales. Formación Las Cruces, Formación Tarango y Formación Chichinautzin.

Suelos

En la zona de estudio se distinguen tres unidades de suelo (FAO 1988): Cambisoles, Andosoles y Litosoles. Los cambisoles son suelos de textura franco-arenosa-limosa. Presenta colores amarillos, en seco, y café, en húmedo. El contenido de materia orgánica es de medio a alto (2-6%) y su profundidad va de los 6 a los 80 cm. La capacidad de aireación, la densidad de raíces, así como la capacidad de retención de agua, es alta. El uso actual de la unidad de cambisoles es habitacional, forestal y agrícola. La agricultura es de temporal, siendo los principales cultivos maíz, haba, frijol y avena. El uso forestal es para plantaciones de pino y encino.

Las características de los andosoles son las siguientes: muestran un horizonte único de 10 cm de espesor, la acumulación de materia orgánica es media (2-3%), los colores varían de café a negro y la textura es francoarenosa. La penetrabilidad de raíces es muy buena, presentan alta capacidad de aireación y baja capacidad de retención de agua. Estos suelos no muestran indicios de erosión. El uso actual de estos suelos es habitacional y agrícola en menor grado. Los litosoles son suelos con bajo contenido de materia orgánica, así como la capacidad de retención de agua. El tipo de vegetación presente en este tipo de suelo es matorral xerófito. El uso actual y potencial de estos suelos es el de reserva ecológica y recarga de acuíferos.

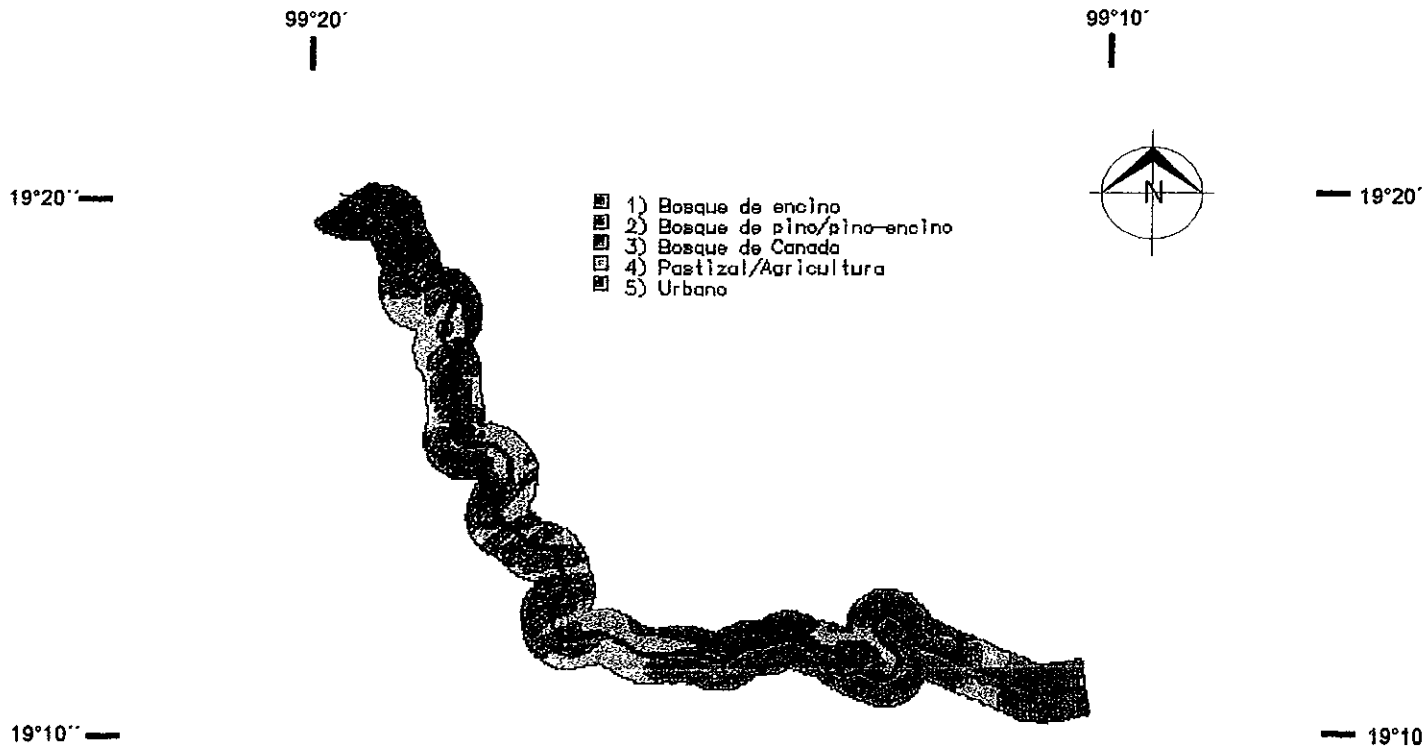


Figura 6. Tipos de Vegetación a 500 m en ambos lados de la carretera La Venta-Colegio Militar

Resolución : Pixel = 484 m²

La vegetación del área de estudio se caracterizó mediante la revisión de las siguientes fuentes. Benítez (1986), Madrigal (1967), Nieto (1987), Reyes (1988), Rzedowski (1954 y 1978), Soberón et al (1991) y Vázquez (1987, 1988). La información se seleccionó considerando aquellas fuentes que hacen referencia a la vertiente norte de la Sierra del Chichinautzin y a la Sierra de las Cruces, en la porción sur de su vertiente oriental. El área de estudio presenta cuatro tipos de vegetación, distribuidos a lo largo de un gradiente altitudinal y climático (Figura 6).

Los bosques de pino y pino-encino se distribuyen por debajo de los 2,800 msnm, en suelos húmedos y bien drenados. Este tipo de vegetación comprende un gradiente de masas forestales, desde las casi puras de pinos hasta las casi exclusivas de encinos. Las principales especies de pinos son *Pinus montezumae*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus* y *P. patula*, mientras que las especies más comunes de encinos son *Quercus laurina*, *Q. castanea*, *Q. centrals*, *Q. crassipes*, *Q. lanceolata*, *Q. obtusa* y *Q. rugosa*. En altitudes mayores a 3,500 msnm, sin embargo, se encuentran masas puras y muy abiertas de *P. hartwegii*. Esta especie resiste las condiciones de baja humedad y baja temperatura prevalcientes en esos sitios. En estos bosques la diversidad local de fauna es media y la cantidad de especies endémicas o en peligro de extinción es baja.

En la Sierra de las Cruces, el estrato arbóreo está dominado por *Pinus occidentalis*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *Q. laurina*. En la Sierra Chichinautzin el bosque de pino está dominado por *Pinus hartwegii*, *P. leiophylla*, y *P. teocote*.

Por ubicarse en altitudes medias y bajas de la zona de estudio, son el tipo de bosque más vulnerable a la destrucción provocada por el crecimiento de la ciudad. La tala clandestina para la producción de leña es uno de los principales agentes de disturbio, los incendios forestales provocados por el hombre son otra fuente de alteración.

El bosque de encino se caracteriza por la dominancia de especies de *Quercus sp*. A menudo, este tipo de vegetación está formado por masas puras, principalmente de *Q. rugosa*. El bosque de encino ocupa una zona delimitada por las cotas altitudinales de 2,500 y 2,800 msnm, sobre suelo escaso, comúnmente en exposición sur o suroeste y en la zona de pedregal del Ajusco. La estructura del bosque de encino depende de su edad. En los bosques jóvenes, el dosel es de un solo estrato de 20m y, en los bosques maduros, el dosel tiene dos o tres estratos, siendo el superior de 20 a 25m.

En la Sierra de las Cruces, el bosque de encino se caracteriza por un estrato arbóreo dominado por *Quercus crassipes* y *Q. mexicana*, encontrándose también algunos individuos de *Q. laurina*. En la Sierra Chichinautzin, el estrato arbóreo está dominado por *Q. rugosa* y *Q. laurina*, acompañados por *Arbutus glandulosa* y *Buddleia cordata*.

Debido a que tienen una distribución similar a los bosques de pino- encino, son objeto del mismo tipo de problemas. Por el contrario, presentan una alta diversidad local de fauna y pocas especies en peligro de extinción o endémicas.

El oyamel es un componente importante de la vegetación de cañadas que, por ser húmedas y frescas, pueden albergar a esta especie aún en áreas por debajo a los 2,500 msnm. En estas zonas, suele combinarse con elementos de bosques de pino y pino- encino, dependiendo de la altitud y de la orientación. Las cañadas con orientación norte son más húmedas y frescas, por lo que el oyamel es dominante. Otras especies comunes en estos ambientes son *Quercus laurina*, *Prunus brachybotrya*, *Cornus disciflora*, *Cupressus linleyi*, *Rubus sp.*, *Alnus sp.*, *Garriga laurifolia* y *Pinus patula*. Las cañadas de orientación sur y suroeste son las más secas y en ellas dominan especies de pino y encino. Por ubicarse en áreas protegidas con microclimas húmedos y suelos ricos, estos bosques presentan la mayor diversidad de especies en la zona de estudio.

La estructura de los bosques de cañada es más compleja que la de los demás tipos de bosque reportados en la zona. La altura media del dosel varía entre 10 y 40 m, con dos o tres estratos. El estrato arbustivo y herbáceo es rico en especies y tiende a ser denso en las cañadas más húmedas. Su complejidad estructural ofrece una variedad de hábitats para la fauna. Los bosques de cañada, debido a su inaccesibilidad, han sido poco perturbados, sin embargo, las cañadas que colindan con las áreas urbanas han sido deforestadas para dar lugar a asentamientos irregulares. La cantidad de especies endémicas o en peligro de extinción es muy alta, a pesar de que la diversidad local de fauna sea baja.

Los pastizales inducidos son característicos de zonas deforestadas, generalmente la vegetación es secundaria. El único estrato es el herbáceo. Las especies dominantes son *Muhlenbergia macroura*, *Festuca amplissima*, *Agrostis bourgaei* y *Brommus exaltatus*.

La agricultura se limita al cultivo de maíz, avena forrajera, haba, calabaza y frijol. El área agrícola -pastizal-urbano ocupa la mayor superficie de la zona de estudio.

La lista regional de especies de vertebrados (Apéndice I, Casas Andreu 1989, Ceballos y Chávez en prensa, Ceballos y Galindo 1984, Escalante et al. 1993; Flores Vilella 1993; Gonzalez y Rangel 1992, Lara 1983, Peterson y Chalif 1989; Sánchez et al. 1983, Uribe et al. 1989, Villa 1953 y Wilson y Ceballos-Lascurain 1993) incluye a las especies que habitan en la región montañosa del este y sur de la Ciudad de México. Contiene 279 especies que representan el 11% de la riqueza nacional. Se registran 53 especies de vertebrados endémicos del país, siendo los reptiles la Clase con el mayor número de especies, seguida por aves, mamíferos y anfibios. Por lo menos 32 especies se encuentran en riesgo de extinción en las Estructuras Tectovolcánicas (SEDESOL 1994). Estas últimas corresponden a la Sierra de las Cruces y a la Sierra Chichinautzin. La mayoría de las especies en riesgo pertenecen a la Clase Aves, seguida de Mamíferos, Reptiles y Anfibios.

En las Estructuras Tectovolcánicas las especies de géneros endémicos son el conejo de los volcanes (*Romerolagus diazi*) y el gorrón de Bailey (*Xenospiza bailey*). Las especies exclusivas a las Estructuras Tectovolcánicas son las siguientes: la víbora de cascabel del Ajusco (*Crotalus transversus*), una salamandra (*Pseudoerycea altamontana*) y dos lagartijas (*Sceloporus anahuacus* y *S. Spinosus*) (Flores- Vilella 1993, Lara 1983). La diversidad de la zona afectada por el trazo de la carretera es menor que la lista regional de especies de vertebrados. Esto se debe a que el área impactada por la carretera es sólo una pequeña porción de las Estructuras Tectovolcánicas y a que el trazo cruza tanto áreas conservadas como perturbadas.

De acuerdo con Ceballos y Galindo (1984), Lara (1983) y Velázquez (1990), existe una estrecha relación entre el tipo de vegetación, asociaciones vegetales y microhábitats, con la distribución y densidad poblacional de las especies de vertebrados terrestres. Las comunidades animales de las Estructuras Tectovolcánicas muestran diferencias profundas en composición, riqueza de especies y abundancias relativas, asociadas con la composición, diversidad y estructura de las comunidades.

Se encuentran cuatro patrones generales de distribución: (1) Las áreas caracterizadas por bosques densos tienen mayor número de vertebrados terrestres, (2) la mayor diversidad de especies se localiza en los bosques de cañada, seguida por los bosques de encino y bosques de pino, (3) existen decrecimientos pronunciados en la diversidad a lo largo de gradientes altitudinales, y (4) en tipos de vegetación menos diversos hay concentraciones de especies endémicas o en peligro de extinción.

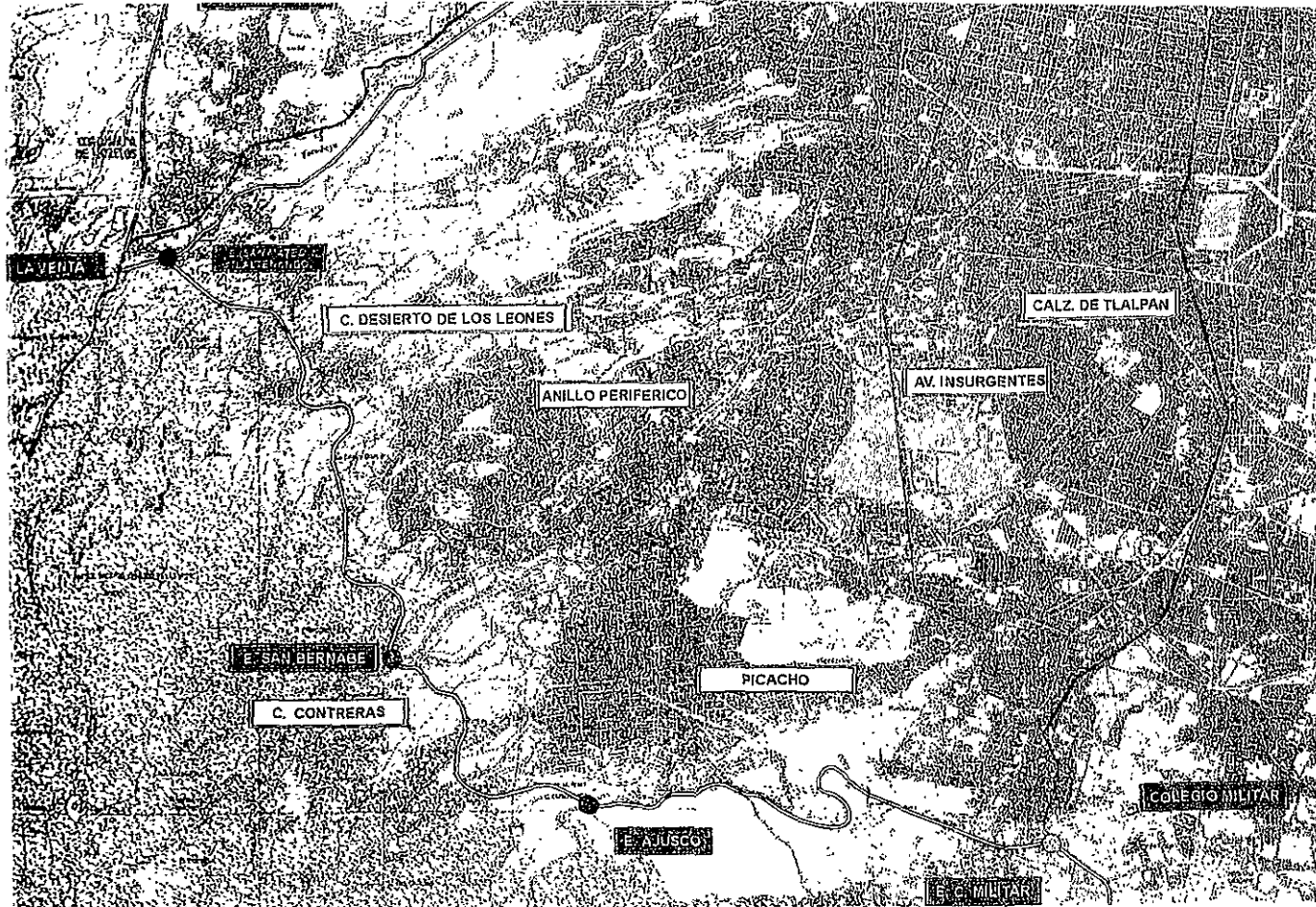
La mayor diversidad de especies se localiza en los bosques densos, por lo que, las zonas a lo largo del trazo de la carretera más importantes para la fauna son el Ajusco Medio y la Cañada de Contreras.

Los problemas más graves que enfrentan las especies en estas zonas son la destrucción de su hábitat y, en menor escala, la cacería y los efectos de la contaminación.

En la zona de estudio se encuentran los tres parques nacionales del Distrito Federal: Parque Nacional Cumbres del Ajusco, Parque Nacional Desierto de los Leonés, Parque Nacional Lomas de Paciencia, así como el Parque Ecológico de la Ciudad de México.

Además de la agricultura, las actividades pecuarias y la producción forestal son las actividades productivas más importantes dentro del área de estudio. La primera incluye al ganado bovino, porcino, caprino y ovino, así como la crianza de aves de corral. La producción forestal se presenta en aprovechamiento de productos maderables y recolección de resinas o leña.

El proceso socioeconómico más importante que se observa en el área de estudio es la expansión a tasas muy elevadas de la mancha urbana, con la consiguiente transformación de uso del suelo.



**ENTRONQUE CON AUTOPISTA
A CUERNAVACA**



ENTRONQUE SAN BERNABE



ZONA URBANA



ENTRONQUE PICACHO - AJUSCO



**ENTRONQUE CON AUTOPISTA
A TOLUCA**



ZONA DE CONSERVACION

Figura 5. Area de estudio

IV. METODO

IV. 1. Sistemas de Información Geográfica.

El Sistema de Información Geográfica utilizado en este estudio fue GRASS (Geographical Resources Analysis Support System), el cual se instaló en una estación de trabajo Sun Sparcstation 10, con sistema operativo Solaris 2.3.

Por medio de una tableta digitalizadora Numonics 2200, con el paquete cartográfico AU2 (ICFA 1987), los datos geográficos se capturaron y transfirieron a capas de información digitales raster. La edición y etiquetado de los polígonos de los mapas se realizó en el programa Roots (Corson-Riket 1990) Dichas capas incluyeron el trazo de la carretera y la cobertura vegetal (Figura 5)

Las capas de datos geográficos se manipularon a través de procedimientos en GRASS, abarcaron operaciones tales como sumas y multiplicaciones de mapas. Ello permitió desarrollar modelos espaciales para determinar las significancias de impactos ecológicos de la construcción de la carretera sobre la cobertura vegetal. Los resultados de los diferentes actores involucrados se presentaron en mapas y tablas.

IV. 2. Significancia de Impactos Ecológicos.

IV. 2. 1. Membresías de Impacto con base en b y k .

La estimación de los impactos ecológicos de la construcción de la carretera sobre la cobertura vegetal se basó en el algoritmo propuesto por Bojórquez-Tapia (1998):

$$s_y = b_y \varphi \quad (9)$$

$$\varphi = 1 - k_y$$

$$b_y = 1/27 (M_y + E_y + D_y) \quad (10)$$

$$k_y = 1/27 (S_y + A_y + C_y) \quad (11)$$

$$s = \text{Impacto}$$

Donde	M	= Magnitud
	E	= Extensión
	D	= Duración
	S	= Sinergia
	A	= Acumulación
	C	= Controversia
	i	= Construcción de la Autopista
	J	= Cobertura Vegetal

La asignación de valores para cada criterio siguió la siguiente escala: nulo (0), nulo a bajo (1), muy bajo (2), bajo (3), bajo a moderado (4), moderado (5), moderado a alto (6), alto (7), muy alto (8) y extremadamente alto (9). Esta asignación de valores hipotéticos fue propuesta por mis compañeros del laboratorio que actuaron como los diferentes actores sociales involucrados en el proyecto de desarrollo y defendieron los intereses del sector que representaban (Sector Conservación, Sector Industrial y Colonos). Siendo U el universo cuyos elementos se denotan x para b, k y s , los conjuntos difusos b, k y s de U fueron definidos con cuatro variables lingüísticas (Nulo, Bajo, Alto y Muy Alto), que matemáticamente se expresaron de la siguiente manera:

$$b, k, s = \left\{ \begin{array}{l} \{(x, \mu_N(x) \mid x \in N, \mu_N(x) \in [0,1])\} \\ \{(x, \mu_B(x) \mid x \in B, \mu_B(x) \in [0,1])\} \\ \{(x, \mu_A(x) \mid x \in A, \mu_A(x) \in [0,1])\} \\ \{(x, \mu_M(x) \mid x \in M, \mu_M(x) \in [0,1])\} \end{array} \right\} \quad (12)$$

El comportamiento de las variables lingüísticas de los conjuntos difusos b, k y s se definieron como funciones triangulares difusas (Figura 7).

$$\mu_{b, k, s, d, va}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \mu_N(x) = \begin{cases} 1 & \text{para } 0 \geq x \leq 0.125 \\ -4x + 1.5 & \text{para } 0.125 > x \leq 0.375 \end{cases} \\ \mu_B(x) = \begin{cases} 4x - 0.5 & \text{para } 0.125 \geq x \leq 0.375 \\ -4x + 2.5 & \text{para } 0.375 > x \leq 0.625 \end{cases} \\ \mu_I(x) = \begin{cases} 4x - 1.5 & \text{para } 0.375 \geq x \leq 0.625 \\ -4x + 3.5 & \text{para } 0.625 > x \leq 0.875 \end{cases} \\ \mu_M(x) = \begin{cases} 4x - 2.5 & \text{para } 0.625 \geq x \leq 0.875 \\ 1 & \text{para } 0.875 > x \leq 1.00 \end{cases} \end{array} \right. \quad (13)$$

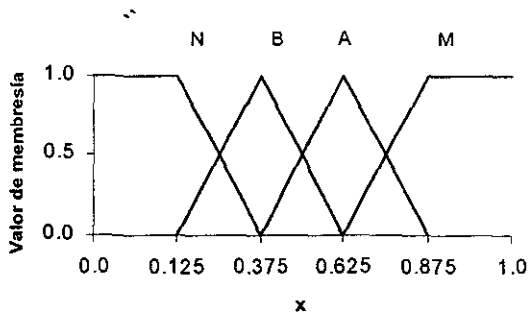


Figura 7. Representación gráfica de los conjuntos difusos de *b*, *k*, *s*, *d* y *va*. El comportamiento de las variables lingüísticas (Nulo, Bajo, Alto y Muy Alto) se representan como funciones de membresía triangulares.

Tabla 2. Definición de los criterios que determinan la significancia de impacto con *b* y *k*.

Criterios	Definición
<u>BÁSICOS</u>	
Magnitud	Intensidad de la afectación en el área afectada
Extensión	Área de afectación con respecto a la disponible en la zona
Duración	Tiempo del efecto
<u>COMPLEMENTARIOS</u>	
Sinergia	Interacciones de orden mayor entre impactos
Acumulación	Presencia de efectos acumulativos
Controversia	Oposición de los actores sociales al proyecto por el impacto

Tabla 3 Tabla de decisiones de b , k y s

b	k			
	N	B	A	M
N	N	B	B	M
B	B	A	A	M
A	A	A	M	M
M	M	M	M	M

Tabla 5. Valores promedio de impacto

b	k			
	NULO	BAJO	ALTO	MUY ALTO
NULO	0.163	0.283	0.476	0.813
BAJO	0.4	0.531	0.691	0.901
ALTO	0.64	0.735	0.836	0.950
MUY ALTO	0.889	0.922	0.953	0.986

Tabla 6. Tabla de decisiones entre la Distancia y el Impacto.

DISTANCIA	IMPACTO
Nula (N)	Muy alto (M)
Baja (B)	Alto (A)
Alta (A)	Bajo (B)
Muy alta (M)	Nulo (N)

Tabla 4. Valores de impacto calculados mediante la ecuación $I = b^{j-k}$

b	k																				
	NULO					BAJO					ALTO					MUY ALTO					
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1	
NULO	0.05	0.058	0.067	0.078	0.091	0.106	0.123	0.143	0.166	0.193	0.224	0.26	0.302	0.35	0.407	0.473	0.549	0.638	0.741	0.861	1
	0.1	0.112	0.126	0.141	0.158	0.178	0.2	0.224	0.251	0.282	0.316	0.355	0.398	0.447	0.501	0.562	0.631	0.708	0.794	0.891	1
	0.15	0.165	0.181	0.199	0.219	0.241	0.265	0.291	0.32	0.352	0.387	0.426	0.468	0.515	0.566	0.622	0.684	0.752	0.827	0.91	1
	0.2	0.217	0.235	0.255	0.276	0.299	0.324	0.351	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.569	0.617	0.669	0.725	0.786	0.851	0.923	1
	0.25	0.268	0.287	0.308	0.33	0.354	0.379	0.406	0.435	0.467	0.5	0.536	0.574	0.616	0.66	0.707	0.758	0.812	0.871	0.933	1
BAJO	0.3	0.319	0.338	0.359	0.382	0.405	0.431	0.457	0.486	0.516	0.548	0.582	0.618	0.656	0.697	0.74	0.786	0.835	0.887	0.942	1
	0.35	0.369	0.389	0.41	0.432	0.455	0.48	0.505	0.533	0.561	0.592	0.623	0.657	0.693	0.73	0.769	0.811	0.854	0.9	0.949	1
	0.4	0.419	0.438	0.459	0.48	0.503	0.527	0.551	0.577	0.604	0.632	0.662	0.693	0.726	0.76	0.795	0.833	0.872	0.912	0.955	1
	0.45	0.468	0.487	0.507	0.528	0.549	0.572	0.595	0.619	0.645	0.671	0.698	0.727	0.756	0.787	0.819	0.852	0.887	0.923	0.961	1
	0.5	0.518	0.536	0.555	0.574	0.595	0.616	0.637	0.66	0.683	0.707	0.732	0.758	0.785	0.812	0.841	0.871	0.901	0.933	0.966	1
ALTO	0.55	0.567	0.584	0.602	0.62	0.639	0.658	0.678	0.699	0.72	0.742	0.764	0.787	0.811	0.836	0.861	0.887	0.914	0.942	0.971	1
	0.6	0.616	0.631	0.648	0.665	0.682	0.699	0.717	0.736	0.755	0.775	0.795	0.815	0.836	0.858	0.88	0.903	0.926	0.95	0.975	1
	0.65	0.664	0.679	0.693	0.708	0.724	0.74	0.756	0.772	0.789	0.806	0.824	0.842	0.86	0.879	0.898	0.917	0.937	0.958	0.979	1
	0.7	0.713	0.725	0.738	0.752	0.765	0.779	0.793	0.807	0.822	0.837	0.852	0.867	0.883	0.899	0.915	0.931	0.948	0.965	0.982	1
	0.75	0.761	0.772	0.783	0.794	0.806	0.818	0.829	0.841	0.854	0.866	0.879	0.891	0.904	0.917	0.931	0.944	0.958	0.972	0.986	1
MUY ALTO	0.8	0.809	0.818	0.827	0.837	0.846	0.855	0.865	0.875	0.885	0.894	0.904	0.915	0.925	0.935	0.946	0.956	0.967	0.978	0.989	1
	0.85	0.857	0.864	0.871	0.878	0.885	0.892	0.9	0.907	0.914	0.922	0.929	0.937	0.945	0.952	0.96	0.968	0.976	0.984	0.992	1
	0.9	0.905	0.91	0.914	0.919	0.924	0.929	0.934	0.939	0.944	0.949	0.954	0.959	0.964	0.969	0.974	0.979	0.984	0.99	0.995	1
	0.95	0.952	0.955	0.957	0.96	0.962	0.965	0.967	0.97	0.972	0.975	0.977	0.98	0.982	0.985	0.987	0.99	0.992	0.995	0.997	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

tabla de decisiones (Tabla 3) se obtuvo calculando 399 valores "crispy" de impacto de acuerdo al algoritmo (9), en 20 valores posibles del dominio de b y 20 de k , los cuales fueron clasificados en cuatro rangos: nulo (<0.25), bajo ($0.26-0.50$), alto ($0.51-0.75$) y muy alto ($0.76-1.00$) (Tabla 4). Los valores estimados se promediaron por rangos (Tabla 5) y el valor "crispy" establecido se transformó en la variable lingüística correspondiente.

Los valores de M , E , D , S , A y C estimados por los diferentes sectores de interés (Conservación, Industrial y Agrícolas) por cada tipo de vegetación, fueron substituidos en las ecuaciones (10 y 11), y los resultados fueron emplazados en las funciones de membresía y categorías correspondientes (15 y 16). De esta manera se obtuvieron los grados de pertenencia de los conjuntos triangulares difusos b y k . Las estimaciones fueron comparadas por pares, los valores más altos manifestaron los grados de pertenencia de impacto de cada escenario con base en b y k , que de acuerdo a la tabla de decisiones (Tabla 3) correspondieron a una variable lingüística de impacto. En este paso es donde se truncan las funciones de membresía (Figura 4).

7. 2. 2. Membresías de Impacto con base en la distancia.

Las variables lingüísticas o rangos difusos de distancia utilizados fueron nula ($< 250m$), baja (125-625m), alta (375-1000m) y muy alta (625-1000m)

Matemáticamente, se expresaron de la siguiente manera.

$$d = \left\{ \begin{array}{l} \{(t, \mu_N(t) \mid t \in N, \mu_N(t) \in [0,1]) \\ \{(t, \mu_B(t) \mid t \in B, \mu_B(t) \in [0,1]) \\ \{(t, \mu_A(t) \mid t \in A, \mu_A(t) \in [0,1]) \\ \{(t, \mu_M(t) \mid t \in M, \mu_M(t) \in [0,1]) \end{array} \right\} \quad (14)$$

Para generalizar y simplificar el trabajo se tomó en cuenta la misma escala (de 0 a 1) utilizada para el comportamiento de las variables lingüísticas de los conjuntos difusos b , k y s . Así las funciones que definieron a cada una de las variables lingüísticas de la distancia fueron triangulares difusas (13) (Figura 7).

Para determinar la tabla de decisiones entre la distancia y el impacto, se siguió la relación siguiente "a menor distancia, mayor impacto" y viceversa (Tabla 6).

El área de estudio contó con 500m de cada lado del trazo de la autopista y el valor de un pixel representó 22m. Los pixels subsecuentes fueron el resultado de adicionar 22m

Para obtener los grados pertenencia del conjunto difuso d , se substituyeron los valores de cada pixel (1, 23, 45, 67, 9, 133, hasta cumplir 500 m) en las categorías correspondientes de las funciones de membresía de la distancia (13) de acuerdo con la tabla de decisiones de la distancia y el impacto (Tabla 6), resultaron los grados de pertenencia difusos del impacto con base en la distancia de cada tipo de vegetación. Estos grados de membresía se calcularon para todas las distancias.

V. 2. 3. Membresías de Impacto con base en la Vulnerabilidad Ambiental.

Las áreas de vulnerabilidad ambiental se definieron como áreas con capacidad de cambio, y se establecieron de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_{ij} = w_{ij} \cdot u_{ij} \quad (15)$$

Donde: w = Valor de peso de importancia ambiental de un tipo de vegetación.

u = Valor de vulnerabilidad ambiental de un tipo de vegetación

v = Valor de importancia de vulnerabilidad ambiental de un tipo de vegetación en un área determinada.

Los valores de w y u se establecieron asignándoles un grado de ponderación en una escala ordinal de 0 a 9, de acuerdo a las características intrínsecas de los elementos constituyentes. Los v obtenidos por los diferentes sectores, de cada tipo de vegetación se clasificaron en las siguientes categorías: nula (0- 20.25), baja (20.26- 40.5), alta (40.6-60.75) y muy alta (60.75-81).

Donde, las variables lingüísticas del conjunto difuso va se definieron de la siguiente manera que en los casos anteriormente mencionados (12 y 14).

Las funciones de membresía de las variables lingüísticas (Nula, Baja, Alta y Muy Alta) del conjunto difuso va fueron triangulares (Figura 7) y matemáticamente se definieron de la misma manera y con la misma escala (0 a 1) que las funciones de membresía de los conjuntos difusos b , k , s y d (13)

Tabla 7. Tabla de decisiones de Vulnerabilidad Ambiental e Impacto

VA	IMPACTO
Nula (N)	Nulo (N)
Baja (B)	Bajo (B)
Alta (A)	Alto (A)
Muy alta (M)	Muy alto (M)

V. 2. 4. Significancia de impacto.

Para valorar la significancia de impacto que determinó cada sector por cada tipo de vegetación, se tomaron los valores máximos o más altos de los grados de pertenencia de impacto con base en b , k , distancia y vulnerabilidad ambiental, de cada rango (N, B, A, M) y de cada escenario. Matemáticamente, se realizó una unión de todos los conjuntos difusos Nulos, Bajos, Altos y Muy Altos de Impacto para tomar en cuenta toda la información contenida en los criterios utilizados.

Posteriormente, se aplicó el método de defuzificación del centro de gravedad propuesto por Bojadziev (1995). Este consistió en reemplazar los valores de dominio del Impacto (0; 0.01; 0.02; 0.03; ... 0.5, ... , 0.7; 0.8, 0.81, ... 0.82; ...1.00) en la función de membresía del conjunto difuso (13), y tomar los valores más bajos entre éstos y los del paso anterior. Se realizó una intersección de los valores de los conjuntos difusos de Impacto (s)

En el siguiente paso se eligieron (por cada valor de dominio utilizado) los valores más altos de las cuatro categorías (N, B, A, M), realizando una vez más una unión de valores del conjunto difuso de Impacto

Finalmente el centroide con base en b , k , vulnerabilidad ambiental y distancia fue la sumatoria de estos últimos valores por los dominios de impacto, dividida entre la sumatoria de los mismos

V. 2. 5. Significancia final de impacto con medidas de mitigación.

Los actores sociales valoraron las medidas de mitigación de acuerdo a la importancia y a las oportunidades de implementar medidas correctivas, y fueron evaluadas por la reducción en la intensidad de las significancias de los impactos. La escala utilizada fue la misma empleada para los criterios antes mencionados

Los centroides con base en b , k , vulnerabilidad ambiental y distancia estimados para cada tipo de vegetación, fueron trasladados a la ecuación (Bojórquez-Tapia et al 1998)

$$g_y = c_y \cdot [1 - (m_y / 9)] \quad (16)$$

donde:

- g = Significancia de Impacto
- c = Centroide
- m = Medidas de Mitigación
- i = Construcción de la Autopista
- j = Cobertura Vegetal

En donde, los valores de significancia (g) de impacto calculados fueron una vez más defuzificados siguiendo el mismo método propuesto por Bojadziev (1995).

Los resultados finales se presentaron en mapas de percepciones de significancia de impacto de cada sector involucrado (Figura 8, 9 y 10). La información contenida incluyó el tipo de vegetación afectada, la distancia y la significancia final de impacto. Se identificaron los porcentajes de significancia de impacto de los cuatro rangos utilizados (Nulo, Bajo, Alto y Muy Alto) de cada tipo de vegetación, de cada escenario. Así como, de las significancias finales de impacto.

V. 2. 6. LÓGICA CONVENCIONAL (MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL)

A partir de los valores de M , E , D , S , A , C y m propuestos inicialmente por los tres sectores involucrados, se calcularon las significancias finales de impacto pero de la misma manera que se hizo en la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) (Bojórquez-Tapia, Ezcurra y García 1998).

Los valores de los parámetros se reemplazaron en la ecuación (9) y en la (16) utilizando de esta manera un sistema de lógica convencional o booleana.

Posteriormente los resultados finales fueron comparados con los propuestos con los obtenidos a partir de la lógica difusa.

V. RESULTADOS

Los resultados finales se presentaron en forma de tablas y mapas. Estos últimos mostraron las categorías de percepciones de significancias de impactos ecológicos propuestos por los sectores Conservación, Industrial y Colonos respectivamente (Figuras 8, 9 y 10).

V.1 Bosque de Encino

De acuerdo a los valores asignados por cada sector para los criterios de Magnitud, Extensión, Duración, Sinergia, Acumulación y Controversia, las estimaciones de b de los sectores Conservación y Colonos resultaron Muy Altas, por otro lado la b del sector Industrial se clasificó como Alta. Con respecto a los valores de k , Conservación y Colonos los catalogaron como Muy Altas y los Industriales como Bajas (Tabla 8)

Los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) obtenidos en el Bosque de Encino, señalaron valores muy altos para los sectores de Conservación y de Colonos. Por otro lado, el sector Industrial asignó un peso Bajo. Para los valores de peso de importancia ambiental (w), Conservación y Colonos definieron valores extremadamente altos, y el sector industrial propuso un valor bajo. Los valores de vulnerabilidad ambiental (u) planteados fueron de muy altos a extremadamente altos.

Con respecto a las funciones de membresía (13), y a las reglas de inferencia establecidas entre la distancia y el impacto (Tabla 6), se consiguieron todos los valores de membresía de impacto para cada distancia (de 0 a 500m). Estos mismos valores fueron utilizados en todos los escenarios, en los cuatro tipos de vegetación y en las zonas urbanas (Tabla 14). De esta manera, el primer método de defuzzificación comprendió la información antes mencionada (b , k , v y distancia).

Según la opinión de los tres sectores, los resultados derivados del método de descomposición por centroide ubicaron a los impactos ecológicos en el rango de Altos a Muy Altos (Tabla 8).

El sector Industrial expresó el peso más alto a las medidas de mitigación (m), seguido por el sector Conservación y por último los Colonos. Al analizar y al integrar dentro del análisis este último parámetro (m) se observó que, las significancias de impactos encontradas (antes de la segunda defuzzificación) se clasificaron como Nulas para el sector Industrial. Por otro lado, las estimaciones propuestas por los sectores Conservación y Colonos ocuparon valores pertenecientes a los rangos Altos y Bajas respectivamente.

Al realizar la segunda defuzificación, los resultados para los valores de significancias final de impacto indicaron que el sector Conservación obtuvo una dominante significancia de impactos Altos (95%) y una significancia mínima (5%) de Bajos. Para el sector Industrial todas las significancias de impactos se plantearon como Bajas, y, en el caso de los Colonos todas fueron Altas.

V.2 Bosque de Pino/Pino-Encino

En el caso del Bosque de Pino/ Pino-Encino, la evaluación de los valores de b y k para los sectores Industrial y Colonos resultaron similares. Por otro lado, el sector Conservación obtuvo los valores más altos.

En cuanto a los valores de vulnerabilidad ambiental (u), el sector Conservación lo evaluó como moderado y se ubicó como el más bajo seguido por el valor asignado por los Colonos, que en la escala verbal corresponde a Alto, y finalmente con una importancia de Muy Alto se ubicó el sector Industrial. Sin embargo, los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) fueron identificados como Altos, Bajos y Muy Altos en los sectores Conservación, Industrial y Colonos correspondientemente.

Los resultados de la primera defuzificación de significancia de impactos ecológicos se identificaron como Bajos y Altos. Los primeros correspondieron a los Colonos, y los valores Altos a los sectores de Conservación e Industrial.

Las medidas de mitigación (m) se identificaron en los intervalos de Muy Bajo a Moderado, este último fue designado por el sector Colonos y, el valor más bajo por el sector Industrial. De acuerdo con la lógica de este trabajo, las significancias de impacto propuestas por los tres sectores fueron clasificadas como Bajas, a pesar de que los valores encontrados por los Colonos sean menores.

La información generada después de la segunda defuzificación, planteó que para el Bosque de Pino/Pino-Encino las significancias de impactos de los tres sectores fueron en un 100% Bajas (Tabla 9).

V.3 Bosque de Cañada

En cuanto a las estimaciones de b propuestas por los sectores Industrial y Colonos, éstas pertenecieron a la categoría de Altos, por otro lado, el sector Conservación la planteó como Muy Alta. En k se obtuvieron valores Bajos, Altos y Muy Altos correspondientes a Industrial, Conservación y Colonos (Tabla 10).

Con respecto a los valores de vulnerabilidad ambiental (u) seleccionados, el sector Conservación sugirió valores Altos, el propuesto por el sector Industrial fue Muy Alto, y el de Colonos Extremadamente Alto.

Tabla 8. Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, v, b, k, c (1-500m), m, g sin defuzificar (1-500m) y g (1-500m) asignados para el Bosque de Encino

Sector	M	E	D	S	A	C	w	u	v	b	k	c (1-500m)	m	g sin defuzificar (1-500m)	g (1-500m)
Conservación	8	7	9	7	8	9	9	9	81	0.89	0.89	.86-.65	3	.57-43	.56-50
Industrial	6	5	8	0	6	1	3	8	24	0.7	0.26	.59-.54	5	.26-.24	29-28
Colonos	8	5	7	6	6	9	9	9	81	0.74	0.78	.86-.85	2	.67-50	65-58

Tabla 9 Valores de M, E, D, S, A, C, w, u, v, b, k, c (1-500m), m, g sin defuzificar (1-500m) y g (1-500m) asignados para el Bosque de Encino/ Pino-Encino

Sector	M	E	D	S	A	C	w	u	v	b	k	c (1-500m)	m	g sin defuzificar (1-500m)	g (1-500m)
Conservación	8	7	9	7	8	9	9	5	45	0.89	0.89	.68-.62	3	.45-71	.46-.45
Industrial	4	3	8	1	7	2	3	8	24	0.56	0.37	.75-.62	2	.45-.37	46-42
Colonos	6	3	5	4	4	4	9	7	63	0.52	0.44	.58-.48	5	.33-27	34-33

Tabla 10 Valores de M, E, D, S, A, C w, u y m asignados para el Bosque de Cañada

Sector	M	E	D	S	A	C	w	u	v	b	k	c (1-500m)	m	g sin defuzficar (1-500m)	g (1-500m)
Conservación	7	8	9	7	6	6	9	7	63	0.89	0.74	77-64	4	43-35	44-41
Industrial	6	4	7	2	5	4	3	8	24	0.63	0.41	59-57	3	39-38	40-39
Colonos	5	3	6	7	7	8	9	9	81	0.52	0.81	75-64	2	58-50	57-64

Tabla 11 Valores de M, E, D, S, A, C w, u y m asignados para zonas de Pastizal/Agricultura

Sector	M	E	D	S	A	C	w	u	v	b	k	c (1-500m)	m	g sin defuzficar (1-500m)	g (1-500m)
Conservación	3	5	8	4	2	5	9	0	0	0.59	0.40	52-51	8	0.05-0.055	13
Industrial	7	8	6	5	3	3	3	1	3	0.78	0.41	52-51	7	11-11	13
Colonos	6	7	8	3	6	9	9	1	9	0.78	0.67	51-49	1	45-43	46-45

Los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) se lograron apreciar como Bajos, Altos y Muy Altos para los sectores Industrial, Conservación y Colonos correspondientemente (Tabla 10)

Los valores de impacto encontrados después de la primera defuzificación fueron Altos en los sectores Industrial y Colonos Sin embargo, el sector Conservación obtuvo valores Altos y Muy Altos

Con respecto a las medidas de mitigación (m), se señalaron valores de muy bajos a moderados El sector Conservación identificó el valor más alto y, por último los Colonos

Los resultados correspondientes al Bosque de Cañada indicaron que las significancias finales de impactos ecológicos antes y después de la segunda defuzificación fueron superiores para los Colonos (Tabla 10)

Estas se identificaron en su totalidad dentro del rango de impactos Altos Sin embargo, los sectores Conservación e Industrial obtuvieron valores Bajos

V.4 Pastizal y Agricultura

En este caso, la b para los sectores Industrial y Colonos fue el mismo (Muy Alto), y Alto para el sector Conservación Sin embargo, el valor de k resultó diferente para los Colonos (Alto) e igual entre los sectores de Conservación e Industrial (Bajo) (Tabla 11)

De acuerdo a la escala verbal, el valor de vulnerabilidad ambiental (v) asignado por Conservación se clasificó como Nula. No obstante, Industrial y Colonos las registraron de Nula a Baja Con respecto al valor de peso de vulnerabilidad ambiental (w) el sector Industrial la planteó como baja, y los otros dos sectores propusieron valores extremadamente altos. Los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) de los tres sectores resultaron Nulas

Los valores de significancia de impacto estimados por los sectores Conservación e Industrial fueron los mismos, y se clasificaron en su totalidad como Bajos. Por otro lado, los Colonos identificaron impactos Altos y Bajos (Tabla 11)

Los valores verbales de las medidas de mitigación (m) electos por los colonos fueron de Nulos a Bajos Mientras que los sectores Conservación e Industrial las identificaron como Muy Altas y Altas respectivamente

A pesar de que los valores de significancia de impacto (antes de defuzificar) de los sectores Conservación e Industrial correspondan a la misma categoría (Nulo), estos difieren significativamente. En el sector Colonos se encontraron valores Bajos.

Al realizar la segunda defuzificación, las estimaciones finales de significancias de impacto fueron en un 100% Nulas para los sectores Conservación e Industrial y totalmente Bajas para los Colonos.

V.5 Zonas Urbanas

Al analizar los valores de b correspondientes a los sectores Industrial y Colonos se obtuvieron los mismos resultados (valores Altos). El sector Conservación propuso valores Nulos. De acuerdo al valor de k , se encontraron tres categorías identificadas, Nula, Alta y Muy Alta de los sectores Conservación, Industrial y Colonos respectivamente (Tabla 12).

Los valores de vulnerabilidad ambiental (u) identificados por los sectores Conservación e Industrial fueron los mismos (Nulos), y Muy Bajos en los Colonos. Con respecto al valor de peso de importancia ambiental (w), Conservación y Colonos otorgaron los mismos valores (extremadamente alto), y el sector Industrial sugirió un valor bajo. No obstante los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) se apreciaron como Nulos en los tres sectores. Cabe mencionar que las estimaciones de v , al igual que en el Pastizal/Agricultura, ocuparon los valores más bajos dentro del análisis de vulnerabilidad ambiental.

Al realizar el primer método de descomposición del centro de gravedad las estimaciones ocuparon rangos Altos para los sectores Industrial y Colonos, y de Altos a Bajos para el sector Conservación. Siguiendo la escala verbal, las medidas preventivas o de mitigación (m) se expresaron como Extremadamente Altas y Muy Altas para Conservación e Industrial respectivamente. Sin embargo, el sector Colonos la clasificó como Nula a Baja. De esta manera, las significancias finales de impacto antes y después del segundo proceso de defuzificación se clasificaron como Nulas para Conservación e Industrial respectivamente, y Bajas para los Colonos (Tabla 12). Se logró apreciar que al igual que en los Pastizales/Agricultura, las significancias finales de impacto de los sectores Conservación e Industrial ocuparon los valores más bajos.

V.6 Análisis Espacial

Las características que se observan dentro del análisis espacial, fueron el número de hectáreas afectadas de cada categoría de impacto por cada tipo de vegetación (Tabla 13). Los tres sectores, en las áreas de Pastizal/Agricultura, zonas urbanas y Bosque de Pino/Plano-Incino, concordaron con el mismo número de

hectareas afectadas así como la categoría (Bajo). Por otro lado, en el Bosque de Cañada las hectareas afectadas propuestas por Conservación e Industriales resultaron las mismas (Bajas), sin embargo el sector de los Colonos las ubico como Altas. Por último, en el Bosque de Encino los rangos Bajos y Altos de los sectores Industrial y Colonos presentaron la misma cantidad de hectareas dañadas. No obstante, en el sector Conservación el 98% de las áreas afectadas correspondieron a los impactos Altos, y el 2% se ubicó en el rango de los Bajos. Es importante agregar que el único sector que no obtuvo hectareas afectadas clasificadas como nulas fueron los Colonos, de la misma manera se observó que solamente este grupo de interés social identificó valores de significancia finales de impacto nulos.

El sector Conservación, de un total de 224ha, identificó el 56% como Nulas, 23% como Bajas y el 21% como Altas. De acuerdo al sector Industrial, el 56% resultaron Nulas y el resto Bajas. Por último, los Colonos obtuvieron el 80% de hectareas afectadas Bajas y el 20% de Altas.

En general de las 315 significancias finales de impacto identificadas (por cada tipo de vegetación y por cada distancia), el 53.65% se apreciaron como Bajas, el rango de los Nulos ocupó el 26.6% y el resto con 19.68% establecidas como Altas.

V.7. LÓGICA CONVENCIONAL (MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL)

De acuerdo con las significancias finales de impacto obtenidas de la misma manera que en la MIA se observó que para el Bosque de Encino los rangos de clasificación permanecieron los mismos, a pesar de que se presentaran cambios en los valores (Tabla 15).

En el caso del Bosque de Encino/Pino-Encino hubo un cambio de categoría para los sectores Conservación e Industrial, y para el Bosque de Cañada solamente en el sector Industrial se presentó una permuta. Al igual que en el caso anteriormente mencionado, hubo un solo cambio, pero la permuta fue de dos categorías y correspondió a los Colonos. Por último, en las zonas urbanas el sector Colonos presentó cambio doble de categoría.

Tabla 12 Valores de M, E, D, S, A, C, w, u y m asignados para las zonas urbanas

Sector	M	E	D	S	A	C	w	u	v	b	k	c (1-500m)	m	g sin defuzificar (1-500m)	g (1-500m)
Conservación	1	1	1	2	0	0	9	0	0	0.11	0.07	51-38	9	0-0	.13
Industrial	3	8	3	6	2	8	3	0	0	0.52	0.59	52-51	8	0.058-0.05	.13
Colonos	5	4	7	7	6	9	9	2	18	0.59	0.81	56-54	1	50-48	.50-49

Tabla 15 Significancias finales de Impacto con lógica convencional y logica difusa Logica Convencional (L C), Lógica Difusa (L D), Bosque de Pino (B P), Bosque de Pino Encino (B PE), Bosque de Cañada (B C), Pastizal/Agricultura (P/A) y Urbano (U)

	B P		B PE		B C		P/A		U	
	L C	L D	L C	L D	L C	L D	L C	L D	L C	L D
Conservación	0.66	0.56-0.50	.66	0.46-0.45	0.54	0.44-0.41	0.08	0.13	0.00	0.13
Industria	0.34	0.29-0.28	.54	0.46-0.42	0.51	0.40-0.39	0.19	0.13	0.09	0.13
Colonos	0.73	0.65-0.58	0.31	0.34-0.33	0.69	0.57-0.54	0.82	0.46-0.45	0.84	0.59-0.49

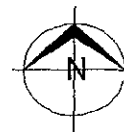
Tabla 14 Valores de membresía de significancia de impactos con base en la distancia

Distancia (m)	Categoría			
	NULO	BAJO	ALTO	MUY ALTO
1	0	0	0	1
23	0	0	0	1
45	0	0	0	1
67	0	0	0.04	0.96
89	0	0	0.21	0.79
111	0	0	0.38	0.62
133	0	0	0.56	0.43
155	0	0	0.74	0.26
177	0	0	0.91	0.09
199	0	0.09	0.91	0
221	0	0.26	0.74	0
243	0	0.44	0.56	0
265	0	0.62	0.38	0
287	0	0.79	0.21	0
309	0	0.97	0.03	0
331	0.25	0.85	0	0
353	0.32	0.68	0	0
375	0.5	0.5	0	0
397	0.67	0.33	0	0
419	0.85	0.15	0	0
441	1	0	0	0
463	1	0	0	0
485	1	0	0	0
500	1	0	0	0

Tabla 13 Hectáreas afectadas propuestas por los sectores Conservación, Industrial y Colonos

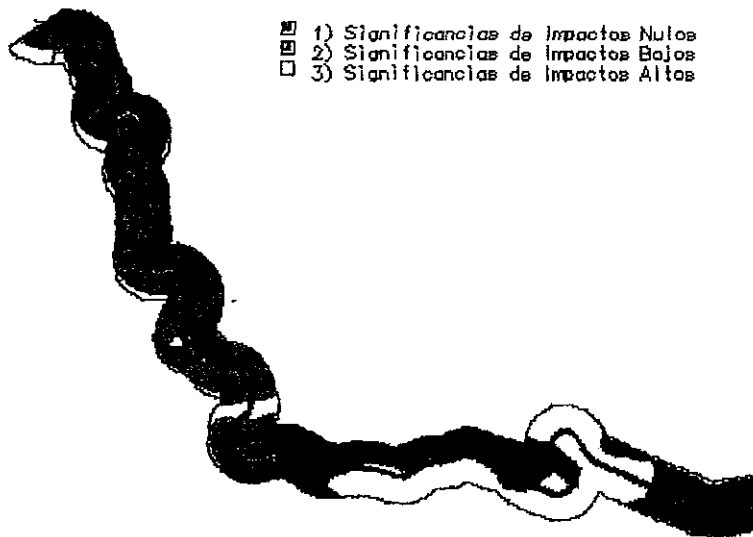
	Sector												
	ha		Conservación			Industrial				Colonos			
		N	B	A	M	N	B	A	M	N	B	A	M
B de Encino	50.26	*	0.92	49.34	*	*	50.3	*	*	*	*	50.25	*
B de Pino/ Pino-Encino	28.73	*	28.7	*	*	*	28.7	*	*	*	28.72	*	*
B. de Cañada	22.79	*	22.2	*	*	*	22.3	*	*	*	28.28	28.28	*
Pastuzal/Agricultura	59	59.1	*	*	*	59.1	*	*	*	*	59.11	*	*
Urbano	64	64	*	*	*	64	*	*	*	*	64	*	*
Total	224	123.1	51.92	49.34	*	123	101	*	*	*	180	72.53	*

19°20''



19°20'

- 1) Significancias de Impactos Nulos
- ▣ 2) Significancias de Impactos Bajos
- 3) Significancias de Impactos Altos



19°10''

19°10'

Figura 8. Percepciones de las significancias del impacto ecológico
propuestas por el sector Conservación.

Resolución : Pixel = 484 m'

99°20'

99°10'

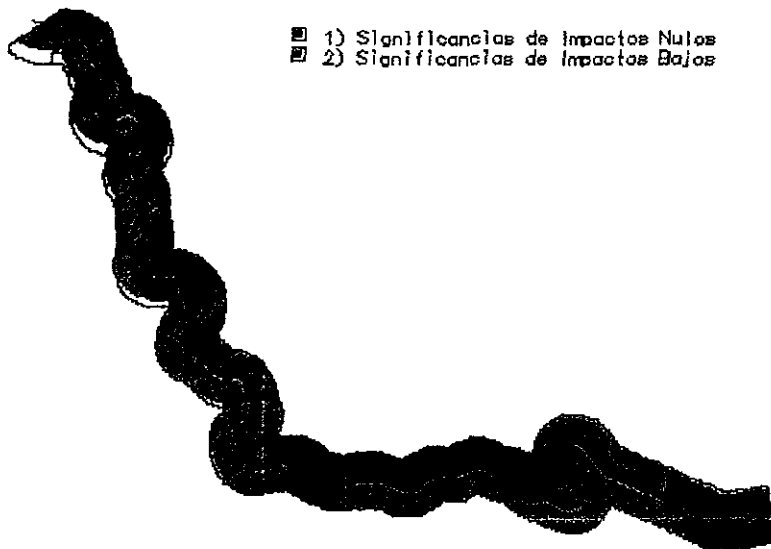
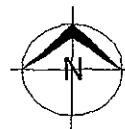
99°20'

99°10'

19°20''

19°20'

- 1) Significancias de Impactos Nulos
- 2) Significancias de Impactos Bajos



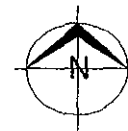
19°10''

19°10'

Percepciones de las significancias del impacto ecológico
propuestas por el sector Industrial

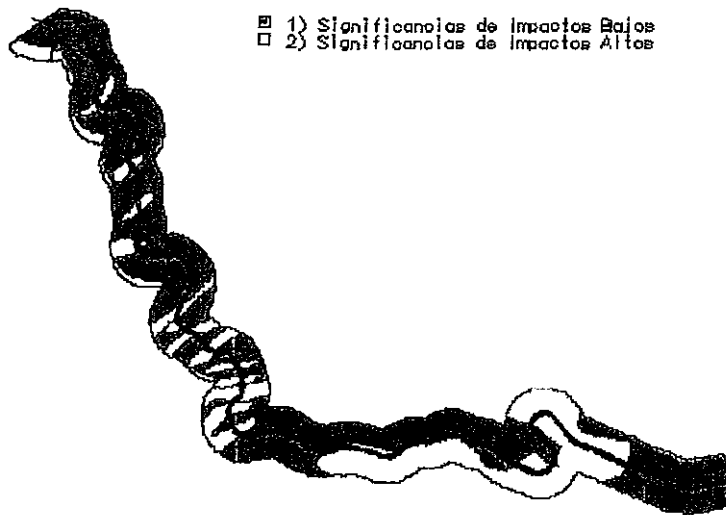
Resolución . Pixel = 484 m²

19°20''



19°20'

- 1) Significancias de Impactos Bajos
- 2) Significancias de Impactos Altos



19°10''

19°10'

Percepciones de las significancias del impacto ecológico
propuestas por los colonos de la zona . .

Resolución : Pixel = 484 m²

99°20'

99°10'

VI. DISCUSIÓN

El método propuesto en este trabajo representa una opción para valorar los impactos ecológicos y además, integrar en el análisis a los diversos sectores involucrados, en un marco analítico y sistemático. Ofrece la posibilidad de analizar el problema desde diversos escenarios posibles identificando los conflictos que puedan surgir por las diferencias de intereses de los sectores y de manera repetible.

Por otro lado, integrar en la planeación ambiental un análisis de lógica difusa es posible aproximarse intuitivamente a la solución de un problema mediante la formulación de reglas derivadas de la experiencia.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), por otro lado, permite integrar la información disponible. El análisis, la predicción y el comportamiento de los impactos ambientales a la escala que requiere la construcción de una carretera son más fáciles si se cuenta con un sistema de estas características, que proporcione datos sobre la extensión de los impactos que predicen los modelos.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) surgieron como una respuesta a las preocupaciones y consecuencias ambientales de las acciones humanas o proyectos de desarrollo (Lawrence 1997). Además de tomar en cuenta los efectos naturales en la ejecución de un proyecto, comprenden también los efectos sociales, económicos, políticos, así como los programas, estrategias y alternativas de acción.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental no pueden ser llevadas a cabo con el mismo rigor que las investigaciones científicas, debido a las diferentes preocupaciones sociales y diversas perspectivas de desarrollo y calidad ambiental (Beattie 1995). De hecho, según Bowonder (1987) los conflictos ambientales comienzan cuando existen diferentes puntos de vista en la sociedad.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental consideran la variabilidad en los fenómenos presentes en un proyecto, la probabilidad de las condiciones ambientales, así como, en las medidas de mitigación propuestas (Lawrence 1997). Del mismo modo, toman en cuenta las interrelaciones y percepciones de los componentes ambientales y de los efectos predichos, las consecuencias de los impactos, y la importancia, interpretaciones y aceptabilidad de los riesgos, costos y beneficios de los sectores involucrados (Arquaga 1992).

La integración de las alternativas en estrategias, la identificación, predicción e interpretación de los impactos y medidas de mitigación, representan actividades analíticas dentro de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (Lawrence 1997). Estas actividades necesitan ser refinadas a través de marcos teóricos y análisis cuantitativos.

De acuerdo con Carpenter (1995), la incertidumbre presente en las evaluaciones de Impacto Ambiental nace cuando las condiciones ambientales y los impactos son indeterminados y no comprobables. Otros factores que contribuyen a la incertidumbre son el tiempo limitado, la ignorancia, bases de datos inadecuadas, modelos de simulación inútiles, falta de tecnología, de materiales y de presupuesto. Sin embargo e inevitablemente, para identificar los problemas y las soluciones posibles en las Evaluaciones de Impacto Ambiental se trabaja con la experiencia, el sentido común, conceptos preconcebidos y *observaciones puramente empíricas* (Hoch 1964, Thomas 1979, Lawrence 1997). Otro de los problemas en las EIA es la falta de bases técnicas y de modelos que permitan proveer información razonablemente cercana a los que ocurre en la realidad. Para evitar consecuencias negativas es necesario el diálogo entre expertos, ajustar criterios precautorios, refinar y aplicar múltiples métodos (Holling 1978). Las reuniones multidisciplinarias, las técnicas tales como "análisis de incertidumbre" (Stackelburg 1994), "análisis de decisiones" (Reckhow 1993) y los "análisis de lógica difusa" (Parashar 1997) facilitan la atención de la incertidumbre. En esta perspectiva y, de acuerdo con Burrough (1989), en los programas de uso del suelo, así como en las *Evaluaciones de Impacto Ambiental la adopción de análisis de lógica difusa provee resultados más satisfactorios que utilizando sistemas de lógica convencional*.

La principal contribución de la lógica difusa es crear métodos de análisis con palabras. Por su naturaleza, las palabras son menos precisas que los números. Desde este punto de vista, el uso de palabras ofrece grandes ventajas: tratar con información que no es lo suficientemente precisa para ser justificada con números y, permite explotar la tolerancia de la imprecisión evitando grandes costos (Zadeh 1997).

En una Evaluación de Impacto Ambiental realizada en la India, Aika Parashar y Rakesh Patilwal (1997) incorporaron la lógica difusa a una técnica de modelación cualitativa (KSIM). De esta manera, además de simular las interacciones del sistema y visualizar el comportamiento de los impactos, tomaron en cuenta la incertidumbre, la imprecisión y la falta de conocimientos de quien provee la información.

El modelo propuesto es un método formal para valorar los impactos ecológicos eliminando la *incertidumbre, la intuición, la experiencia y el error de la información propuesta por los diferentes sectores*. Este modelo trabaja con valores subjetivos y opiniones inciertas y, a diferencia de los modelos basados en análisis estadísticos precisos, se construye con poca información. Su fácil utilización permite crear, de manera rápida, escenarios congruentes con las percepciones de los grupos socioeconómicos, y de esta manera analizar el problema desde diferentes puntos de vista.

En este modelo difuso se expresa el conocimiento de los expertos y las relaciones de un sistema, representados a través de variables lingüísticas y métodos de inferencia (Walter 1998). Para transformar los resultados a escalas reales, los procesos de descomposición permiten encontrar el punto que represente, de la mejor manera posible, resultados razonablemente cercanos a lo que ocurre en la realidad, tomando en cuenta toda la información empleada y los posibles errores contenidos en ella.

La definición de los conjuntos difusos, de sus variables lingüísticas, de las reglas de inferencia propuestas por los expertos para la resolución del problema y, las funciones de membresía de los conjuntos son siempre subjetivas. Estos parámetros pueden ser modificados cuantas veces sea necesario a fin de encontrar las soluciones que mejor se adecuen al sistema real. Las variables lingüísticas son calificativos vagos, imprecisos o difusos, por lo que no pueden ser definidas exactamente y es aquí donde nacen las funciones de membresía. Debido a que la información es imprecisa, incompleta y subjetiva, los rangos o intervalos de las funciones de membresía son considerados como herramientas de disminución de la incertidumbre (Cox 1994). Para evitar complicaciones injustificadas se construyen sin alto grado de precisión, y es digno de mencionar que es importante tratar con funciones de membresía con un número pequeño de parámetros. Sin embargo, la selección de estas funciones es siempre subjetiva, más no arbitraria, se trata de un aspecto plausible. El grado de pertenencia o de membresía (μ) de un conjunto difuso, expresa el valor o el grado de ambigüedad de ese mismo conjunto (Cox 1994).

En este trabajo se utilizaron cuatro modificadores o variables lingüísticas que representaron la imprecisión de cada una de las variables y la complejidad del sistema, que de la misma manera se definieron como subconjuntos triangulares difusos (Zadach 1965). Las reglas de inferencia o bien, el producto de los modificadores lingüísticos permitieron correlacionar a los subconjuntos difusos y obtener un nuevo conjunto triangular difuso asociado al impacto. Se utilizó el método de "defuzificación" del centro de gravedad (Bojadziev 1995) para obtener el valor que representara de la mejor manera la información contenida en el conjunto difuso de impacto. Las medidas de mitigación fueron evaluadas con la misma escala ordinal y permitieron valorar la significancia del impacto final.

Por otro lado, otro punto crítico fue la selección de los pesos en los parámetros utilizados (Magnitud, Extensión, Duración, Sinergia, Acumulación, Controversia y Vulnerabilidad Ambiental). De acuerdo a las ideas preconcebidas de cada sector involucrado, de los efectos y las interrelaciones de la construcción de la carretera sobre la cobertura vegetal, fueron determinados los pesos a los criterios que permitieron estimar los conflictos ambientales. Fue de esperarse que cada grupo otorgara valores diferentes de importancia a los criterios, de acuerdo con las diferencias en las preferencias, las preocupaciones y las diversas percepciones de los bienes, costos, bienes, riesgos y servicios de cada sector. Sin embargo, este método permitió formalizar, aclarar y justificar las opiniones e intuiciones de los

sectores. De esta manera, resulta difícil lograr que las actividades realizadas en proyectos de desarrollo sean anheladas por todos los sectores.

Así, los valores propuestos por sectores de conservación fueron altos. Se espera que la construcción de la autopista sobre la cobertura vegetal implique a una degradación ambiental severa e irreversible, con grandes cambios en las estructuras y procesos ecológicos del sistema.

Por otro lado, los intereses de sectores empresariales son opuestos a los antes mencionados. El desarrollo económico-industrial es primordial y es alcanzado con la ejecución de obras de infraestructura sin tomar en cuenta las consecuencias ecológicas. Los habitantes de zonas aledañas a la autopista temen el decremento en la calidad de vida, así como a un cambio de uso del suelo que afecte su bienestar social.

En la primera etapa de este estudio, los valores de b y k describieron los efectos de la construcción de la autopista sobre la cobertura vegetal. Pero a medida que se incrementaron los parámetros, en este caso la distancia, tuvo un efecto directo en los valores cualitativos de impacto. Es indiscutible que las consecuencias ecológicas serán más graves en lugares cercanos al trazo de la carretera que en zonas aledañas.

Los valores de peso de importancia de vulnerabilidad ambiental (v), reflejaron el interés que cada sector tuvo por la cobertura vegetal, y el valor de vulnerabilidad ambiental representó la capacidad de cambio de cada tipo de vegetación. De esta manera, los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental (v) alteraron, una vez más, el valor cualitativo de impacto de la construcción de la carretera sobre cada tipo de vegetación. El efecto de los valores de importancia de vulnerabilidad ambiental sobre los impactos fue directamente proporcional. De este modo, los impactos con valores de v altos se agravaron, pero con valores bajos, los impactos disminuyeron su intensidad. El efecto que tiene la distancia dentro de este análisis o de cualquier otro, sería más representativo trabajando a mayores escalas. La ventaja que ofrece integrar un mayor número de parámetros dentro del análisis difuso es incluir mayor información y disminuir el grado de imprecisión (Zadeh 1997). Esto queda claro con los resultados obtenidos utilizando la lógica convencional. Todos los valores encontrados fueron más altos que los originados con el análisis difuso aún si no se presentó una permuta de categoría. Es evidente que cuando hubo este cambio, los resultados difusos pertenecían a rangos menores de impacto. Además de presentarse valores "crispy". Como lo mencionan Smith (1994), Davidson, Theocharopoulos y Bloksma (1994) el uso de conjuntos difusos es ideal para los análisis ambientales teniendo la ventaja de tomar en cuenta dificultades o falta de información.

La eficiencia de las medidas de mitigación fue estimada de acuerdo a la importancia y a las oportunidades de implementar medidas correctivas, y fue evaluada esencialmente por la reducción en la intensidad de las significancias de impactos. Así, con medidas preventivas más prósperas, el valor de impacto descendió.

Sin embargo, las significancias de impactos permanecieron las mismas al no contemplarse soluciones capaces de eludir o minimizar los impactos (Bojórquez-Tapia et al 1998)

Los métodos de defuzzificación permitieron encontrar los valores de significancia final de impacto que acumularan mayor información. Haciendo una segunda defuzzificación que incluyera a las medidas de mitigación enriqueció el modelo y permitió que los resultados contuvieran un menor grado de error

En los procesos de EIA se acumula abundante información que debe de ser integrada para analizar los impactos ecológicos y contribuir a una eficiente toma de decisiones

La ventaja que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica es el almacenamiento, manejo y análisis de grandes cantidades de información (Fonseca 1994). La integración de datos espaciales a través de mapas permite la visualización y mejor comprensión de las interrelaciones entre las variables de un sistema, de un fenómeno o de un problema en tiempos reales y a grandes escalas. Como lo menciona Davidson (1994), el uso de Sistemas de Información Geográfica es una herramienta poderosa en los programas de manejo de uso del suelo, así como en las Evaluaciones de Impacto Ambiental.

Es importante mencionar que trabajar con grandes escalas en pequeñas unidades de pantalla permite evaluar los problemas desde otra dimensión. Conociendo la extensión del territorio y de las áreas afectadas se podrá dar una dimensión física al problema y de esta manera priorizar las alternativas de acción. Dependiendo de la intensidad de los impactos ecológicos y del número de hectáreas afectadas se valoraran los costos y la importancia de implementar medidas preventivas en el plan de acción. Si los efectos del proyecto son clasificados como graves en cierto tipo de vegetación, pero las áreas perjudicadas son mínimas, valdría la pena cuestionar si la apreciación del impacto mantiene el mismo valor.

Los grandes intereses económicos y políticos, los problemas burocráticos que enfrenta nuestro país, la falta de conocimientos por parte de las autoridades, el mal entendimiento de las interrelaciones de un ecosistema, y la escasez de fondos económicos y recursos técnicos han acordado la implantación de proyectos con consecuencias desastrosas y degradaciones ambientales irreversibles.

Es imperiosa la necesidad de permitir a las Evaluaciones de Impacto Ambiental cumplir con su objetivo como herramientas de planeación, intensificar la racionalidad en la toma de decisiones y proveer la información necesaria para la resolución de los conflictos ambientales entre actores sociales (Bojórquez-Tapia 1989), aportando nuevos métodos que minimicen los rangos de error y envuelvan la falta de conocimientos.

VII. CONCLUSIÓN

El presente estudio represento un método formal para la valoración de impactos ecológicos utilizando técnicas innovadoras y útiles para el apoyo en la toma de decisiones. De esta manera, los resultados constituyeron un modelo para apreciar las diferentes percepciones de los conflictos ambientales entre los actores sociales involucrados.

A través del análisis con lógica difusa, con información subjetiva y la formulación de reglas derivadas de la experiencia fue posible obtener resultados flexibles y cercanos a la realidad de un problema. Además de integrar el análisis de los diversos sectores involucrados en un marco analítico y sistemático. Se mostró que la utilización de Sistemas de Información Geográfica hizo posible la integración de los datos, además de dar una dimensión física al problema y priorizar alternativas de acción.

El análisis ofreció un procedimiento para que las Evaluaciones de Impacto Ambiental cumplan su objetivo como herramienta de planeación.

VIII. LITERATURA CITADA

- Arquiaga, M C , L W , y Nelson, D I 1992 *Risk assessment principles in environmental impact studies* The Environmental Professional 14(3) 204-219
- Azuara, I , y A Ramirez 1994 *Tecnologías y manejo de informacion geografica en bioconservación* Ciencia y Desarrollo XX(118) 58-65
- Beattie, R 1995 *Everything you already know about EIA (but don't often admit)* Environmental Impact Assessment Review 15(2) 109-114
- Bojadziev, George et al *Fuzzy sets, fuzzy logic, applications* World Scientific 275 pp
- Bojórquez-Tapia, L A , Ffolliot, P , Guertin, Ph 1990 *Multiple- Resource modeling as a tool for conservation. Its applicability in Mexico* Environmental Management Vol 14 (3) 317- 324
- Bojórquez-Tapia, L A , Ongay-Delhumeau, E 1992 *International lending and resource development in mexico can environmental quality be assured?* Ecological Economics Vol 5, 197-221
- Bojórquez-Tapia, L A , Garcia, O 1998 *An approach for evaluating EIA's deficiencies of EIA in Mexico* Environmental Impact Assessment Review.
- Bojórquez-Tapia, L A , Ezcurra, E , Garcia, O 1998 *Appraisal of environmental impacts and mitigation measures through mathematical matrices* Journal of Environmental Management 53,91-99
- Burrough, P A 1989 *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment* Clarendon Press, Oxford, England pp 1-12
- Burrough, P A 1989 *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation* Journal of Soil Science, 40, 477-492
- Casas-Andreu, G 1989 *Los anfibios y reptiles y su estado de conservación en el Valle de México* Pp 117-123, en *Ecología Urbana* (Gío-Argáez, R , I Hernández y E Sainz Hernández, eds) Sociedad Mexicana de Historia Natural México D F
- Ceballos, G y C Chávez (En prensa) *Mamíferos silvestres del Estado de México y Distrito Federal* Gobierno del Estado, Toluca

- Ceballos, G y C Galindo 1984 Mamíferos silvestres de la Cuenca de México LIMUSA, Mexico D F
- Ceballos, G y D Navarro 1991 Diversity and conservation of Mexican mammals Pp 167-198, en Topics in Latin American Mammalogy: History, biodiversity, and education (M A Mares y D J Schmidly, eds) University of Oklahoma press, Norman
- Congalton, R , and K Green 1992 The ABCs of GIS An introduction to geographic information systems J Of forestry 90(11) 13-20
- Corson-Riket, J 1990 Roots user s manual Harvard University Graduate School of Design Laboratory for Computer Graphics and Spacial Analysis Cambridge, Massachusetts, 152 pp
- Cox Earl 1994 The fuzzy systems handbook A practinoner's guide to building using, and maintaining fuzzy systems AP Professional, New York p244-268
- Crowfoot, J E , and Wondolleck, J M 1990 Environmental Disputes, Community Involvement in Conflict Resolution Washington, DC Island Press
- Davis, G , 1989 Environmental assessment Operational directive adopted by banks Environmental Bulletin 1(4) 2
- Davidson, D , S P Theocharopoulos, Bloksma R 1994 A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and Fuzzy set methodologies Int J Geographical Information Systems Vol 8, n° 4, 369-384
- Escalante P , P , A G Navarro S and A T Peterson, 1993 A geographical, ecological, and historical analysis of land bird diversity in Mexico Pp 281-307 in T P Ramamoorthy, R Bye, A Lot, and J Fa, editors Biological diversity of Mexico origins and distribution Oxford University Press, New York
- FAO 1988 Soil maps of the world Revised Legend, Roma
- Flores Villela, O 1993b Herpetofauna Mexicana Annotated list of the species of amphibians and reptiles of Mexico, recent taxonomic changes, and new species Carnegie Museum of Natural History Special Publications 17 1-73
- Foote, K ,and M. Lynch (S/A) Geographic information systems as an integrating technology context, concepts and definitions Department of Geography, University of Texas at Austin
- González G , L , y B Rangel C 1992 Las aves del Estado de México Situación actual y perspectivas Tesis

- de Licenciatura Escuela Nacional de Estudios Profesionales, UNAM México D F
- Groupe Systemes d'information géographique (SIG), Service de l'environnement et des ressources naturelles (SDRN), Division de la recherche, de la vulgarisation et de la formation (SDR) (S/A)
- Harashina, S 1998 EIA in Japan creating a more transparent society? *Environmental Impact Assessment Review* 18 309-311
- Hollick, M 1986 Environmental impact assessment An international evaluation *Environmental Management* 10 157-178
- ICFA 1987 AU2 Paquete general de cartografía Manual del usuario Publicacion 88-AU-2-01 ICFA, México, D F
- Lara, G 1983 Two new species of the lizard genus *Sceloporus* (Reptilia, Sauria, Iguanidae) from the Ajusco and Ocuilan Sierras, México *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 19 1-14
- Lawrence, D 1997 The need for EIA theory-building. *Environ Impact Asses Rev* 17 79-107
- Lee, W 1998 A practical method for environmental impact assessment audits *Environmental Impact Assessment Review* 18 59-71
- LGEEPA Título Primero Disposiciones Generales Capítulo IV Instrumentos de la política Ambiental Sección Quinta Evaluación del Impacto Ambiental Artículo 28.
- Madrigal, S X 1967 Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) en el Valle de México *Bol Tec* N° 18 INIF- SAG México 94p
- Maki Arao. (S/A). Right brain type thinking pattern will change industries (Basic concept of fuzzy logic and FI technologies)
- Masayuki Oyagi (S/A) Prospects of future industrial development realized by fuzzy logic and FI technology
- Nieto, O 1985 Análisis estructural de las comunidades forestales de la Sierra del Ajusco, México Tesis de maestría Facultad de Ciencias, UNAM México, D.F. pp 76
- Orotlano, L. 19 Twenty-two points, plus triple-word-score, plus fifty points for using all my letters Game's

over / in/outta here 97 *Environmental Regulation and Impact Assessment* John Wiley and Sons, Inc USA
603pp

Pardo, M 1997 Environmental impact assessment: myth or reality? Lessons from Spain *Environmental Impact Assessment Review* 17 123-142

Peterson, R T and L E Chaliff 1989 *Aves de México. Guía de campo* Editorial Diana, México D F, México

Pisanty-Levy, J 1993 Mexico's environmental assessment experience *Environmental Impact Assessment Review* 13 267-272

Rau, John y David Wooten 1996 *Environmental Impact Analysis Handbook* University of California at Irvine Mc Graw-Hill Book Company USA

Ross, W A 1994 Environmental impact assessment in the Philippines: progress, problems, and directions for the future *Environmental Impact Assessment Review* 14 217-232

Rzedowski, J 1975 *Flora y vegetación en la Cuenca del Valle de México. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo 1* DDF, México

Rzedowski, J 1978 *La vegetación de México* Editorial Limusa México, D F pp 432

Sánchez, O, G López O, y R López Wilchus. 1983 Murciélagos de la ciudad de México y alrededores. Pp 141-166 en *Ecología Urbana* (Gio-Argáez, R, I Hernández y E Sainz Hernández, eds). Sociedad Mexicana de Historia Natural, México D F

Savinov A (S/A) Applications of multi-dimensional fuzzy analysis to decision making. Laboratory of AI Systems. Institute of Mathematics, Moldavian Academy of Sciences

SEDESOL 1994 Norma Oficial Mexicana NOM-059-1994 que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial* 16 de mayo de 1994.

Smith, S 1991 Integrating multi criteria evaluation with geographical information systems. *Int J Geographical Information Systems*, Vol 5, nº 1, 12-39

Smith, P G R , and J B Theberge 1987 Evaluating natural areas using multiple criteria Theory and practice Environmental Management 11 447-460

Tosluno Terano (S/A) Applied fuzzy systems

Uribe Peña, Z , R Sánchez Trejo y M G Gutiérrez Mayen 1989 Ecología de los lacertinos de las montañas del Distrito Federal. Pp 125-134, en Ecología Urbana (Gio-Argaez, R , I Hernandez y E Sainz Hernandez, eds) Sociedad Mexicana de Historia Natural Mexico D F

Usida Hirnhude (S/A) Basic knowledge of fuzzy/FI technologies guide to practical application

Utilisation des systèmes d'information géographique dans le développement durable

Velázquez, A 1993 Landscape ecology of Tlaloc and Pelado volcanoes, Mexico Publicacion # 16,

International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences Enschede Holanda

Villa, B 1953 Mamíferos silvestres del Valle de Mexico Anales del Instituto de Biología (UNAM) 23 269-492

Winkler Roman, (S/A) Introduction to the fuzzy logic course

Zadeh L A 1965 Fuzzy Sets Information and Control Vol 8, p 338-353

Zadeh L A 1997 The roles of fuzzy logic and soft computing in the conception, design and deployment of intelligent systems Berkeley Initiative on Soft Computing and department of Electrical and Computer Engineering University of California, Berkeley 94729-1776

<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/sustdev/frdirect/gis/crgis000.htm>

<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/intro/intro.html>

http://161.142.128.10/doc/r_cia.html

<http://brezza.uuav.unive.it/~fuggiani/decision.html>

<http://decsai.ugr.es/fiat/otras.html>

<http://www.ccc.org/infobases/law/>

<http://www.fll.uni-linz.ac.at/pdw/fuzzy/fuzzy.html>

<http://www.geocities.com/ResearchTriangle/7220/>

<http://www.omron.co.jp/>

<http://www.omron.co.jp/fuzzy/c-kiso1.html>

<http://www.-/s1-upc.cs/-ia/fuzzy/s1d001.htm>

<http://www.omron.co.jp/fuzzy/es-mura.html>

ANEXO 1 Lista de especies de anfibios registradas en la zona este y sur de la cuenca del Valle de México

Taxa	Habitat	Distribucion	Status
ANURA			
LEPTODACTYLAE			
<i>Eleutherodactylus angustidigitum</i>	E	E	EP
HYLIDAE			
<i>Hyla arenicolor</i>	P/E/A	AD	
<i>Hyla eximia</i>	P/E/A	AD	
RANIDAE			
<i>Rana montezumae</i>	P/E/A	E	PR
CAUDATA			
PLETHODONTIDAE			
<i>Pseudoerycea altamontana</i>	P/E/A	E	RA
<i>Pseudoerycea belli</i>	P/E/A	E	AM
<i>Pseudoerycea cephalica</i>	P/E/A	E	AM
<i>Pseudoerycea leprosa</i>	P/E/A	E	AM
<i>Chiropterorhynchus chiropterus</i>	P/E/A	E	RA

Lista de especies de reptiles registradas en la zona este y sur de la cuenca del Valle de México

Taxa	Habitat	Distribución	Status
ORDEN SAURIA			
FAMILIA ANGUILLIDAE			
<i>Abronnia taeniata</i>	P/E	EN	EP
<i>Barisia imbricata</i>	P/E	EN	
FAMILIA SCINCIDAE			
<i>Eumeces copei</i>	P/E	EN	
FAMILIA PHRYNOSOMATIDAE			
<i>Sceloporus aeneus</i>	P/E	EN	
<i>Sceloporus anahuacus</i>	P/E	EN	
<i>Sceloporus grammicus</i>	P/E	AD	
<i>Sceloporus mucronatus</i>	P/E	EN	
<i>Sceloporus spinosus</i>	P/E	EN	
<i>Sceloporus torquatus</i>	P/E	EN	
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	P/E	EN	
ORDEN SERPENTES			
FAMILIA COLUBRIDAE			
<i>Conopsis biserialis</i>	P/E/A	EN	EP
<i>Conopsis nasus</i>	P/E/A	EN	
<i>Diadophis punctatus</i>	P/E/A	AD	
<i>Pituophis deppii</i>	E	EN	
<i>Rhadinea laureata</i>	P/E/A	EN	
<i>Salvadora bairdi</i>	P/E/A	EN	
<i>Thamnophis eques</i>	P/E/A	AD	
<i>Thamnophis scalaris</i>	P/E/A	EN	
<i>Toluca lineata</i>	P/E/A	EN	
FAMILIA VIPERIDAE			
<i>Crotalus molossus</i>	E	AD	
<i>Crotalus triseriatus</i>	P/E	EN	
<i>Crotalus transversus</i>	P/E	EN	EP
<i>Sistrurus ravus</i>	P/E	EN	

Lista de especies de aves registradas en la zona este y sur de la Cuenca del Valle de México

Taxa	Hábitat	Distribución	Estacionalidad	Status
ORDEN FALCONIFORMES				
FAMILIA ACCIPITRIDAE				
<i>Accipiter striatus</i>	GE		MI	AM
<i>Accipiter cooperi</i>	GE		MI	AM
<i>Buteo jamaicensis</i>	GE		RE	PR
<i>Buteo platypterus</i>	GE		MI	
FAMILIA FALCONIDAE				
<i>Falco sparverius</i>	GE		RE	
<i>Falco columbarius</i>	P/E		MI	AM
ORDEN GALLIFORMES				
FAMILIA PHASIANIDAE				
<i>Dendrortyx macroura</i>	P/E/A		RE	PR
<i>Cyrtonyx montezumae</i>	P/E/A		RE	AM
ORDEN COLUMBIFORMES				
FAMILIA COLUMBIDAE				
<i>Columbina inca</i>	GE		RE	
<i>Zenaida asiatica</i>	GE		MI	
<i>Zenaida macroura</i>	GE		RE	
ORDEN CUCULIFORMES				
FAMILIA CUCULIDAE				
<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	P/E		RE	
<i>Coccyzus americanus</i>	P/E		RE	
<i>Geococcyx velox</i>	P/E		RE	
ORDEN STRIGIFORMES				
FAMILIA TYTONIDAE				
<i>Tyto alba</i>	GE		RI	
FAMILIA STRIGIDAE				
<i>Otus flammeolus</i>	P/E/A		RI	
<i>Otus kennicottii</i>	P/E/A		RI	
<i>Bubo virginianus</i>	P/E/A		RI	
<i>Glaucidium gnoma</i>	P/E/A		RE	RA

Taxa	Habitat	Distribucion	Estacionalidad	Status
<i>Aegolius acadicus</i>	P/E/A		RE	
ORDEN CAPRIMULGIFORMES				
FAMILIA CAPRIMULGIDAE				
<i>Chordeiles acutipennis</i>	GE		RE	
<i>Chordeiles minor</i>	GE		RE	
<i>Caprimulgus vociferans</i>	GE		RE	
ORDEN APODIFORMES				
FAMILIA APODIDAE				
<i>Cypseloides niger</i>	GE		MI	
<i>Cypseloides rutilus</i>	GE		MI	
<i>Streptoprocne semicollaris</i>	B/P/E		RE	
<i>Chaetura vauxi</i>	GE		MI	
<i>Aeronautes saxatalis</i>	GE		RE	
FAMILIA TROCHILIDAE				
<i>Colibri thalassinus</i>	GE		RE	
<i>Cynanthus latirostris</i>	GE		RE	
<i>Hylocharis leucotis</i>	GE		RE	
<i>Amazilia beryllina</i>	GE		RE	
<i>Amazilia violiceps</i>	GE	EN	RE	
<i>Lampornis amethystinus</i>	GE		RE	
<i>Lampornis clemenciae</i>	GE		RE	
<i>Eugenes fulgens</i>	GE		RE	
<i>Calothorax lucifer</i>	GE		RE	
<i>Archilochus colubris</i>	GE		MI	
<i>Selasphorus platycercus</i>	GE		RE	
<i>Selasphorus rufus</i>	GE		MI	
<i>Selasphorus sasin</i>	GE		RE	
FAMILIA TROGONIDAE				
<i>Trogon mexicanus</i>	P/E/A		RE	
FAMILIA ALCEDINIDAE				
<i>Ceryle alcyon</i>	A		RE	

Género	Habitat	Distribución	Estacionalidad	Status
ORDEN PICIFORMES				
FAMILIA PICIDAE				
<i>Melanerpes formicivorus</i>	P/E/A		RE	
<i>Sphyrapicus varius</i>	P/E/A		MI	
<i>Dendrocopos scalaris</i>	P/E/A		RE	
<i>Dendrocopos villosus</i>	P/E/A		RE	
<i>Dendrocopos stricklandi</i>	P/E/A		RI	
<i>Colaptes auratus</i>	P/E/A		RE	
FAMILIA DENDROCOLAPTIDAE				
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	P/E/A	EN	RE	
FAMILIA FORMICARIIDAE				
<i>Grallaria guatemalensis</i>	E/A	EN	RE	EP
ORDEN PASSERIFORMES				
FAMILIA TYRANNIDAE				
<i>Tamnostoma imberbe</i>	P/E/A		RE	
<i>Ayopagis viridicata</i>	P/E		RE	
<i>Aythrephanes phaeocercus</i>	P/E/A		RE	
<i>Contopus borealis</i>	GE		MI	
<i>Contopus pertinax</i>	P/E		RE	
<i>Contopus sordidulus</i>	GE		MI	
<i>Empidonax affinis</i>	P/E	EN	RE	
<i>Empidonax albigularis</i>	P/E/A		RE	
<i>Empidonax minimus</i>	GE		MI	
<i>Empidonax flaviventris</i>	GE		MI	
<i>Empidonax fulvifrons</i>	GE		MI	
<i>Empidonax hammondi</i>	GE		MI	
<i>Empidonax oberholseri</i>	GE		MI	
<i>Empidonax occidentalis</i>	P/E/A		MI	
<i>Tayornis phoebe</i>	GE		MI	
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	GE		RE	
<i>Tyrannus tuberculifer</i>	P/E		RE	

Taxa	Hábitat	Distribucion	Estacionalidad	Status
<i>Tyrannus vociferans</i>	E		RE	
<i>Tyrannus verticalis</i>	P/E		MI	
FAMILIA ALAUDIDAE				
<i>Eremophila alpestris</i>	P/E		RE	
FAMILIA HIRUNDINIDAE				
<i>Tachycineta thalassina</i>	GE		RE/MI	
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	GE		MI	
<i>Hirundo rustica</i>	GE		MI	
FAMILIA CORVIDAE				
<i>Cyanocitta stelleri</i>	P/E/A		RL	
<i>Aphelocoma caeruleascens</i>	P/E/A		RL	
<i>Aphelocoma ultramarina</i>	P/E/A		RE	
<i>Corvus corax</i>	P/E/A		RE	
FAMILIAPARIDAE				
<i>Parus sclateri</i>	P/E/A	EN	RF	
FAMILIA AEGITHALIDAE				
<i>Psaltriparus minimus</i>	GE		RE	
FAMILIA SITTIDAE				
<i>Sitta carolinensis</i>	P/E/A		RE	
<i>Sitta pygmaea</i>	P		RE	
FAMILIA CERTHIDAE				
<i>Certhia americana</i>	P/E		RE	
FAMILIA TROGLODITYDAE				
<i>Campylorhynchus megalopterus</i>	P/E	EN	RE	
<i>Salpinctes obsoletus</i>	P/E/A		RE	
<i>Catherpes mexicanus</i>	E		RE	
<i>Thryomanes bewickii</i>	E		RE	
<i>Troglodytes aedon</i>	E		RE/MI	
<i>Cistothorus platensis</i>	P		RE	
FAMILIA CINCLIDAE				
<i>Cinclus mexicanus</i>	P/E/A		RE	
FAMILIA MUSCICAPIDAE				

Taxa	Hábitat	Distribución	Estacionalidad	Status
<i>Regulus calendula</i>	GE		MI	
<i>Regulus satrapa</i>	P/A		RE	
<i>Polioptila caerulea</i>	GE		MI	
<i>Sialia mexicana</i>	P		RE	
<i>Sialia sialis</i>	P		RE	
<i>Myadestes obscurus</i>	P/E		RE	PR
<i>Myadestes occidentalis</i>	P/E/A		RE	
<i>Catharus aurantirostris</i>	P/E/A		RE	
<i>Catharus frantzii</i>	A		RE	
<i>Catharus guttatus</i>	GE		MI	
<i>Catharus occidentalis</i>	P/E/A	EN	MI	
<i>Catharus ustulatus</i>	P/E/A		RE	
<i>Turdus assimilis</i>	A		RE	
<i>Turdus migratorius</i>	GE		RE	
<i>Turdus rufopalliatus</i>	E	EN	RE	
<i>Ridgwayia pinicola</i>	P/E/A	EN	RE	
FAMILIA MIMIDAE				
<i>Toxostoma ocellatum</i>	E		RE	
<i>Toxostoma curvirostre</i>	P/E		RE	
<i>Melanotis caerulescens</i>	P/E/A	EN	RE	
FAMILIA PTILOGONATIDAE				
<i>Ptilogonys cinereus</i>	P/E/A		RE	
FAMILIA LANIDAE				
<i>Lanius ludovicianus</i>	GE		RE	
FAMILIA VIREONIDAE				
<i>Vireo bellii</i>	GE		MI	PE
<i>Vireo griseus</i>	GE		MI	
<i>Vireo huttoni</i>	P/E/A		RE	
<i>Vireo gilvus</i>	GE		MI	
FAMILIA EMBERIZIDAE				
<i>Thermivora celata</i>	GE		MI	
<i>Thermivora crissalis</i>	GE		MI	

Taxa	Hábitat	Distribución	Estacionalidad	Status
<i>Vermivora peregrina</i>	GE		MI	
<i>Vermivora ruficapilla</i>	GE		MI	
<i>Vermivora superciliosa</i>	P/E/A		RE	
<i>Vermivora virginiae</i>	GE		MJ	
<i>Parula americana</i>	E		MI	
<i>Dendroica coronata</i>	GE		MI	
<i>Dendroica fusca</i>	E		MI	
<i>Dendroica graciae</i>	P		MI	
<i>Dendroica nigrescens</i>	P		MI	
<i>Dendroica petechia</i>	E		MI	
<i>Dendroica townsendi</i>	GE		MI	
<i>Dendroica occidentalis</i>	P/E		MI	
<i>Dendroica virens</i>	E		MI	RA
<i>Mniotilta varia</i>	GE		MI	
<i>Setophaga ruticilla</i>	E		MI	
<i>Helminthos vermivorus</i>	E		MJ	
<i>Seiurus aurocapillus</i>	E		MI	RA
<i>Seiurus motacilla</i>	GE		MI	RA
<i>Seiurus noveboracensis</i>	E		MI	RA
<i>Oporornis philadelphia</i>	E		MI	
<i>Oporornis tolmiei</i>	E		MI	
<i>Geothlypis nelsoni</i>	E		RE	
<i>Wilsonia canadensis</i>	E		MI	
<i>Wilsonia citrina</i>	E		MI	
<i>Wilsonia pusilla</i>	P/E/A		MI	
<i>Cardelina rubrifrons</i>	E		MI	
<i>Ergaticus ruber</i>	P/E	EN	RE	
<i>Amyoborus pictus</i>	E		MI	
<i>Amyoborus miniatus</i>	P/E/A		RE	
<i>Basileuterus belli</i>	P/E		RE	
<i>Basileuterus rufifrons</i>	P/E/A		RE	
<i>Icteria virens</i>	P/E/A		RE	

Taxa	Hábitat	Distribucion	Estacionalidad	Status
<i>Peucedramus taeniatus</i>	P	EN	RE	
<i>Euphonia elangatis</i>	E		RE	
<i>Piranga bidentata</i>	E		RE	
<i>Piranga flava</i>	E		RE	
<i>Piranga ludoviciana</i>	GE		MI	
<i>Piranga rubra</i>	E		MI	
<i>Pheucticus ludovicianus</i>	E		RE	
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	P/E/A		RE	
<i>Guraca caerulea</i>	P/E/A		RE	
<i>Passerina cyanea</i>	E		MI	
<i>Passerina versicolor</i>	E		RF	
<i>Atlepes pileatus</i>	E	EN	RE	
<i>Atlepes virenticeps</i>	P/E/A	EN	RE	
<i>Pipilo erythrophthalmus</i>	P/E/A		RE	
<i>Pipilo fuscus</i>	P/E/A		RL	
<i>Diglossa baritula</i>	P/E/A		RE	
<i>Aimophila ruficeps</i>	F		RE	
<i>Orturus superciliosus</i>	P	EN	RL	
<i>Spizella atrogularis</i>	E		RE	
<i>Spizella pallida</i>	F		MI	
<i>Spizella passerina</i>	E		MI	
<i>Poocetes gramineus</i>	E		MI	
<i>Chondestes grammacus</i>	E		MI	
<i>Venospiza baileyi</i>	P	EN	RE	I:P
<i>Melospiza lincolni</i>	L		MI	
<i>Melospiza melodia</i>	P		RE	
<i>Junco phaeonotus</i>	P/E/A	EN	RE	
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	P		RE	
<i>Molothrus aeneus</i>	GE		RE	
<i>Cterus spurius</i>	E		MI	
<i>Cterus galbula</i>	E		RE/MI	
<i>Cterus parisorum</i>	P/E		RE	

Taxa	Hábitat	Distribucion	Estacionalidad	Status
FAMILIA FRINGILLIDAE				
<i>Carpodacus mexicanus</i>	E/A		RE	
<i>Loxia curvirostra</i>	P		RE	
<i>Carduelis notata</i>	E		MI	
<i>Carduelis pinus</i>	E		RE	
<i>Carduelis psaltria</i>	E		RE	
<i>Coccothraustes abeillei</i>	P/E	EN	RE	
<i>Coccothraustes vespertinus</i>	P/A		RE	
FAMILIA PASSERIDAE				
<i>Passer domesticus</i>	GR		LN	

Lista de especies de mamíferos registradas en la zona este y sur de la Cuenca del Valle de México

Taxa	Habitat	Distribución	Status
ORDEN MARSUPIALIA			
FAMILIA DIDEPHIDAE			
<i>Didelphis virginiana</i>	GE	AD	
ORDEN INSECTIVORA			
FAMILIA SORICIDAE			
<i>Cryptotis goldmani</i>	P/E/A	AD	RA
<i>Sorex oreopolus</i>	P/E/A	EN	
<i>Sorex saussurei</i>	P/E/A	AD	
<i>Sorex ventralis</i>	P/E/A	EN	
ORDEN CHIROPTERA			
FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE			
<i>Anoura geoffroyi</i>	P/E/A	AD	
<i>Dermanura azteca</i>	P/E/A	AD	
<i>Glossophaga soricina</i>	P/E	AD	
<i>Leptonycteris nivalis</i>	P/E	AD	AM
FAMILIA NATALIDAE			
<i>Natalus stramineus</i>	P/E	AD	
FAMILIA VESPERTILIONIDAE			
<i>Eptesicus fuscus</i>	P/E/A	AD	
<i>Idionycteris phyllotis</i>	P/E/A	AD	
<i>Lasurus cinereus</i>	P/E/A	AD	
<i>Myotis californicus</i>	P/E/A	AD	
<i>Myotis thysanodes</i>	P/E/A	AD	
<i>Myotis velifer</i>	P/E/A	AD	
<i>Myotis volans</i>	P/E/A	AD	
<i>Myotis yumanensis</i>	P/E/A	AD	
<i>Plecotus mexicanus</i>	P/E/A	EN	
FAMILIA MOLOSSIDAE			
<i>Tadarida brasiliensis</i>	P/E	AD	
ORDEN EDENTATA			
FAMILIA DASYPODIDAE			

Taxa	Hábitat	Distribucion	Status
<i>Dasyopus novemcinctus</i>	GE	AD	
ORDEN LAGOMORPHA			
FAMILIA LEPORIDAE			
<i>Romerolagus diazi</i>	P/E	EN	EP
<i>Sylvilagus cunicularius</i>	P/E	EN	
<i>Sylvilagus floridanus</i>	P/E/A	AD	
ORDEN RODENTIA			
FAMILIA SCIURIDAE			
<i>Spermophilus variegatus</i>	P/E	AD	
<i>Sciurus aureogaster</i>	P/E/A	AD	
<i>Sciurus oculatus</i>	P/E/A	EN	
FAMILIA GEOMYIDAE			
<i>Thomomys umbrinus</i>	P/E/A	AD	
<i>Pappogeomys merriami</i>	P/E/A	AD	
FAMILIA HETEROMYIDAE			
<i>Liomys irroratus</i>	E	AD	
FAMILIA MURIDAE			
<i>Reithrodontomys megalotis</i>	P/E	AD	
<i>Reithrodontomys chrysopsus</i>	P/E	EN	
<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>	P/E	AD	
<i>Reithrodontomys microdon</i>	P/E	AD	
<i>Peromyscus aztecus</i>	A	AD	
<i>Peromyscus difficilis</i>	P/E	AD	
<i>Peromyscus gratus</i>	P/E	AD	
<i>Peromyscus maniculatus</i>	P/E/A	AD	
<i>Peromyscus melanotis</i>	P/E/A	AD	
<i>Baiomys taylori</i>	P/E	AD	
<i>Sigmodon leucotis</i>	P/E	EN	RA
<i>Neotomodon alstoni</i>	P/E	EN	
<i>Neotoma mexicana</i>	P/E	AD	
FAMILIA ARVICORIDAE			
<i>Microtus mexicanus</i>	P/E	AD	

Taxa	Habitat	Distribución	Status
ORDEN CARNIVORA			
FAMILIA CANIDAE			
<i>Canis latrans</i>	P/E/A		
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	P/E/A		
FAMILIA PROCYONIDAE			
<i>Bassariscus astutus</i>	GE		
<i>Procyon lotor</i>	P/E/A		
FAMILIA MUSTELIDAE			
<i>Mustela frenata</i>	GE		
<i>Taxidea taxus</i>	GE	AD	EP
<i>Spilogale putorius</i>	GE	AD	
<i>Mephitis macroura</i>	GE	AD	
<i>Conepatus mesoleucus</i>	P/E/A	AD	
FAMILIA FELIDAE			
<i>Lynx rufus</i>	P/E/A	AD	RA
ORDEN ARTIODACTYLA			
FAMILIA CERVIDAE			
<i>Odocoileus virginianus</i>	P/E/A	AD	PR

Claves

- GE = Generalista
- P/E/A = Pino / Encino / Oyamel
- P/E = Pino / Encino
- AD = Ampla distribución
- EN = Endémico
- RA = Rara
- AM = Amenzada
- EP = En peligro
- PR = Protección Especial
- MI = Migratoria
- RE = Residente