

ISSN: 1665-0875

GEOCALLI

Cuadernos de Geografía

Análisis

diacrónico del

paisaje:

Presa Zimapán

Año 12, Núm. 24

Análisis diacrónico del paisaje: Presa Zimapán

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades
División de Estudios Históricos y Humanos
Departamento de Geografía y Ordenación Territorial



Año 12, Núm. 24
julio-diciembre de 2011



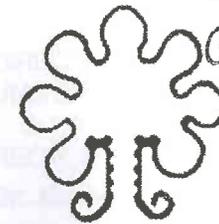
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Centro Universitario de
Ciencias Sociales y Humanidades
División de Estudios Históricos y Humanos
Departamento de Geografía
y Ordenación Territorial



EJEMPLAR DE CORTESÍA

UdeG • CUCSH

Coordinación Editorial



**GEOCALLI
CUADERNOS DE GEOGRAFIA**



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO
DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES
DIVISIÓN DE ESTUDIOS HISTÓRICOS Y HUMANOS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
Y ORDENACIÓN TERRITORIAL**

**ANÁLISIS DIACRÓNICO DEL PAISAJE:
PRESA ZIMAPÁN**

julio - diciembre de 2011

Año 12, Núm. 24

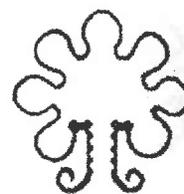
Geocalli, Cuadernos de Geografía, Año 12, núm. 24. julio-diciembre de 2011, es una publicación semestral editada por la Universidad de Guadalajara, a través del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, de la División de Estudios Históricos y Humanos del CUCSH. Av. de los Maestros, puerta 3, Edificio N, Col. Alcalde Barranquitas, C.P. 44260. Guadalajara, Jalisco, México. Teléfonos: (33) 38193381 y 38193386.

<http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/ppperiod/geocalli/index.htm>, revista.geocalli@csh.udg.mx, Editoras responsables: Lucía González Torreros y Mercedes Arabela Chong Muñoz. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo 04-2011-100311310400-102, ISSN: 1665-0875, otorgado por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Impresa por Editorial Pandora, S, A, de C. V., Calle Caña # 3657, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, México, este número se terminó de imprimir el 20 de febrero de 2012, con un tiraje de 500 ejemplares.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

LATINDEX-Catálogo (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal). Consultar: <http://www.latindex.unam.mx>



GEOCALLI

DIRECTORIO
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

RECTOR GENERAL
Dr. Marco Antonio Cortés Guardado

VICE RECTOR
Dr. Miguel Ángel Navarro Navarro

SECRETARIO GENERAL
Mtro. José Alfredo Peña Ramos

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
SOCIALES Y HUMANIDADES

RECTOR DEL CENTRO
Mtro. Pablo Arredondo Ramírez

SECRETARIO ACADÉMICO
Dr. José María Nava Preciado

SECRETARIO ADMINISTRATIVO
Mtro. Luis Gustavo Padilla Montes

DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE
ESTUDIOS HISTÓRICOS Y HUMANOS
Dra. Lilia V. Oliver Sánchez

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN
TERRITORIAL
Dr. Hirineo Martínez Barragán

JEFE DE LA EDITORIAL
Lic. Luis Edmundo Camacho Vergara



GEOCALLI

DIRECTORAS

Dra. Lucía González Torrerros

Mtra. Mercedes Arabela Chong Muñoz

EDITORES

Mtra. Rosalba Castañeda Castro

Mtro. José Hildelgado Gómez Sención

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Felipe Cabrales Barajas.

Universidad de Guadalajara, México.

Dr. Julio Muñoz Jiménez

Universidad Complutense de Madrid,
España

Dr. Miguel Angel Troitiño Vinuesa

Universidad Complutense de Madrid,
España

Dr. Luis Delgado Argote

CICESE, Ensenada, México

Dr. Luis Chías Becerril

Instituto de Geografía, UNAM, México

Dr. Omar Moncada Maya

Instituto de Geografía, UNAM, México

Dr. Ángel Massiris Cabeza

Universidad Pedagógica y Tecnológica de
Colombia

Dr. David Robinson

Syracuse University, USA



INDICE

PRESENTACIÓN	9
ACERCA DE LOS AUTORES	11
ANÁLISIS DIACRÓNICO DE LA FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD DEL PAISAJE EN TORNO A LA PRESA ZIMAPÁN, MÉXICO. 1973-2007	15
INTRODUCCIÓN	16
I. Consideraciones metodológicas	17
II. Contexto regional de Zimapán	29
III. Métrica del paisaje	40
IV. Consideraciones finales	56
BIBLIOGRAFÍA	65
INFORMACIÓN PARA COLABORADORES	75

PRESENTACIÓN

Para impulsar el desarrollo de un país se necesita dotar de nueva infraestructura y equipamiento (obras hidroeléctricas, carreteras, puertos, desarrollos inmobiliarios; entre otros) que responda a las necesidades de la población y de la estructura económica e invariablemente, propicia una transformación sobre el paisaje. Sin embargo, la intensidad y orientación de estos cambios, tendrá una manifestación específica en cada territorio, por las diferentes condiciones geográficas que determinan su afectación en términos positivos o negativos.

La presente entrega de **Geocalli. Cuadernos de Geografía**, denominada sintéticamente *Análisis diacrónico del paisaje: Presa Zimapán*, nos lleva hasta los estados de Hidalgo y Querétaro, en el centro este de la República Mexicana. Ahí se construyó, bajo el auspicio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) la Presa Zimapán, obra de ingeniería que ha traído consigo grandes cambios que pueden leerse desde diversas perspectivas.

Una de estas perspectivas la ofrecen los autores (consultores especialistas en el tema) fundamentándose en las premisas de integralidad del paisaje; se rescata la visión evolutiva sobre la conectividad y la fragmentación del

en torno de la presa que afecta principalmente a especies animales y a las diversas coberturas vegetales.

En cambio, para una región que históricamente ha presentado condiciones de aridez, la presa significó la oportunidad de potenciar actividades vinculadas con el sector primario, lo que en cualquier caso constituye siempre un buen resultado si se entreteje con la perspectiva sobre la función alimentaria que ofrece el ámbito rural. Sin embargo, no debe perderse de vista que en la zona de estudio, el principal motor de cambio lo ha constituido un conjunto de actividades vinculadas con el sector primario caracterizado por un contexto demográfico disperso que previo a la obra de ingeniería, ya observaba un impacto en la dinámica estructural de la vegetación.

Las Directoras
Guadalajara, Jalisco. Diciembre de 2011

ACERCA DE LOS AUTORES

Armando Chávez Hernández

Magister en Gestión del Paisaje y del Territorio en la Universidad Autónoma de Madrid, cursos de doctorado en el programa de Paisaje y Territorio dentro de la misma universidad. Es Profesor investigador en la Universidad de Guadalajara.

Ha realizado diversos trabajos de investigación sobre caracterización de flora y fauna y descripción paisajística para estudios de impacto ambiental para desarrollos inmobiliarios en la costa del Pacífico desde Baja California hasta Guerrero, así como para proyectos de importancia regional tales como el Gasoducto Manzanillo-Guadalajara, la Villa Panamericana y seis obras hidroeléctricas, entre otros. Ha participado y coordinado diferentes estudios de Ordenamiento Territorial y Ambiental para municipios de la Región Metropolitana de la ciudad de Guadalajara. También ha realizado trabajos en el Complejo Volcánico de Colima como el estudio técnico justificativo para la declaratoria del primer Parque Estatal, así como el Programa de Manejo del Parque Nacional.

Raymundo Villavicencio García

Es Ingeniero Agrónomo Forestal por la Universidad de Guadalajara (1992), Maestría en Ciencias Forestales por la Universidad de Göttingen (1998) y Doctorado en Ciencias Forestales y Medio Ambiente por la Universidad de Freiburg, Alemania en 2004; con reconocimiento como Perfil PROMEP desde 2000.

Es Profesor-Investigador en el Departamento de Producción Forestal. Ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales en materia de las ciencias forestales y la percepción remota. Como docente imparte las asignaturas de Manejo de Áreas Naturales y Plantaciones Forestales. Ha realizado diversas investigaciones sobre la evaluación y monitoreo de los recursos forestales en las áreas naturales protegidas, mediante inventarios forestales, sistemas de información geográfica y percepción remota. Actualmente realiza proyectos sobre la caracterización biofísica de microcuencas, para la valoración del pago por servicios ambientales, y desarrolla análisis sobre ecología del paisaje en espacios naturales.

Javier Rentería Vargas

Es Licenciado en Geografía (1988) y Maestro en Economía por la Universidad de Guadalajara (1995). Realizó los cursos del programa de Doctorado en Ciencias Sociales por El Colegio de Jalisco (2000). Es profesor de la Licenciatura

en Geografía desde 1987 donde ha impartido diversas asignaturas, así como en los programas de la Maestría en Desarrollo Local y Territorio del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, en la Maestría en Urbanismo y Desarrollo del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño; y, en el programa de Maestría de Estudios sobre la Región de El Colegio de Jalisco.

Ha realizado varios proyectos de investigación sobre temas urbanos, ordenación territorial, geografía política y electoral sobre los que ha publicado artículos y capítulos de libro. Ha participado en los Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial de los Municipio de Zapopan (2006) y en el de Tlajomulco de Zúñiga (2009).

Sergio H. Contreras Rodríguez

Es Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Guadalajara (1970), Maestría en Manejo de áreas de temporal, Escuela de Graduados, Universidad de Guadalajara (1994), Máster en Evaluación Ambiental en el Instituto de Investigaciones Ecológicas de Málaga España y La Universidad Autónoma de Yucatán, México; con reconocimiento como perfil PROMEP desde 2004.

Es Profesor Investigador en el Departamento de Ciencias Ambientales. Es miembro de la Academia de Gestión Ambiental y del Cuerpo Académico Manejo Sustentable de los recursos Naturales. Ha participado en

varios congresos nacionales e internacionales en materia de evaluación de Impactos ambientales y Gestión ambiental. Miembro de *Society for Range Management* desde 1997. Como docente imparte las asignaturas de Impacto ambiental, Ecoturismo, Etnobotánica, Agrostología. Es coordinador general del grupo de Impacto Ambiental, para grandes proyectos hidroeléctricos.

**ANÁLISIS DIACRÓNICO DE LA FRAGMENTACIÓN Y
CONECTIVIDAD DEL PAISAJE EN TORNO A LA
PRESA ZIMAPÁN, MÉXICO 1973-2007**

Armando Chávez Hernández
Raymundo Villavicencio García
Javier Rentería Vargas
Sergio H. Contreras Rodríguez

Resumen

El trabajo evalúa las transformaciones territoriales producidas a raíz de la construcción de la presa Zimapán para la generación de energía eléctrica por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La presencia de la presa contribuyó a acelerar procesos de deterioro del contexto natural; sin embargo consolidó la agricultura en un ámbito semiárido que tuvo un impulso en la disponibilidad de agua que produjo esta obra hidráulica.

Palabras Clave

Zimapán, fragmentación, sistema ambiental regional, uso del suelo, paisaje.

Abstract

The paper assesses the spatial changes due to the construction of the Zimapán dam (central Mexico) for hydropower generation built by the Federal Electricity Commission (CFE). The presence of the dam helped to accelerate degradation processes in the natural context, but consolidated agriculture in a semiarid environment that had a boost in the availability of water produced by this hydraulic engineering work.

Keywords

Zimapán, fragmentation, environment regional system, land use, landscape.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio muestra los resultados de fragmentación y conectividad del paisaje de la presa Zimapán, obra de infraestructura que se emplaza en la región Centro del país en los estados de Hidalgo y Querétaro.

El punto de partida de este análisis, se centra en que la variabilidad territorial expresa una historia evolutiva; es decir, cada retazo de espacio diferenciado está inmerso en una dinámica propia definida por la "reinterpretación" que de ella hacen sus propios elementos sobre el contexto

general al que pertenecen. Las transformaciones territoriales tienen como motor de cambio diferentes procesos y según el signo dominante, éstos pueden ser naturales o antrópicos. Algunos de los cambios son drásticos y rápidos, producto de catástrofes naturales o grandes intervenciones humanas sobre los recursos o los patrones de organización territorial; otros en cambio, pueden ser menos perceptibles pero de gran continuidad en el tiempo, lo que a la postre le dan carácter de identidad al territorio.

Bajo estas premisas se analizan las consecuencias -a través de los cambios en las coberturas- del establecimiento de una gran obra de infraestructura como es la presa hidroeléctrica Zimapán en el paisaje, tanto por la superficie modificada por las obras civiles como por el área de inundación, así como las transformaciones indirectas en la dinámica de asentamientos y actividades humanas.

I. Consideraciones metodológicas

Antecedentes al impacto de la fragmentación

La caracterización de los componentes del paisaje en el mantenimiento de la conectividad de hábitats es fundamental debido a las implicaciones en la conservación de procesos ecológicos e interacciones a nivel de poblaciones, comunidades y ecosistemas (Primack, Rozzi,

Feinsinger, Dirzo y Massardo, 2001). De esta forma, la fragmentación afecta de manera diferente a las diversas especies de vertebrados en los ecosistemas terrestres (Bennet, 1998). Los paisajes fragmentados están compuestos de una red de hábitats de diferente calidad para la fauna, lo que ha incrementado el interés por comprender cómo las especies son afectadas por la fragmentación (Gascón et al., 1999). Distintos estudios ecológicos han documentado que la permanencia de diversos grupos de plantas y animales, dependen del tamaño de los hábitats y la conexión entre éstos. Sobre el criterio de las superficies, Múgica, De Lucio, Martínez, Sastre, Atauri-Mezquida y Montes (2002) consideran que existen tanto un hábitat viable como una superficie mínimos por debajo de los cuales no es posible garantizar la supervivencia de ciertas especies.

En particular los grupos más estudiados son las aves y mamíferos, la mayor parte de estos estudios indican que las especies animales varían mucho en cuanto a su nivel de especialización y tolerancia ante perturbaciones y cambios en el hábitat (Bennet, 1998).

Los desplazamientos regulares suelen darse cuando un animal se alberga o reproduce en un hábitat y busca alimento en otro ambiente, distintas áreas de vegetación remanente o un mosaico de hábitats. La escala de desplazamiento, la clase, calidad y tamaño de los parches conectados deben cubrir los requerimientos de hábitat de

la especie, los cuales, frecuentemente se encuentran separados por el mosaico de terrenos amplios agrícolas o la matriz del paisaje transformada (Forman, 1995).

Las grandes extensiones de paisajes fragmentados constituyen barreras a la dispersión que pueden restringir la capacidad de potencial reproductivo de diversas especies de animales. Por ejemplo, las plantas pueden disminuir la producción de semillas si las mariposas y abejas son menos capaces de migrar entre los fragmentos de hábitat para polinizar las flores. La producción de polen y de semillas por flor fue menor en los fragmentos pequeños (< 1ha) que en los fragmentos grandes (>2has) y el bosque continuo (Kattan, 2002). Las especies de aves migratorias y las especies generalistas de hábitat no tienen dificultad para moverse entre los fragmentos; sin embargo, para numerosas aves especialistas del sotobosque la dispersión de un fragmento a otro constituye un problema de sobrevivencia (Kattan, 2002). La capacidad de dispersión es específica de cada especie aunque incluso pueda depender de la estructura del paisaje, es decir, de los obstáculos o barreras físicas que encuentre un animal en su camino.

Existen referencias en la literatura científica sobre estudios demográficos que han calculado el tamaño mínimo viable (en adelante TMV) para una especie, así como el área mínima de hábitat apropiado que se requiere para mantener

el TMV. Por ejemplo, para el mantenimiento de poblaciones de diferentes mamíferos pequeños se ha sugerido que son necesarios hábitats de entre 100 y 1,000 km². Si el TMV es de 1,000 individuos, entonces se requieren al menos 100 has para proteger especies de herbívoros pequeños (como roedores), al menos 10,000 has para los herbívoros grandes (como tapires y ciervos) y por lo menos 1 millón de hectáreas para los grandes carnívoros como el jaguar o el puma (Primack, Rozzi, Feinsinger, Dirzo y Massardo, 2001). En una revisión de casi sesenta estudios de fragmentación de bosques se encontró que la conservación de la biodiversidad puede solamente preservarse en fragmentos muy grandes del orden de 10,000 a 100,000 hectáreas. (Zudeima, Sayer, & Dijkman, 1996)

En este contexto, Ceballos y Oliva (2005) señalan registros del ámbito hogareño que ocupan algunos mamíferos de amplia distribución en el país, algunos mamíferos pequeños requieren al menos 10 has de fragmentos de hábitat como el armadillo (*Dasypus novemcinctus* -de 1.1 a 13.8 has-) o el tlacuache (*Didelphys virginiana* -de 4.7 a 25.4 has), mientras mamíferos medianos como el coatí (*Nasua narica*) requieren 3.83 ± 32.8 has de áreas de selva baja caducifolia o la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) de 2.4 a 5 km².

Estudios científicos sobre aves y su distribución especie-área, han demostrado que no sólo se da una pérdida

de especies debido a cambios en el tamaño de los elementos de hábitat (parches "forestales") sino que los fragmentos aislados, y sobre todo los de un tamaño menor de 10 has, se han empobrecido en comparación a zonas similares en hábitats continuos (Bennet, 1998). Las especies de mamíferos grandes se ven afectadas por las restricciones en el tamaño del área, al requerir de áreas extensas de desplazamiento y por tanto, los fragmentos pequeños no son adecuados para satisfacerlos; Ceballos y Oliva (2005) señalan registros del ámbito hogareño que ocupan algunos mamíferos de amplia distribución en el país, tal como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) de 5.2 a 10.6 km², el jaguar (*Panthera onca*) con 28 a 90km² y el puma (*Puma concolor*) de 66 hasta 826 km², este último con desplazamientos de 5 a 40 km/día.

Los desplazamientos de estos animales utilizan enlaces de hábitats de calidad entre cadenas de montañas, por lo que la posibilidad de que estén presentes dependen de contener al menos cierta continuidad entre bosques; por lo tanto, en este estudio se consideró, para el análisis de la conectividad, que se determinaran fragmentos o parches "forestales" (datos vectoriales) como elementos de hábitat

¹ Para la clasificación de las imágenes multiespectrales seguimos la metodología híbrida de la clasificación supervisada/ no-supervisada de las imágenes de percepción remota descrita en Richards & Jia (2006) con la combinación de bandas 2, 3 y 4. Además la clasificación incluyó la etapa de clasificación «experta», calibrada con los datos de referencia provenientes del Modelo de Elevación Digital.

con una extensión mínima de 10 hectáreas; en términos de mapeo, dicha superficie representa a la unidad cartográfica mínima.

El método empleado

El análisis diacrónico realizado para la presa Zimapán, para el cálculo de índices de fragmentación y conectividad,¹ se efectuó con base en la clasificación supervisada de imágenes de satélite Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007, homogeneizadas a una resolución espacial de 28.5m (tamaño de píxel) en formato raster (grid). De acuerdo con la clasificación de imágenes satelitales para el área de estudio (14,400 km²), la cual cubre el área de embalse de la Presa Hidrológica Zimapán (en adelante P.H. Zimapán) y su área de influencia, se obtuvieron 17 clases de cobertura vegetal y uso del suelo. Sin embargo, considerando sólo el área del Sistema Ambiental Regional (en adelante SAR) de esta presa para el análisis de fragmentación y conectividad, se realizó una reclasificación agrupando tipos de vegetación por afinidad, resultando un total de 8 clases. El tipo de cobertura, su superficie absoluta y relativa por cada período evaluado se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 1
SUPERFICIE ABSOLUTA Y RELATIVA POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO

COBERTURA	SUPERFICIE							
	1973		1986		2000		2007	
	(km ²)	(%)						
Bosque	283.2	11.01	199.3	7.75	141.3	5.49	159.7	6.21
Templado	0.8	0.03	0	0	0.1	0	0.5	0.02
Selva alta	822.8	32	1181.8	45.96	924.8	35.97	826	32.12
Matorral	814.7	31.68	919.6	35.76	1295.7	50.39	1289.4	50.15
Agricultura	1	0.04	4.3	0.17	30.6	1.19	27.4	1.07
Cuerpo de agua	629.5	24.48	265.3	10.32	177.7	6.91	267.5	10.4
Sin vegetación	0.5	0.02	1.1	0.04	1.2	0.05	0.9	0.03
Poblado	18.9	0.74	0	0	0	0	0	0
No datos	2571.4	100	2571.4	100	2571.4	100	2571.4	100
TOTAL								

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

A partir de la definición de clases de cobertura, las métricas se calcularon mediante la extensión Patch Analysis de ArcGis y las de conectividad mediante el programa Conefor Sensinode 2.2 (Saura y Pascual-Hortal, 2007).

De todas las métricas posibles que calculan los programas mencionados, fueron seleccionadas para este trabajo las siguientes:

1. Área total del paisaje (TLA). El área total del paisaje (m^2).
2. Área total de parche (CA). El aspecto más fácil de reconocer en los parches: su área.
3. Número de parches (NUMP). El número de parches en el paisaje es una de las maneras más simples de evaluar la diversidad de la superficie terrestre. La interpretación es definida como: a mayor número de parches, mayor es la fragmentación.
4. Tamaño medio cuadrático de los parches (TCP). La media cuadrática asigna un mayor peso en el cálculo de los parches más grandes, que se consideran más relevantes desde el punto de vista estructural y funcional, proporcionando valores mayores que la media aritmética. Su interpretación: un menor tamaño de los parches indica una mayor fragmentación del hábitat.
5. Porcentaje del área interior (PAI). Este índice se

define como la proporción del área total de un hábitat que se encuentra al menos a una determinada distancia del borde de los parches (ejemplo: 50 o 100 metros).

Diferentes poblaciones y procesos ecológicos asociados a un hábitat se desarrollan preferentemente en las zonas interiores del mismo, alejándose de las perturbaciones que puedan existir en las zonas cercanas a los bordes con otro hábitat o usos del suelo. El PAI calculado consideró una distancia de exclusión de borde de 114 m, en la cual la influencia del "efecto de borde" (factores físicos y bióticos) limitaría las condiciones de calidad de hábitat de interior para el desarrollo de especies "especialistas". Debido al formato raster utilizado para el análisis de las métricas, 114 m equivaldrían a la longitud de 4 píxeles de la imagen en proceso.

6. Longitud de bordes (TE). La longitud de los bordes de los parches es la sumatoria de las longitudes de borde en el paisaje por cada tipo de cobertura; se interpreta: los bordes se incrementan cuando los parches son afectados por procesos de incisión (ejemplo: carreteras), por el contrario disminuyen cuando se pierden parches de hábitat.
7. Índice de forma ponderado por tamaño de parche (IFP). La complejidad del paisaje es expresada a

través de la forma de los parches. Se interpreta: A partir de este mínimo ($IF=1$), el valor del índice de forma es mayor cuanto más complejas, dendríticas, sinuosas o alargadas son las formas de los parches.

El índice de forma ponderado utiliza el tamaño del parche como factor de ponderación al momento de caracterizar la irregularidad global de las formas de hábitat, considerando que los parches de mayor tamaño tienen una mayor relevancia desde el punto de vista estructural y funcional. Este índice se aproxima a su valor mínimo ($IFP=1$) en el caso de que los parches del hábitat presenten formas compactas y regulares, e incrementan su valor cuando los contornos de las mismas son más complejos o alargados.

8. Promedio de la proporción Perímetro-Área (MPAR). En este índice se argumenta que el incremento del valor en la proporción perímetro/área de los parches significa que una mayor proporción del ambiente natural del parche está cerca del lindero o borde y, por tanto, son más vulnerables a procesos de perturbación o cambios ecológicos y ambientales que ahí se deriven ("efecto de borde").
9. Índice de yuxtaposición (IJI). Este índice expresa la forma de agregación de los elementos de hábitat que conforman el paisaje. El cálculo a nivel paisaje

de la distribución espacial de los parches o elementos de hábitat especificará qué tan abundante es su dispersión estructural, el índice determina un valor relativo en base a la distribución, pudiendo caracterizar elementos con distribuciones poco abundantes y tendientes a localizarse en áreas específicas, como aquellos elementos que presenten una distribución intermedia hasta los que estén distribuidos por todo el territorio.

En resumen, el índice evalúa el grado de abundancia, dispersión o aglomeración de los parches pertenecientes a cada una de las clases paisajísticas; definiendo que a mayor sea el valor y la superficie total cubierta por la clase, mayor será la homogeneización paisajística.

10. Índice de diversidad de Shannon (SDI). Este índice mide la diversidad que tiene el paisaje respecto a su composición. Se deduce que un valor reducido en su resultado se atribuirá a que el paisaje sólo contiene un parche de una sola clase paisajística y éste se incrementará conforme aumenta el número de clases dentro de la unidad, situación que también varía de un periodo a otro por el incremento o desaparición de parches de cada tipo de cobertura.

11. Índice integral de conectividad (IIC). Calcula el valor de importancia relativa en la conectividad de cada elemento como enlace de hábitat en el paisaje. El IIC considera no solamente el aspecto estructural y funcional del paisaje, sino que también es dependiente de la utilización de distancias de desplazamiento de una determinada especie animal (zorra gris, jaguar y puma; aplicados a este estudio).

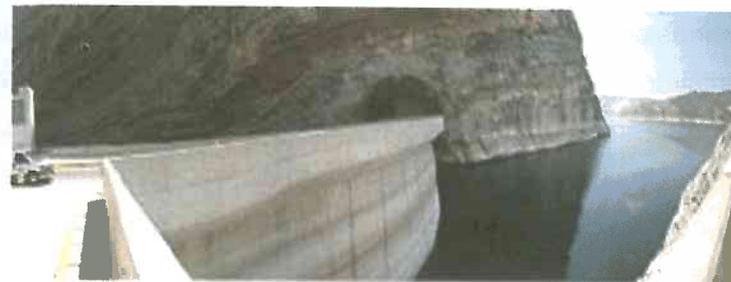
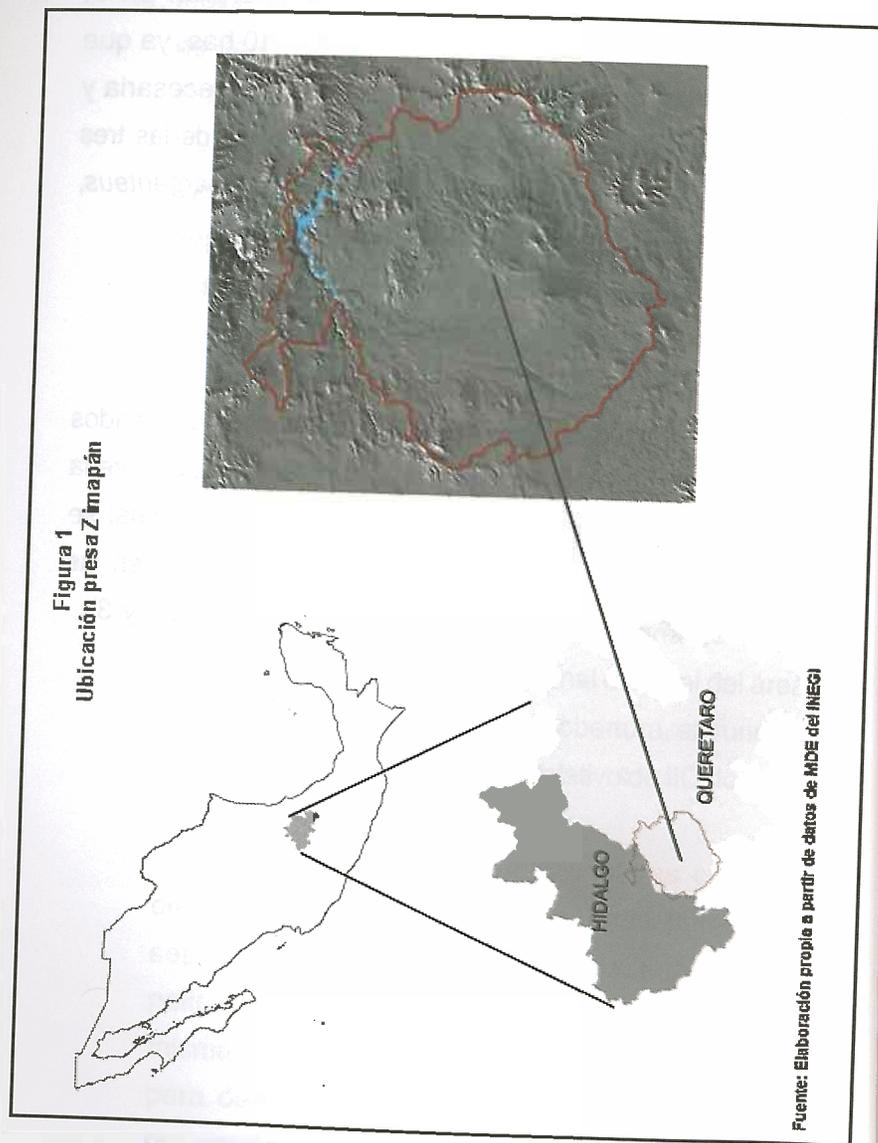
Para priorizar la caracterización de los parches forestales, se definieron tres categorías de importancia (alta, media y baja) de acuerdo al grado de permeabilidad considerando la necesidad de movilidad y hábitat de las tres especies mencionadas en este trabajo, cada una de éstas representarán la parte proporcional del total del área del hábitat "forestal" por tipo de cobertura, en función a la suma acumulada del valor relativo de IIC de cada parche por tipo de hábitat.

El método de áreas equitativas clasifica elementos de polígonos encontrando puntos de separación de forma que el área total de los polígonos en cada clase sea aproximadamente la misma; el color graduado es usado principalmente para desplegar datos numéricos que tienen una progresión o gama de valores, en este caso al valor relativo de IIC.

Para este trabajo se consideraron en el cálculo sólo los parches mayores a 10 has, ya que éstos representan la calidad de hábitat necesaria y de ámbito hogareño para la supervivencia de las tres especies consideradas (*Urocyon cenereoargenteus*, *Puma concolor* y *Panthera onca*).

II. Contexto regional de Zimapán

La presa Zimapán se encuentra localizada entre los estados de Hidalgo y Querétaro (Figura 1). La cortina de esta presa forma parte de la línea de frontera entre ambos, la cual se encuentra empotrada en el cañón del río Moctezuma, en las coordenadas 20° 39' 15" N y 99° 30' 47" W (Figuras 2 y 3).



Figuras 2 y 3.
Cortina y contracortina de la presa Zimapán, estado de Hidalgo.
(Fotografías: Raymundo Villavicencio García. Fecha de la toma:
Mayo de 2008)

El Sistema Ambiental Regional (SAR)

La delimitación del SAR implica establecer un área cuyas dimensiones permitan referir la información territorial para definir los impactos regionales e interacciones ecológicas a escalas medias; en principio, los límites considerados para tal efecto corresponden al concepto de cuenca inmediata. A pesar de que pueda resultar clara la línea divisoria de un área a partir del parteaguas, ésta puede experimentar modificaciones según la naturaleza y extensión de los proyectos a evaluar, por lo que en ocasiones, si bien la línea divisoria de aguas interviene en la definición del SAR como uno de los criterios iniciales de delimitación, también influyen las modificaciones inducidas en el sistema delimitado por implicaciones o interacciones más allá de la cuenca por ser contenedora de algunos otros procesos de interés, por ejemplo, características geológico-geomorfológicas, aspectos demográficos y tipos de vegetación entre los más significativos.

Para este caso, el SAR trasciende los límites de cuenca para incluir áreas adyacentes se considera que fueron influidas por el emplazamiento de la presa Zimapán, como puede ser la reubicación de población o de actividades agropecuarias. A partir de la definición del área de estudio se caracterizó y analizó el mosaico paisajístico en torno a la obra hidroeléctrica, así como su efecto fractal, dinámico y funcional en el territorio.

Debe señalarse que si bien para el análisis cuantitativo del paisaje, la delimitación del SAR podría resultar un tanto arbitraria ya que no significa que exista continuidad de ecosistemas y por lo tanto de conectividad, también influyen otras consideraciones como la movilidad o características dispersoras de las especies, preferencias de hábitat para desplazarse, distancias dispersoras, capacidad de movilidad a través de varios tipos de hábitat, requerimientos alimenticios, reproducción y tasa de mortalidad, estructura del paisaje, distancias entre parches con hábitat favorable, presencia de barreras al desplazamiento e interferencia de la acción humana y de depredadores (Sepúlveda, Moreira y Villaroel, 2005).

La superficie contenida en el SAR es de 255,258 has, dentro de la cual están consideradas las 2,180 has del embalse. El proceso de construcción comprendió desde junio de 1990 hasta su inauguración en 1995. Este estudio presenta los cambios ocurridos entre 1973 y 2007, es decir, antes y después de una obra que muestra, entre otras cosas, las proezas de la ingeniería mexicana para lograr una impresionante cortina, cuyas proporciones la ubican en el lugar 13 en el mundo, con una altura y longitud de corona de 203 y 122 metros respectivamente.

Rasgos característicos

El establecimiento de este embalse significó cambios para la población local reubicada, que si bien parecen nimios, en términos globales constituyó una severa transformación de sus condiciones de subsistencia, puesto que la reubicación ha implicado, casi siempre, la readaptación de sus tradiciones y bases de sobrevivencia en espacios, condiciones y recursos, no sólo distintos sino disminuidos respecto a lo que poseían. Así, los 2,552 habitantes directamente afectados, aún hoy día no terminan por retomar la "normalidad" de sus vidas. Si bien, se consideraron que las 2,990 has que perdería la población local eran de mala calidad, éstas constituían una agricultura de fondo de valle (Figuras 4 y 5), como la que se practica actualmente, misma que les permitía, por lo menos, la seguridad alimentaria básica y la subsistencia de ganadería extensiva de caprinos principalmente.

La topografía del SAR de Zimapán se caracteriza por la presencia de pequeñas estructuras volcánicas de conos monogenéticos y calderas, que pertenecen a la provincia del cinturón volcánico mexicano, cuya mayor elevación está en el cerro Los Amoles (aprox. 3,000 msnm), y dilatadas superficies de llanos que rematan al norte en barrancas del sistema del río Moctezuma, las cuales marcan la transición con la provincia de la Sierra Madre Oriental.



Figura 4.

Uso agrícola en zona de valles (fondo de cañada) entorno a la presa Zimapán, estado de Querétaro. (Fotografía: Armando Chávez Hernández, Fecha de la toma: Mayo de 2008)



Figura 5.

Zona de uso agrícola en las inmediaciones de la presa Zimapán, estado de Hidalgo. (Fotografía: Armando Chávez Hernández, Fecha de la toma: Mayo de 2008)

El SAR de la presa Zimapán se ubica en un territorio conocido como "El Infiernillo" en clara alusión a los rigores del clima de la región. La presa aprovecha los escurrimientos del río Moctezuma, que pertenece al sistema hidrológico del Pánuco (Figura 1).

El clima predominante es semiárido, de ahí el tipo de vegetación predominante en los llanos como el bosque espinoso y algunas plantas suculentas; estas condiciones limitan la actividad agropecuaria a cultivos de temporal, agaves, riegos puntuales y ganadería principalmente. La aridez se acentúa por la posición de este territorio a sotavento de la Sierra Madre Oriental en especial en las inmediaciones de la presa debido al poder desecante de los vientos que bajan de las elevaciones serranas.

Con relación a los asentamientos humanos destaca, en dirección sur del SAR, una acumulación de localidades dedicadas a actividades industriales y de servicios en estrecha relación con el corredor que forma la autopista México-Querétaro. Cabe apuntar que, en general, estos territorios son de una ocupación y presión humana antigua, donde el recurso suelo para las actividades primarias ha sido utilizado con intensidad a través de una serie de asentamientos dispersos de tamaño pequeño que pretenden mantener un contacto cercano con sus áreas de producción. La articulación demográfica histórica se puede identificar en un eje norte-sur ligeramente cargado hacia el oeste del SAR que aprovecha áreas de llanos y valles (Figura 6).



Figura 6.
Vegetación ruderal y zona de uso agrícola en las inmediaciones de la presa Zimapán, estado de Hidalgo. (Fotografía: Armando Chávez Hernández. Fecha de la toma: Mayo de 2008)

Datos demográficos

Para tratar de acercarnos al poblamiento y uso del territorio presentaremos los resultados del análisis de los datos de los censos de 1990 y 2000, así como el conteo de población 2005. En la tabla 2 presentamos datos que nos permiten hacer algunas consideraciones sobre la distribución espacial de la población y su posible implicación en la evolución de las estructuras territoriales del SAR.

TABLA 2
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA POBLACIÓN 1990-2005

AÑO	POB. TOTAL	HAB/Km ²	LOCALIDADES
1990	104,298	41	210
2000	124,033	49	402
2005	126,355	50	416

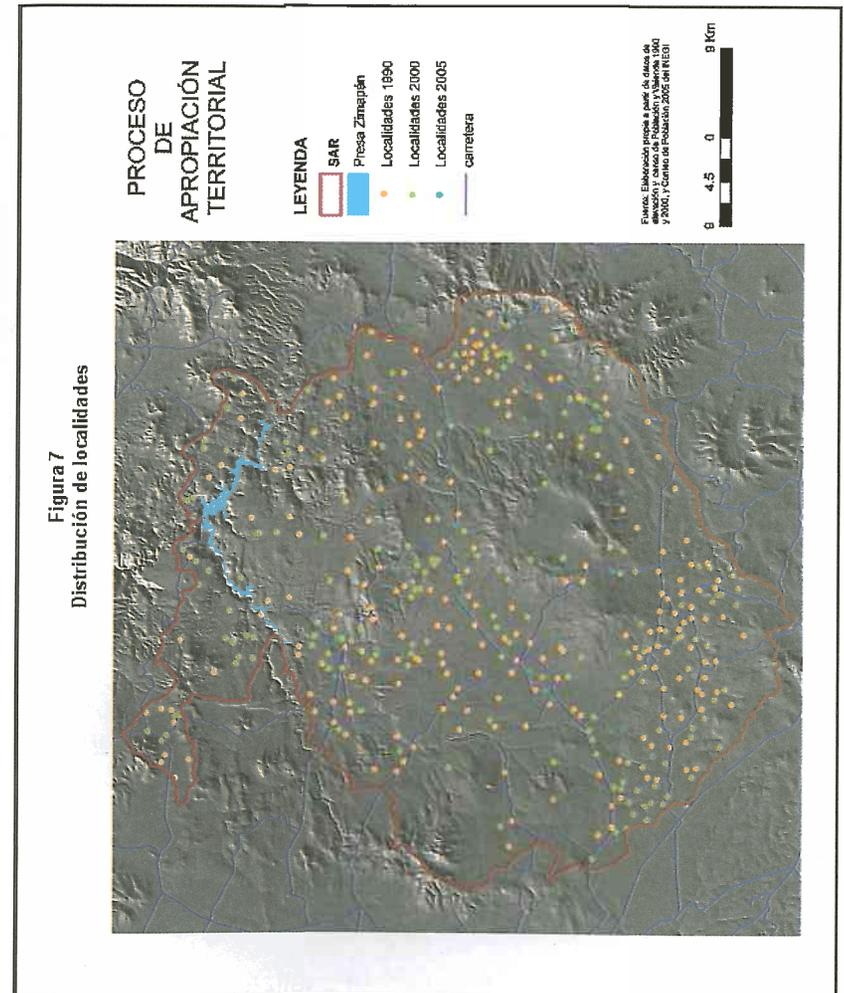
Fuente: Elaboración propia a partir de los Censos de Población y Vivienda 1990 y 2000, y del Censo de Población, 2005. INEGI

De 1990 a 2005 el incremento absoluto de población fue poco mayor a los 20,000 habitantes; sin embargo, la dispersión creció de manera sustancial de 210 localidades² a 416 en 2005 es decir, 98% más localidades en 15 años (Figura 7), este dato por sí mismo puede mostrar la presión sobre el territorio y sus recursos.

Como lo muestran los datos, la densidad promedio actual de 50 hab/km² es similar a la densidad promedio nacional, la cual se considera una densidad media, que para un territorio con limitaciones en la calidad de los suelos y humedad implica una presión que produce deterioro de su potencial ecológico.

Ahora bien, si realizamos un análisis más fino sobre la distribución de la densidad, podemos ver que de 1990 a 2007 surgieron localidades de manera generalizada, pero

² Es necesario apuntar que existe una subestimación del número de localidades en 1990, no obstante podemos considerar que no existirían más de 20 localidades no contabilizadas, con lo cual el total rondaría las 230.



en torno a la presa es posible identificar uno de los mayores crecimientos de nuevos asentamientos. Para todo el SAR se puede identificar un eje norte-sur de asentamientos humanos (Figuras 8 y 9) que sigue tres hitos: uno de localidades históricas hacia el centro del eje, otro por la atracción del eje carretero ya mencionado y un tercero de reciente creación debido al embalse.

III. Métrica del paisaje

De acuerdo con la clasificación de imágenes satelitales para el área de estudio (14,400 km²) -la cual cubre el área de embalse del P. H. Zimapán y su área de influencia-, se obtuvieron 17 clases de cobertura vegetal y uso del suelo. Sin embargo, considerando sólo el área del SAR de esta presa para el análisis de fragmentación y conectividad, se realizó una reclasificación agrupando tipos de vegetación por afinidad, resultando un total de 8 clases.

El paisaje vegetal lo conforman diversos tipos naturales y artificiales; los naturales más relevantes son el bosque de pino, pino-encino y encino (para este trabajo como agrupación "Bosque templado") que ocupan actualmente (2007) el 6.2% del área del SAR, seguido del matorral, la vegetación ruderal y el pastizal, consideradas como agrupación "matorral" con 32.1%, la fusión de ambas agrupaciones es considerada como la cobertura "forestal"

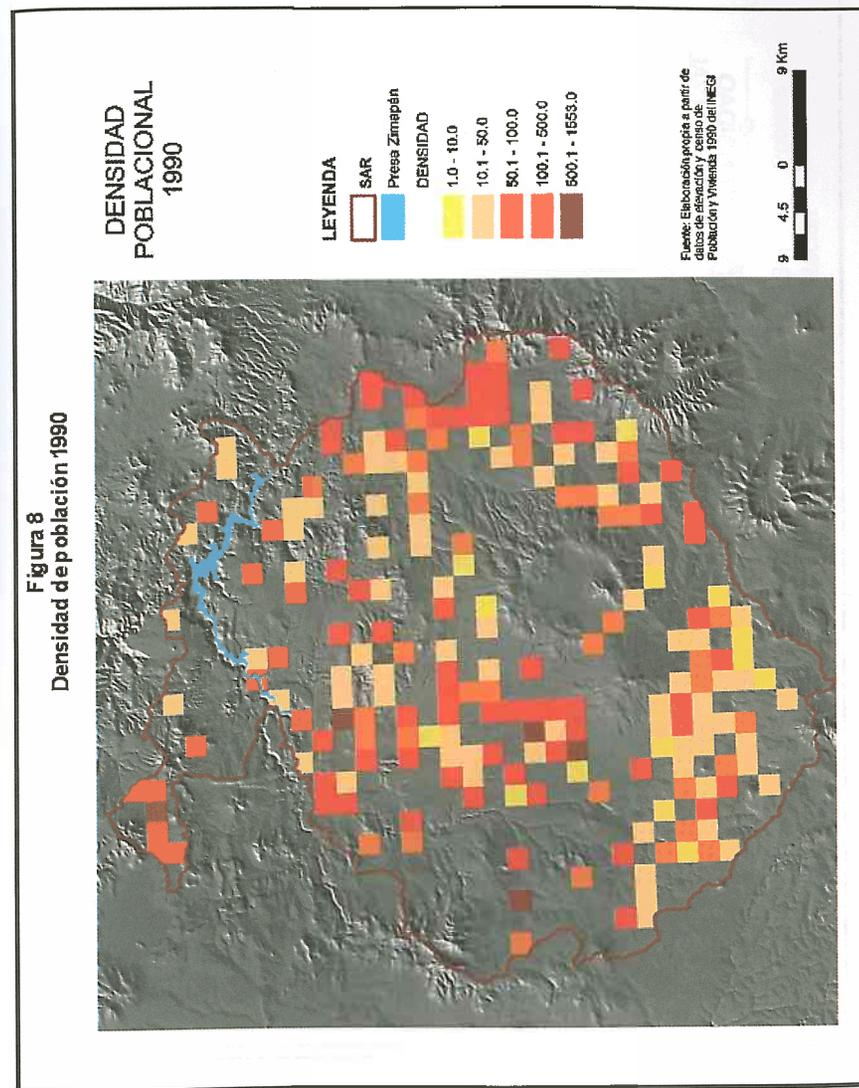


Figura 8
Densidad de población 1990

Figura 9
Densidad de población 2005

DENSIDAD
POBLACIONAL
2005



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Muestreo y Censos de Población 2005 del INEGI

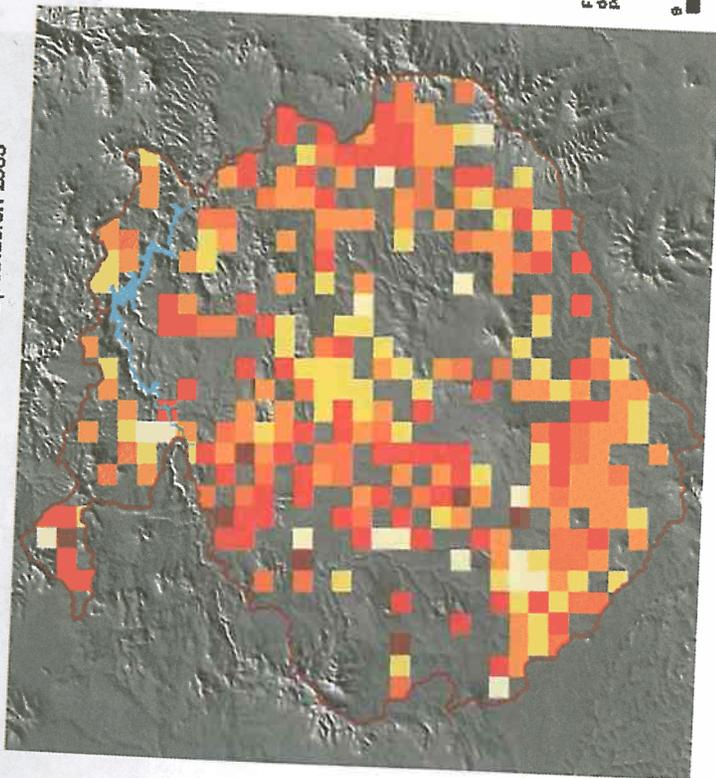
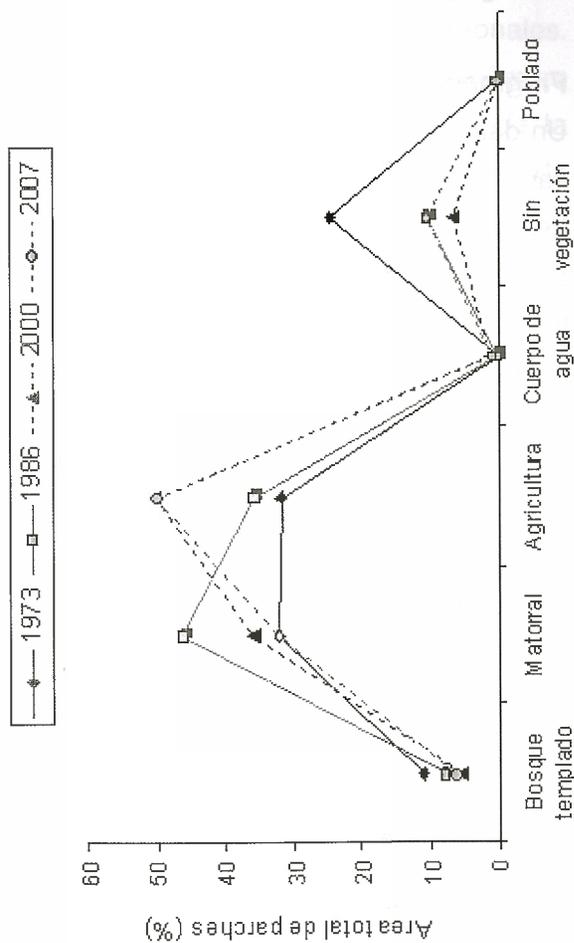


Figura 10
Evolución de superficies. Distribución porcentual de área de parches por tipo de cobertura en el SAR del P. H. Zimapán, estado de Hidalgo, para el periodo 1973 - 2007



para términos de análisis de conectividad. Otras coberturas relevantes por su distribución son las superficies agrícolas de riego y de temporal con 50.1% de la superficie total.

Fragmentación

Un dato básico en la evolución del paisaje resulta de los cambios territoriales de las diferentes coberturas del suelo, así como de los fragmentos o parches que las representan. El comportamiento de estos datos responde en general a la dinámica de utilización o presión humana o a la existencia de transformaciones naturales de gran magnitud.

De acuerdo con la metodología descrita se seleccionaron los parámetros más apropiados para conocer el estado de la fragmentación y evaluar sus consecuencias territoriales. Para este caso, algunas de estas referencias se analizan en pares para poder apoyar la explicación, mientras que la evaluación global se realiza en las reflexiones finales que explican integralmente los diferentes parámetros empleados en relación con el territorio de estudio.

La Figura 10 muestra la distribución porcentual de la superficie que ocupa cada tipo de cobertura vegetal y otros usos del suelo, de éstos destacan dos valores: por un lado existe una sensible disminución de la superficie de bosque templado, el cual había perdido para el año 2000 casi 50% de la superficie que cubría en 1973; esta pérdida

se acentuó particularmente después de la construcción de la presa. Por otro lado, sobresale el incremento de la superficie agrícola que de 1973 a 2007 aumentó 58.2%.

Destacan en el año 2007 dos rasgos adicionales. El primero con el incremento en la proporción del número de parches sin vegetación que alcanzó 41.9% de la superficie, y el segundo con 50% del área paisaje ocupada por la agricultura, indican una creciente degradación de la cobertura natural. Particularmente estos rasgos de transformación pueden ser producto de barbechos, los cuales influyen con la consecuente reducción de intersticios de vegetación arbustiva o de arbolado que suelen reducir la movilidad de diferentes especies animales. (Figura 11)

Para el cálculo del tamaño medio cuadrático de los parches (TCP) y porcentaje de área interior (PAI) se consideró excluir un borde de 114 m. Los valores de estos dos índices muestran la consolidación de la agricultura en detrimento de la vegetación natural (Tabla 3), existe sin embargo un aspecto que hace menos dramáticos los cambios para el caso de los bosques y los matorrales, si bien disminuyen su tamaño de parche tiende a incrementarse el área interior lo que compensa o mitiga las pérdidas de tamaño en especial, en beneficio de especies medianas y pequeñas.

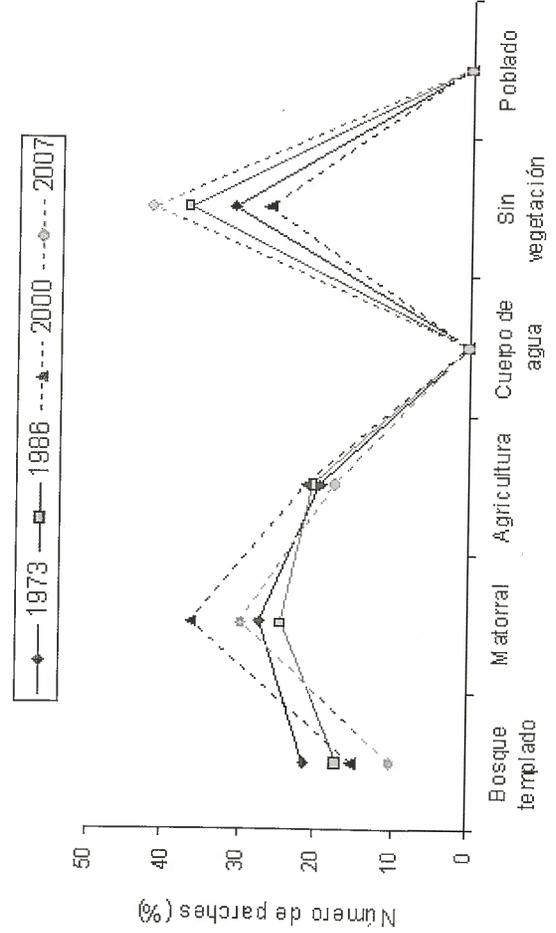
TABLA 3

TAMAÑO MEDIO CUADRÁTICO (TPC) Y PORCENTAJE DE ÁREA INTERIOR (PAI) DE FRAGMENTOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO

	1973		1986		2000		2007	
	TPC	PAI	TPC	PAI	TPC	PAI	TPC	PAI
Paisaje	175.3	9.1	1734.2	12.1	1840.9	17.1	2001.7	24.3
Bosque								
Templado	473.3	17.2	324.7	9.7	259.6	6.9	392.2	18.5
S elva alta	9.9	0	0	0	2.6	0	6.8	0.8
Matorral	1218	9.1	1606.3	13.2	2097.1	9	1181.2	17.7
Agricultura	1430.4	12.1	1369	14.8	2004.2	35.9	2389.6	45.5
Cuerpo de agua	32.1	6.2	52.1	24.1	451.7	40.9	417.8	45.5
Sin vegetación	873.8	4.3	293.5	2.1	247.3	2.3	321.8	2.3
Poblado	12.4	1.9	14	3.9	18.3	1.9	12.5	0.7

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes+A12 de Landsat MSS, TMY ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

Figura 11
Evolución de parches. Porcentaje del número de parches por tipo de cobertura en el SAR del P.H. Zimapán, estado de Hidalgo, para el periodo 1973-2007



La longitud de bordes (TE) indicó que la mayor variación se presentó en orden de mayor a menor importancia para el matorral, seguido de los parches sin vegetación y la agricultura (Tabla 4). Cabe destacar que en 2007 el bosque templado redujo su longitud de bordes 50% respecto a su condición original y en la cobertura selva en 1986 desaparecieron parches. El índice de forma ponderado (IFP) durante las cuatro fechas, presentó en las coberturas "forestales" una ligera variación sobre la complejidad en las formas de los parches, sin llegar a ser significativo. Las formas más complejas están relacionadas con la agricultura (de 1.24 en 1973 a 1.29 en 2007) y el matorral (de 1.25 en 1973 a 1.31 en 1986), esto como consecuencia de un espacio con fuerte presión humana.

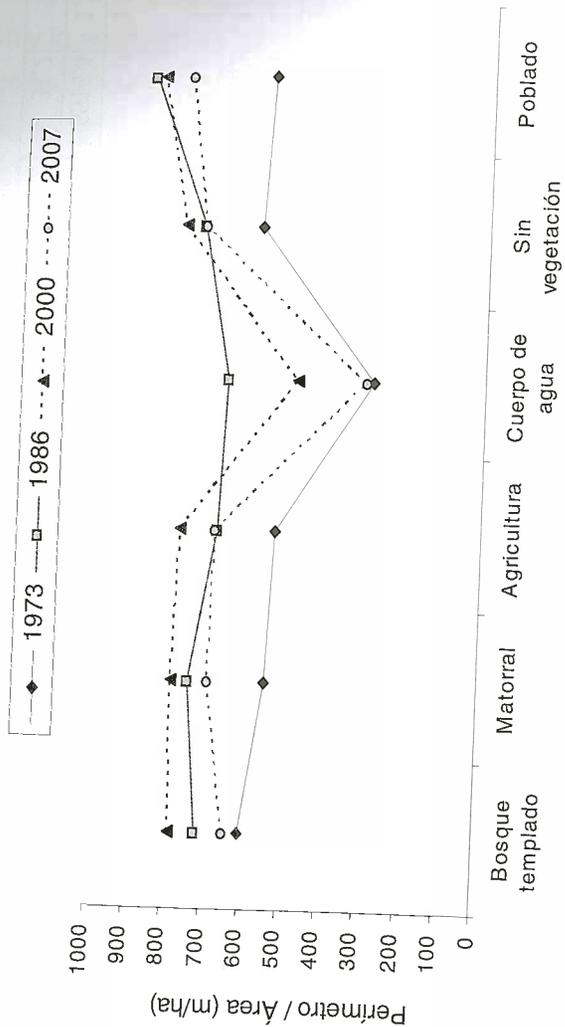
Con base en los índices anteriores, el promedio de la proporción Perímetro-Área (MPAR) como el efecto de borde se incrementa lo cual significa una mayor proclividad a la disminución de la calidad de hábitat por efectos de borde con vecinos que en general son ambientes en proceso de transformación (Figura 12). Entre el periodo 1973 – 2000 el bosque templado incrementó su efecto de borde al pasar de 109% a 121%, en tanto el matorral en el mismo periodo aumentó de 105% a 135.7%.

TABLA 4
LONGITUD DE BORDES (TE Km) E ÍNDICE DE FORMA DE FRAGMENTOS (IFP) POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO

	1973		1986		2000		2007	
	TE Km	IFP						
Paisaje	17717.6	1.24	17709.6	1.26	16019.7	1.28	13888.9	1.25
Bosque								
Templado	4081.5	1.17	3623.7	1.16	2759.2	1.16	2069.2	1.17
Selva alta	35.3	1.06	0	0	4.2	1.05	18.5	1.06
Matorral	10823.5	1.25	13883.9	1.31	13437.4	1.29	9542	1.25
Agricultura	9367.1	1.24	10410.5	1.25	10643.3	1.31	9012.2	1.29
Cuerpo de agua	14.5	1.05	60.2	1.08	215.6	1.2	195.9	1.15
Sin vegetación	10712.1	1.25	7016.5	1.13	4556.2	1.15	6516.4	1.15
Poblado	14.9	1.09	31.5	1.11	30.4	1.12	31.2	1.1

IFP Índice de forma ponderado por tamaño del parche.
Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes de Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000

Figura 12
Evolución relación perímetro - área por tipo de cobertura, P.H. Zimapán, estado de Hidalgo, para el periodo de 1973 a 2000



El resultado del índice de yuxtaposición (IJI) demuestra que las coberturas "forestales" están distribuidas en, al menos, 50% del territorio. En general la tendencia apunta a que las clases se concentren, y aunque en principio este proceso podría parecer favorable a la conectividad de hábitats naturales, se presenta una mayor dispersión en coberturas clave como los matorrales que cubren 58.8% de la superficie dentro del conjunto del paisaje, seguido por el bosque templado con 47.6%. Por tanto, aunque la vegetación de bosque presenta aceptables proporciones de concentración, se debe considerar que su superficie total ha disminuido, lo cual potencia el efecto isla y por consiguiente el empobrecimiento de la diversidad del SAR y su área de influencia. Lo anterior se demuestra con la disminución de los valores de la diversidad paisajística, ya que ésta se reduce de 1.33 a 1.11 en el período de 1973 a 2000.

A manera de síntesis, la tabla 5 muestra la tendencia e impacto producto del análisis de los índices de paisaje obtenidos durante el periodo de evaluación (1973-2007).

Conectividad

Para el análisis del índice integrado de conectividad (IIC), sólo se consideraron los parches "forestales" mayores a 10 hectáreas, por ser éstos representativos y contener una relativa calidad para la supervivencia de las tres especies de fauna silvestre de referencia para este estudio. En este apartado se muestra apoyándonos en gráficos, el análisis que contempla el ámbito hogareño, área de dispersión y/o movilidad del jaguar (*Panthera onca*), al cual se le atribuye una distancia de dispersión de 4.5 km.

Dentro del SAR de la presa Zimapán, el crecimiento y dinámica de las localidades y su población juegan un papel importante en los procesos de la conectividad ya que entre otros factores los asentamientos disuaden o por lo menos dificultan a las especies de fauna para su tránsito, además de poner en riesgo el mantenimiento de la biodiversidad de la región.

En el caso del SAR de Zimapán, el espacio con mayor calidad relativa de sitio para la fauna lo conforma una estructura "forestal" compleja compuesta por los cerros La Estancia, Los Amoles y Llano Grande en el municipio de Chapantongo y el Cerro Grande ubicado en el municipio de Alfajayucan. (ver consecutivo de Figuras 13-16).³

³ El índice integral de conectividad (IIC) permite identificar los parches forestales de importancia relativa para el mantenimiento de la conectividad se basan a una distancia de dispersión de 4.5 kms

Este complejo queda definitivamente aislado en la parte central del SAR y las posibilidades de dispersiones hacia la zona serrana (fuera del contexto del SAR; en dirección norte y noreste), resultará el complejo de lomeríos donde se ubica el cerro La Petaca (con valor de conectividad "medio" de 2000 a 2007), un importante medio de enlace con el complejo cerril en torno al poblado de Zimapán.

Por el margen derecho del poblado de Tecozautla, el uso del suelo es aún más intensivo, además, para alcanzar la cañada que lleva al río Moctezuma o el complejo cerril donde se ubica el Cerro El Espolón, deberá rodear la barrera del embalse de la presa, por lo que la tendencia observada en el término de conservar ecosistemas con enlace no resulta muy alentadora. Con ello se puede afirmar que si bien el contexto general es proclive al deterioro por presión humana, éste se agravó de forma significativa por el establecimiento de la presa.

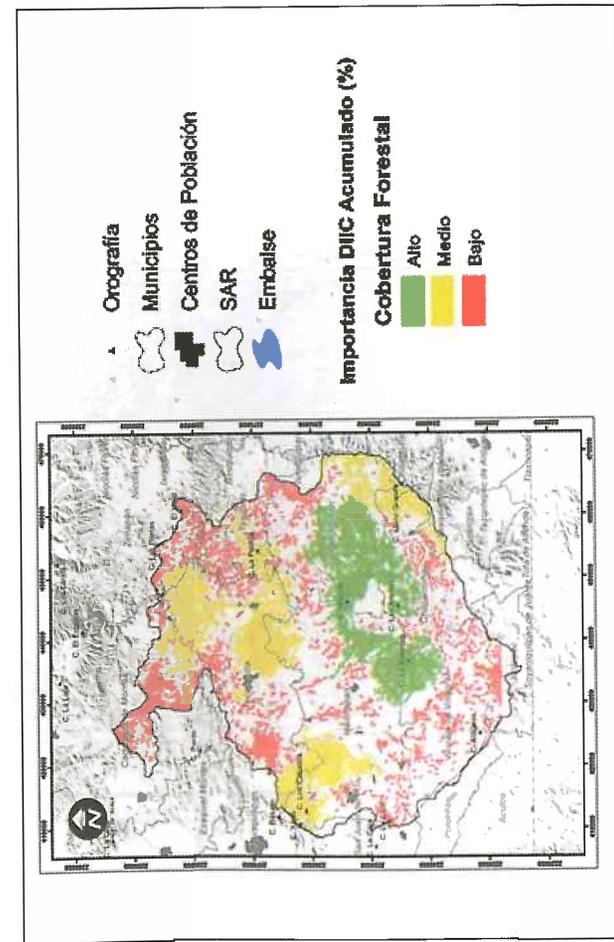
El grado de conectividad acumulado considerando únicamente los valores relativos máximos de DIIC por clase paisajística, indicó cambios notables en la categoría bosque templado (46%, 40%, 18% y 65%, correspondientes a los años 1973, 1986, 2000 y 2007) así como en la de matorral (47%, 83%, 56% y 39%, mismo periodo de evaluación), mientras que el deterioro de la conectividad predominante es baja en mayor proporción (43.4% en bosque y 38.32% en matorral) en la superficie "forestal", no obstante, como

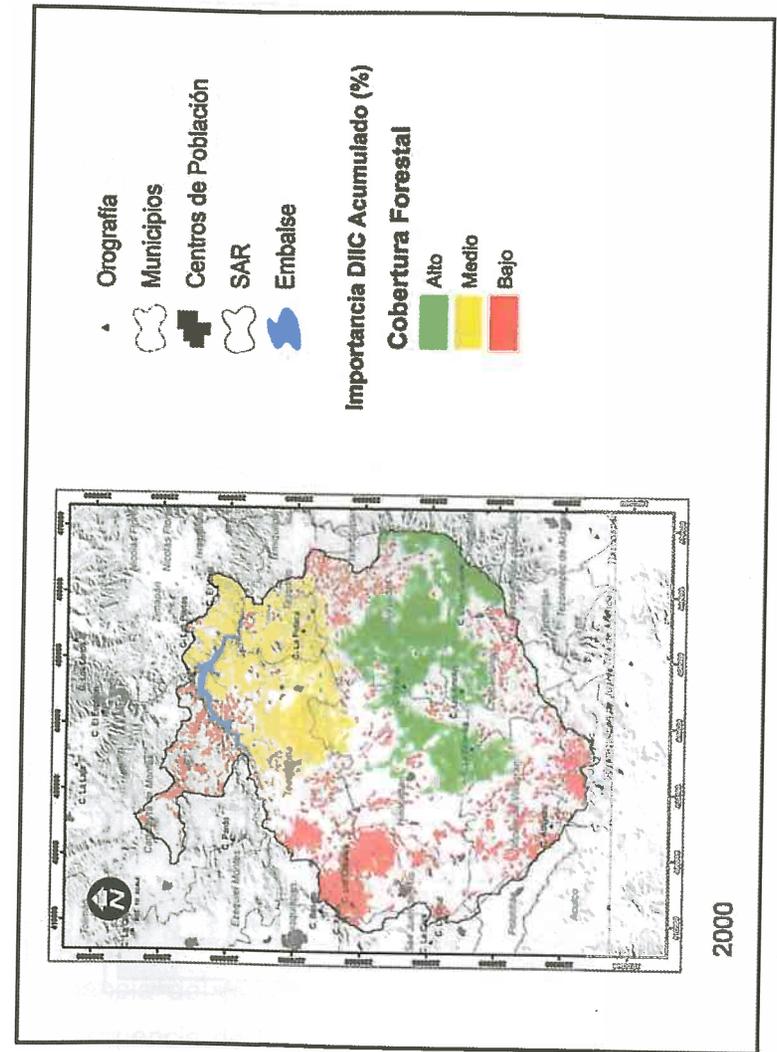
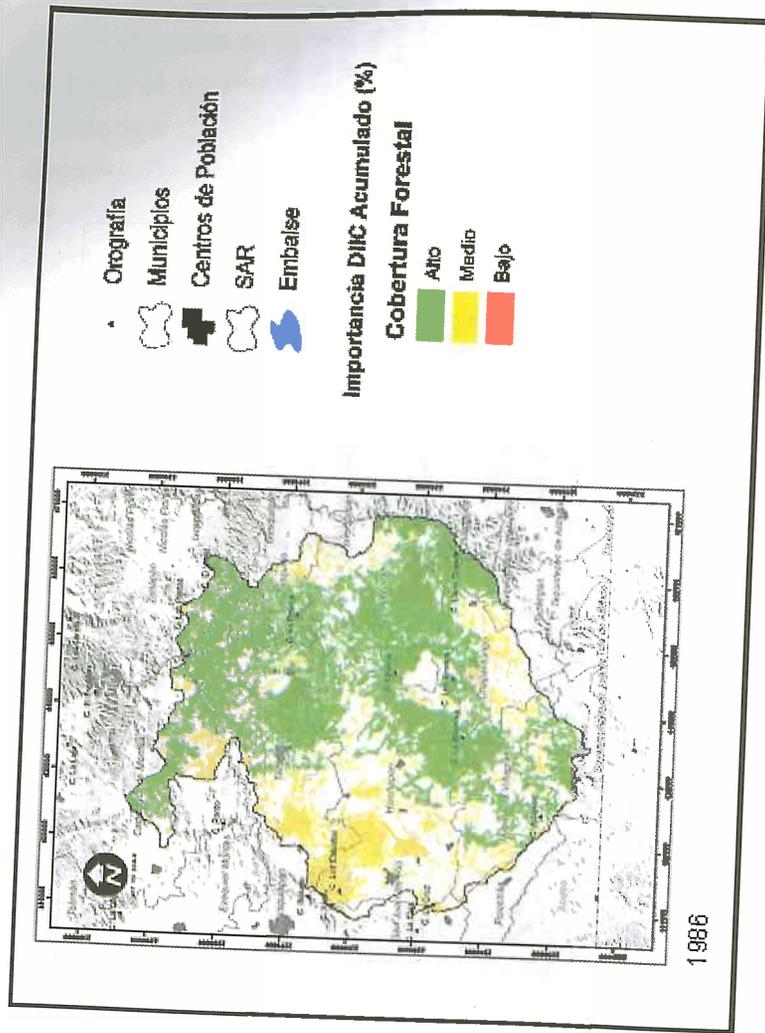
se observó en el proceso de fragmentación, las superficies con calidad apropiada para conformar el ámbito hogareño de las especies se encuentran en proceso de aislamiento. Si bien, el porcentaje de superficie por cada una de las calidades de conectividad ha mostrado una ligera disminución, en general, esta condición no es homogénea para todo el SAR y es precisamente el entorno de la presa donde el proceso de deterioro es más acentuado, no mostrando en ningún periodo signos de recuperación.

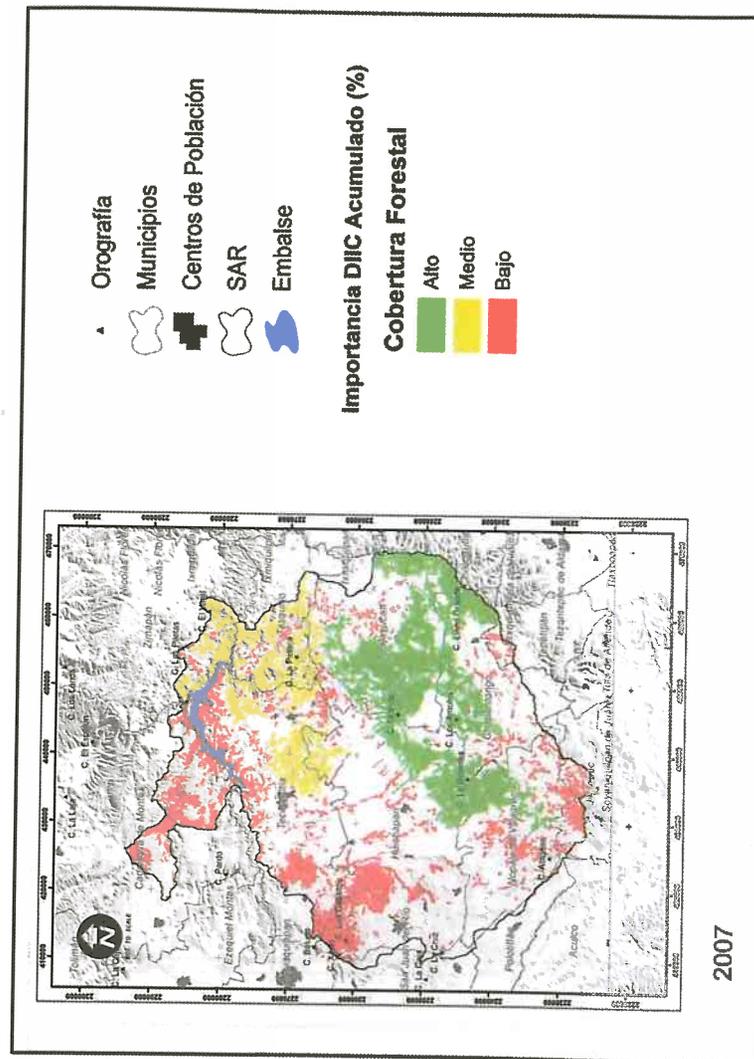
IV. Consideraciones finales

El SAR en general tiene como principal motor de cambio en su dinámica evolutiva el aprovechamiento del recurso suelo para actividades primarias, en un contexto de dispersión demográfica desde tiempos históricos. El impacto generado en la dinámica estructural de la vegetación con motivo del establecimiento de la presa demuestra que ha sido más bien reducido en términos de alentar la fragmentación y que, en todo caso, se suma a la inercia que ya poseía el territorio en el incremento de fragmentación y la reducción paulatina de su diversidad.

En ese sentido la hipótesis inicial sólo se cumple de manera parcial. No obstante, al responder sobre las consecuencias en la conectividad, la respuesta es diferente, en tal caso, el área de inundación formada por la presa ha venido a constituir una frontera casi impermeable para la







dispersión de organismos del área natural considerada como fuente que es la sierra Madre Oriental, al norte del embalse. Lo anterior significa que se potencia el efecto isla de los reductos de vegetación natural hacia el sur del embalse, y se acelera el proceso de reducción en la biodiversidad en una región con presión humana creciente.

Es claro que los datos y la cartografía muestran un incremento paulatino del aislamiento que tiende a disminuir la calidad de hábitat, que algunos de éstos son incluso impermeables a las especies diagnóstico utilizadas.

Ahora bien, en un cambio de escala, es posible ver que en las cercanías del embalse, el deterioro de la conectividad es más agudo, esto es debido a la pérdida de vegetación natural y al aislamiento, lo cual permite reforzar la idea que esta obra ha dañado fundamentalmente la conectividad de las áreas fuente con la región o por lo menos con el SAR.

En un análisis de las imágenes, más allá de los límites del SAR y en dirección a la sierra se puede observar que la vía de comunicación natural hacia el norte está seriamente dañada debido al incremento de la depresión a través de la apertura de tierras al cultivo en el área de influencia del poblado de Zimapán, esto puede ser a consecuencia de las reubicaciones y de la necesidad de compensar las tierras perdidas de fondo de valle que previamente existían y que la presa eliminó.

Para el análisis integral de las consecuencias de la construcción de la presa sobre la caracterización morfológica, la identidad e integración de hábitats, estructura, complejidad, funcionalidad, dinámica, evolución y conectividad del paisaje se utilizaron once parámetros o métricas para identificar fragmentación y grado de conectividad, los datos en conjunto permiten formular una cuantificación global del nivel de degradación del paisaje en torno al SAR y con ello además dar respuesta a las hipótesis aquí planteadas:

Los índices utilizados para el análisis del paisaje generaron los siguientes indicadores ambientales: identidad, tamaño, fragmentación, forma, perturbación, dispersión, diversidad, integridad y conectividad de parches "forestales".

Sobre la hipótesis que fundamenta que la presencia de la presa ha modificado los usos del suelo aledaños al embalse y acelerado el proceso de deforestación, se acepta aunque es importante decir que no en la magnitud espacial esperada. En este sentido la presa ha impulsado un cambio de uso del suelo que no se hubiese presentado en caso de su inexistencia de acuerdo con las métricas analizadas en especial en sus inmediaciones.

La apertura de caminos y terracerías para el paso de vehículos y maquinaria, así como la instalación de infraestructura adicional, obliga de cierta manera a abrir más áreas de bosque o selva, áreas que a la postre podrían

quedar sin restaurarse. Adicionalmente como un factor más de pérdida de hábitat lo constituye la misma superficie del embalse, que directamente afecta la cubierta forestal al quedar bajo el agua.

El análisis de conectividad permitió identificar áreas y/o parches "forestales" críticos, como prioritarios para el mantenimiento de la conectividad, además se caracterizó la conectividad por tipo de hábitat "forestal" en relación a la proporción del total del área del parche por tipo de cobertura y definiendo tres categorías de importancia (baja, media y alta).

Los cambios de uso del suelo incluyendo la barrera física que generan las áreas de embalse afectan en gran medida la capacidad de dispersión de las especies, dando lugar a los procesos de fragmentación y consiguientes problemas para la conservación de poblaciones; por ejemplo la disminución de la fauna silvestre para desplazarse por el paisaje tendrá consecuencias importantes, ya que limitarán su capacidad de movilidad y repoblación en nuevos hábitats. El análisis de la conectividad permite localizar geográficamente las zonas prioritarias o importantes para el mantenimiento de la conectividad de los bosques en torno a las obras hidráulicas en estudio, así como las áreas críticas o de riesgo que requieran de una gestión forestal de manejo prioritario para su conservación o restauración.

Se sugiere que para obtener una evaluación potencial de priorización para la conservación de elementos forestales en función particular a una especie silvestre de fauna, se incorpore al índice integral de conectividad, información adecuada para determinar la disponibilidad de su hábitat, enfatizando sobre todo una distancia de dispersión o patrón de movimiento plenamente identificado.

La construcción de la presa afectó dos aspectos importantes; la diversidad biológica de las barrancas y las áreas productivas de fondo de valle que son importantes para la seguridad alimentaria de la población local. Además le dio un impulso mayor al proceso de cambio que ya se venía dando, teniendo efecto sobre la fragmentación y el patrón espacial de la matriz del paisaje, que traen consigo incrementos en los procesos de deterioro y extinción.

Por último es de destacar que los asentamientos humanos juegan un papel preponderante en la modificación y dinámica del mosaico del paisaje dentro del SAR de Zimapán, el incremento sustancial de localidades a lo largo del tiempo evidencia la presión que experimenta este territorio y su proclividad al deterioro del paisaje mostrado por la evolución de las coberturas del suelo en tamaño y estructura.

BIBLIOGRAFÍA

- ANTA, F. (2006) "Conservación de la biodiversidad en tierras indígenas: una propuesta surgida de las comunidades rurales". *La Jornada Ecológica*. (Suplemento Especial) 4 de diciembre de 2006. Disponible en <http://www.jornada.unam.mx/2006/12/04/eco-cara.html> [Acceso: 29/julio/2008].
- BARABAS, A. y BARTOLOMÉ, M. (1992) "Antropología y Relocalizaciones." *Alteridades*. (4): Pp. 5-15.
- BENNET, A. (1998) *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge. UK?. Pp. 15-41.
- BURT, W. (1943) "Territoriality and home range concepts as applied to mammals." *Journal of Mammalogy*. 24: Pp. 346-352.
- BUSTAMANTE R. y GREZ, A. (1995) "Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los Bosques nativos." *Ciencia y Ambiente*. 11(2): Pp. 58-63.
- CEBALLOS, G. y OLIVA, G. (Coords.) (2005) *Los mamíferos silvestres de México*. México. CONABIO-Fondo de Cultura Económica.
- CHIAPPY, C. y GAMA, L. (2004) "Modificaciones y fragmentación de los geocomplejos tropicales de la Península de Yucatán." *Revista Universidad y Ciencia*; Número Especial I. Pp. 17-25.

- CHUVIECO, S. (2002) *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel Ciencia. Barcelona.
- ELKIE, P., REMPEL, R & CARR, A. (1999) "Patch Analyst User's Manual. A tool for Quantifying Landscape Structure." Ont. Min. Nature Resource. *Northwest Sci. and Technol.* Thunder Bay, Ontario. TM-002.
- FORMAN, R. y GORDON, M. (1986) *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons Inc. New York, NY. USA.
- FORMAN, R. (1995) *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- GASCÓN, C. et al. (1999) "Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants." *Biological Conservation*; (91): Pp. 223-230.
- H. Ayuntamiento de Zimapán. Perfil sociodemográfico del Estado de Hidalgo, Méx. Disponible en http://www.zimapan.gob.mx/wb2/municipios/13084_datos_geograficos_2007. <http://www.zimapan.gob.mx> [Acceso: Octubre de 2007].
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI (2005) México II Censo de población y vivienda 2005. Disponible en <http://cuentame.inegi.gob.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P> [Acceso: junio de 2008].

- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios de Méx., (Estado de Querétaro) Disponible en <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/queretaro/municipios/22004a.htm> 2007 Actualización 2005. <http://www.e-local.gob.mx> [Acceso: octubre del 2007].
- KATTAN, G. (2002) "Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies." En GUARIGUATA, M. Y CATAN, G. (Eds.) (2002) *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ). Costa Rica: Pp. 561-590.
- MCGARIGAL, K. & MARKS, B. (1994) *FRAGSTATS: A Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Version 2.0, Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, Oregon. USA.
- MÚGICA, M., DE LUCIO, F., MARTÍNEZ, A., SASTRE, O., ATAURIMEZQUIDA, J. Y MONTES, O. (2002) *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. RENP y S. A. Madrid: Pp. 27-47.
- PASCUAL-HORTAL, L. & SAURA, S. (2006) "Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation." *Landscape Ecology*. 21:Pp. 959-967
- PRIMACK, R., ROZZI, R., FEINSINGER, P., DIRZO, R. Y MASSARDO, F. (2001) *Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas*. 1ª edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

REMPEL, R. & CARR, A. (2003) *Patch analyst extension for ArcView*. Version 3.0. 2003. Disponible en <http://flash/lakeheadu.ca/rrempel/patch/index.html> [Acceso: agosto de 2007].

SAURA, S. (2001) *Influencia de la escala en la configuración del paisaje: estudio mediante un nuevo método de simulación espacial, imágenes de satélite y cartografías temáticas*. Tesis de Doctorado. Economía y Gestión Forestal/ E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.

SAURA, S. & PASCUAL-HORTAL, L. (2007) *Conefor Sensinode 2.2. User's Manual. Software for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity through graphs and habitat availability indices*. University of Lleida. Spain.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2008) *Guía para elaborar la manifestación de impacto ambiental modalidad regional de proyectos forestales*. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/informaciondetramites/Pages/guiasparatramitesdeimpactoambiental.aspx> [Acceso: mayo de 2008].

SEPÚLVEDA, C., MOREIRA, A. y VILLAROEL, P. (2005) "Más allá de las Áreas Silvestres Protegidas." *Revista Chile Forestal*; (308). Reproducido de *Revista Ambiente y Desarrollo* de CIPMA; 1997. Vol. II No. 2, Pp. 48-58.

ZUIDEMA, P., SAYER, J. & DIJKMAN, W. (1996) "Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate size conservation areas." *Environmental Conservation*. 23: Pp. 290-297.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007	CA: Área total de parche (has)			
	1973	1986	2000	2007
CLASES				
Paisaje	0.00	0.00	0.00	0.00
Bosque templado	28,321.80	19,928.90	14,128.40	15,965.30
S elva alta	82.80	0.00	8.30	46.00
Matorral	82,279.70	118,184.10	92,481.20	82,599.50
Agricultura	81,469.70	91,960.50	129,564.90	128,951.90
Cuerpo de agua	101.60	432.70	3,063.50	2,739.90
S in vegetación	62,945.20	26,531.50	17,773.40	26,753.10
Poblado	51.10	105.90	124.00	85.10

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007			
CLASES	NUMP: Número de parches		
	1973	1986	2007
Paisaje	16,700.00	21,987.00	19,511.00
Bosque templado	3,581.00	3,766.00	2,960.00
Selva alta	70.00	0.00	10.00
Matorral	4,563.00	5,413.00	7,105.00
Agricultura	3,244.00	4,512.00	4,179.00
Cuerpo de agua	10.00	69.00	46.00
Sin vegetación	5,189.00	8,170.00	5,165.00
Poblado	17.00	57.00	46.00

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007			
CLASES	TCP: Tamaño medio cuadrático (has)		
	1973	1986	2007
Paisaje	1,975.30	1,734.20	1,840.90
Bosque templado	473.30	324.70	259.60
Selva alta	9.90	0.00	2.60
Matorral	1,218.00	1,606.30	1,097.10
Agricultura	1,430.40	1,369.00	2,002.20
Cuerpo de agua	32.10	52.10	451.70
Sin vegetación	873.80	293.50	247.30
Poblado	12.40	14.00	18.30

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007

CLASES	PAI: Porcentaje de área interior		
	1973	1986	2000
Paisaje	9.10	12.10	17.10
Bosque templado	17.20	9.70	6.90
Selva alta	0.00	0.00	0.00
Matorral	9.10	13.20	9.00
Agricultura	12.10	14.80	35.90
Cuerpo de agua	6.20	24.10	40.90
Sin vegetación	4.30	2.10	2.30
Poblado	1.90	3.90	1.90
			0.70

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007

CLASES	TE: Longitud de bordes		
	1973	1986	2000
Paisaje	17,717.60	17,709.60	16,019.70
Bosque templado	4,081.50	3,623.70	2,759.20
Selva alta	35.30	0.00	4.20
Matorral	10,823.50	13,883.90	13,437.40
Agricultura	9,367.10	10,410.50	10,643.30
Cuerpo de agua	14.50	60.20	215.60
Sin vegetación	10,712.10	7,016.50	4,556.20
Poblado	14.90	31.50	30.40
			31.20

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

VALORES DE LOS ÍNDICES CALCULADOS POR TIPO DE COBERTURA DEL SAR DE LA P.H. ZIMAPÁN, HIDALGO Y QUERÉTARO, PERIODO DE 1973 A 2007				
CLASES	IFP: Índice de forma ponderado			
	1973	1986	2000	2007
Paisaje	1.24	1.26	1.28	1.25
Bosque templado	1.17	1.16	1.16	1.17
Selva alta	1.06	0.00	1.05	1.06
Matorral	1.25	1.31	1.29	1.25
Agricultura	1.24	1.25	1.31	1.29
Cuerpo de agua	1.05	1.08	1.20	1.15
Sin vegetación	1.25	1.13	1.15	1.15
Poblado	1.09	1.11	1.12	1.10

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación supervisada de imágenes Landsat MSS, TM y ETM de los años 1973, 1986, 2000 y 2007.

INFORMACIÓN PARA LOS COLABORADORES.

Los trabajos deben acompañarse de una solicitud por escrito dirigida a la Dirección Editorial de la revista y firmada por el autor (es), en la que se indicarán los siguientes datos:

- Título del trabajo.
- Nombre, domicilio y correo electrónico.
- Nombre de la Institución donde labora.

NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE ORIGINALES.

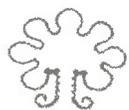
1. Los manuscritos deberán ser trabajos originales e inéditos y no deberán someterse para la publicación simultánea a otra revista.
2. *Extensión:* Los trabajos tendrán una extensión de entre 50 y 60 cuartillas, en tamaño carta, a doble espacio.
3. *Ilustraciones:* Los mapas, gráficas, tablas e imágenes, serán numerados según su orden de aparición y debidamente referenciados en el texto, señalando siempre su procedencia o fuente de referencia del autor. Es indispensable que las fotografías y recursos cartográficos sean de buena resolución. Las tablas y gráficas deberán realizarse en Excel y anexarlas en archivo independiente. El número de mapas, gráficas, tablas e imágenes no deberá ser mayor de 10 y serán entregados en formato media carta. Por cuestiones técnicas, la Editorial se reserva el derecho de seleccionar la cantidad de ilustraciones.

4. Monedas y Medidas. En caso de manejarse en el texto tablas, cuadros o gráficas, cifras monetarias diferentes al peso mexicano, éstas deberán presentarse en su equivalente en dólares americanos. Las medidas (de peso, longitud, capacidad, etc.) deberán expresarse en el sistema métrico decimal.
5. *Autores*: Bajo el título general se colocará el nombre del o los autores, incluyendo a pie de página la profesión o cargo principal con el que desean ser presentados.
6. *Resumen*: Todos los trabajos deberán incluir un resumen no mayor de 10 líneas sobre el objetivo, método y conclusiones del trabajo, así como las palabras clave dentro del desarrollo del tema.
7. *Notas de pie de página*: Deberán ser numeradas con notación progresiva.
8. *Bibliografía*: Las referencias citadas en el texto deberán presentarse en el formato APA .
9. *Abreviaturas*: Se incluirá un listado de las abreviaturas y su significado, ubicándolo después de la bibliografía consultada.
10. *Datos académicos*: En hoja aparte, deberá incluirse una breve referencia sobre el o los autores, con extensión máxima de 10 líneas, respecto a su formación académica, experiencia profesional más destacada, actual posición laboral, y en su caso, principales publicaciones.

11. El Consejo Editorial de **GEOCALLI, Cuadernos de Geografía** decidirá la pertinencia de publicar los originales que se le presenten, atendiendo a las características formales y calidad del contenido. A la brevedad posible se remitirá el dictamen avalado por el Comité Editorial.
12. El trabajo deberá entregarse en CD y el archivo de texto en Word. Además se anexarán dos impresiones que cumplan con los requisitos ya señalados.

GEOCALLI, Cuadernos de Geografía.

Departamento de Geografía y Ordenación Territorial.
 Avenida de los Maestros y Mariano Bárcena, 1er. Piso,
 Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44260
 Tel. y Fax. (33) 8193381 y 8193386
 Correo Electrónico: revista.geocalli@csh.udg.mx



**Números anteriores de
Geocalli, Cuadernos de Geografía**

1. Políticas urbanas en Ciudad Guzmán
2. Análisis territorial de Tonalá
3. Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco
4. Regiones y globalización
5. Paisaje, instrumento de gestión
6. Región y método
7. Límites municipales en Jalisco
8. Morfología urbana y propiedad inmobiliaria
9. Gestión turística en centros históricos
10. Usos y funciones en centros históricos
11. Cartografía del turismo
12. Mapa social de Guadalajara
13. Geografía y ordenamiento territorial
14. Desarrollo territorial y paisaje
15. Evolución regional de Tierra del Fuego
16. Amenazas por agrietamiento en el Valle de Tesistán
17. El ecoturismo y su conceptualización
18. Diferenciación del bienestar en Argentina
19. Cartografía histórica
20. La Geografía de Carl Sauer
- 21 - 22 - 23. Denominaciones de Origen del Café y Desarrollo Regional

El número 24 de Geocalli
Cuadernos de Geografía se terminó de
imprimir el 20 de febrero de 2012
en los talleres de
EDICIONES PANDORA S.A. de C.V.
Caña # 3657, Colonia La Nogalera
C.P. 44470, Guadalajara, Jalisco, México.
Tiraje: 500 ejemplares.