

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FORESTAL**

Evaluación de la diversidad del paisaje, utilizando un Sistema de Información Geográfica, para la Sierra Zapalinamé, Coahuila, México.

TESIS:

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo Forestal

PRESENTA:

José Jesús García Velázquez

APROBADA

Dr. Alejandro Zarate Lupercio

Presidente del jurado

Dr. Jesús Valdés Reyna

1er Sinodal

Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga

2do Sinodal

M.C. Mariano Flores Dávila

Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Mayo de 1998

DEDICATORIA

A mis padres:

J. Carmen y Angela; como un humilde tributo por el enorme sacrificio que han tenido para con sus hijos en educarlos y guiarlos por el camino del bien. Asimismo porque quizás jamás podré pagarles los días y noches que les robe pensando en mí.

A mis hermanos (as):

Felipa, Paula, Rylis, Anita, Mary, Francisco, Pastor, Leo y Carlos. A ustedes por compartir conmigo momentos inolvidables, los respeto y admiro. Gracias por todo el apoyo que me han brindado en todo momento, ser el motivo de mi constante superación, pero sobre todo, ser parte de una gran familia.

A mis sobrinos (as):

Luis Fernando, José Manuel, José Ramón, Mónica, Angélica, Verónica y Juanita. Por hacer mi vida más feliz y ser reflejo de inocencia y cariño.

A todas las personas comprometidas con la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales de México.

AGRADECIMIENTOS

A dios, por darme la vida, guiarme y así poder disfrutar todas las maravillas de la vida.

*A mi **Alma mater**, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme cursar mis estudios en su seno y darme las herramientas necesarias para el transitar de la vida.*

A los maestros del departamento de forestal, por la noble labor que desempeñan en la formación de nuevos valores para el desarrollo de México.

Muy especialmente al Dr. Alejandro Zarate Lupercio, mil gracias por todo su apoyo brindado en la dirección del presente trabajo, consejos y sugerencias para el presente y durante mi formación profesional, pero sobre todo por su amistad y ayuda incondicional en todo momento.

Al comité revisor: Dr. Jesús Valdés Reyna y Dr. Miguel Ángel Capo Arteaga por su valiosa asesoría y colaboración para la realización del presente trabajo.

A los compañeros que trabajan en el "Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica" del departamento forestal, por todo el apoyo brindado, consejos y sugerencias para la culminación del presente estudio: Ing. Leodan Portes Vargas, Ing. Georgina Muñoz Cabrera, Ing. Carlos Alberto Venegas Castro e Ing. Juan Carlos Ramírez Martínez.

A mis amigos (as) de hoy y de siempre, por darme la oportunidad de practicar el sentimiento universal de la amistad.

A mis compañeros de la Generación LXXXIV de ingenieros agrónomos forestales y los del Módulo 2, por todos los momentos compartidos juntos y hacer mas grata mi estancia en la universidad.

A la familia Fuentes Galvan por abrirme las puertas de su casa, el apoyo recibido y sobre todo su amistad durante mi estancia en Saltillo.

A todas las personas que contribuyeron y ayudaron al logro de esta meta y que involuntariamente he omitido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Hipótesis	2
Justificación	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Paisaje	4
Manchas, usos del suelo y unidades del paisaje	5
Fronteras del paisaje	6
Características estructurales	8
Diversidad espacial del paisaje	8
Ecología del paisaje	10
Índices de diversidad espacial del paisaje	11
Índice de diversidad de usos	12
Índice de dominancia	13
Índice de contagio	14
Importancia de los estudios del patrón del paisaje	15
Herramientas de análisis	16
Sistemas de Información Geográfica	16
Modelo de datos vectorial	17
Modelo de datos "raster"	18
Aplicación de los SIG en los estudios del patrón del paisaje	18
Desarrollo y experiencias de los SIG en México	21
MATERIALES Y MÉTODOS	23

Fuentes de información	24
Digitalización del material cartográfico y su introducción al sistema de información geográfica vectorial	24
Delineado y digitalización	26
Corrección de errores de digitalización	26
Georreferenciación	27
Cambio de sistema de proyección	27
Creación de la base de datos temática	29
Elaboración de fichas temáticas y captura digital	29
Integración de la base de datos gráfica con la base de datos temática	29
Elaboración del mapa de uso actual del suelo y cobertura vegetal 1997	29
Construcción del mapa base	30
Tratamiento con el SIG "raster"	31
Rasterización	31
Reclasificación	32
Análisis espacial	32
Descripción del área de estudio	33
Ubicación y vías de acceso	33
Clima	34
Fisiografía	35
Hidrología superficial	35
Hidrología subterránea	36
Geología	36
Suelos	39
Vegetación y usos del suelo	42
Fauna	48
Usos del área	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
Obtención de los mapas según clases de altitud y exposición	52

Obtención de los valores de los índices de diversidad espacial según clases de altitud	53
Obtención de los valores de los índices de diversidad espacial según exposición	55
Distribución de los usos del suelo según clases de altitud	57
Distribución de los usos del suelo según clases de exposición	58
Análisis y discusión de los índices de diversidad del paisaje	59
Tendencia de los índices de diversidad del paisaje según altitud	59
Tendencia de los índices de diversidad del paisaje según exposición	67
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
LITERATURA CITADA	76
ANEXOS	84

ÍNDICE DE CUADROS

Número	Página
1. Distribución de los tipos de roca (Geología)	38

2. Distribución de las unidades de suelos	40
3. Distribución de los tipos de vegetación y usos del suelo	43
4. Mapas de usos del suelo según clases de altitud	52
5. Mapas de usos del suelo según clases de exposición	52
6. Valores de los índices de diversidad del paisaje según altitud	53
7. Valores de los índices de diversidad del paisaje según exposición	56
8. Distribución de los usos del suelo por clases de altitud en porcentajes	57
9. Distribución de los usos del suelo por clases de exposición en porcentajes	58
10. Superficies ocupadas según clases de altitud	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Página
1. Esquema general para la evaluación de los índices de diversidad espacial del paisaje	23

2. Procedimiento para la creación de la base de datos gráfica en PC-ArcInfo	25
3. Procedimiento de digitalización manual de coberturas en PC-ArcInfo	28
4. Comportamiento del índice de diversidad de usos (H), dominancia (D) y contagio (C) según altitud	55
5. Comportamiento del índice de diversidad de usos (H), dominancia (D) y contagio (C) según exposición	56
6. Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 3 (2000-2200 m.s.n.m.)	60
7. Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 1 (1600-1800 m.s.n.m.)	62
8. Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 8 (3000-3200 m.s.n.m.)	63
9. Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 2 (1800-2000 m.s.n.m.)	67
10. Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Oeste	68
11. Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Este	69
12. Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Norte	71

Mapas

1. Ubicación del área de estudio	85
2. Vías de acceso	86
3. Unidades fisiográficas	87
4. Hidrología superficial	88
5. Geología	89
6. Unidades de suelo	90
7. Categorías de vegetación y usos del suelo 1997	91
8. Clases de exposición	92
9. Clases de altitud	93

RESUMEN

Los continuos cambios, destrucción y renovación de las manchas, como los usos del suelo, que han venido presentándose a través del tiempo en la Sierra de Zapalinamé en el Sureste de Coahuila, ha propiciado la alteración de la estructura del paisaje, lo que ha ocasionado efectos en la

pérdida y degradación de los recursos naturales ahí presentes y su modificación en cuanto a cantidad, calidad y disponibilidad, poniendo en riesgo a las comunidades de plantas y animales que ahí habitan e inclusive al hombre mismo. El presente trabajo consistió en evaluar la diversidad espacial del paisaje utilizando dos gradientes ambientales; altitud y exposición, a partir un proceso de fotointerpretación de una serie de fotografías aéreas escala 1: 25,000 se elaboró el mapa de usos del suelo y cobertura vegetal 1997 para el área, empleándose como herramienta de análisis un Sistema de Información Geográfica (SIG), el mapa de usos del suelo y cobertura vegetal así como la cartografía temática y básica de la zona de estudio fueron digitalizadas manualmente e incorporadas al SIG vectorial PC ARCINFO™ para obtener la cartografía digital la cual una vez obtenida fue transformada a formato "raster " de IDRISI™ para llevar a cabo el análisis espacial. La influencia de los cambios en la diversidad del paisaje, consistió en aplicar primeramente una tabla de clasificación al mapa de usos del suelo y cobertura vegetal y así obtener 8 mapas según clases de altitud y 4 mapas según clases de exposición. Estas imágenes "raster" se corrieron en programas en lenguaje Fortran 77 que capturan y sintetizan mediante índices las características estructurales del paisaje útiles para entender la dinámica del paisaje. Los valores obtenidos de los índices de diversidad del paisaje respecto a altitud indican que la diversidad de usos es mucho mayor en las clases altitudinales inferiores a los 2200 m y conforme se va ascendiendo está diversidad de usos disminuye, con respecto al índice de dominancia fue más evidente en la clase 1 (1600-1800 m) donde el matorral inerme parvifolio de rosáceas y el desarrollo urbano son los que dominan este paisaje y la clase 8 (3000-3200 m) fue la que presento mayor proporción de los usos del suelo (menor dominancia), los valores obtenidos por el índice de contagio indica que en la clase 3(2000-2200 m) la cual presenta una alta diversidad de usos y una menor dominancia origina un paisaje más fragmentado, es decir se presentan manchas más pequeñas. Los valores obtenidos de los índices de la diversidad espacial del paisaje según clases de exposición indica que las exposiciones Norte y Oeste son los paisajes que presentan una mayor diversidad de usos, menor dominancia de uno o pocos usos del suelo ahí presentes (mayor equitatividad) y por consiguiente una mayor fragmentación del paisaje al presentarse un mayor número de manchas más pequeñas, lo que no sucede con las exposiciones Sur y Este. Esta diversidad paisajística de los usos del suelo se debe en gran parte a las condiciones topográficas y climáticas que existen dentro de estos paisajes, la superficie ocupada por cada clase de paisaje y por otra parte se tiene al factor antropogénico que es

un transformador del paisaje sometiendo a los ecosistemas afectados a importantes alteraciones, cuando no a auténticas perturbaciones. Estos cambios espaciales y temporales tienen efectos en diversos procesos ecológicos, como pueden ser el flujo de materia y energía, diseminación de disturbios, la riqueza de especies, distribución y permanencia de comunidades, por lo tanto es necesario que la sociedad saltillense regule su actividad y crecimiento obteniendo los satisfactores que necesiten de una manera racional y sostenida , para así garantizar y satisfacer las necesidades y aspiraciones de las presentes generaciones así como la disponibilidad para futuras generaciones.

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DEL PAISAJE, UTILIZANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, PARA LA SIERRA ZAPALINAMÉ, COAHUILA, MÉXICO

INTRODUCCIÓN

La Sierra de Zapalinamé localizada en el sureste de Coahuila ha sido a través del tiempo la principal fuente de abastecimiento de recursos naturales para la ciudad de Saltillo y la región sureste del estado. Actualmente está declarada como área natural protegida dentro de la categoría de “Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé”, su belleza es por sí misma fascinante; más sin embargo en los últimos años este ecosistema y sus recursos se han visto amenazados por la degradación incontrolada y la conversión de otras formas de uso del suelo; alentado por las crecientes necesidades humanas, la expansión agrícola, urbana e industrial y por una nula ordenación ambiental.

Los efectos de la pérdida y degradación de los recursos naturales ahí presentes, se traducen en la erosión del suelo, pérdida y fragmentación de hábitats y la degradación de áreas como cuencas hidrográficas, el deterioro de la calidad de vida y la reducción de las oportunidades para el desarrollo de la región.

Los patrones del paisaje desarrollados en tiempo y espacio, resultado de complejas interacciones de factores físicos, biológicos y sociales, determinan las características paisajísticas de un territorio, por los cambios constantes que se producen en ellos pueden influir en una gran variedad de fenómenos ecológicos (O’Neill *et al*, 1988; Turner y Ruscher, 1988; Zarate, 1995). Así mismo, los índices de la diversidad espacial recientemente desarrollados en ecología del paisaje pueden reflejar aspectos de composición y configuración espacial del paisaje debido a los cambios de uso del suelo y pueden ser cruciales para el entendimiento de la dinámica del paisaje.

Por otra parte, el manejo de estas áreas pero sobre todo de los recursos naturales está

convirtiéndose en un problema complejo. Para garantizar la sustentabilidad de los recursos, el manejador o planeador debe poseer conocimientos de las características físicas, aspectos socioeconómicos y usos del suelo y de las necesidades o requerimientos de los ciclos de vida de las comunidades vegetales y animales presentes y al mismo tiempo disponer de las mejores herramientas para la correcta toma de decisiones.

Los Sistemas de Información Geográfica (**SIG**) han demostrado ser herramientas potentes y de gran aceptación en diferentes países en trabajos de planeación del medio físico y evaluación del impacto ambiental. Las aplicaciones y ventajas que presentan estos gestores de información permiten tomar mejores decisiones sobre la planificación del uso racional de los recursos naturales a corto, mediano y largo plazo.

En base a lo anterior se establecen los siguientes objetivos:

GENERAL

Evaluación de la diversidad espacial del paisaje utilizando dos gradientes ambientales; altitud y exposición.

PARTICULAR

Probar la eficacia de tres índices basados en la teoría de la información de Shannon - Weaver (1949) para medir la diversidad del paisaje.

HIPÓTESIS

H₀ = En el área de estudio existe una relación entre la diversidad espacial y los gradientes ambientales considerados.

JUSTIFICACIÓN

La información generada por el presente trabajo constituirá un insumo para la elaboración del plan de manejo de la “Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé”. De manera que las decisiones que se tomen estén enfocadas a la conservación, la restauración de áreas degradadas por el hombre y el aprovechamiento sostenible de los recursos, sean decisiones ecológica, económica y socialmente aceptables.

REVISIÓN DE LITERATURA

PAISAJE

Una definición del paisaje no es sencilla, como lo demuestra el abundante número de definiciones con que se le asocia y que han sido empleados a través del tiempo (Escribano *et al*, 1991; De Bolos, 1992; MOPT, 1992).

De acuerdo con González (1981) y el MOPT (1992), como el término paisaje presenta múltiples significados que pueden dar origen a confusiones, es posible agruparlos en dos grandes tipos según los cuales se puede entender por paisaje:

- * Imagen de un territorio, ya sea pintado, fotografiada y/o percibida por el ojo humano o a través de los demás sentidos, cuya consideración corresponde más al enfoque de la estética o de la percepción.
- * Conjunto de elementos de un territorio ligados por relaciones de interdependencia.

El enfoque entre ambos paisajes no es evidente sino que surge como manifestación externa del territorio. Mientras que en el primero se concreta en lo que el observador es capaz de percibir de ese territorio, en el segundo el interés se centra en la importancia del paisaje como indicador o fuente de información (MOPT, 1992).

Para González (1981), el paisaje es la percepción plurisensorial de un sistema de relaciones ecológicas. Donde el paisaje es la parte fácilmente perceptible de un sistema de relaciones subyacentes, cuyo conocimiento explicaría la presencia y coherencia de los elementos percibidos, pero que no es fácilmente accesible a la observación directa de su totalidad. Distinguiéndose el *fenosistema* conjunto de componentes fácilmente perceptible en forma de panorama o escena, y el *criptosistema* conjunto de factores causales ocultos no perceptibles.

Zonneveld (1989) define el paisaje como un parte del espacio sobre la superficie de la tierra, que presenta sistemas complejos formados por la actividad de la roca, el agua, el aire, las plantas, los animales y el hombre y por esa fisonomía forma una identidad reconocible.

El paisaje puede ser visto como un mosaico de elementos (comunidades vegetales y usos del suelo) interconectados e integrados espacialmente cubriendo una unidad extensa de tierra, tal como una cuenca o región fisiográfica (Romme y Knight, 1982), son heterogéneos y difieren estructuralmente en la distribución de especies, energía y materiales a lo largo de las manchas, corredores y matriz presente (Forman y Godron, 1986).

Hulshoff (1995) menciona que el paisaje es una mezcla de manchas naturales y con diversos grados de intervención humana que varía en tamaño, forma y arreglo resultado de complejas interacciones de factores físicos, biológicos y sociales.

El paisaje es el elemento básico en una región a la siguiente escala más ampliamente integrada (Forman, 1995) y se considera como una unidad ecológica con componentes estructurales distinguibles en donde ocurren diversos procesos a escala temporal y espacial (Noss, 1983; Urban *et al*, 1987).

Ante todo y en todos los casos el paisaje es la manifestación externa, imagen, indicador o clave de los procesos que tienen lugar en el territorio, ya correspondan al ámbito natural o al humano (MOPT, 1992).

Manchas, usos del suelo y unidades del paisaje

Un paisaje está compuesto de diferentes elementos que reflejan la interacción de organismos y el ambiente físico a través del tiempo. Estos elementos pueden ser fácilmente identificables y observables cuando se emplea la fotografía aérea como herramienta de análisis, por los procesos que tienen lugar en el paisaje; principalmente los cambios de uso del suelo, los cuales se desarrollan a escalas temporales y espaciales muy diversos.

Los tipos de vegetación y/o usos del suelo, se reconocen en un par estereoscópico en blanco y negro por diferencias de sus elementos básicos fotointerpretables, principalmente las

diferencias de tono y textura. De esta manera las unidades del paisaje aparecen en las fotografías como manchas o “parches” que en su conjunto forman un mosaico (Zarate, 1995). Se utiliza el término “mosaico” para denotar el ensamble de un conjunto de elementos espacialmente interconectados.

Las manchas son superficies no lineales de la superficie del terreno, discretas y homogéneas que se distinguen por su aspecto de las que las rodea, por las diferencias de explotación llevadas por el hombre (Forman y Godron, 1986).

Turner (1990); Hulshoff (1995) definen una mancha como un grupo de celdas contiguas o adyacentes (horizontal, vertical y diagonalmente) del mismo tipo de uso del suelo. Estas manchas o “parches” se pueden caracterizar por su composición interna, origen, tamaño, forma, número de manchas presentes en el paisaje y distribución espacial (Forman y Godron, 1986) y son estructuras únicas en un paisaje que afectan y son afectadas por múltiples procesos.

Los mosaicos del paisaje son mezclas de manchas naturales derivadas de la intervención humana (comunidades vegetales y usos del suelo) interconectados e integrados espacialmente presentando forma, tamaño y arreglo diferente, por estas características pueden ser identificados en las fotografías aéreas (Forman y Godron, 1986; Turner y Ruscher, 1988; Zarate, 1995) y son evidentes a todas las escalas y están compuestos de elementos espaciales; que a la escala del paisaje comúnmente se denominan elementos y a una escala regional son paisajes (Forman, 1995).

Fronteras del paisaje

Desde el punto de vista ecológico, las fronteras entre manchas se pueden presentar como ecotonos y ecoclinas (Margalef, 1974; Naveh, 1982).

En los ecosistemas, los ecotonos o *limes divergens* presentan cambios graduales de un sitio a otro, patrones de vegetación fina y diversidad alfa (α) alta. En contraparte, las ecoclinas o *limes convergens* se caracterizan por presentar repentinas fronteras contrastantes entre sitios

adyacentes con fluctuaciones en tiempo, patrones de vegetación granulado y baja diversidad alfa. De Bolos (1992) al ecotono lo denomina *cora* con límites bien precisos y definidos y a las ecoclinas como *facies* con límites imprecisos.

En estudios del medio físico con enfoque cartográfico las fronteras se definen como la contigüidad de dos unidades espaciales caracterizados por la fisonomía de su vegetación (Rescia *et al*, 1997) y en donde estas fronteras pueden ser vistas como líneas de contacto que muestran un uso del suelo con otros diferentes de su alrededor, tal y como se aprecian en un mosaico de mapas de uso del suelo obtenidas por una labor de fotointerpretación. En la mayoría de los casos estas líneas de separación entre las distintas manchas son directamente distinguibles; en otros casos se tiene que marcar una línea arbitraria entre dos o más manchas (Zarate, 1995).

El número y diversidad de fronteras entre las manchas se puede relacionar con el desarrollo de la complejidad espacial del paisaje (Rescia *et al*, 1994), por las diferencias de energía y materia entre las fronteras (grandes y pequeñas) y en el interior de las manchas (Forman y Godron, 1986).

Forman (1995), señala que estas fronteras que existen en el paisaje son fácilmente determinadas por los elementos presentes en el mismo, a lo largo de transectos o en parcelas distribuidas aleatoria o regularmente.

Los análisis de la diversidad de fronteras en una escala de tiempo a través de los cambios en el flujo de materia y energía e información entre las manchas, son importantes para entender la dinámica del paisaje (Margalef, 1974; Rescia *et al*, 1994). Como menciona Bunce y Hallam (1993) estas características lineales son importantes reservorios para la conservación de la vegetación y fauna, pero sobre todo juegan un papel muy importante en el enlazamiento de los elementos del paisaje.

Características estructurales

Zarate (1995) menciona que se pueden diferenciar dos tipos de características estructurales:
a) características estructurales del paisaje considerado como una unidad ecológica: número y tipos

de manchas (uso del suelo), y número y tipos de frontera en todo el paisaje, b) características estructurales relacionadas con las interacciones entre las manchas: Área, perímetro, número y tipos de fronteras y diversidad de fronteras (número y composición de fronteras) por mancha.

La estructura espacial tiene una gran importancia ya que a partir de esta se podrá entender el funcionamiento del paisaje o su comportamiento frente a condiciones adversas que pudieran afectarle (MOPT, 1992). Por lo tanto, los análisis de la estructura del paisaje es esencial para la conservación de comunidades y la diversidad cultural y biológica (Rescia *et al*, 1997). Por su parte Forman (1995) dice que el arreglo o patrón estructural de las manchas, corredores y la matriz que constituyen un paisaje, es un determinante mayor de flujos y movimientos funcionales a través del paisaje y de cambios en estos patrones y procesos en el tiempo.

Diversidad espacial del paisaje

Factores bióticos, abióticos y características ecológicas de los sistemas han influenciado las interacciones de los componentes del paisaje a través del tiempo, lo que ha provocado variaciones en la composición y configuración de los elementos paisajísticos.

Phipps (1991) define a la composición como el número de tipos de manchas y sus propiedades relativas, y la manera como se presentan estas manchas, sus proximidades de unas con otras y su disposición específica en el paisaje es lo que constituye la configuración. Por lo tanto, al conjunto de estas dos características se les llama Diversidad Espacial del Paisaje que incluye tanto a la composición como la configuración espacial de las manchas (Zarate, 1995).

Forman y Godron (1986) establecen que la relación espacial que se da entre la composición y configuración de los elementos espaciales, es lo que define la estructura del paisaje. El grado de heterogeneidad de un paisaje es uno de los factores que determina la estructura ya que un paisaje más heterogéneo se caracteriza por presentar diferente calidad, forma, tamaño y arreglo de las manchas (Dobrowolski *et al*, 1993).

Además de los aspectos referentes a los tamaños de las unidades, deben considerarse también las relaciones recíprocas y relativas de situación (De Bolos, 1992). Para ello, Noss (1983); Forman y Godron (1986), mencionan que las relaciones que se dan entre los elementos del paisaje son de dos tipos: relaciones verticales y relaciones horizontales.

Las relaciones horizontales, son las relaciones que se dan entre elementos del paisaje ó unidades espaciales: procesos de transporte de materia y energía y movimientos de organismos de una unidad a otra. Las relaciones verticales (tróficas), se realizan entre cada elemento del paisaje, son intercambios verticales de materia y energía, relacionadas con los ciclos biogeoquímicos u otras relaciones como el efecto de la vegetación en los procesos erosivos. Al conjunto de estas dos interacciones es lo que constituye el funcionamiento del paisaje.

El entendimiento de las relaciones entre la estructura del paisaje, la distribución y supervivencia de las especies es un requisito importante para la ejecución e implementación de políticas apropiadas en la conservación del paisaje (Rescia *et al*, 1994).

Urban *et al*, (1987) menciona que las actividades humanas a menudo producen cambios en la heterogeneidad del paisaje y por consiguiente se crean nuevas fronteras. Los cambios de uso del suelo producto de la expansión humana y desarrollos continuos mal planeados alteran la estructura con relación a los tipos, tamaños, abundancia y fronteras de las manchas y trae serios impactos con relación a la diversidad espacial y la modificación de los flujos de materia y energía entre las manchas (Rescia *et al*, 1994; O'Neill *et al*, 1996).

La influencia de estos cambios en la diversidad espacial del paisaje puede ser estudiada por medio del análisis de las características estructurales (fronteras, patrones, etc.) del mismo, las cuales pueden ser observables y directamente medibles a partir de las fotografías aéreas, imágenes de satélites o de mapas que presenten estos patrones, utilizando índices que capturan y sintetizan estos características, útiles para el entendimiento del desarrollo del paisaje y debido a la creciente presión a la que se ve sometido (Forman y Godron, 1986; O'Neill *et al*, 1988; Turner y Ruscher, 1988; Rescia *et al*, 1994; Forman, 1995; Hulshoff, 1995).

ECOLOGÍA DEL PAISAJE

El término ecología del paisaje fue introducido por Troll en 1939, definiéndola como el estudio de las causas principales de las relaciones entre las comunidades vivientes y su ambiente en una gran porción del paisaje. Tiene sus orígenes en Europa Central y del Este, donde los biogeógrafos examinaron el paisaje no como una posesión estética o como una parte del ambiente físico, sino como una entidad total y visual del espacio donde vive el hombre, integrando la geosfera con la biosfera y los elementos noosféricos hechos por el ser humano (Naveh, 1982).

Bunce y Jongman (1993) definen ecología del paisaje como el estudio de las interacciones entre los componentes espaciales y temporales en un paisaje y esta asociado a la flora y fauna. Pero el paisaje es más que la suma de estas partes por la interdependencia de las especies con los diversos elementos.

Una definición en la cual se integran las interacciones que ocurren entre los diferentes elementos del paisaje, en la mayoría de los casos ignoradas por ecologistas, planeadores y manejadores de tierras, entre otros, es mencionada por Noss (1983), donde la ecología del paisaje estudia las interacciones entre especies, flujos de materia y nutrientes colocados en grupos o ecosistemas. Así mismo establece que esta ciencia trata con un mosaico ecológico de manchas con grados de variación continua.

Gran parte de los estudios de esta ciencia se han centrado en la dinámica de los organismos dentro de las manchas (Morrison *et al*, 1992). El concepto del paisaje como un mosaico de manchas de diferente hábitat no es nuevo, pero los estudios que caracterizan la dinámica del flujo de energía, especies y nutrientes entre las manchas y el papel de los disturbios en el ecosistema es relativamente recientes y son objeto de análisis mismo que ha motivado el desarrollo de la ecología del paisaje (Wetsman, 1985; Urban *et al*, 1987), basándose en el análisis funcional del contenido paisajístico, en la resolución de múltiples y reciprocas relaciones existentes en un parte de la superficie terrestre (De Bolos, 1992).

Naveh (1982) establece que la ecología del paisaje esta orientada a los estudios de las interrelaciones complejas entre el hombre moderno y su ambiente cultural y estructural. Esto trae como consecuencia un compromiso entre los conflictos naturales, demanda cultural y socioeconómica y al mismo tiempo un enriquecimiento del ambiente biótico del hombre. Para ello esta ciencia integra diversos campos del conocimiento de las ciencias biológicas para proveer las bases científicas de la planeación del paisaje, manejo, conservación y desarrollo del mismo.

ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESPACIAL DEL PAISAJE

El interés creciente por la conservación de lo que denominamos diversidad biológica ha llevado a realizar esfuerzos por parte de los ecologistas y conservacionistas por definirla y averiguar por que existe y como se pierde, refiriéndose a la riqueza de especies (diversidad alfa), heterogeneidad que se encuentra dentro de un ecosistema (diversidad beta) y en la heterogeneidad a nivel geográfico (diversidad gama) en comunidades (Noss, 1983; Halffter y Ezcurra, 1992). Es por ello, que la diversidad existente puede ser tratada en muchos niveles de organización biológica.

El análisis de la diversidad a nivel de paisaje se refiere a la diversidad de comunidades de plantas creando un mosaico vegetacional de una unidad de tierra, resultado de la superposición de

dos diferentes patrones de vegetación: 1) distribución de las especies a lo largo de gradientes o factores limitantes, y 2) patrones resultantes de diferentes etapas sucesionales que siguen un factor de perturbación (Romme, 1982; Romme y Knight, 1982), lo cual ha propiciado la generación de varios índices que intentan medir y reducir en un sólo número las características estructurales de la diversidad espacial del paisaje: Índice de diversidad de usos, índice de dominancia e índice de contagio (O'Neill *et al*, 1988).

Índice de diversidad de usos

Es el índice más utilizado para medir la diversidad de usos del paisaje, basado en el cálculo de los tipos de comunidades o usos del suelo (manchas) presentes (Romme y Knight, 1982; Turner y Ruscher, 1988; Turner *et al*, 1989; Turner, 1990) y representa la composición del paisaje, número y distribuciones relativas de los usos del suelo, pero no es útil para medir la configuración espacial,

debido a que dos paisajes con diferente configuración espacial pueden tener el mismo valor de diversidad. Su formula de cálculo es:

$$H = -\sum_{k=1}^m (P_k) \log(P_k) \quad (1)$$

DONDE:

H : Diversidad de usos.

P_k: Proporción del paisaje en el tipo de usos del suelo *k*.

m : Número de tipo de usos del suelo observados.

El valor más grande de **H**, es la mayor diversidad del paisaje. Dado que este índice captura tanto la riqueza de usos del suelo como la distribución de las proporciones relativas, un incremento puede indicar el aumento de la riqueza de usos, equitatividad o de ambos. Si se considerasen fijos el número de usos del suelo en un paisaje, la máxima diversidad se alcanza cuando estos usos se presentan en la misma proporción dentro del paisaje (Zarate, 1995).

Índice de dominancia

Refleja las proporciones relativas del paisaje ocupado por cada tipo de uso del suelo (Romme y Knight, 1982; Turner y Ruscher, 1988; Turner *et al*, 1989; Turner, 1990; Hulshoff, 1995). Su formula de calculo es:

$$D = H \max + \sum_{i=1}^m (P_k) \log(P_k) \quad (2)$$

DONDE:

D: Dominancia de usos en el paisaje.

H max = log (m), la máxima diversidad cuando todos los usos están presentes.

m y **P_k**: Definidos en ecuación (1).

El valor más alto de **D**, indica un paisaje que está dominado por uno o pocos usos del suelo en un paisaje heterogéneo. Valores cercanos a 0 (bajos) indican un paisaje que esta representado en muchos usos del suelo en proporciones aproximadamente iguales y por lo tanto, el índice no es útil en un paisaje completamente homogéneo debido a que **D** entonces es igual a 0. Para evitar lo anterior, debido a que el número de usos del suelo y de manchas en algunos casos es conocido, y no estimado, el índice fue modificado por Zarate (1995) de la siguiente forma:

$$1 - E \quad (3)$$

DONDE:

E: Es la diversidad comparativa y se refiere a, H / H_{max} ,

H : La diversidad alcanzada

H_{max}: La diversidad teórico máximo que podría alcanzar con el mismo número de manchas y usos del suelo.

Cuando el valor arrojado tiende a 1, indica que uno o pocos usos del suelo son dominantes o los más representativos del área, en cambio cuando tiende a 0, la diversidad de usos es mayor.

Índice de contagio

Ritters *et al*, (1996) lo define como la proporción de todas las adyacencias que son igual a las clase adyacentes y mide el grado en el que los atributos cartografiados están agrupados dentro de manchas con las mismas o iguales clases de atributos. Así mismo, captura aspectos de la composición y configuración espacial de las manchas, al sumarizar las fronteras en las adyacencias cuando estas son de diferente tipo, y es un indicador del grado de fragmentación del paisaje (Zarate, 1995). Este índice es calculado de una matriz de adyacencias **Q**, en el cuál Q_{ij} es la proporción de celdas de tipo **i** que están adyacentes con el tipo de celdas **j**, tal que:

$$C = K \max + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (Q_{ij}) \log(Q_{ij}) \quad (4)$$

DONDE:

C: Índice de contagio

$K_{max} = 2m \log (m)$ y que es el valor absoluto de la sumatoria de $(Q_{ij}) \log (Q_{ij})$ cuando todas las adyacencias posibles entre los usos del suelo ocurren con igual probabilidad.

m : descrita en ecuación (1).

La sumatoria de $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (Q_{ij}) \log (Q_{ij})$ es negativa, y nos indica la desviación del

máximo contagio posible. K_{max} normaliza los paisajes con diferentes valores de m y causa $C = 0$, cuando $m = 1$ o todas las posibles adyacencias ocurren con igual probabilidad. Cuando $m \geq 2$ valores grandes de C indican un paisaje que está agrupado en varios usos del suelo (O'Neill *et al*, 1988; Turner y Ruscher, 1988; Turner *et al*, 1989; Turner, 1990).

Los valores de C mayores indican un paisaje en el cual existen manchas más grandes (menor fragmentación) y mientras estos valores sean más pequeños, los paisajes presentan una mayor fragmentación, es decir, existe un mayor número de manchas.

En la literatura a estos índices se les conoce como índices del patrón del paisaje, medidas de la diversidad del paisaje o índices del patrón espacial del paisaje (O'Neill *et al*, 1988; Turner y Ruscher, 1988; Turner *et al*, 1989; Turner, 1990; Hulshoff, 1995; O'Neill *et al*, 1996) y están basados en la teoría matemática que trata de la heterogeneidad en series con varios estados discretos y que se le conoce como "teoría de la información" (Shannon - Weaver, 1949) en donde la diversidad o información en un sistema natural puede ser medido de una manera similar a la información contenida en un código o mensaje (Margalef, 1974; Halffter y Ezcurra, 1992).

IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DEL PATRÓN ESPACIAL DEL PAISAJE

Los continuos cambios, destrucción y renovación de manchas dentro del paisaje principalmente los usos del suelo a través del tiempo pueden ser cruciales para entender la dinámica del paisaje (Turner y Ruscher, 1988).

Es por eso que los estudios del patrón espacial del paisaje tienen gran importancia y son necesarios para vincular los efectos de la heterogeneidad del paisaje con funciones ecológicas,

incluyendo abundancia de fauna silvestre, flujo de energía y materiales, así como la probabilidad de que se presenten diferentes tipos de disturbio (O'Neill *et al*, 1988; Turner y Ruscher, 1988).

Los cambios que ocurren en área, forma y conectividad de las manchas causa cambios en la riqueza de especies, distribución y persistencia de comunidades (Fahring y Merriam, 1985; Hulshoff, 1995). Las manchas grandes de vegetación natural, son las únicas estructuras en un paisaje que protege flujos de corriente de agua interconectados, sostiene poblaciones viables de especies de interior, provee hábitat y cobertura para el escape de grandes vertebrados (Forman, 1995). Las interconexiones a lo largo de las manchas en un paisaje puede ser significativa para el mantenimiento de la diversidad como el tamaño de las manchas (Noss, 1983).

Los efectos de la fragmentación son importantes a nivel del paisaje por la red de implicaciones ecológicas en la diversidad de especies y para su integración entre los elemento del paisaje (Bunce y Jongman, 1993). El patrón del paisaje influye en los movimientos laterales de nutrientes y agua pudiendo afectar la productividad de los sitios, la calidad del agua superficial y modificar los flujos de energía (Romme y Knight, 1982).

Los disturbios naturales (e.g. mortandad de árboles viejos, ciclones, deslaves o derrumbes por el viento, huracanes, sequías, incendios, etc.) y antropogénicos (cambios de uso del suelo, explotación maderera, ganadera, minería, incendios etc.) que afectan a los paisajes terrestres varían en extensión espacial, intervalos de tiempo e intensidad, lo que provoca un mosaico de manchas de varios tamaños, orígenes y diferentes estados sucesionales (Urban *et al*, 1987; Jardel, 1991; Foster y Boose, 1992; Rogers, 1996).

HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El NGCIA (National Center for Geographic Information and Analysis) los define como sistemas de "hardware" y "software" y procedimientos elaborados para facilitar la obtención,

gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Bosque, 1992).

Los SIG han significado una verdadera revolución conceptual y práctica en el análisis y manejo de la información geográfica. De hecho, se les considera como el paso adelante más importante desde la invención del mapa en cuanto a la utilización de los datos espaciales (Bosque *et al*, 1994).

El objetivo de los SIG es automatizar el tratamiento de datos espacialmente referenciados y sus características descriptivas (Petersen *et al*, 1995). Esto significa que la información que almacenan esta referenciada geográficamente, ya se trate de mapas u otro tipo de información sobre un territorio específico, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de

formas muy diversas. Por cuanto a la información espacial que contienen se almacena en formato digital de forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario. Además los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales: generalización cartográfica, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, proximidad, continuidad, superposición de mapas, definición de áreas homogéneas, emisión de informes, entre otros aspectos. En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales (Chuvieco, 1990).

Debe establecerse que un SIG no es un elemento destinado a la producción cartográfica, sino que constituye una poderosa herramienta para el almacenamiento, administración y uso de la información cartográfica y atributos existentes (Prodan *et al*, 1997).

La representación del aspecto espacial en los SIG se basa en dos formas diferentes de formatos: el de líneas y polígonos llamada "VECTORIAL" y como celdillas o pixels conocido como "RASTER" o matricial.

Modelo de datos " vectorial"

Los datos "vectoriales" representan áreas homogéneas como polígonos delimitados por fronteras curvilíneas en vez de celdillas (Johnson, 1990). Para ello establece, mediante unos ejes de coordenadas la posición de una serie de vértices que unidos dos a dos forman líneas rectas y facilitan la delimitación de esas fronteras de los objetos geográficos (Bosque *et al*, 1994).

Los datos de los polígonos son ampliamente usados para el análisis de las características lineales, tales como patrones de flujo y extensiones de los perímetros. Las ventajas que presenta la estructura de datos poligonales incluye el almacenamiento de datos más compacto, una representación gráfica correcta, asignación de atributos a cada mapa y obtención de una estructura topológica usada para describir superficies. La desventaja que presentan es que requieren de unidades de procesamiento grandes, dificultad al servir de interface con modelos de simulación y limitación para la representación de superficies planas (Johnson, 1990). Además los programas que manejan información vectorial son más caros y exigen mayor volumen de cálculo, y el tiempo de manipulación es, asimismo mucho mayor que los formatos raster (Chuvieco, 1990).

Modelo de datos "raster"

El sistema "raster" asigna datos individuales a los valores de cada celdilla o también cuadrículando mapas existentes que han sido electrónicamente digitalizados (Johnson, 1990). Ahora lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites exteriores. El procedimiento consiste en superponer al mapa a representar en una rejilla formada de unidades regulares, normalmente cuadrados o rectángulos, con lo cual el espacio geográfico queda particionado en forma sencilla y regular, y por ello fácil de representar (Bosque *et al*, 1994).

La principal ventaja de los SIG basados en "raster" es su simplicidad computacional de análisis espaciales, como son las superposiciones y operaciones booleanas (Chuvieco, 1990; Bosque, 1992), su compatibilidad con sensores remotos y tecnologías automáticas de captura de datos como muchos tipos de modelos de simulación. La desventaja que presenta, es que las mediciones de áreas y líneas ejecutadas con este pueden ser incorrectas si, el tamaño de celda es

relativamente largo para la característica representada y los datos raster son almacenados ineficientemente en comparación con los vectoriales (Johnson, 1990).

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LOS ESTUDIOS DEL PAISAJE

La utilidad y poder de los SIG en los últimos años como gestores de información, han ganado un gran reconocimiento y aceptación en trabajos de planeación urbana y regional, manejo y planificación de los recursos y arquitectura del paisaje (Johnson, 1990).

De hecho, estamos entrando en una era en la cual los SIG pueden mejorar la organización, dirección e integración de información temporal y espacial y modelos de simulación del paisaje utilizando métodos cuantitativos y estadísticos para definir sus relaciones, generando conocimientos anticipados y manejar el paisaje como un ecosistema (Petersen *et al*, 1995).

Las principales aplicaciones de los SIG varían en las diferentes partes del mundo, dependiendo de las necesidades locales. En los países desarrollados estos gestores los han utilizado en: inventarios de tierras (Europa), ingeniería forestal (Canadá), planificación ambiental (China y Japón) y en los Estados Unidos todos estos usos son importantes, además se han utilizado en demografía y en análisis complicados, como son los análisis espaciales y modelación (ESRI, 1995).

En ecología del paisaje, los SIG pueden ser empleados para: 1) analizar cambios espaciales y temporales, 2) determinar la coincidencia espacial de características físicas y biológicas, 3) determinar características espaciales tales como proximidad, contigüidad, tamaño y forma de los elementos en los mapas (manchas), 4) analizar la dirección y magnitud de los flujos de materia, energía y organismos, 5) producir salidas gráficas y 6) servir de interface con modelos de simulación para generar nueva información espacial (Johnson, 1990).

Walsh y Frank (1994) han empleado los SIG para el análisis de comunidades vegetales relacionándolos con temas ecológicos tales como: representación de fenómenos espaciales y procesos; gradientes físicos ambientales; procesos biofísicos; vegetación y clima; disturbio y dinámica de comunidades y conservación de especies.

Manejadores de recursos naturales y ecologistas básicamente se han concentrado en el uso de los SIG en tres tipos de operaciones: 1) caracterización y medición de áreas (Liebhold *et al*, 1994; Boldstad y Lillesand, 1992) y características lineales, 2) intersección de datos espacialmente referenciados y 3) análisis de proximidad (Johnson, 1990).

Un componente esencial en una base de datos ecológica son las mediciones de áreas. El tamaño de las manchas dentro de un paisaje son fácilmente obtenidas de un SIG en formato raster ó vectorial. El número, tipo y diversidad de manchas pueden ser determinados cuando se cuenta con los datos apropiados. Las operaciones intersección espacial se utilizan para crear modelos de conveniencia en la identificación o manejo de hábitats para la fauna silvestre. Las intersecciones verticales de información espacial, ecológicamente puede emplearse en la detección de interacciones ínter y intraespecíficas entre fronteras y paisajes o factores edáficos y organismos (Johnson, 1990).

Los cambios temporales en las formas de los patrones del paisaje pueden ser analizados con particular énfasis en los efectos de procesos antropogénicos y naturales. Estos cambios pueden ser relacionados con provincias fisiográficas y asociaciones de suelo (Turner y Ruscher, 1988).

Los análisis de proximidad o vecindad son ejecutados para examinar interrelaciones espaciales en un plano horizontal. Estas relaciones pueden ser derivados de operaciones de intersección entre el análisis de la topología de una capa de datos con respecto a otro (Johnson, 1990). Las funciones de proximidad también han sido utilizados para determinar el orden de la contiguidad de las manchas del paisaje y así proveer una descripción de la estructura del mismo o para predecir la susceptibilidad y/o resultado de un disturbio (O' Neill *et al*, 1988).

Actualmente la aplicación más avanzada de estos gestores de información para el manejo de recursos y ecología del paisaje es el uso de modelos de simulación espacialmente conectados (Johson, 1990), asimismo la tecnología digital de los SIG potencialmente constituye una poderosa herramienta para el monitoreo, planeación y manejo de los recursos naturales (Bolstad, 1992).

DESARROLLO Y EXPERIENCIAS DE LOS SIG EN MÉXICO

En nuestro país, estos gestores de información se han desarrollado de manera exponencial durante los últimos cinco años, en el sector académico, gubernamental e iniciativa privada. Estos organismos en la aplicación de esta tecnología se han dedicado más al almacenamiento de datos y a la producción de cartografía automatizada, que al análisis y modelamiento geográfico, objetivos principales de un SIG (Palacio y Bocco, 1996).

Estos mismos autores, mencionan la existencia de dos grandes grupos bien diferenciados en cuanto a su vocación y perfil en el uso de los SIG. Por un lado, se tienen a instituciones de producción y manejo de datos (e.g. Instituto de Geografía Estadística e informática "INEGI" por ser la más sobresaliente) con aplicaciones muy complejas y voluminosas en cuanto a infraestructura. El otro grupo, lo constituyen las instituciones académicas, con aplicaciones orientadas a la investigación científica en temas donde los aspectos espaciales son relevantes.

Los trabajos y/o estudios que se han realizado en nuestro país aplicando estos sistemas en combinación con la Percepción Remota Satelital (PRS) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), es amplia abarcando temas sobre vegetación, manejo de cuencas hidrográficas, aspectos edafológicos, ordenamiento territorial, en apoyo al tratamiento de imágenes de satélite, clima entre otros, citados en SELPER (1995) y Palacio y Bocco (1996).

Como la variedad de aplicaciones de esta innovadora tecnología es amplia, sólo se han mencionado algunos estudios sin menospreciar a los demás existentes, en el entendido de que se trata de un universo dinámico.

De acuerdo con Palacio y Bocco (1996) se puede apreciar que en nuestro medio la disponibilidad de equipo y programas de equipo no representa un impedimento para el desarrollo de los SIG. Más sin embargo, en México la utilización de estos gestores de información tiene dos principales obstáculos: uno es la escasez de personal especializado en el manejo y operación de estos gestores de información y por otra parte la escasez de bases de datos del territorio en formato digital (Zarate 1998, comunicación personal¹).

1 Dr. Alejandro Zarate Lupercio. Departamento Forestal. UAAAN. Saltillo, Coah.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con López *et al*, (1996) un SIG es una tecnología que permite introducir, seleccionar, procesar, transformar y combinar diferentes datos georreferenciados. Por lo tanto, constituye una herramienta útil para la obtención y análisis de la diversidad espacial, objetivos planteados en el presente estudio. En la figura 1, se muestra la metodología empleada.

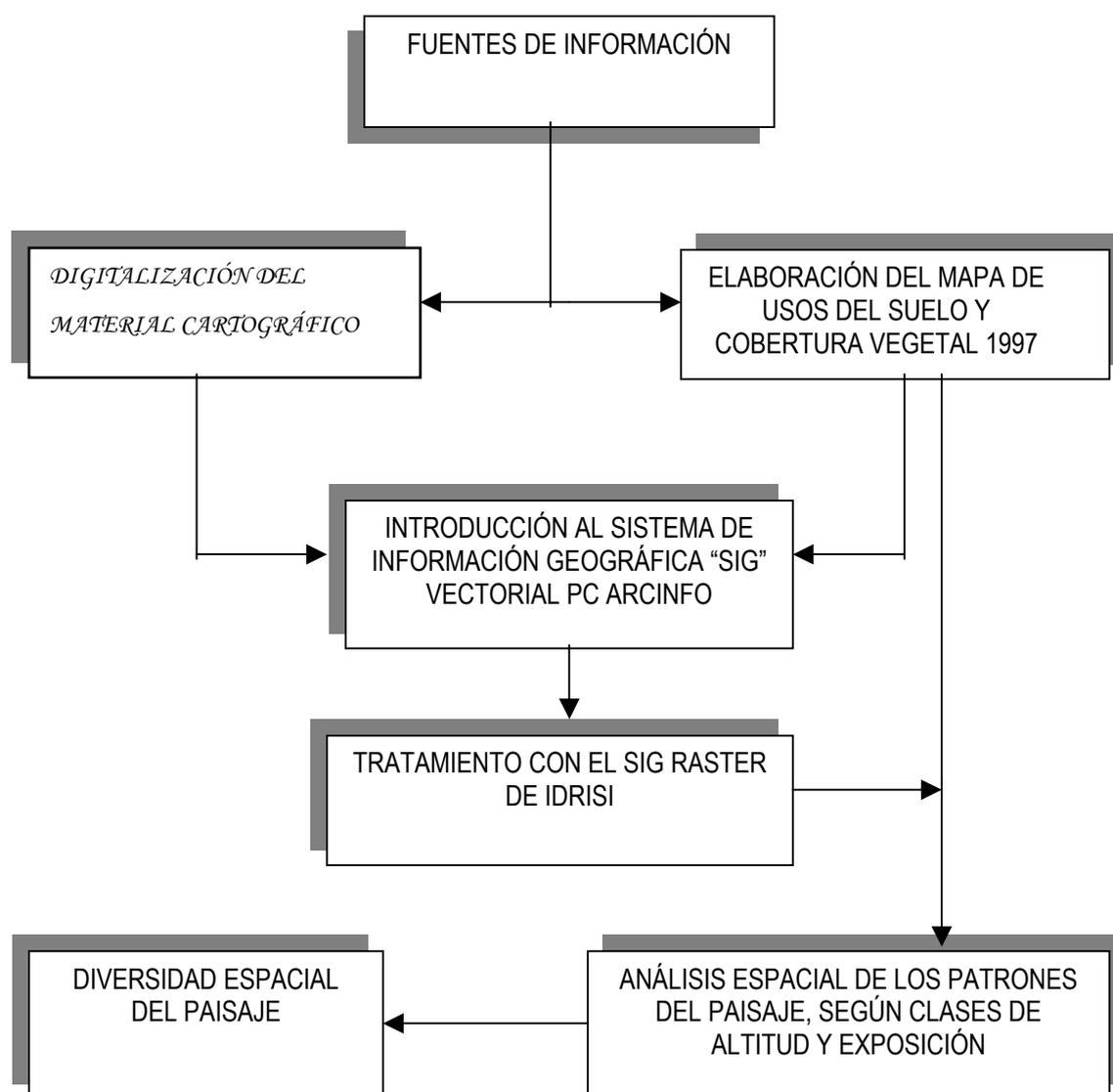


Fig. 1. Esquema general para evaluar la diversidad espacial del paisaje.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información que se utilizaron en el presente trabajo para la evaluación de la diversidad espacial del paisaje son:

- a) Fotografías aéreas blanco y negro de 1994 a escala 1:25000.
- b) Cartografía básica; mapas topográficos y cartografía temática; mapas geológico y edafológico elaboradas por CETENAL a escala 1:50000 y con clave G14C33 y G14C31.
- c) Material documental y bibliográfico correspondiente a los trabajos específicos de Meganck y Carrera (1981); Arce y Marroquín (1985) y Portes (1996).
- d) Un Modelo Digital del Terreno (MDT) de INEGI.

DIGITALIZACIÓN DEL MATERIAL CARTOGRÁFICO Y SU INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) VECTORIAL

El SIG "vectorial" utilizado fue PC ARC/INFO™, el cual funciona en computadora personal y permite la creación de la base de datos gráfica en formato vectorial (Fig. 2). Se seleccionó este programa porque es capaz de manejar y analizar grandes volúmenes de datos espaciales junto con sus atributos asociados, todo ello en una amplia gama de coordenadas terrestres y sistemas de proyección (Zarate, 1997).

La creación de las bases de datos gráficas o espacial en este formato se llevo en las siguientes etapas: delineado y digitalización, corrección de errores de digitalización, georreferenciación y cambio de sistema de proyección. Esta etapa en los proyectos de los SIG, es la más costosa en recursos económicos, tiempo y esfuerzo.

Primeramente la información analógica de la cartografía temática fue dibujada "delineada" a un soporte de papel albanene transparente y así ingresarla al SIG vectorial. Además de los elementos identificables en cada copia delineada se marcaron ocho puntos de "tics" que sirvieron de referencia para la posterior transformación de las coberturas en coordenadas de tableta (pulgadas) a coordenadas geográficas (grados decimales). Los "tics" son puntos de control (esquinas de los mapas temáticos, cruces de carreteras, etc.) de los cuales se sabe su exacta posición geográfica y sirven como base para la georreferenciación. Por medio de estos puntos de control se calcula el Error Medio Cuadrático (RMS), que indica la variación de la posición relativa de las coordenadas de los "tics" introducidos en la primera sesión de digitalización cuando estos son de nuevo introducidos en las siguientes sesiones (Zarate, 1997).

La digitalización de las cartas temáticas se llevo desde el Módulo PC ARCEDIT del programa ARC INFO™ el cual permite digitalizar de forma interactiva tanto los elementos gráficos como la base temática asociada (Fig. 3). Estos mapas una vez que estuvieron delineados, se colocaron sobre una tableta digitalizadora, y sobre ellos, se recorrieron todos y cada uno de los elementos a digitalizar con el mouse especial del tablero digitalizador, está operación se realizo manualmente utilizándose para ello, la técnica de digitalización discreta y en un modo continuo.

Corrección de errores de digitalización

Una vez terminada la labor de digitalización de los mapas temáticos, se realizo primeramente un procedimiento automático con el comando CLEAN para corregir los errores de nodo que dan origen a los arcos colgantes y que indican la presencia de líneas no conectadas correctamente producto del proceso de digitalización. Como este proceso no corrige todos los errores de nodo existentes en la cobertura, los errores restantes se tuvieron que corregir manualmente desde el modo ARCEDIT del programa.

Corregidos los errores de digitalización se procedió al etiquetamiento de las coberturas en donde, a cada polígono del mapa se le asignaba una etiqueta o identificador el cual facilita la construcción de la base de datos relacional. Una vez que se etiquetaron las coberturas se tuvo que corregir los errores de etiqueta enlistandose con el comando LABELERROR y

posteriormente fueron desplegadas en la pantalla para ser corregidas manualmente desde el modo ARCEDIT. Terminado la corrección tanto de los errores de nodo y de etiquetas se genero la topología de las coberturas, empleándose los comandos BUILD y CLEAN los cuales realizan un procedimiento automático donde los elementos geográficos digitalizados son relacionados y construyen la base de datos gráfica.

Georreferenciación

Este proceso consistió en transformar una y cada una de las coordenadas de localización de todos los elementos de la cobertura digitalizada a sus coordenadas geográficas reales.

Desde ARC, con el comando CREATE ; se creo una nueva cobertura con los mismos puntos de control "Tics" de las coberturas de Geología y Edafología a georreferenciar. Enseguida desde el Modulo Tables del programa ARC-INFO se actualizaron los "Tics" de estas nuevas coberturas introduciendo los valores de las coordenadas en grados decimales. Posteriormente con el comando TRANSFORM las coberturas viejas (sin georreferenciar) se transformaron a las nuevas coberturas creadas con coordenadas geográficas.

Cambio de sistema de proyección

La transformación de la coberturas (Edafología y Geología) en coordenadas geográficas (sin proyección) a un sistema de proyección, se realizo mediante un dialogo con el comando PROJECT, a la Proyección Cilíndrica Transversa de Mercator (UTM), la cual mantiene uniforme la escala en cualquier punto del mapa, sus unidades son en metros proyectados y por lo tanto muy confiable en el registro de áreas y longitudes.

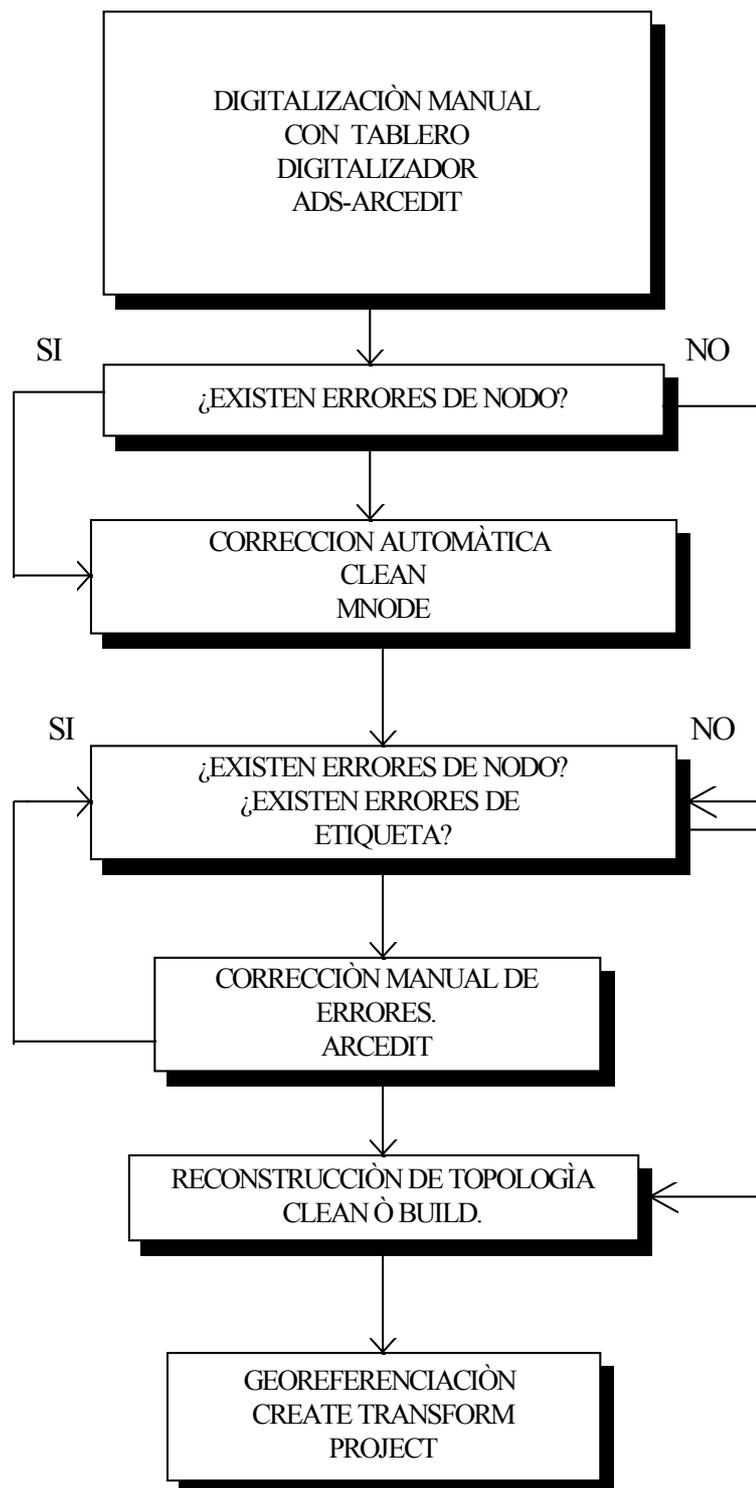


Fig.. 3 Procedimiento de digitalización manual de coberturas en PC-ArcInfo. (Tomado de Zarate, 1997)

CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS TEMÁTICA

Elaboración de fichas temáticas y captura digital

Una vez creada y documentada la base de datos gráfica, se procedió a documentarla mediante la asignación de los atributos temáticos contenidos en cada uno de los polígonos presentes en las coberturas edafológica y geológica. Esta información se recogió en fichas previamente elaboradas y se capturo dentro del paquete EXCELL™ en forma de base de datos; donde cada columna (ITEM) almacenaba un atributo temático y las filas (REGISTROS) el conjunto de las características completamente descritos para cada uno de los polígonos, los archivos generados se grabaron en formato DBASE.

Integración de la base de datos gráfica con la base de datos temática

Con el comando JOINITEM se estableció un lazo lógico entre un "item" del archivo PAT de la base de datos gráfica y un "item" de la base de datos temática generada en el paquete EXCELL. El "item" común que se utilizo para construir la base de datos relacional fue el identificador del usuario.

ELABORACIÓN DEL MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL 1997

Este mapa se realizo en base a la fotointerpretación de una serie de fotografías aéreas blanco y negro de 1994 a escala 1:25000 correspondiente a los municipios de Saltillo y Arteaga y que cubren el área de estudio, dentro del Proyecto elaboración del programa de manejo de la "Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra Zapalinamé". Apoyados en recorridos de campo se reconocieron los usos del suelo existentes e identificables en la fotointerpretación, así mismo se reconocieron las unidades florísticas que se presentan en el área.

La descripción de los usos del suelo están basados en la clasificación y nomenclatura

detallada de una parte del área realizada por Arce y Marroquín (1985) y del estudio realizado por Portes (1996) y que fueron retomadas para el presentes estudio. Los usos del suelo que se reconocieron en las fotografías aéreas por diferencias de tono y textura, corresponden a 9 categorías de vegetación y 7 usos del suelo siendo las siguientes:

Categorías de vegetación

1. Bosque de Pino Piñonero.
2. Bosque de Encino.
3. Bosque de Pino.
4. Bosque de Pseudotsuga-Cupressus-Abies.
5. Matorral de Encinos arbustivos.
6. Matorral Denso Inerme Parvifolio de Rosáceas.
7. Matorral Desértico Rosetófilo.
8. Zacatal con leñosas arbustivas.
9. Matorral Micrófilo.

Usos del suelo

1. Áreas roturadas
2. Roquedo.
3. Minería.
4. Erosión.
5. Desarrollo Urbano.
6. Carreteras.
7. Desarrollo Urbano Rural.

Construcción del mapa base

Una vez fotointerpretada el área, los elementos identificables de las fotografías aéreas se dibujaron en un soporte transparente, tratándose en lo posible de disminuir las deformaciones geométricas que aparecen en las fotografía aéreas debido a las características ópticas de las cámaras fotográficas empleadas y a las condiciones del relieve del terreno.

Para lograr lo anterior se utilizo los puntos principales de cada fotografía de la anterior a la posterior y viceversa así como entre líneas de vuelo y así obtener un buen recubrimiento

estereoscópico, el traslape de las fotografías empleadas en una misma línea es de un 60% y el adyacente o entre líneas de vuelo fue del 30%. Además en todas las fotografías aéreas, se identificaron puntos de control en los cuales se registraba sus verdaderas coordenadas geográficas referidas en las Cartas topográficas 1:50, 000 editada por CETENAL. Posteriormente estos puntos de control fueron trasladados al mapa base.

El procedimiento de digitalización de los mapas base y su introducción al SIG vectorial fue el mismo que se utilizó con los mapas cartográficos hasta obtener la base de datos relacional. El SIG vectorial permitió la exacta georreferenciación de las cartas digitales, y además en él se realizaron las mediciones de longitud y área.

TRATAMIENTO CON EL SIG "RASTER"

"Rasterización"

Los mapas "vectoriales" (ya corregidos): geología, edafología, red de drenaje, red de comunicaciones, fisiografía y mapa de categorías de vegetación y uso actual del suelo 1997, se rasterizaron, es decir, se convirtieron de formato vectorial, en el que cada punto de cada polígono tiene un par de coordenadas almacenadas secuencialmente a formato raster del programa IDRISI, que consiste de una matriz de celdas "pixel" georreferenciados. Esta operación se realizó por la ventaja que posee este tipo de formato con respecto al vectorial en cuanto a poder realizar operaciones con mapas y análisis espaciales (Zarate, 1995). La resolución de la cartografía digital empleada en este formato fue con un tamaño celda "pixel" de 90 x 90 m y una matriz de 220 renglones por 356 columnas.

Reclasificación

Debido a que las coberturas de exposiciones y altitudes, se habían generado a partir de

un Modelo Digital del Terreno (MDT) editada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) generado a partir de las cartas topográficas 1:250,000, se les aplicó una tabla de clasificación dentro del programa IDRISI™ agrupando a los valores altitudinales y exposicionales en clases.

La finalidad de utilizar estos atributos físicos del paisaje es por el papel tan importante que desempeñan en determinar la ocupación de los usos del suelo derivados de actividades humanas, ya que siempre los atributos físicos más favorables para un determinado uso han favorecido su localización. Por lo tanto es de interés el conocimiento de las relaciones de la altitud y exposición con la diversidad paisajística (Zarate, 1995).

ANÁLISIS ESPACIAL

Se analizaron las imágenes "raster" de los diferentes mapas de uso del suelo por clases de altitud y clase de exposición previamente generados, a través de programas en lenguaje Fortran 77 que obtienen las características estructurales e índices a partir de un mapa de usos del suelo.

Los programas utilizados para el análisis espacial en este estudio (SCANNER, ANES y DIPA) fueron elaborados por Zarate (1995) y se emplearon para analizar este tipo de matrices "raster", dada la extrema dificultad en realizar un programa del mismo tipo para analizar imágenes vectoriales.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La información de las características físicas del área de estudio, se incorporó primeramente al Sistema de Información Geográfica, omitimos ponerla al inicio de este

capítulo, describiendo primeramente la metodología que se siguió para incorporar y generar toda esta información al sistema y así obtener la base de datos digital de la "Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sierra de Zapalinamé", la cual se encuentra a disposición en el Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Ubicación y vías de acceso

El área de estudio se encuentra en el sureste del Estado de Coahuila, abarcando parte de los municipios de Saltillo y Arteaga e inmediatamente aledaña a 7 Km. a la Ciudad de Saltillo por su parte norte. Sus coordenadas geográficas son $25^{\circ} 15'$ y $25^{\circ} 25'$ de latitud norte; y $100^{\circ} 47'$ y $101^{\circ} 06'$ longitud oeste, comprende todo el macizo montañoso de la sierra y parte de los valles. Sus colindancias; al norte esta limitada por la carretera 57 Saltillo - México que la circunda hasta el sureste; al oeste la limita la carretera 54 Saltillo - Zacatecas y al sur la limita la coordenada de latitud $25^{\circ} 15'$ (Mapa 1).

El área tiene diferentes vías de acceso que incluyen carreteras, caminos de terracería, brechas y veredas. Por el Este se entra al área a través de los ejidos Sierra Hermosa, San José de los Cerritos, el Diamante y el Cedrito ubicados a 9 y 15 kilómetros de Arteaga hacia el sur por la carretera 57 Saltillo - México. Desde el sur se entra por el ejido Los Llanos que se ubica a 10 Kilómetros de la carretera libre a México y por la carretera 54, entrando por el Ejido Cuauhtémoc localizado a 42 kilómetros hacia el sur de la ciudad de Saltillo. Por el oeste y norte se tienen varias vías de acceso y de diferente tipo, carretera, veredas, brechas y trazos urbanos, todos ellos conectados a la carretera 54 Saltillo – Zacatecas y carretera 57 Saltillo – México (Mapa 2).

Clima

De acuerdo a Köppen, modificado por García (1973), el clima del área está clasificado en la parte más baja que corresponde al valle de Saltillo como : BsoK(x')(e), el cual corresponde a un clima seco, templado, con verano cálido extremoso, temperatura media anual entre 12° y 18° C, la del mes más frío entre -3° y 18° , y el mes más caliente superior a 18° C, con un régimen de lluvias intermedias entre el verano y el invierno.

Para la parte mas elevada que corresponde al macizo montañoso, el clima se clasifica como BSoKw^w (e), el cual es un clima seco, templado cálido semifrío, temperatura media anual entre 5 y 12°C, la del mes frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente menor a 18°C con un régimen de lluvias de verano; por lo menos 10 veces mayor de lluvia en el mes más lluvioso de la mitad más caliente que el más seco; extremoso oscilante entre 7 y 14°C. La precipitación media anual para la región es de 498 mm y existe una variedad considerable entre la cantidad de lluvia y la distribución anualmente.

Sin embargo la orografía y altitud determinan la presencia de 3 valores de precipitación media anual, siendo de 350 mm en el Valle de Saltillo, de 450 mm en el macizo montañoso en sus exposiciones Norte y Noreste y de 550 mm del parteaguas de la sierra hacia el Sureste (SPP, 1983). Las precipitaciones son de tipo convectivo coincidiendo con los meses más calientes del año. Durante los meses más secos (Octubre - Abril) tiene una variación mensual entre 6 – 36 mm y durante los meses húmedos (Mayo – Septiembre) hay un promedio mensual de 75 mm.

Meganck y Carrera (1981), en el Plan de Uso Múltiple del Cañón de San Lorenzo mencionan que la temperatura es la variable climática más directamente influenciada por la altitud y la topografía, y con ella muy posiblemente otras como la humedad relativa y la precipitación.

Fisiografía

La Sierra Zapalinamé pertenece a la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y Subprovincia del Pliegue Transversal Saltillo - Parras; formado por una serie de sierras y con estrechos valles intermontanos, compuesto de una serie de rocas calizas principalmente (SPP, 1981).

El relieve de la zona de estudio presenta en su mayoría una topografía muy accidentada y con pendientes abruptas. Tiene una orientación de E - W y las altitudes van desde 1, 590 m. en los pie de monte, a los 2, 200 m. en los valles intermontanos alcanzando su mayor altitud en el cerro El Penitente a 3, 140 m. (CETENAL, 1977). Geomorfológicamente el área conforma un paisaje compuesto por seis grandes unidades fisiográficas (Mapa 3): cumbres (1.04 %) , taludes (51 %), pié de monte (16.6 %), cañones (6.3 %), abanicos aluviales (1.97%) y valles (22.8 %).

Hidrología superficial

La red hidrográfica a la cuál pertenece la Sierra Zapalinamé es a las vertientes del Golfo de México y cuencas cerradas del Norte, región hidrológica 24 "Bravo - Conchos", Cuenca hidrológica B y subcuenca e. Debido al sistema montañoso de gran relieve, donde el suelo es relativamente uniforme y resistente a la erosión y el agua fluye como resultado de las pendientes que existen en la sierra; se presentan únicamente corrientes intermitentes en época de lluvias que descienden de las partes altas de la sierra y pies de monte hacia los valles, con patrones de corriente dendríticos y paralelos con desagüe en los valles, aportándole material aluvial. Los coeficientes de escurrimiento son del 5 a 10% en casi toda la totalidad del macizo montañoso, 0 a 5% en los fondos de los valles y del 10 a 20% en las zonas más escarpadas (SPP, 1981).

Por otra parte, la longitud de los cauces decrece abruptamente con el orden de estos expresando lo desarrollado del sistema de drenaje. Estos escurrimientos en su mayoría son encausados para ser aprovechados en la agricultura y almacenados por medio de bordos para abrevaderos y consumo humano.

El patrón de drenaje dendrítico, la geología y el tipo de cubierta vegetal determinan los valores de densidad de drenaje de las unidades fisiográficas mayores, aumentando gradualmente de las cumbres, taludes, abanicos aluviales y pié de monte, disminuyendo abruptamente su valor en los valles. Para el área completa el valor de densidad de cauces es de 27 m/ha (Mapa 4).

Hidrología subterránea

La unidad geohidrológica dominante que se tiene, es una unidad de material consolidado con posibilidades bajas que se encuentra ampliamente distribuida en la zona principalmente en todo el sistema montañoso; constituido por caliza, arenisca y lutita. Estos materiales se presentan fuertemente plegados con gran cantidad de fallas y fracturas que en consecuencia le dan permeabilidad variable. La caliza presenta una permeabilidad alta, sin embargo, debido a su relieve elevado y posición estratigráfica funciona como zona de recarga, donde el agua fluye hacia los valles situados en estructuras sinclinales, en los cuales se encuentran materiales no consolidados con posibilidades altas y al perforarse sobre ellas se obtienen buenos gastos que sirven como fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Saltillo y las poblaciones adyacentes al área (SPP, 1981).

Geología

Geológicamente comprende todo el macizo montañoso de la Sierra de Zapalinamé, siendo un área intensamente plegada y fracturada con una topografía muy accidentada. Los pliegues de la Sierra forman valles estructurales en los sinclinales y serranías en los anticlinales, los perfiles aserrados se presentan, debido a la intensidad de plegamiento. Las rocas que afloran en el área son, en su totalidad sedimentarias marinas de edad jurásico y cretácico provenientes de procesos erosivos hídricos, formando así los depósitos de suelos aluviales característicos de los valles y que representan el evento sedimentario más reciente en las cuencas continentales originadas por los movimientos post - orogénicos (SPP, 1983).

Las rocas sedimentarias; formadas por la acumulación de sedimentos que pueden consistir de fragmentos de varios tamaños, de restos o productos de animales y/o vegetales resultado de la acción química o de la evaporación de estas son las que están más presentes en el área y entre las unidades geológicas mejor representadas se encuentran los suelos aluviales con un 30% y las rocas calizas características del macizo montañoso en un 43%.

De acuerdo con CETENAL (1977), los tipos de rocas sedimentarias que se encuentran (Mapa 5 y Cuadro 1) en el área son:

Calizas

Roca compuesta en gran parte del mineral calcita, $CaCO_3$ ya sea por procesos orgánicos o inorgánicos. Se encuentran en la mayor parte del macizo montañoso.

Areniscas

Rocas formadas por la cementación de gravas individuales del tamaño de la arena, compuesta comúnmente del material cuarzo. Se localizan cerca del arroyo Los Chorros y las rocas arenisca mezclados con conglomerados se les encuentra cerca de los pies de monte en parte SW del área.

Lutitas

Rocas detrítica de grano fino constituida de partículas del tamaño de limo y arcilla, de cuarzo, feldespato, calcita, dolomita y otros minerales. Se localizan en la parte norte del área en los valles. Las lutitas mezcladas con areniscas se ubican en una porción al SE del ejido el Diamante y en algunos valles.

Conglomerados

Roca formada de fragmentos redondeados de tamaño tal que un porcentaje apreciable del volumen de la roca consiste de partículas del tamaño de gránulo o más grande. Se localizan en la parte SE del área básicamente en los pies de monte.

CUADRO 1		
DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE ROCA (GEOLOGÍA)		
Tipo de roca	Superficie (Ha.)	Ocupación (%)
Aluvial	13556.6013	29.99
Arenisca	63.2852	0.14
Arenisca/Conglomerado	7282.3224	16.11
Brecha	4.5204	0.01
Caliza	19604.8616	43.37
Caliza/Lutita	1383.2344	3.06
conglomerado	262.1817	0.58

Lutita	483.6800	1.07
Lutita/Arenisca	2513.3279	5.56
Travertino	49.7242	0.11
TOTAL	45203.7391	100.00

Fuente: CETENAL, 1977. Carta Geológica.

Travertino

Carbonato de calcio depositado a partir de una solución, por las aguas subterráneas que entran a una en la zona de aireación. Se localizan en la parte SW del área en la entrada al ejido el Diamante por la Carretera 54 en el pie de monte.

Brechas

Roca sedimentaria formado por fragmentos angulares de tamaño tal que un porcentaje apreciable del volumen de la roca consiste de partículas del tamaño de granulo o más grandes . Se localizan principalmente en algunas partes de los valles que existen en la zona.

Las rocas ígneas se mantienen en una mínima expresión y esta constituido por granitos, basaltos, riolitas y andesitas (Meganck y Carrera, 1981). Por las características que presenta la región y en base al ciclo geomorfológico para una zona de clima árido, el área se encuentra en una etapa de madurez (SPP, 1983).

Suelos

Los suelos no solamente son importantes por ser el sustrato de los productores primarios y el medio en el que se desarrollan un sinnúmero de organismos que hacen posible el ciclo de los nutrientes, si no porque también en él ocurren importantes procesos físicos, químicos y biológicos responsables de otros procesos para el mantenimiento de la vida.

De acuerdo con la cartografía de CETENAL (1977), las unidades y subunidades de suelo que se tienen para el área de estudio son (Mapa 6 y Cuadro 2):

Litosol

Son suelos que tienen una profundidad menor de 10 cm y que sobreyacen a la roca y descansan sobre los caliches fuertemente cementados. Debido a la topografía accidentada del área y por sus características antes mencionadas tiene un alto riesgo a erosionarse tanto por factores bióticos y abióticos. Los litosoles son los suelos más abundantes y se presentan en la mayor parte del macizo montañoso, en los taludes y cumbres, representan el 50% de toda el área.

Rendzina

Suelos pedregosos y someros de color oscuro, con mayor contenido de materia orgánica que los litosoles. Se caracteriza por tener una capa superficial abundante en humus y muy fértil, que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal, no son muy profundos. Se originan a partir de materiales aluviales muy calcáreos o del mismo caliche, junto con los litosoles dominan las laderas de la sierra en las exposiciones norte y sur; así como rendzinas petrocálcicas en la parte de lomas de Lourdes. En las partes más altas de la sierra también se presenta este tipo de suelo, de textura media o fina. Se encuentran principalmente en el pié de monte, representando el 28% del área.

En las llanuras y fondo de los valles, de relieve plano o con pendientes muy suaves, suelen presentarse suelos más profundos derivados de materiales aluviales, siendo estos los Xerosoles.

CUADRO 2		
DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE SUELOS		
Unidades de suelo (Según FAO)	Superficie (Ha.)	Ocupación (%)
Castañozem calcico	1108.5300	2.45
Castañozem háplico	243.1651	0.54
Castañozem luvico	803.9053	1.78
Feozem calcarico	1999.5020	4.42
Fluvisol calcarico	10.9418	0.02
Litosol	22624.8699	50.05
Regosol calcarico	409.7676	0.91
Regosol eutrico	1386.2717	3.07
Rendzina	12991.6792	28.74

Xerosol calcico	2020.0815	4.47
Xerosol háplico	1546.6342	3.42
Yermosol háplico	58.3908	0.13
TOTAL	45203.7391	100.00

Fuente: CETENAL, 1977. Carta Edafológica.

Xerosol

Son suelos de semidesierto, de colores claros, pobres en materia orgánica, tienen una moderada o alta capacidad de retención de nutrientes, son profundos y en ocasiones son salinos y sódicas son característicos de las zonas planas. Estos suelos en su variación pueden presentar una capa acumulativa de arcilla, haciendo el drenaje más lento de lo normal o también pueden presentar una capa de yeso (Xerosol háplico) o cal en el subsuelo (Xerosol calcico) que limitan el crecimiento de las raíces. Ambos son suelos muy susceptibles a erosionarse si no presentan una cubierta vegetal considerable. Se localizan en los pies de monte de la exposición norte de la Sierra Zapalinamé y en los valles de la vertiente Este. Estas unidades de suelo representan el 7.89%.

Fluvisol

Se caracterizan por estar formados siempre por materiales acarreados por agua. Están constituidos por materiales disgregados que no presentan estructura en terrones, es decir, son suelos muy poco desarrollados. Pueden ser someros o profundos, arenosos o arcillosos, fértiles o infértiles, en función del tipo de materiales que lo forman.

Fluvisol Calcarico

Se caracterizan por contener cantidades altas de cal en toda la superficie, o cuando menos en algunas partes no muy profundas. Tienen en general suficientes nutrientes. Esta unidad de suelo se encuentra poco representado (0.02%) en el Cañón de los Chorros al SE del área.

Yermosol

Suelos presentes en las zonas áridas del norte del país. Se caracterizan por tener, a semejanza de los Xerosoles, una capa superficial clara y un subsuelo rico en arcilla o similar a la capa superficial. Presentan en ocasiones acumulación de cal o yeso en el subsuelo o bien caliche lo que es común en el área de estudio.

Regosol

Suelos residuales que se caracterizan por tener suelos dominados por material suelto que no es aluvial reciente y con una profundidad hasta de 50 cm, no presentan capas distintas; son claros en general y se parecen bastante a la roca que tienen debajo (calizas y lutitas) por lo que son ricos en cal. Se encuentran en algunas áreas de las faldas de la sierra en exposición Norte, y en un área más extensa en el Cañón de San Lorenzo.

Los *regosoles calcaricos* que se encuentran en la mayor parte de las laderas, son suelos derivados de calizas o areniscas, textura predominantemente media en ocasiones gruesa, colores claros y bajos contenidos de materia orgánica. En contraparte los *regosoles eutricos* presentan una fertilidad de moderada a alta. Ambas unidades de suelo representan el 3.98% de la superficie del área.

Castañozem

Estos suelos son característicos de las zonas áridas o de transición hacia climas lluviosos. En condiciones naturales sustentan vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Presentan una capa superior de color pardo a rojizo oscuros, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo, moderadamente susceptibles a la erosión.

En la zona de estudio se encuentran las siguientes subunidades: *Castañozem háplico*; se distinguen por tener una acumulación de caliche suelto en pequeñas manchas blancas dispersas o en una capa de color claro, de menos de 15 cm de espesor, los *Castañozem luvico*; se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo y los *Castañozem calcico*; suelos que tienen acumulación de caliche suelto en una capa de color claro, de más de 15 cm de espesor. Estas unidades de suelo se presentan en áreas menos onduladas, normalmente adyacentes a laderas montañosas y representan el 4%.

Feozem Calcarico

Son suelos que se encuentran en varias condiciones climáticas así como en diversos tipos de terrenos. Pueden presentar cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales. Se caracteriza por tener una superficie blanda de color oscuro, suave, moderado en materia orgánica y nutrientes. Entre los 20 y 50 cm de profundidad se encuentra un horizonte calcáreo y dependiendo del porcentaje de arcilla pueden tener problemas de drenaje. La vegetación con la que se encuentra asociado es el matorral submontano en la ladera norte de la Sierra Zapalinamé, valles y laderas bajas y pie de montes. Representan una el 4.42% del área.

Vegetación y usos del suelo

Los tipos de vegetación que existe en el área es la que describen en forma detallada Arce y Marroquín (1985) para una parte del área. En ese estudio, se presentan 11 tipos de vegetación y son importantes en la región por ubicarse en la zona de transición entre el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Oriental. Asimismo, se han agregado los matorrales micrófilos

que se presentan en la parte Suroeste y Sur del área y también los usos del suelo que no abarcó el estudio anterior (Mapa y Cuadro 3) y son descritos por Portes (1996).

CUADRO 3		
DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO		
Categoría	Superficie (Ha.)	Ocupación (%)
1. Bosque de Piñonero	11426.1941	25.277
2. Bosque de Encino	204.3209	0.452
3. Bosque de Pino	8597.7512	19.020
4. Bosque de Pseudotsuga-Cupressus-Abies	834.0089	1.845
5. Matorral de Encinos arbustivos	1893.1326	4.188
6. Matorral Denso Inerme Parvifolio de Rosáceas	4417.7614	9.773
7. Matorral Desértico Rosetófilo	1822.6148	4.032
8. Zacatal con leñosas arbustivas	1158.5718	2.563
9. Matorral Micrófilo	5494.5145	12.155

10.Áreas roturadas	5017.1630	11.099
11.Roquedo	834.0081	1.845
12.Minería	208.3892	0.461
13.Erosión	390.5603	0.864
14.Desarrollo Urbano	1384.1385	3.062
15.Carretera	91.7635	0.203
16.Desarrollo Urbano Rural	546.5132	1.209
17.Plantación	882.3767	1.952
TOTAL	45203.7391	100.00

Fuente: Creación propia con referencia a Arce y Marroquín (1985).

Matorral micrófilo

Se presenta principalmente en las áreas bajas y valles del norte y suroeste del área, sobre suelos Xerosoles háplicos y es dominada por arbustos, usualmente de 30-60 cm de alto, donde *Larrea tridentata* es la especie más frecuente. Dentro de las principales especies asociadas se encuentran: *Fouquieria splendens*, *Mimosa pringlei*, *Lippia graveolens*, *Agave lechuguilla*.

Matorral Desértico Rosetófilo

Presenta la característica particular de las plantas con hojas arrosetadas, con espinas y algunas carnosas; se le encuentra sobre suelos litosoles y rendzinas; someros, pedregosos y algunas veces formado por material suelto en las exposiciones sur y norte de las cordilleras. Entre las especies se encuentran: *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Hechtia glomerata*, *Dasyllirion palmeri*, *Ephedra pedunculata*, *Mortonia palmeri*, *Nolina cespitifera*, *Yucca carnerosana*, *Opuntia spp.*

Matorral de Encinos Arbustivos

Esta asociación incluye comunidades arbustivas densas, generalmente caducifolias, prosperan sobre suelos litosoles en las laderas de cerros y con frecuencia las especies dominantes se reproducen vegetativamente por sus partes subterráneas, se presenta en las exposiciones sur y norte como vegetación secundaria. Entre las especies destacan: *Quercus intricata*, *Q. saltillensis*, *Q. hypoxantha*, *Q. greggii*, *Berberis trifoliolata*, *Rhus virens*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Ceanothus greggii*, *Yucca carnerosana*, *Nolina cespitifera*.

Matorral Denso Inerme Parvifolio de Rosáceas

Este tipo de vegetación es semejante al anterior pero con la diferencia de que los elementos que dominan son arbustos de la familia Rosaceae. Se presenta en suelos litosoles principalmente, con poca pendiente. Las especies dominantes son: *Lindleyella mespiloides*, *Amelanchier denticulata*, *Cercocarpus mojadensis*, *Cowania plicata*, *Quercus saltillensis*, *Ceanothus coeruleus*, *Crataegus baroussana*, *Ceanothus greggii*, *Berberis trifoliolata*, *Mimosa biuncifera*.

Matorral de Manzanita

Son agrupaciones densas de encinos bajos acompañados de especies arbustivas. Se presenta en las laderas altas y exposición norte como vegetación secundaria, sobre suelos litosoles y rendzinas principalmente. Este tipo de vegetación es casi puro, pero presenta elementos de otras comunidades adyacentes. Las especies importantes son : *Arctostaphylos pungens*, *Cowania plicata*, *Rhus virens*, *Salvia regla*, *Quercus mexicana*, *Cupressus lindleyi*.

Zacatal con Leñosas Arbustivas

Llamado también pastizal por la dominancia de gramíneas, se le encuentra principalmente en las laderas bajas, cerca y en los valles, sobre suelos xerosoles háplicos y rendzinas. Aunque la presencia de los matorrales impide en parte su desarrollo. Se considera que la aparición de leñosas en este tipo de vegetación es el resultado de intensos disturbios como el fuego y sobrepastoreo. Se presenta constituida principalmente por zacates amacollados de los géneros *Muhlenbergia spp.* y *Stipa spp.*, *Bouteloua spp.*, *Buchloë dactyloides*, *Aristida spp.* y en algunas partes *Juniperus flaccida*.

Bosque de Pino Piñonero

Es típico de transición entre la zona árida Chihuahuense y las unidades orogénicas que limitan la altiplanicie mexicana, tanto por el occidente como por el oriente. Villareal y Valdés (1993), mencionan que este tipo de vegetación se mezcla con comunidades de Matorral Desértico Chihuahuense, Matorral Submontano, Bosque de Encinos y Pastizales. Prosperan a altitudes que varían de los 1,200- 2,560 m, en áreas con poca pendiente y sobre suelos someros o profundos principalmente rendzinas y regosoles ricos en materia orgánica. Se presenta formando bosques más o menos bien definidos y caracterizados por el tamaño reducido de

las hojas. está representado por: *Pinus cembroides*, *P. greggii*, *Juniperus flaccida*, *J. deppeana*, *Yucca carnerosana*, *Arbutus xalapensis*.

Bosque de Pinos

Son comunidades dominadas por especies del género *Pinus*, este tipo de vegetación es el que le da una peculiar fisonomía al paisaje, ya que los bosques de coníferas son de gran atractivo escénico. Se diferencian de los bosques de piñonero por sus hojas mayores y delgadas. Entre las principales especies se tienen: *Pinus arizonica*, *P. teocote*, *P. greggii*, *P. cembroides*, *Cupressus arizonica*. Se localizan en altitudes que varían desde los 2150- 2900 m sobre suelos superficiales, oscuros, con alto contenido de materia orgánica y nutrientes como litosoles con rendzinas.

Bosque de Encinos

Este tipo de comunidad es propia de porciones protegidas de cañones y valles intermontanos con climas templados y semihúmedos (Villareal y Valdés, 1993). Esta integrado por árboles, en su mayor parte con hojas esclerófila, la cubierta original era un bosque de coníferas, compuesto por diferentes especies, las más importantes son *Pinus cembroides*, *P. greggii*, *P. arizonica*, *P. montezumae*, *P. hartwegii*, *P. teocote*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Abies vejari*, *Cupressus arizonica*, *C. sempervirens*, *C. lindleyi*, *Juniperus flacida*, *J. saltillensis*, *J. deppeana* y *J. monosperma*; además de árboles caducifolios como *Fraxinus greggii*, *Cercis canadensis*, *Populus spp.*, *Salix lasiolepis*, *Arbutus xalapensis*; además de subcaducifolios como algunas especies de encinos (*Quercus spp.*). Se presenta sobre suelos someros como litosoles y regosoles; y otros poco profundos como los Feozems háplicos en las faldas de la sierra.

Bosque Deciduo Templado

Este tipo de vegetación no está en realidad representado en el área. Está constituido por árboles que pierden sus hojas en mayor proporción durante la época invernal. Es un bosque mediano con más de 10 m de altura; la planta dominante es el encino (*Quercus spp.*), *Q. mexicana*, *Q. rugosa*, y otras especies como *Fraxinus cuspidata*, *Salix lasiolepis*, *Populus sp.* *Rhus virens*. Se localiza en altitudes de 2010 a 2100 m. y se considera que es un tipo de

vegetación de distribución irregular y escaso valor de importancia económica de sus elementos florísticos dominantes.

Bosque de Pseudotsuga-Cupressus-Abies

Es uno de los tipos de vegetación más interesantes en el área, por lo atractivo de su forma, y porque está compuesto por especies poco comunes o de escasa distribución como el caso de *Pseudotsuga flahaulti* característico de climas fríos y húmedos normalmente por encima de los 2500 m. Está constituido este tipo de vegetación por *Pseudotsuga flahaulti*, *Cupressus arizonica*, *Abies vejari*, *Pinus greggii*, *Pinus hartwegii*. En ocasiones se encuentra *Arceuthobium vaginatum* parasitando a *Pinus hartwegii*. En el área de estudio la posición que ocupa este tipo de vegetación es muy específica, en altitudes entre 2340 a 3140 m. principalmente en el cerro El Penitente. Los suelos más característicos son los litosoles y rendzinas.

Bosque de Encino Enebro

Este tipo de vegetación es muy común en las laderas de exposición sur de las mesetas, y en ocasiones alterna con asociaciones de pino piñonero-enebro. Se encuentra en altitudes de los 1960 a 2250 m sobre suelos litosoles y rendzinas. Está representado por : *Quercus mexicana*, *Q. hypoxantha*, *Q. laceyi*, *Q. emoryi*, *Juniperus monosperma*, *J. deppeana*, *Pinus cembroides*, *Yucca carnerosana*.

Como una aproximación de la condición actual de los diferentes tipos de vegetación Portes (1996) describe las siguientes categorías de vegetación y que fueron retomadas para el presente estudio.

Áreas Roturadas

Se incluyen a todas aquellas superficies que se utilizan para agricultura de temporal, de riego o cultivos frutícolas como el manzano e incluso a aquellas áreas que estando en barbecho es evidente este uso. Se les localiza en la parte Sur y Sureste del área correspondiendo a los valles aledaños principalmente a los núcleos poblacionales de Cuauhtémoc, el Recreo, San José de los Cerritos y entrada a el Cedrito.

Roquedo

Estas áreas corresponden básicamente a las paredes escarpadas, las cimas de las sierras y aquellas áreas que por su nula o escasa presencia de vegetación principalmente matorrales rosetófilos, presenta afloramiento de la roca madre. Portes (1996) menciona que estas áreas son importantes para el hábitat de aves rapaces así como también para algunas especies consideradas como importantes a proteger, específicamente las palmillas (*Brahea berlandieri* y *B. dulcis*).

Minería

Son todas aquellas áreas sometidas a la explotación de materiales pétreos y/o extracción de áridos de los lechos de cauces, caracterizándose por estar a cielo abierto. De acuerdo con Portes (1996) su impacto en el ambiente ha sido muy alto por la eliminación de la cubierta vegetal, modificación del paisaje y producción de ruidos, además de las altas emisiones de polvo.

Erosión

Se consideraron así a todas aquellas áreas que presentan un alto grado de erosión y que se encuentran dispersadas en toda el área. Sin embargo, se presentan tres zonas ubicadas en los pie de monte y parte del talud cercanas al ejido Bella Unión, otra en la Angostura y la última alrededor y sobre el arroyo de San José de los Cerritos junto a las áreas agrícolas, presentando alta erosión.

Desarrollo Urbano

Este uso del suelo se refiere a todas aquellas áreas con desarrollo urbano, tanto de alta como mediana densidad y que se presentan en las áreas urbanas y suburbanas a la Ciudad de Saltillo. Portes (1996) señala que estas áreas anteriormente estuvieron ocupadas por matorrales de rosáceas densos y abiertos, así como por matorrales de encinos y rosáceas en Lomas de Lourdes.

Desarrollo Urbano Rural

Categoría que corresponde a los núcleos ejidales, desarrollos urbanos campestres, pequeñas propiedades las cuales están en las partes planas del área.

Carretera

Se denomina así a las áreas que han sido dañadas por el establecimiento de vías de comunicación terrestre y que por lo tanto se incluyen la carpeta asfáltica y el derecho de vía. Se localizan a lo largo del borde del área en su lado este y oeste.

Fauna

En el pasado este recurso fue muy importante para la zona, actualmente y debido a los constantes cambios en los usos del suelo se ha perdido y deteriorado el hábitat de una gran parte de la fauna representativa del lugar y muchas especies han desaparecido; sin embargo, aún existen especies de gran interés, algunos por su valor estético y/o cinegético y otros por su carácter único (Meganck y Carrera, 1981). La descripción que se hace fue tomada de la misma fuente.

Mamíferos

Las especies más importantes que se encuentran son el oso negro (*Ursus americanus*), junto con los venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*). Posteriormente el coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Crocyon cinercoargenteus*), Cacomiztle (*Basariscus astutus*), ardillas arbóreas (*Sciurus spp.*) y terrestres (*Spermophilus spp.*), comadrejas (*Mustela frenata*), zorrillos (*Conepatus mesoleucus*) liebres (*Lepus spp.*), conejos (*Sylvilagus floridanus*); y ratones de diferentes especies.

Aves

Entre las especies más abundantes que habitan en el área están: los Zopilotes (*Coragyps atratus*), aura (*Cathartes aura*), aguililla de cola roja y pantanera (*Buteo jamaicensis*) y (*Circus hudsonius*), gavián pechirrufo (*Falco sparverius*), en la parte baja es común encontrar codorniz escamosa (*Callipepla squamata*) y codorniz pinta (*Cytornix montezumae*), paloma huilota (*Zenaida macroura*) paloma de collar (*Columba fasciata*) y la guacamaya enana (*Rynchopsitta terrisi*). Además se encuentran otras aves que suman 100 especies desde el minúsculo colibrí (*Caolothorax lucifer*) el azulejo (*Aphalocoma sordida*) hasta los grandes cuervos

(*Corvus spp.*).

Herpetofauna

Algunos de los reptiles más representativos del Desierto Chihuahuense se encuentran en el Cañón de San Lorenzo, tales como: lagartijas escamosas del género *Sceloporus*, gecos como *Coleonyx spp.*, y serpientes de los generos *Crotalus*, *Ficimia*, *Pituophis* e *Hypsiglena*, y camaleones *Holbrookia sp.*

Entomofauna

Entre los insectos fitófagos de mayor importancia hay especímenes de la familia *Scolytidae*, el *Ips spp.* que se le relaciona con el descortezamiento de los árboles y el *Conophthorus cembroides*, éste ataca un elevado número de conos y semillas de pino piñonero *Pinus cembroides*, también, de similar importancia, se localizan insectos defoliadores de la familia *Arctiidae*, barrenadores de ramas y brotes de la familia *Olethreutidae* y muchos otros insectos que presentan plagas potenciales que podrían presentarse en cualquier momento de disturbio ecológico.

Usos del área

Portes (1996) menciona que en el área se presentan diferentes usos tales como:

Uso Forestal

Actualmente en el área no existen aprovechamientos maderables de corte comercial como lo fue en un tiempos pasados, pero existen aprovechamientos por parte de los pobladores de las comunidades aledañas a la sierra que siguen derrumbando arbolado para su uso domestico, sin ningún fundamento técnico, ni autorización por parte de las autoridades competentes.

Uso Agrícola

Los ejidos y algunos predios particulares que circundan el área, dedican los terrenos

planos para sembrar cultivos básicos (principalmente maíz) y algunos frutales (manzano). Utilizando para ello instrumentos tradicionales y en algunos lugares emplean tecnología mecanizada. La mayor parte de los terrenos agrícolas son de temporal, aunque existen algunas partes irrigadas cercanas al ejido el Diamante.

Uso Ganadero

La ganadería existente que se practica es de tipo extensiva, donde los animales pastorean libremente, aunque algunos propietarios tienen en sus casas corrales donde estabulan a los animales y ahí les proporcionan forraje, esto sucede solo cuando la época de estiaje los pastos se han escaseado y/o cuando se necesitan los animales para trabajar u ordeñar. La principal limitante que se tiene con respecto a esta actividad es la falta de agua en los terrenos donde los animales apacentan.

Recreativo

Por las condiciones que presenta ha sido utilizada como área para excursionismo y campismo, principalmente por familias y excursionistas de la Ciudad de Saltillo.

Minería

Esta actividad se encuentra localizada en el lado Norte sobre el talud de la Sierra aún lado del Cañón de los Pericos y Cañón del León y en los cauces de los arroyos del Cañón de San Lorenzo y Las Ternereras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología empleada se obtuvieron los siguientes resultados:

OBTENCIÓN DE MAPAS SEGÚN CLASES DE ALTITUD Y EXPOSICIÓN

De la reclasificación realizada a las coberturas de altitud y exposición generadas a partir del modelo digital del terreno (MDT) editada por INEGI, se obtuvieron 8 mapas de usos del suelo según clases de altitud y 4 mapas de usos del suelo según clases de exposición (Cuadro 4 y Cuadro 5).

CUADRO 4	
MAPAS DE USOS DEL SUELO SEGÚN CLASES DE ALTITUD	
Categoría	Rango
Clase 1	1600 - 1800 m.
Clase 2	1800 - 2000 m.
Clase 3	2000 - 2200 m.
Clase 4	2200 - 2400 m.
Clase 5	2400 - 2600 m.
Clase 6	2600 - 2800 m.
Clase 7	2800 - 3000 m.
Clase 8	3000 - 3200 m.

CUADRO 5	
MAPAS DE USOS DEL SUELO SEGÚN CLASE DE EXPOSICIÓN	
Categoría	Rango
Clase 1	De 315° a 45° (Exposición Norte)
Clase 2	De 45° a 135 (Exposición Este)°
Clase 3	De 135° a 225° (Exposición Sur)
Clase 4	De 225° a 315° (Exposición Oeste)

OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESPACIAL SEGÚN CLASES DE ALTITUD

A partir del análisis de las matrices "raster" realizado a los mapas de uso del suelo según clases de altitud, los valores de los índices de diversidad espacial del paisaje obtenidos en los programas de análisis espacial (Scanner, Anes y Dipa), se muestran en el Cuadro 6.

CUADRO 6				
VALORES DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DEL PAISAJE SEGÚN ALTITUD				
Categoría	Rango	Índice de diversidad (H)	Índice de dominancia (D)	Índice de contagio (C)
Clase 1	1600-1800	2.0777	0.3994	0.6614
Clase 2	1800-2000	2.7432	0.3142	0.8487
Clase 3	2000-2200	2.7483	0.2782	0.3497
Clase 4	2200-2400	2.4893	0.3462	0.4150
Clase 5	2400-2600	2.4641	0.3528	0.5494
Clase 6	2600-2800	2.2593	0.3198	0.4589
Clase 7	2800-3000	2.0481	0.3173	0.3901
Clase 8	3000-3200	1.8900	0.1860	0.4879

La tendencia general observada (figura 4) fue que la diversidad espacial es mucho mayor en las clases altitudinales inferiores (1800-2200 m) alcanzando la máxima diversidad en la clase 3 con 14 usos del suelo y conforme se va ascendiendo en altitud la diversidad empieza a disminuir gradualmente en las clases superiores (2200-3200 m), donde la clase 8 presento la menor diversidad con solo cinco usos del suelo.

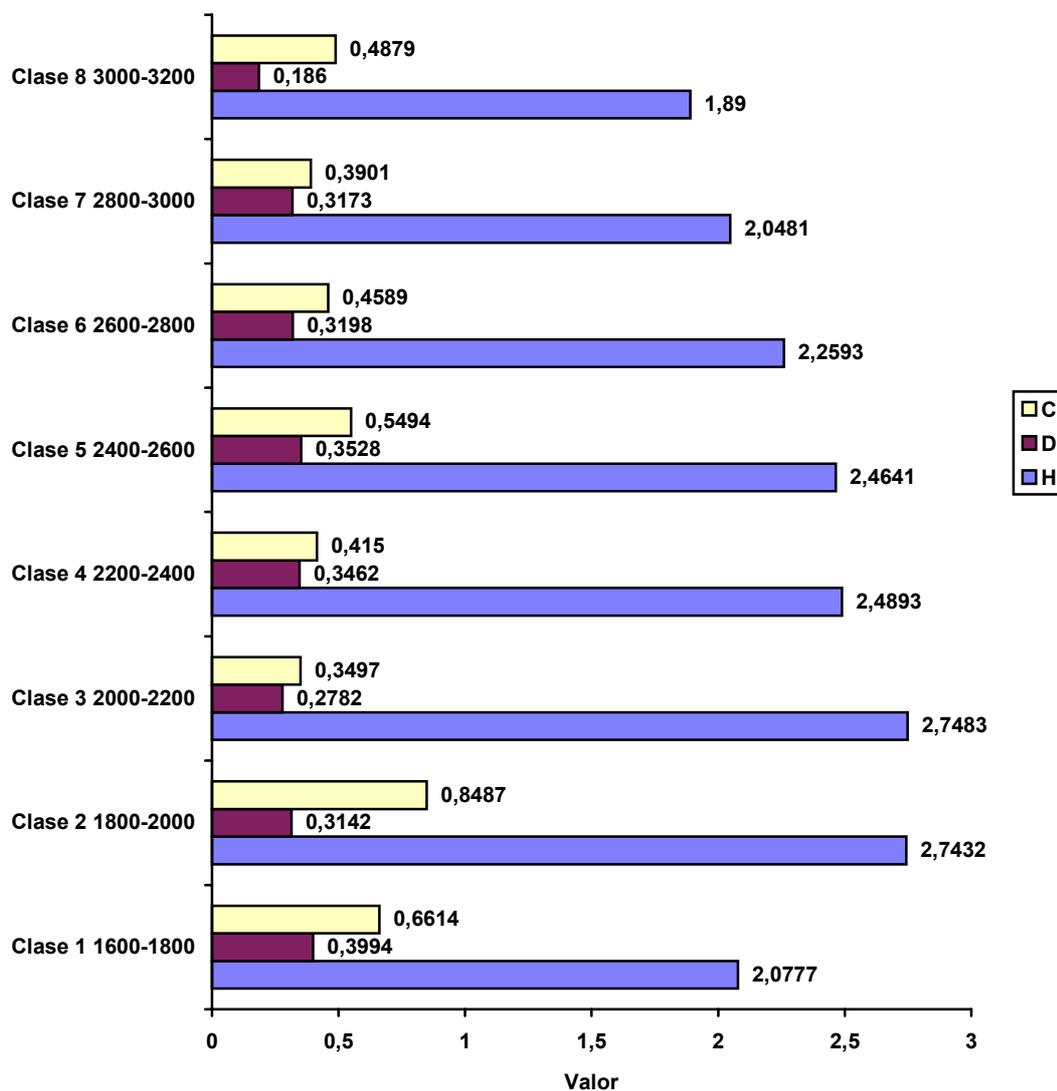
La mayor proporción de un uso o de pocos usos (mayor dominancia) fue más evidente en la clase 1 (1600-1800 m) y esta dominancia disminuye en las clases 2 y 3 donde en esta última se presenta una mayor equitatividad en las proporciones de los usos del suelo (menor dominancia) existentes, la dominancia vuelve aumentar hacia las clases 4 y 5 para luego disminuir en las clases 6, 7 y en la clase 8 se tiene una dominancia menor que en la clase 3.

Menores valores de **C** indican una mayor fragmentación en el paisaje y los valores mayores indican una menor fragmentación.

Respecto al este índice (**C**), se encontró que existe una menor fragmentación en las clases 1 y 2 y presentarse una mayor fragmentación (manchas mas pequeñas) del paisaje en la clase 3 (2000-2200 m), a mayores altitudes (clases 4, 5 y 6) la fragmentación disminuye y en la clase 8 como sólo se encuentran 5 usos del suelo estos se distribuyen en proporciones uniformes y por lo tanto este paisaje aumenta su fragmentación.

La tendencia observada de los índices de diversidad de usos e índice contagio (figura 4) indica que en la clase 3 la cual presenta una alta diversidad de usos y proporciones mas uniformes (menor dominancia) origina un paisaje más fragmentado (manchas más pequeñas). En contraparte, las clases 1, 2 y 4 que presentan una alta diversidad de usos menor que la clase 3 y con alta dominancia de pocos usos del suelo sean paisajes con menor grado de fragmentación (manchas más grandes).

Fig. 4 Comportamiento del índice de diversidad de usos (H), dominancia (D) y contagio (C) según altitud.



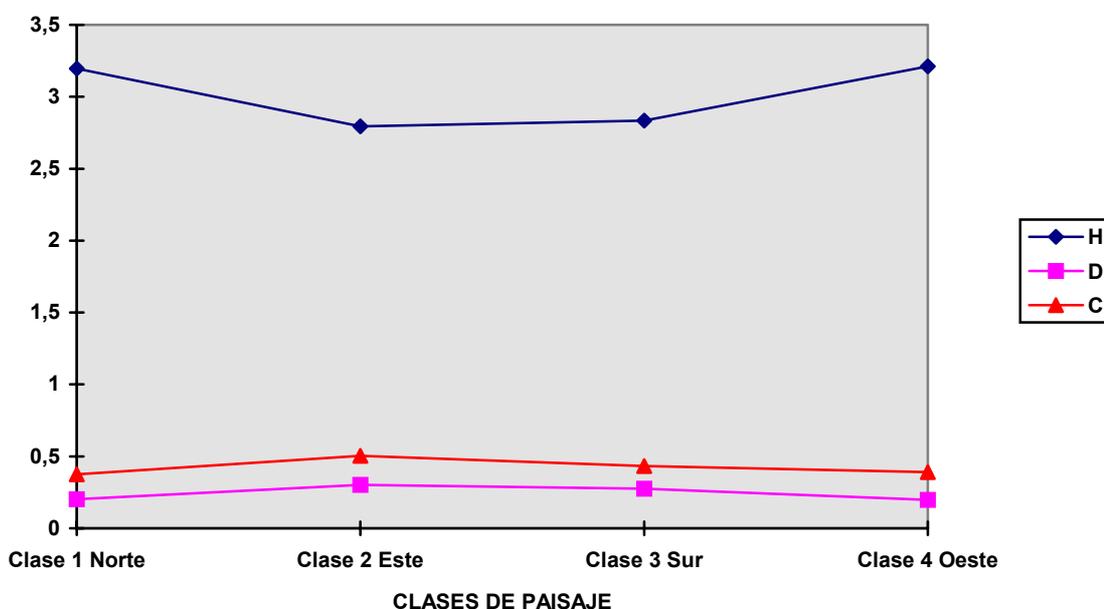
OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESPACIAL SEGÚN CLASES DE EXPOSICIÓN

Los resultados que se obtuvieron a partir del análisis espacial se muestran en el Cuadro 7, al igual que el gradiente altitudinal los valores por exposiciones presentaron diferencias entre ambas clases.

CUADRO 7				
VALORES DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DEL PAISAJE SEGÚN EXPOSICIÓN				
Categoría	Paisaje	Índice de diversidad (H)	Índice de dominancia (D)	Índice de contagio (C)
Clase 1	Norte	3.1952	0.2012	0.3741
Clase 2	Este	2.7936	0.3016	0.5048
Clase 3	Sur	2.8333	0.2748	0.4338
Clase 4	Oeste	3.2120	0.1970	0.3899

En la figura 5 se observa la tendencia que se encontró con estos índices según las clases de exposiciones. La exposición norte y oeste fueron los que presentaron la mayor diversidad ambos con 16 usos del suelo, las proporciones de estos usos del suelo fueron más uniformes (menor dominancia) y una mayor fragmentación (manchas más pequeñas). Por su parte, las exposiciones este y sur tienen una menor diversidad de usos y mayor dominancia de uno o pocos usos del suelo o estas unidades paisajísticas son los más representados. Al existir en estas clases manchas más grandes que dominan el paisaje se tiene una menor fragmentación.

Fig. 5 Comportamiento del índice de diversidad de usos (H), dominancia (D) y contagio (C) según exposición.



DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO SEGÚN CLASES DE ALTITUD

La ocupación de los usos del suelo fueron diferentes en cada categoría, encontrándose clases que presentaron 16 usos (clase 2) y clases que solo presentaron 5 usos del suelo (clase 8). Las proporciones relativas de ocupación de estos usos del suelo en cada clase altitudinal se muestran en el siguiente cuadro .

CUADRO 8								
DISTRIBUCIÓN DE USOS DEL SUELO POR CLASE DE ALTITUD EN PORCENTAJE								
Usos del suelo	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8
	1600-1800	1800-2000	2000-2200	2200-2400	2400-2600	2600-2800	2800-3000	3000-3200
1. Bsq-Piñ.		4.75	24.49	48.45	28.77	13.07	8.66	
2. Bsq. Enc.		0.03	0.07	1.24	0.67	0.10		
3. Bsq-Pino		1.71	6.07	19.58	39.13	52.19	50.6	32.20
4. Bsq-Pse-Cu-Ab.		0.01		0.46	2.53	8.38	22.13	39.83
5. Mat-Enc-Arb.	0.1	3.21	4.11	5.39	4.83	5.29	1.12	
6. Mat-In-Parv-Ros.	39.64	29.04	5.90	3.57	2.86	1.00		
7. Mat-Des-Ros.	0.35	2.03	1.43	2.13	9.35	11.50	9.22	18.65
8. Zac-Arb.	0.93	10.10	6.15	3.24	3.10	1.43	0.25	
9. Mat-Micr.	19.61	33.69	13.79	3.90	6.32	3.77	1.76	1.69
10. Ar-Rot.	4.52	2.93	33.11	7.22	0.20			
11. Roquedo	1.29	1.19	1.21	1.92	2.11	3.27	6.26	7.63
12. Minería	0.56	2.59	0.22	0.02	0.02			
13. Erosión	2.4	2.55	0.92	0.33	0.08			
14. Des-Urb.	30.51	5.68						
15. Carretera		0.20	0.51					
16. Des-Rur.	0.10	0.30	2.01	2.55	0.03			

DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO SEGÚN CLASES DE EXPOSICIÓN

En las exposiciones norte, este y oeste se encontraron los 16 usos del suelo que existen en el área de estudio y la exposición sur presento 15 usos solamente. Las proporciones relativas de ocupación de estas unidades paisajísticas según clase de exposición se ilustran en el cuadro 9.

CUADRO 9				
DISTRIBUCIÓN DE USOS DEL SUELO POR CLASE DE EXPOSICIÓN EN PORCENTAJE				
Usos del suelo	Clase 1 Norte	Clase 2 Este	Clase 3 Sur	Clase 4 Oeste
1. Bsq-Piñ.	20.67	30.52	34.53	19.50
2. Bsq. Enc.	0.51	0.19	0.45	0.60
3. Bsq-Pino	18.33	20.69	21.23	16.35
4. Bsq-Pse-Cu-Ab.	1.70	3.26	1.61	0.96
5. Mat-Enc-Arb.	3.45	2.23	5.06	6.83
6. Mat-In-Parv-Ros.	17.55	1.26	1.97	10.67
7. Mat-Des-Ros.	2.23	2.09	8.67	4.18
8. Zac-Arb.	4.83	2.06	5.10	5.67
9. Mat-Micr.	11.78	10.89	9.94	16.85
10. Ar-Rot.	8.19	20.50	7.56	12.63
11. Roquedo	1.30	2.23	2.39	2.09
12. Minería	0.84	0.12	0.01	0.55
13. Erosión	1.08	1.66	0.11	0.54
14. Des-Urb.	6.58	0.05		1.05
15. Carretera	0.09	0.22	0.10	0.33
16. Des-Rur.	0.87	2.03	1.27	1.20

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS ÍNDICES DE DIVERSIDAD DEL PAISAJE

Wiens (1995) citado por Zarate (1995), menciona que no existe un patrón del mosaico a partir del cual se puedan hacer generalizaciones de los efectos ocurridos en la estructura del paisaje sobre los flujos ecológicos, debido a la enorme variedad de posibles configuraciones espaciales y temporales de los paisajes. Es por ello, que los estudios tanto teóricos como empíricos pueden estar limitados a las características bióticas .

Tendencia de los índices de diversidad del paisaje según altitud

El máximo valor de **H**, esta asociado con un paisaje en el cual la diversidad de usos es mayor y valores bajos de **H**, indican un paisaje con menor diversidad de usos y nos da una idea del número de usos ahí presentes, más no idea del grado de fragmentación del paisaje, ya que dos paisaje con el mismo valor de **H** pueden tener diferente grado de fragmentación (Zarate, 1995).

Por lo tanto, la diversidad de un paisaje (riqueza) puede ser simplemente definida como el número de diferentes tipos de comunidades presentes diferenciados por su posición en gradientes ambientales como por sus estados sucesionales (Romme, 1982). Así, un territorio con un paisaje heterogéneo, es decir, diverso, sería el que tuviera no solamente un elevado número de usos del suelo, sino el que las tuviera distribuidas equitativamente.

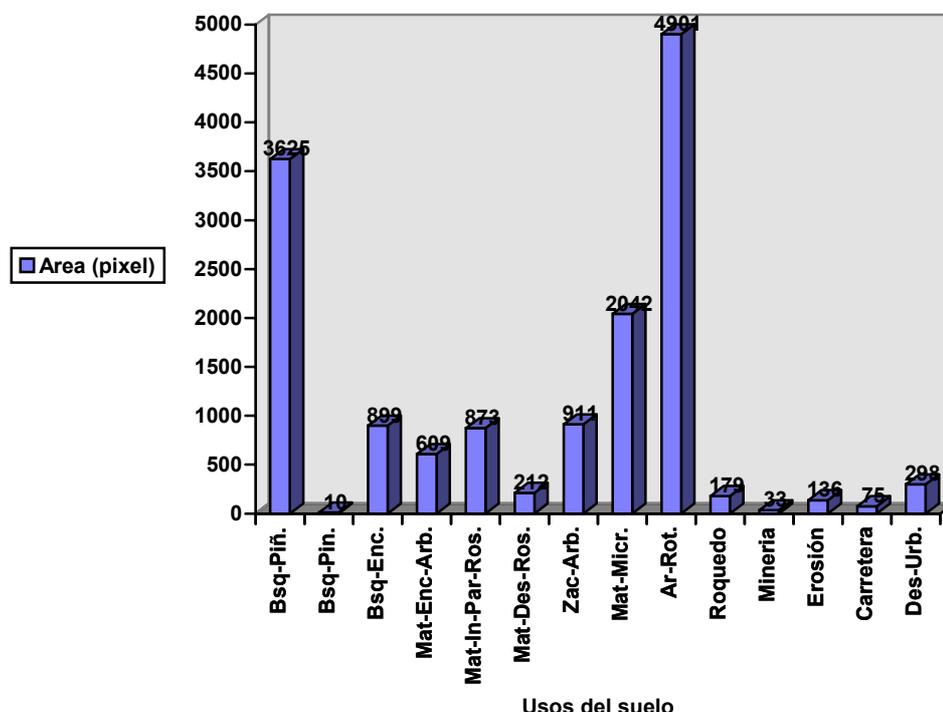
La clase 1, 2 y 3 que representan las partes bajas del área son las que presentaron la mayor diversidad de usos, una mediana diversidad la presentaron las clases 4, 5 y 6 y la diversidad más baja se encontró en las clases 7 y 8 (ver figura 4 y Cuadro 6).

Esta mayor diversidad de usos se debe en gran parte a las condiciones topográficas ahí presentes, donde la pendiente juega un papel muy importante, a la superficie ocupada por cada clase; si la superficie es mayor aumenta la probabilidad de que también ocurran más usos

del suelo, tal es el caso de la Clase 3 (figura 6) que tiene la más alta diversidad pero también es la que tiene la mayor superficie (11990.43 Has) respecto a las demás clases altitudinales (ver cuadro 10) y por otra parte se tiene al factor antropogénico que ha propiciado en gran parte que

exista una mayor diversidad de usos ya que para su continuo desarrollo ha sustituido un uso del suelo por otro y por esta sustitución se han generado nuevas manchas.

Fig. 6 Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 3 (2000-2200m.s.n.m.)



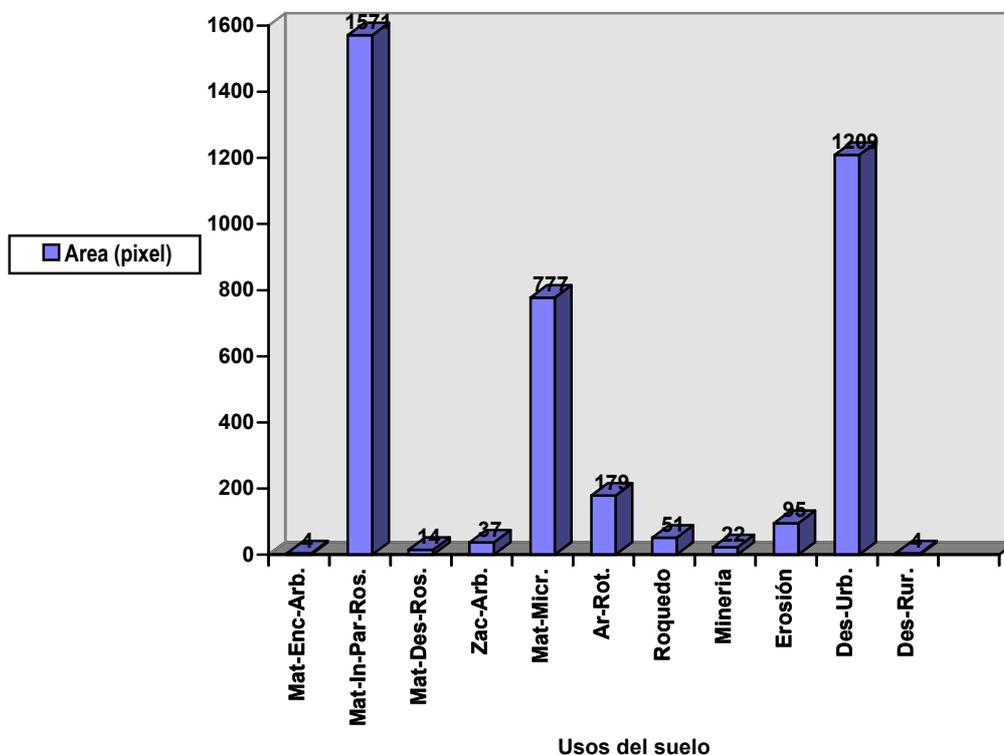
Estos cambios en la mayoría de las veces mal planeados o por la nula existencia de un plan que regule los cambios en los usos del suelo ocurridos a través del tiempo a su vez, han generado serios impactos sobre los sistemas ecológicos; la fragmentación con frecuencia reduce el hábitat de la fauna silvestre y como consecuencia decrece la diversidad genética, mayores cambios pueden causar alteraciones en los patrones espaciales a una escala regional (O'Neill *et al*, 1996).

La expansión de la mancha urbana y el acelerado crecimiento industrial de la ciudad de Saltillo, en la mayoría de los casos mal planeados están causando cambios en los usos de suelo de manera incontrolada, áreas de vegetación natural como los matorrales han sido cambiadas a terrenos agrícolas o para el desarrollo de áreas urbanas, los bosques de pino piñonero a áreas campestres, etc (Portes, 1996).

SUPERFICIES OCUPADAS SEGÚN CLASES DE ALTITUD		
Categoría	Rango	Superficie en hectáreas
Clase 1	1600-1800 m	3210.03
Clase 2	1800-2000 m	6390.90
Clase 3	2000-2200 m	11990.43
Clase 4	2200-2400 m	11698.02
Clase 5	2400-2600 m	7748.46
Clase 6	2600-2800 m	4148.82
Clase 7	2800-3000 m	1010.07
Clase 8	3000-3200 m	95.58

De no tomar las medidas necesarias, la tendencia encontrada para la clase 1 (figura 7) que presentan una alta diversidad de usos menor que la clase 3 es que el desarrollo urbano no solamente se expanda hacia los matorrales micrófilos, matorral denso inerme parvifolio de rosáceas y zacatal con arbustivas que existen en esta clase, sino además en un momento dado de no tener un ordenamiento del territorio la mancha urbana puede establecerse hasta la cota de 2200 m (clase 2) de hecho en esta categoría actualmente ocupa el 5,68 % de la superficie (ver cuadro 8).

Fig. 7. Proporciones de los usos del suelo en la clase 1 (1600-1800 m.s.n.m)

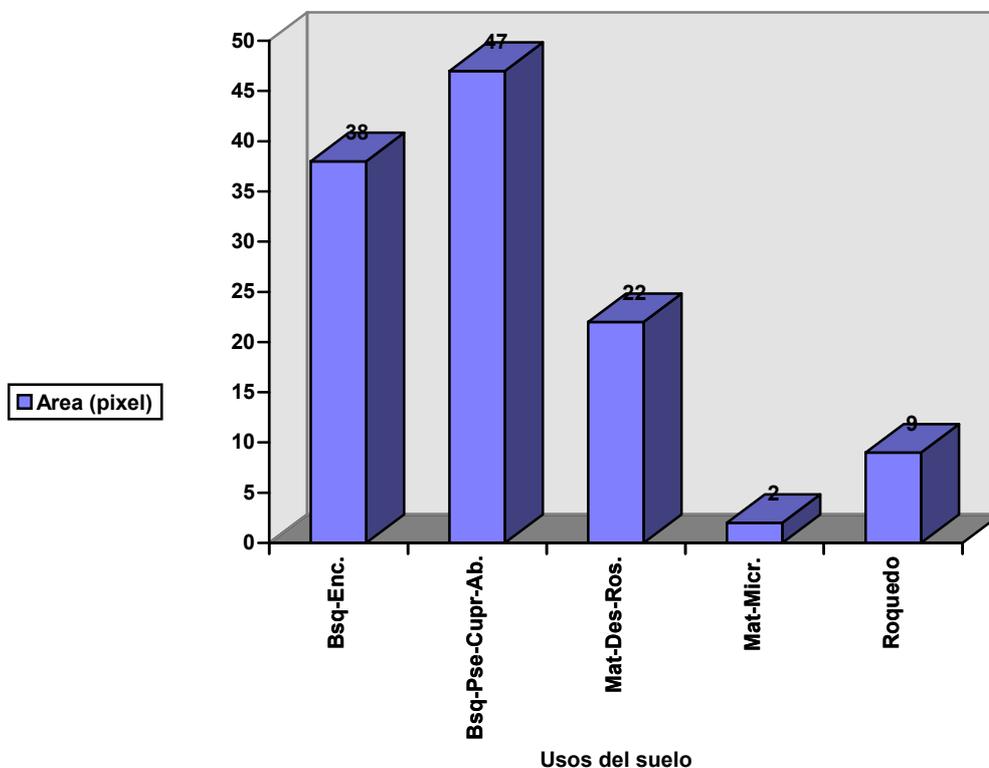


Lo anterior propiciaría el desarrollo de nueva infraestructura como son los caminos, carreteras y líneas de electricidad las cuales presentan un alto impacto en el hábitat de la fauna silvestre y se reduciría la diversidad de usos en pocos usos lo ocasionaría una homogeneización del paisaje. Si las manchas de vegetación natural disminuyen en tamaño y número, el intercambio que pueda haber entre ellas es más difícil y puede conducir a la extinción local de especies (Romme y Knight, 1982). Cuando un paisaje combina tanto manchas pequeñas y grandes, con una longitud de fronteras considerable alrededor de las manchas pequeñas puede proporcionar un buen balance entre las especies de interior y de frontera, aumentando la probabilidad de supervivencia de las poblaciones (Forman y Godron, 1986).

Por otra parte, la disminución de la diversidad de usos de las clases 3 a la clase 8 (figura 8), se debe básicamente a la topografía accidentada del área, la cuál no permite que se lleven a cabo los usos del suelo antropogénicos tales como: el desarrollo urbano (hasta la cota

2200 m), desarrollo rural, minería y roturación de áreas (hasta la cota 2600 m), esta última es para el establecimiento de cultivos básicos principalmente maíz o para huertos frutícolas (Portes, 1996) y por otro lado se tiene que a medida que se asciende en altitud las condiciones ambientales (topografía, suelo, temperatura, humedad, viento) son más extremos, y no permiten el desarrollo de muchas comunidades vegetales diferentes (Spurr y Barnes, 1982), asimismo la distribución y abundancia de plantas esta directamente asociado a las características del paisaje. Por ejemplo, McAulife (1994) encontró que un perfil del suelo desarrollado ejerce un mayor control sobre el movimiento vertical, distribución espacial y disponibilidad temporal de agua.

Fig. 8 Proporciones relativas de los usos del suelo en la Clase 8 (3000-3200 m.s.n.m.)



Los resultados del índice de dominancia pueden ser expresados como la proporción de la cobertura total del área por cada tipo de usos del suelo, la máxima igualdad ocurre cuando cada tipo de uso del suelo ocupa un área semejantes a los demás (Romme, 1982). Así, un territorio con un paisaje heterogéneo, es decir, diverso, sería el que tuviera no solamente un elevado número de usos del suelo, sino el que las tuviera distribuidas equitativamente.

Esto lo podemos ver en la clase 3 (figura 6) donde los 14 usos del suelo conforman un paisaje diverso, con un número elevado de unidades paisajísticas y, además, uniformemente distribuidas. Los paisajes tienen tanta más diversidad biológica, cuanto mayor sea su heterogeneidad paisajística.

Los valores de dominancia altos indican un paisaje en el cual uno o pocos usos del suelo están dominando ese paisaje. De las clases analizadas, en la clase 1 (1600-1800 m) el matorral denso inerme parvifolio de rosáceas (39.64 %) junto con el matorral micrófilo (19.61%) que se desarrollan mejor en las partes bajas y valles y el desarrollo urbano (30.51%), están dominando el paisaje aunque en esta clase existan 11 usos del suelo la proporciones entre ambos usos son muy diferentes (menor equitatividad).

Como menciona Portes (1996) el desarrollo urbano en el área tiende a expandirse sin consideraciones y las áreas potenciales de expansión son por abajo de la cota 1800 m.s.n.m, siendo la principal limitante la pendiente, ya que a partir de esta cota termina el pie de monte y la topografía cambia abruptamente a ladera, mas sin embargo ya se esta expandiendo hacia las cotas superiores (ver cuadro 8).

En la mayoría de los casos la dominación que se da por una determinada unidad paisajística, básicamente se debe a la sustitución de un tipo de suelo por otro y origina que uno o pocos usos del suelo estén presentes y como consecuencia se presenten paisajes más homogéneos, lo que conduce a estructuras simples respecto a la posible situación natural, pero cuando las perturbaciones sean de origen antropogénico se necesita hacer referencia a la intensidad (Puerto *et al*, 1991). En otros casos las perturbaciones de las fronteras que existen entre las manchas provocan la destrucción de la diversidad espacial y su conducción hacia situaciones de simplicidad y monotonía (Pineda *et al*, 1991). Esto ocurre cuando la perturbación afecta por igual a la superficie, como suele ocurrir con un incendio. Los efectos de las perturbaciones sobre el paisaje suelen ser un aumento de la heterogeneidad y, por consiguiente, un aumento momentáneo de la diversidad de especies, esto va depender de las características de la perturbación, es decir, su intensidad, frecuencia, extensión, el momento en que se presente y el agente de disturbio (López, 1993; Rogers, 1996).

Las consecuencias de esta simplicidad y monotonía pudiera en un momento dado reflejarse en la respuesta del paisaje contra posibles agentes de disturbio tanto de origen biótico

como abiótico. Si un paisaje presenta un mosaico más heterogéneo, es decir, una alta complejidad espacial (menor dominancia) y mayor equitatividad (Clase 3 y Clase 8) de usos del suelo, estos por presentar características diferentes protege más contra los efectos de disturbios naturales como pueden ser: incendios, aparición de plagas o enfermedades e impactos directos por el hombre y una baja diversidad paisajística aumenta la susceptibilidad a las plagas y enfermedades (Wilcox, 1995; Zarate, 1995).

Tal es el caso de la reforestación sierra de Zapalinamé ubicada en la exposición Norte de la sierra, donde *Pinus halepensis* es la especie que conforma aproximadamente el 95 % de este bosque. En esta área, después de una larga sequía que afectó gran parte del norte de México durante 1994, 1995 y parte de 1996, ocasionando con ello la muerte de una gran parte del arbolado y debilitamiento progresivo (Najera *et al*, 1997), favoreciendo con ello la afectación de los patógenos *Fusarium oxysporum*, *Verticillium albo atrum* y *Pseudomonas syringae* (Galindo y Flores, 1997).

Los paisajes que presentan una mayor fragmentación en el paisaje (Clase 3 y Clase 7), es decir existen más manchas pequeñas, en consecuencia son más diversos espacialmente pues estas manchas presentan más colindancias con usos diferentes que los paisajes que tienen manchas más grandes, es decir, menor fragmentación (Clase 2 y 1).

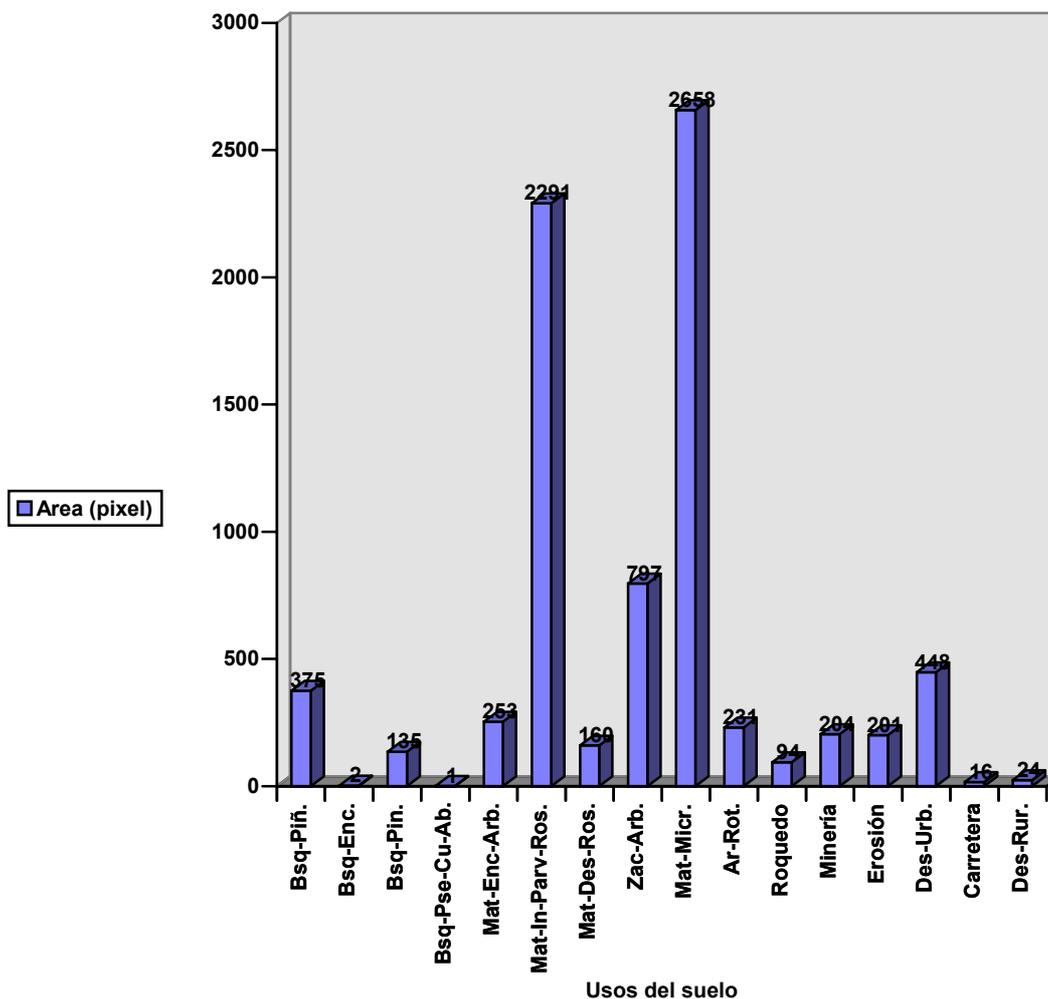
Un paisaje que presenta tres tipos de usos del suelo distribuido en muchas manchas "parches" pequeños se puede decir que es más diverso que un paisaje con los mismos tres tipos de usos del suelo pero en unos bloques más grandes (Romme, 1982).

Se encontró que para el área la clase 3 (2000-2200 m) se presenta la mayor fragmentación y se debe a que en esta clase altitudinal existe una alta diversidad espacial y baja dominancia en las proporciones relativas de los usos del suelo, por consiguiente se presentan parches mas pequeños, asimismo en esta clase la actividad humana ha ejercido mucha influencia sobre el paisaje, principalmente la ampliación de las áreas agrícolas ya que estas ocupan el 33.11% en esta categoría altitudinal. La ampliación de la frontera agrícola se ha dado sobre el bosque de piñonero, pastizales naturales e inducidos así como en los matorrales que se encuentran en el pie de monte, trayendo consigo la apertura de nuevos caminos hacia estas nuevas áreas , produciendo cambios en la heterogeneidad espacial y por consiguiente se crean

nuevas fronteras que fragmentando el paisaje en un mayor número de manchas mas pequeñas (Portes, 1996). Las manchas pequeñas de terrenos agrícolas y pastizales en su mayor parte improductivos , las viviendas esparcidas de los núcleos poblacionales y, muy recientemente casas campestres en los bosques de pino y matorrales, son los principales factores que llevan a la fragmentación, el deterioro del hábitat, y la pérdida de especies dentro del área.

Las manchas grandes de vegetación natural, son las únicas estructuras en un paisaje que protege a los mantos acuíferos y flujos de corriente interconectados, sostiene poblaciones viables de especies que viven en el interior de estos, proveen el hábitat y cobertura para grandes vertebrados (Forman, 1995). Las funciones anteriores pueden estar relacionadas con los paisaje menos fragmentados que se presentan en el área de estudio (Clase 2 y 1) los cuales están ocupados por manchas grandes de Matorral inerme parvifolio de rosáceas y matorral micrófilo y constituyen estructuras muy importantes (figura 9 y 7).

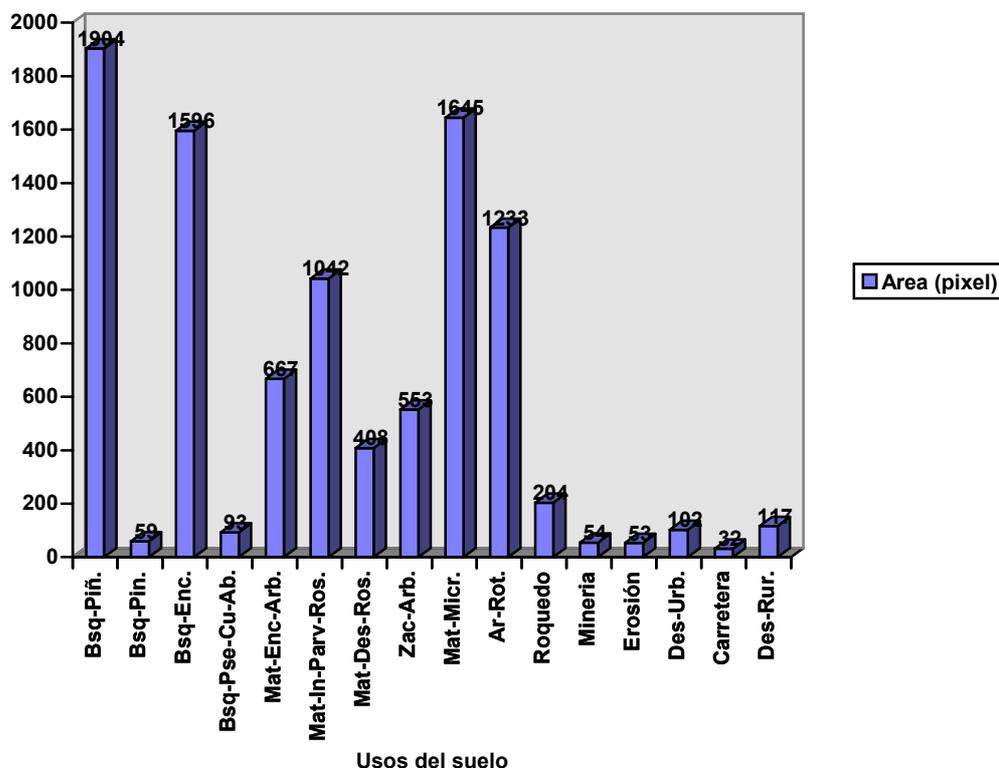
Fig. 9 Proporciones relativas de los usos del suelo en la clase 2 (1800-2000 m.s.n.m.)



Tendencia de los índices de diversidad del paisaje según exposición

Con respecto a la diversidad espacial, los paisajes que fueron altamente heterogéneos, es decir, diverso, correspondió a la exposición oeste (figura 10) y norte, donde estas clases no solamente tienen un elevado número de usos del suelo (16), si no que además las proporciones relativas de estos usos son más uniformes.

Fig. 10 Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Oeste

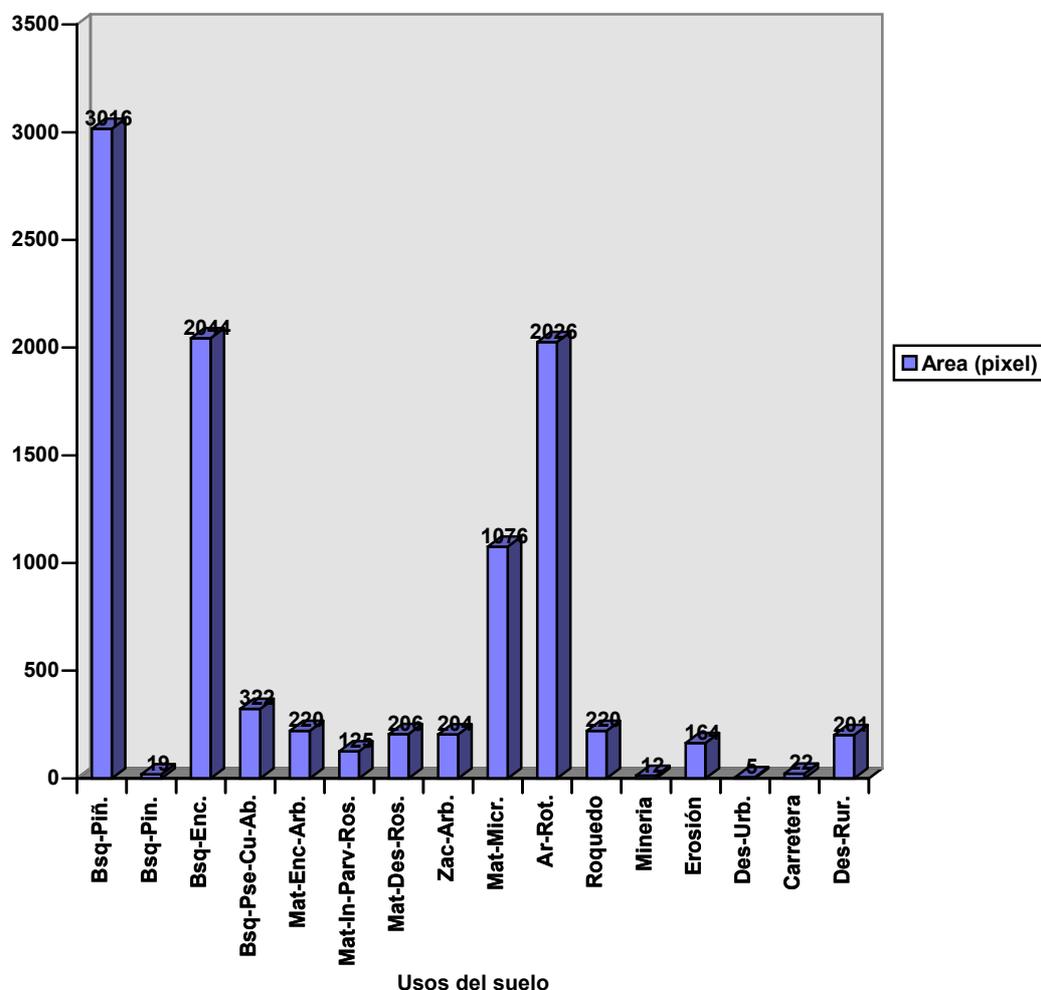


Esta diversidad de usos se debe por mejores condiciones climáticas que prevalecen en estas exposiciones principalmente la humedad e incidencia de rayos solares para el establecimiento y desarrollo de las comunidades vegetales y por otra parte se debe a los recursos existentes, tales como las mineras que existen cerca de las laderas en la exposición, también a las condiciones topográficas para la integración de un nuevo dentro de la matriz como la expansión de la mancha urbana.

En la exposición este con 16 usos del suelo y exposición sur con 15 usos, que presentan condiciones climáticas diferentes se tiene una menor diversidad paisajista y por consiguiente mayor dominancia del bosque de piñonero que se desarrolla mejor en estas zonas ya que es un tipo de vegetación de transición entre la vegetación de tipo semiárido a la templada, los bosques de pinos y el matorral micrófilo. Dentro de la exposición este (figura 11)

se encuentran situados los ejidos Sierra Hermosa, El Diamante y El Cedrito lo que ha propiciado que las áreas aledañas de vegetación sean transformadas a terrenos agrícolas y se vea reflejado en la ocupación dentro de este paisaje con un 20.50%.

Fig.11 Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Este



Estos cambios que ocurren en el área, forma y conectividad de las manchas puede causar cambios en la riqueza de especies, distribución y permanencia de las comunidades así como la probabilidad de disturbios (Fahring y Merriam, 1985).

Un aspecto importante a considerar respecto a lo anterior es que muchas especies de animales silvestres y especies de aves muestran perturbaciones en su comportamiento y reproducción ante la invasión de sus territorios por el hombre.

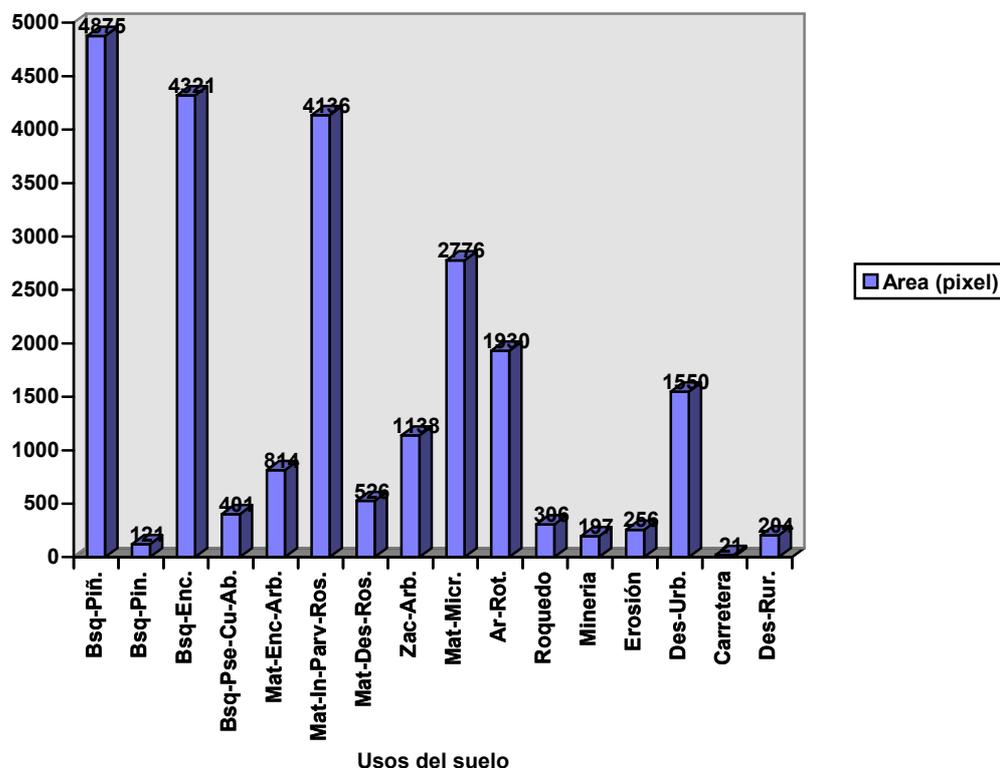
Como menciona Halffter y Ezcurra (1992) los ecosistemas modificados por el hombre no necesariamente pierden productividad en biomasa, pero prácticamente en todas las ocasiones pierden diversidad. Puede decirse que cuando el hombre transforma el paisaje, está sometiendo a los ecosistemas afectados a importantes alteraciones, cuando no a auténticas perturbaciones. Los disturbios antropogénicos, generan nuevos regímenes de disturbios, o amplifican el efecto de los fenómenos naturales, dando lugar a la modificación del paisaje (Jardel, 1991; Foster y Boose, 1992).

Como consecuencia de presentar un alta diversidad de usos y baja dominancia de ciertas unidades paisajistas las exposiciones norte y oeste (ver figura 8) son las más fragmentadas, es decir presentan manchas más pequeñas.

En la exposición norte (figura 12) esta fragmentación es ocasionada por las explotaciones mineras mal planeadas que no tienen un fundamento técnico y son generadoras de impactos ecológicos muy fuertes sobre la vegetación natural, pérdida y fragmentación del hábitat de la fauna silvestre y la salud de los habitantes cercanos a estas áreas por la detonación de dinamita y los polvos arrojados en el proceso de transformación de los materiales pétreos y por otro lado se tienen los asentamiento humanos, es decir la expansión de la mancha urbana hacia los pie de monte de la sierra como Lomas de Lourdes (Portes, 1996).

Con el acelerado crecimiento de la población se genera contaminación del suelo y agua, ya que los habitantes arrojan la basura a los cauces de agua y estos contaminantes degradan y destruyen los hábitats. Cambios en las actividades humanas a menudo produce cambios en la heterogeneidad espacial del paisaje y por consiguiente se crean nuevas fronteras (Urban *et al*, 1987).

Fig.12 Proporciones relativas de los usos del suelo en la exposición Norte



La fragmentación inducida por el hombre puede afectar a diferentes proporciones y en diferentes maneras dependiendo de la escala espacial (Baker, 1989), además a partir de la fragmentación se originan una serie de procesos espaciales que transforman el paisaje tales como: la generación de claros dentro de la matriz del paisaje, la estructuración o subdivisión de un área, la fragmentación propiamente dicha, la disminución del tamaño de las manchas y la reducción o desaparición de estas manchas (Forman, 1995).

Otro aspecto a considerar es que la exposición oeste aunque no presente mucha influencia humana la fragmentación que se observa es por la alta diversidad y baja dominancia que tiene. En esta exposición con el acelerado crecimiento industrial que tiene la ciudad de Saltillo, la tendencia de la mancha urbana ya esta extendiendo hacia estos paisaje (e.g. Fábrica de automóviles Crysler), las consecuencias se han reflejado en la recarga de mantos acuíferos para abastecer de agua tanto a la ciudad de Saltillo como a las poblaciones colindantes (Rodríguez, 1995).

CONCLUSIONES

En base a los resultados y discusión en el presente estudio se concluye que:

- a) Los valores de los índices de diversidad espacial del paisaje obtenidos fueron diferentes en cada clase y demostró que existe una relación entre la diversidad espacial del paisaje respecto a altitud y exposición.
- b) Las clases altitudinales inferiores fueron las más diversas espacialmente y a medida que se asciende en altitud esta diversidad disminuye. Debido a que en las primeras existe una mayor riqueza de usos del suelo producto de las actividades humanas y por otra parte la superficie de ocupación por cada una de las clases altitudinales es mucho mayor. A mayor altitud disminuye la superficie ocupada, se presentan condiciones ambientales extremas y no existe mucha influencia humana.
- c) En las clases 1 (1600-1800 m) y clase 2 (1800-2000 m) que fueron los paisajes más dominados por el matorral denso inerme parvifolio de rosáceas y el matorral micrófilo, tienden a homogeneizarse más por la expansión del desarrollo urbano. Esta simplicidad y monotonía puede verse afectada por la respuesta del paisaje a condiciones de perturbación o disturbios que pudieran presentarse.
- d) La tendencia que mostró el índice de diversidad de usos y dominancia fue que en la clase 3 (2000-2200 m) se presentó la más alta diversidad, una menor dominancia de los usos del suelo y por consiguiente originó que este paisaje sea el más fragmentado, es decir, presenta una alta complejidad espacial manchas más pequeñas y diferentes clases de frontera.
- e) Con respecto a exposición, las exposiciones norte y sur por sus condiciones ambientales fueron los que tuvieron la mayor diversidad de usos, las proporciones relativas de los usos del suelo fueron más equitativas (menor dominancia) y por consiguiente una mayor

fragmentación del paisaje. Esta fragmentación ha sido ocasionada principalmente por la expansión de la mancha urbana de la ciudad de Saltillo y por los recursos existentes, principalmente las mineras, lo que se traduce en el proceso conocido como camino-casas-desarrollo y que afecta el hábitat de la fauna silvestre.

- f) Dado que en el presente estudio, no se estudiaron las consecuencias ecológicas de los cambios que ocurren en el área, forma y conectividad de las manchas , en base a numerosos estudios que se han realizado en otros lugares, podemos decir que dichos cambios espaciales y temporales, tienen efectos en diversos procesos ecológicos del paisaje, como pueden ser el flujo de materia y energía, diseminación de disturbios, la riqueza de especies, distribución y permanencia de comunidades.

- g) Los sistemas de información geográfica son una herramienta importante para el seguimiento, planeación y un mejor manejo de los recursos naturales, pues a partir de la información digital se puede no solamente generar productos, sino también realizar análisis espaciales o formular modelos de simulación ecológicos para el entendimiento de los procesos que se presentan en el paisaje.

RECOMENDACIONES

1. Seguir utilizando las características estructurales del paisaje y contrastarlas con los índices utilizados en el presente estudio, para conocer el comportamiento de estos en diferentes configuraciones espaciales y temporales.
2. Realizar estudios de la diversidad espacial a un nivel mas detallado como es la diversidad de especies para tener mejores fundamentos en la gestión del territorio.
3. Llevar a cabo estudios prácticos de las implicaciones ecológicas en los cambios en la heterogeneidad del paisaje producto de la expansión humana y desarrollos continuos mal planeados.
4. Las áreas degradadas producto de manejos mal planeados y sin fundamentos técnicos que se han realizado en el área, deberán de rehabilitarse y no utilizarse como bancos de tierra o para fines agrícolas, de pastoreo, residenciales o industriales.
5. El mantenimiento de la diversidad de hábitats es de suma importancia para muchas especies de animales que necesitan de dos o más unidades paisajísticas.
6. De establecerse un plan de manejo, las medidas que se tomen deberán de evitar la tendencias de sustitución de los matorrales y bosques de piñonero, para el establecimiento de la mancha urbana, desarrollos campestres y áreas agrícolas, lo que origina paisajes mas simples y homogéneos y disminución de la diversidad.
7. Establecer corredores de hábitats para conectar áreas que ayuden a la conservación de la fauna silvestre ya que muchas especies de animales como las aves muestran perturbaciones en su comportamiento y reproducción ante la invasión de sus territorios por el hombre.
8. En el futuro si la sociedad Saltilense quiere ser dueña de su destino, deberán poder regular su actividad y crecimiento obteniendo sus satisfactores que necesiten de manera sostenida;

manteniendo las funciones ecológicas, perpetuando el flujo de productos y, a la vez, manteniendo y logrando condiciones deseadas del paisaje.

LITERATURA CITADA

- Arce G., L. y J.S. Marroquín. 1985. Las unidades fisonómico-florísticas del Cañón de San Lorenzo, Saltillo, Coahuila, México. *Biotica* 10: 369-393.
- Baker, W.L. 1989. Landscape ecology and nature reserve design in the boundary waters canoe area, Minnesota. *Ecology* 70: 23-35.
- Bolstad, P.V. and T.M. Lillesand. 1992. Improved classification of forest vegetation in Northern Wisconsin through rule-based combination of soils terrain and landsat thematic mapper data. *For. Sci.* 38: 5-20.
- Bolstad, P.V. 1992. Geometric errors in natural resource GIS data: tilt and terrain effects in aerial photographs. *For. Sci.* 38: 367-380.
- Bosque S., J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España. 451 pp.
- Bosque S. J., F.J. Escobar, E. García y M.J. Salado. 1994. *Sistemas de Información Geográfica: prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI*. RA - MA Editorial. Madrid, España. 480 pp.
- Bunce, R.G.H. and R.H.G. Jongman. 1993. An introduction a landscape ecology. In: Bunce, R.G.H., L. Ryszkowski & M.G. Paoletti (eds.). *Landscape ecology and agroecosystems*. Lewis Publishers. USA. pp 3-10.
- Bunce, R.G.H. and C.J. Hallam. 1993. The ecological significance of linear features in agricultural landscape in Britain. In: Bunce, R.G.H., L. Ryszkowski & M.G. Paoletti (eds.). *Landscape ecology and agroecosystems*. Lewis Publishers. USA. pp 11-19.
- CETENAL (Dirección General de Estudios del Territorio Nacional). 1977. *Cartografía temática (Edafología, Geología, Usos del suelo y Vegetación)*. Cartas G14C33 Y G14C34. Escala 1:50 000. México.

- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España. 453 pp.
- De Bolos, M. 1992. Manual de ciencia del paisaje. Ediciones Masson, S.A. España, 273 pp.
- Dobrowolski, K., A. Banach, A. Kozakiewicz and K. Koz. 1993. Effect of habitat barriers on animal populations and communities in heterogeneous landscapes. In: Bunce, R.G.H., L. Ryszkowski & M.G. Paoletti (eds.). Landscape ecology and agroecosystems. Lewis Publishers. USA. pp 61-69.
- Escribano, B. M., M. De Frutos, E. Iglesias, C. Mataix y I. Torrecilla. 1991. El paisaje. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Unidades Temáticas Ambientales de la Secretaria de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Madrid, España. 117 pp.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1995. Understanding GIS The ARC/INFO™ Method. Environmental Systems Research Institute, Inc. California, USA.
- Fahring, L. and G. Merriam. 1985. Habitat patch connectivity and population survival. Ecology 66: 1762-1768.
- Forman, R.T.T. 1995. Some principles of landscape and regional ecology. Landscape Ecol. 10: 133-142.
- Forman, R.T.T. and M. Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley and Sons. New York. USA. 609 pp.
- Foster, D.R. and E.R. Boose. 1992. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. Journal of Ecology. 80: 79-98.

- Galindo C., M.E. y J.D. Flores F. 1997. Pruebas de patogenicidad para determinar el agente causal de la muerte de *Pinus halepensis* en la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. In: Memoria de resúmenes. IX Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. SEMARNAP, UAAAN, Gobierno del Estado, UACH, CP y Sociedad Mexicana de Entomología, A.C. Saltillo, Coah. p 25.
- García, E. 1973. Modificaciones para el Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Primera edición. UNAM, México. 246 p.
- González B., F. 1981. Ecología y Paisaje. Editorial Blume. Barcelona, España. 250 pp.
- Halffter, G. y E. Ezcurra, 1992. ¿Que es la biodiversidad?. In: Halffter, G. (compilador). La diversidad biológica de Iberoamérica. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED-D). Acta zoológica mexicana. Vol. esp. 2. Instituto de Ecología, A.C., SEDESOL. pp 3-24.
- Hulshoff, M.R. 1995. Landscape indices describing a Dutch landscape. Landscape Ecol. 10:101-111.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1992. Cartas topográfica G14C33 y G14C34. Escala 1:50 000. Aguascalientes, México.
- Jardel, E.J. 1991. Perturbaciones naturales y antropogénicas y su influencia en la dinámica sucesional de los bosques de las Joyas, Sierra Manatlán, Jalisco. Revista Tiempos de Ciencia. Universidad de Guadalajara. 22: 9-26.
- Johnson, L.B. 1990. Analyzing spatial and temporal phenomena using geographical information systems. Landscape Ecol. 4:31-43.
- Liebhold, A.M., G.A. Elmes, J.A. Halverson and J. Quimby. 1994. Landscape characterization of forest susceptibility to gypsy moth defoliation. For. Sci. 40: 18-29.

- López R., G.F. 1993. Ecología de la dispersión. Serie de apoyo académico 19. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 83 pp.
- López B., J., L. Galicia S. y F. García O. 1996. Aplicación de un SIG para la caracterización morfológica y la delimitación de unidades de ladera de una cuenca tropical estacional en Chamela, Jalisco, México. In: Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México. Número especial 4. pp 39-61.
- MacAulife, J.R. 1994. Landscape evolution, soil formation, and ecological patterns and processes in Sonoran desert bajadas. *Ecol. Mon.* 64:111-148.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Editorial Omega, S.A. Barcelona, España. 950 pp.
- Meganck, R. y J. Carrera L. 1981. Plan de Manejo para el Uso Múltiple del Cañón de San Lorenzo. UAAAN-OEA. Saltillo, Coah. 134 pp.*
- MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes). 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente. 199 pp.
- Morrison, M.L., G.B. Marcot & R.W. Mannan. 1992. *Wildlife - Habitat relationships: concepts and applications*. The University of Wisconsin Press. Wisconsin, USA. 343 pp.
- Najera C., J.A., M.A. Capo A., y L. Morales Q. 1997. Avances en el programa fitosanitario de la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. In: Memoria de resúmenes. IX Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. SEMARNAP, UAAAN, Gobierno del Estado, UACH, CP y Sociedad Mexicana de Entomología, A.C. Saltillo, Coah. p 24.
- Naveh, Z. 1982. Landscape ecology as an emerging branch of human ecosystem science. In: *Advances in ecological research*. Academic Press Inc. USA. pp 189-237.
- Noss, R.F. 1983. A regional landscape approach to maintain diversity. *BioScience*. 33: 700-706.

- O'Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, N., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H. and Graham, R.L. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecol.* 3: 153-162.
- O'Neill, R.V., C.T. Hunsaker, S.P. Timmins, B.L. Jackson, K.B. Jones, K.H. Riitters and J.D. Wickham. 1996. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecol.* 11: 169-180.
- Palacio P., J.L y G. Bocco. 1996. Sistemas de información geográfica en México. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México. Número especial 4.* pp 9-11.
- Petersen, W.G., C.J. Bell, K. McSweeney & G.A. Nielsen. 1995. Geographic Information Systems in Agronomy. In: *Advances in Agronomy.* Academic Press, Inc. USA. pp 67-105.
- Phipps, M. 1991. 1991. Diversity in anthropogenic ecological systems: The landscape level. In: Pineda, F.D., M.A. Casado, J.M. de Miguel and J. Montalvo (eds). *Diversidad biológica/Biological Diversity.* Fund. Areces, ADENA/WWF and SCOPE, Madrid, España. pp 63-70.
- Pineda, F.D., F. di Castri, C.G. Orcoyen & J.R. Villanueva. 1991. Estudio y conservación de la diversidad biológica. In: Pineda, F.D., M.A. Casado, J.M. de Miguel and J. Montalvo (eds). *Diversidad biológica/Biological Diversity.* Fund. Areces, ADENA/WWF and SCOPE, Madrid, España. pp 15-19.
- Portes V., L. 1996. Análisis de los cambios de uso del suelo, en la Sierra Zapalinamé, municipios de Saltillo y Arteaga, Coah. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo. Coah. 107 p.
- Puerto, A., I. Antonio, J.A. García & M.D. Matías. 1991. Precisión cartográfica y diversidad paisajística. In: Pineda, F.D., M.A. Casado, J.M. de Miguel and J. Montalvo (eds).

Diversidad biológica/Biological Diversity. Fund. Areces, ADENA/WWF and SCOPE, Madrid, España. pp 83-92.

Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 561 pp.

Rescia, A.J., M.F. Schimitz, P. Martín de Agar, C.L. De Pablo, J.A. Atauri & F.D. Pineda. 1994. Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in northern Spain. *J.Scie.Veg.* 5: 505-516.

Rescia, A.J., M.F. Schmitz, P. Martín de Agar, C.L. de Pablo y F.D. Pineda. 1997. A fragmented landscape in northern Spain analyzed at different spatial scales: Implications for management. *J.Scie. Veg.* 8: 343-352.

Ritters, K.H., R.V. O'Neill, J.D. Wickham and K.B. Jones. 1996. A note on contagion indices for landscape analysis. *Landscape Ecol.* 11: 197-202.

Rodríguez G., A. 1995. Problemática ambiental en el valle de Saltillo, Coahuila. In: Secretaría de Educación Pública del Estado. CONACYT.(eds). La investigación y el desarrollo tecnológico. Saltillo, Coahuila. pp 169-170.

Romme, W.H. 1982. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park. *Ecol. Mon.* 52: 199-221.

Romme, W.H. and D.H. Knight. 1982. Landscape diversity: The Concept Applied to Yellowstone Park. *BioScience* 32: 669-670.

Rogers, P. 1996. Disturbance ecology and forest management: a review of the literature, Gen. Tech. Rep. INT-GTR-336. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 16 p.

Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press. Urbana.

- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1981. Cartas: Hidrológica de Aguas Subterráneas; Hidrológica de Aguas Superficiales; Geológica, Edafológica. G14-7 (Monterrey). Escala 1:250 000. Instituto de Estadística Geografía e Informática . Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto). 1983. Síntesis Geográfica de Coahuila. Instituto de Estadística Geografía e Informática . Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 163 p.
- SELPER (Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota). 1995. Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial. Puerto, Vallarta, México. 973 pp.
- Spurr , S.H. y B.V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. AGT Editor, S.A. 691 pp.
- Turner, M.G. and L.C. Ruscher. 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecol.* 1: 241-251.
- Turner, M.G., R.V. O'Neill, R.H. Gardner and B.T. Milne. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecol.* 3: 153-162.
- Turner, M. G. 1990. Spatial y temporal analysis of landsacape patterns. *Landscape Ecol.* 4: 21-30.
- Urban, D.L., R.V. O'Neill and H.H. Shugart. 1987. Landscape ecology: a hierarchial perspective can help scientist understand spatial patterns. *BioScience* 37: 119-127.
- Villareal, Q.J.A. Y J. Valdés R. 1993. Vegetación de Coahuila. *Revista Manejo de Pastizales (SOMMAP)* . 6: 9-18.
- Walsh, S.J. & D.W. Frank. 1994. Applications of sensing and geographic informations systems in vegetation science: introduction. *J. Veg. Sci.* 5: 610-613.

- Wetsman, E.W. 1985. Ecology, impact assessment, and environmental planning. John Wiley & Sons. USA. 532 pp.
- Wilcox, B.A. 1995. Bosques tropicales y diversidad biológica: los riesgos de la pérdida y degradación de los bosques. Unasyuva. FAO. 46: 43-49.
- Zarate L., A. 1995. Cambios en el Paisaje, Diversidad Espacial y Valores Ambientales: La Sierra Norte de Madrid..Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 206 pp.
- Zarate L., A. 1997. Introducción al uso y manejo de los sistemas de información geográfica SIG (Apuntes). UAAAN. Buenavista, Saltillo. 89 p.
- Zonneveld, I.S. 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. Landscape Ecol. 2: 67-89.

ANEXOS

