



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**PLANEACIÓN ECOTURÍSTICA EN LA DELEGACIÓN  
NEXAPA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA CON EL  
PARQUE NACIONAL IZTA-POPO, ESTADO DE  
MÉXICO.**

**T E S I S  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
BIÓLOGO**

**PRESENTA  
ERIK GUSTAVO VILLAGRÁN PEÑAFLOR**

**DIRECTOR DE TESIS  
M. en C. ELISEO CANTELLANO DE ROSAS**



**MÉXICO, D. F.**

**ABRIL 2003**

**A**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS.**

**Quiero darle gracias a Dios, a mis Padres y a la Vida, por tener la dicha de realizar un sueño que culmina en una realidad y en una satisfacción de orgullo de mis padres.**

**A la Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza" por formar mi pensamiento y acción.**

**Al M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas por brindarme su amistad e indudablemente, por ser mi asesor.**

**Al M. en C. Efraín Ángeles Cervantes, por su amistad, enseñanzas y el apoyo brindado en los momentos más difíciles de mi vida.**

**Al hombre más importante de mi vida y aunque en ocasiones no lo demuestre, por medio de estas líneas me atrevo a decirle lo que en otros momentos he callado. Te admiro y te quiero José Luis Villagrán García.**

**A la mujer que remueve los sentimientos más hermosos y de la cual le debo mi carácter, María Concepción Adelaida Peñaflor Albarrán.**

**A las dos personitas a quién he aprendido a amar, valorar y aquilatar y que han sido mi fuente de inspiración y fortaleza para salir adelante, Alma Rosa Vargas J. y Daniela Villagrán Vargas.**

**A aquellas personas que supieron comprender y orientar mis locos andares juveniles y por su inapreciable amistad, Luis E. Villagrán P. y Miguel Peñaflor A. .**

**Un agradecimiento muy especial al Equipo GIS por su ayuda en el trabajo de campo y por enseñarme que la vida también debe vivirse con alegría. Natalia, Beatriz, Nayeli y Ma. Beatriz**

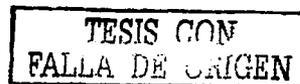
**GRACIAS A TODOS.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

<b>1. RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
<b>4.1. Objetivo general</b>	<b>8</b>
<b>4.2. Objetivos particulares</b>	<b>8</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
<b>5.1. Turismo alternativo y ecoturismo</b>	<b>9</b>
5.1.1. Ecoturismo	11
5.1.2. El Ecoturismo en México	12
5.1.3. Limitaciones del Ecoturismo	13
<b>5.2. Procesos de Planeación de Actividades Recreativas en Parques Naturales</b>	<b>15</b>
5.2.1. El Espectro de Oportunidades Recreativas (Recreation Opportunity Spectrum, ROS)	17
5.2.2. Límite de Cambio Aceptable ( <i>Limit of Acceptable Change, LAC</i> )	19
5.2.3. Zonificación de Parques a Nivel Mundial	21
5.2.4. Problemáticas de la Planificación y Manejo de las Áreas Naturales de México	25
<b>5.3. Evaluación de tierras con fines forestales</b>	<b>26</b>
5.3.1. Funciones y Productos de la Evaluación de Tierras	28
5.3.2. Levantamiento de Tierras	29
5.3.3. Sistemas de Tierra	31
<b>5.4. Sistemas de Información Geográfica</b>	<b>39</b>
5.4.1. Conceptos básicos y su relación con sistemas similares	41
5.4.2. Funcionamiento de un SIG	42
5.4.3. Componentes principales de un SIG	47
5.4.4. Análisis espacial y modelación cartográfica	49
5.4.5. Toma de decisiones en un Sistemas de Información Geográfica	53
<b>6. MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>54</b>
<b>6.1. Material</b>	<b>54</b>
<b>6.2. Método</b>	<b>55</b>
6.2.1. Zona de estudio	55
6.2.2. Diagrama metodológico	68
6.2.3. Desarrollo	69
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>74</b>
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>94</b>
<b>9. LITERATURA CITADA</b>	<b>95</b>
<b>10. ANEXOS</b>	<b>99</b>

**ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, MAPA Y ANEXOS**

		<b>Páginas.</b>
<b>Figura 1</b>	<b>Representación esquemática de la metodología del Límite de Cambio Aceptable.</b>	.....19
<b>Tabla 1</b>	<b>Toma de decisiones a diferentes niveles de planeación.</b>	.....28
<b>Tabla 2</b>	<b>Cualidades de la tierra para uso forestal.</b>	.....32
<b>Tabla 3</b>	<b>Área mínima cartografiable para Sistemas Terrestres y Facetas en relación con la escala de trabajo.</b>	.....36
<b>Figura 2</b>	<b>Esquema para la identificación de las formas básicas del terreno.</b>	.....37
<b>Tabla 4</b>	<b>Requerimientos de uso de la tierra para manejo forestal con fines recreativos y turísticos.</b>	.....39
<b>Figura 3</b>	<b>Modelo conceptual de un Sistema de Información Geográfica.</b>	.....40
<b>Figura 4</b>	<b>Esquema donde se ilustra la transformación del mundo real en modelos vector y raster.</b>	.....42
<b>Figura 5</b>	<b>Modelo de datos espaciales tipo Vector.</b>	.....44
<b>Figura 6</b>	<b>Modelo de datos espaciales tipo Raster.</b>	.....45
<b>Tabla 5</b>	<b>Análisis comparativo de la utilidad de los modelos de datos.</b>	.....47
<b>Figura 7</b>	<b>Principales componentes de un Sistema de Información Geográfica.</b>	.....48
<b>Tabla 6</b>	<b>Tipos de análisis espaciales aplicados a datos geográficos.</b>	.....50
<b>Figura 8</b>	<b>La modelación cartográfica tiene distintos tipos de despliegue gráfico y algebraico relacionados.</b>	.....51
<b>Tabla 7</b>	<b>Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio.</b>	.....61
<b>Tabla 8</b>	<b>Tipo de clima de acuerdo a cada una de las estaciones meteorológicas.</b>	.....61
<b>Figura 9</b>	<b>Representación del método de cuadrantes centrados en un punto.</b>	.....72
<b>Figura 10</b>	<b>Representación esquemática de diversas capas de información.</b>	.....73
<b>Figura 11</b>	<b>Tipos de análisis espaciales.</b>	.....73
<b>Figura 12</b>	<b>Establecimiento de Sistemas Terrestre de la Región Izta-Popo, Estado de México.</b>	.....76
<b>Figura 13</b>	<b>Facetas y Sitios de Muestreo (preliminares) propuestos para la zona de estudio.</b>	.....76
<b>Tabla 9</b>	<b>Guía para la delimitación de sitios forestales mediante características de campo y fotointerpretación.</b>	.....77



	<b>Paginas.</b>
<b>Tabla 10</b>	<b>Actividades recreativas propuestas para la zona de estudio. ....78</b>
<b>Tabla 11</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Clase Senderos del ROS para usos recreativos. ....79</b>
<b>Tabla 12</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Clase Semiprimitiva (motorizada y no motorizada) del ROS para usos recreativos. ....79</b>
<b>Tabla 13</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Clase Primitiva del ROS para usos recreativos. ....80</b>
<b>Tabla 14</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona Natural del LAC para usos recreativos. ....81</b>
<b>Tabla 15</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona Cultural del LAC para usos recreativos. ....81</b>
<b>Tabla 16</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona de Desarrollo Recreativo del LAC para usos recreativos. ....82</b>
<b>Tabla 17</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona de Protección de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial. ....83</b>
<b>Tabla 18</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona de Uso Restringido de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial. ....83</b>
<b>Tabla 19</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona de Recreación Extensiva de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial. ....84</b>
<b>Tabla 20</b>	<b>Integración de actividades recreativas a la Zona de Recreación Intensiva de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial. ....85</b>
<b>Tabla 21</b>	<b>Capas de información empleadas en el establecimiento de la zonificación del área de estudio. ....86</b>
<b>Tabla 22</b>	<b>Integración de las capas de información para el establecimiento de la zonificación de usos recreativos. ....87</b>
<b>Figura 14</b>	<b>Integración de las capas de información en el establecimiento de la Zona de Protección. ....89</b>
<b>Figura 15</b>	<b>Capa que integra las características de conservación e inaccessibilidad, para generar la Zona de Protección. ....89</b>
<b>Mapa</b>	<b>Zonificación de usos Ecoturísticos y Conservación. ....93</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>Patrones de Retención de Copa. ....99</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>Formato de Caracterización Ecológica. ....100</b>

## **1. RESUMEN**

En años recientes el turismo alternativo ha representado una opción para la conservación del patrimonio, pero los recursos naturales sólo pueden conservarse si se ofrecen alternativas viables para su uso. El Parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia poseen grandes atractivos naturales y culturales que han posibilitado su desarrollo turístico. Sin embargo, su aprovechamiento ha sido muy irregular y poco ordenado, por ello se hace necesaria la planeación para inducir y regular el uso del suelo y las actividades productivas.

En este trabajo se propone una zonificación ecológica de áreas y usos para llevar a cabo el ecoturismo, en el área del Parque Nacional Izta-Popo, Delegación de Nexapa, municipio de Amecameca, de acuerdo a las posibilidades de aprovechamiento ecoturístico y preservación de los recursos naturales. Se elaboró un Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante la integración de información fisiográfica, bibliográfica, cartográfica y de campo. Se implementó la metodología del Levantamiento Fisiográfico, tanto en fotografías aéreas como en la ortofoto digital E14B41f. Mediante la revisión bibliográfica de criterios de conservación e impacto relacionados con las actividades ecoturísticas se procedió a la selección de parámetros que proporcionaron información sobre el estado de conservación de cada sitio y de la infraestructura necesaria para poder desarrollar cierto tipo de actividad ecoturística. Mediante análisis espaciales (unión, intersección y amortiguamiento) se obtuvieron los lineamientos y actividades para las áreas que requerían de prácticas de conservación y de aquellas donde se pueden establecer actividades recreativas ecológicamente responsables y planeadas.

Se obtuvo una guía de caracterización de sitios forestales (aplicada a comunidades vegetales de bosque templado en altitudes inferiores a los 3 500 msnm y desde la frontera agrícola), con la cual se agruparon cuatro clases: Conservación, Regeneración, Aprovechamiento y Degradación. Al integrar las clases con los requerimientos de manejo y conservación se obtuvieron las zonas de uso: protección, uso restringido, recreación extensiva y recreación intensiva, ubicándose espacialmente con criterios de forma, tamaño y conectividad.

## **2. INTRODUCCIÓN**

En años recientes el turismo alternativo, en donde se inserta el ecoturismo, ha representado una opción para la conservación del patrimonio natural y cultural, así como para promover un desarrollo sustentable de diversos países y regiones, con el fin de mejorar la calidad de vida. México es especialmente relevante por su enorme riqueza biológica y cultural, además de su gran tradición turística, la cual, posee una buena infraestructura (3, 15).

De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de Turismo, el segmento turístico que actualmente experimenta el más acelerado crecimiento es el turismo alternativo, es decir, el turismo que tiene como destino la naturaleza y que incluye todas aquellas prácticas turísticas conocidas como turismo especializado: turismo de aventura, científico, cinegético, montañismo, campismo, buceo, safari fotográfico, canotaje, espeleología y ecoturismo (53).

México cuenta con un enorme patrimonio cultural y natural, sobresaliendo la variedad de culturas prehispánicas, sitios arqueológicos y paisajes naturales. Este último no ha sido aprovechado eficientemente, a pesar de la estratégica posición geográfica que tiene nuestro país, como es el situarse entre las zonas Neártica y Neotropical (10). Sin embargo, la biodiversidad sólo puede ser conservada si se ofrecen alternativas viables en la utilización de los recursos naturales. La gente, como dueños de los recursos deben obtener los beneficios de dicho aprovechamiento, debiéndose realizar estudios y propuestas que contemplen los planes o estrategias, donde se incluyan los lineamientos que salvaguarden el potencial de los recursos naturales (3, 13).

Dicha situación es en la que se encuentra el Parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia, la cual presenta grandes atractivos naturales y culturales que han posibilitado el desarrollo turístico de la zona. Sin embargo, su aprovechamiento ha sido muy irregular y poco ordenado, sobreexplotándose en algunos casos y dejándose de aprovechar en otros. Por ello es necesaria una planeación para inducir y regular el uso del suelo y las actividades productivas, que legitime y posibilite la instrumentación de acciones con el fin de lograr la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (11, 16).

Uno de los instrumentos para la planeación, que generalmente es aplicado en las Áreas Naturales Protegidas es la zonificación, esto se realiza de acuerdo con las características de la vegetación y su grado de impacto que sobre ellas recae, es por eso su importancia en los lugares donde se tiene contemplado elaborar trabajos de ecoturismo (20). Para lo cual, se hace necesario el realizar una

clasificación ecológica de tierras, ya que es el producto de la definición formal de un ecosistema basado en la tierra y de ecosistemas complejos, fundamentado en lo ecológico y en los principios de mapeo para la caracterización del ecosistema.

En este tipo de clasificaciones, se requiere hacer decisiones acerca de los conceptos de clasificación a seguir y de sus usos específicos de ésta. En el amplio campo del manejo ambiental y de la planeación, la clasificación ecológica de tierras ha sido usada para una variedad de propósitos, tal como el manejo de los recursos naturales, en la planeación de uso de la tierra y en la delimitación de regiones ecológicas entre otros.

La clasificación ecológica de tierras tiene las propiedades generales de una clasificación; sin embargo, ésta siempre se ha usado para generar mapas de Unidades Ecológicas de Tierra. Algunas de las características básicas de estas clasificaciones se usan en la estratificación ambiental del espacio geográfico. Este espacio ambiental es estratificado por las clases derivadas de la clasificación ecológica a partir de las variables usadas en su construcción. Los propósitos de la estratificación ambiental son:

- Cuantificar y minimizar la variación de los patrones y procesos biológicos, físicos, químicos y ecológicos o en alguna otra medida de interés.
- Representa la distribución de esos patrones y procesos.
- Además, se concluyó que su reducción de variación permite una mayor cuantificación de las respuestas de los patrones y procesos para el cambio global y de las prácticas de uso de la tierra (4, 16).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

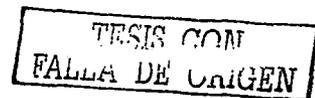
Debido a la continua explotación de los recursos naturales, se ha ocasionado la degradación de los mismos, provocando serios problemas de contaminación en el suelo, agua y aire, además de mermar la calidad de los paisajes naturales, cuya potencialidad como proveedor de recursos financieros y divisas no ha sido aprovechada de forma adecuada en su totalidad.

Un caso concreto es la región del Parque Nacional Izta-Popo, ya que a pesar de contar con atractivos recursos forestales y paisajes, la región no se ha visto realmente beneficiada; por el contrario, al igual que muchas de las regiones forestales del país, se está viendo afectada por la tala clandestina y muy lamentablemente por las talas concesionadas por los ejidos. Con lo que, en vez de representar ésta región un recurso de bienestar social y económico, lo único que está sucediendo es su degradación y el subaprovechamiento de los recursos.

Por lo que actualmente, se ha buscado el fomentar una nueva conciencia sobre el aprovechamiento racional de los recursos naturales, con lo cual, el ecoturismo se está planteado como una alternativa del desarrollo tradicional de las actividades turísticas, las que sólo han utilizado a los recursos naturales (cada vez más escasos) con fines exclusivamente económicos y marginalmente sociales. Por lo que surge como una necesidad, el modificar el actual modelo de aprovechamiento de las áreas recreativas, a través de la integración de los procesos ecológicos, biológicos y sociales. Todo esto, con la finalidad de generar mecanismos alternativos de producción de bienes y servicios que puedan ser rentables en el tiempo, y por lo tanto las poblaciones que son poseedoras de los recursos tengan un medio para vivir, sin la necesidad de emigrar a las grandes ciudades o a otras naciones.

Para lograr lo anterior se requiere de un enfoque interdisciplinario, además de una cuidadosa planeación física y administrativa que aseguren una operación equitativa, rentable y responsable con el entorno.

De esta manera, este trabajo establece una planeación de los recursos y de los espacios disponibles para llevar a cabo el ecoturismo en el área de influencia del Parque Nacional Izta-Popo con la Delegación de San Pedro Nexapa, Municipio de Amecameca, Estado de México.



#### **4. OBJETIVOS**

##### **4.1. Objetivo general**

- **Determinar las condiciones ecológicas más favorables para el mejor aprovechamiento ecoturístico y preservación de los recursos naturales en la Delegación de San Pedro Nexapa, Municipio de Amecameca y en su área de influencia con el Parque Nacional Izta-Popo, Estado de México.**

##### **4.2. Objetivos particulares**

- **Adecuar la información bibliográfica y cartográfica disponible de los recursos naturales (flora, fauna, suelo, geología y agua) de la zona de estudio, desde la perspectiva del aprovechamiento ecoturístico y la preservación ecológica de los recursos naturales.**
- **Desarrollo de una clave de sitios forestales para la evaluación del grado de conservación de la vegetación.**
- **Establecer la zonificación ecológica de la Delegación de Nexapa y su área de influencia con el Parque Nacional Izta-Popo, Estado de México, de acuerdo a las posibilidades de aprovechamiento ecoturístico y preservación de los recursos naturales.**
- **Elaborar un Sistema de Información Geográfica, mediante la integración de información fisiográfica, bibliográfica, cartográfica y de campo de la zona de estudio.**

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. Turismo alternativo y ecoturismo**

En la transformación de la sociedad contemporánea, la llamada crisis ambiental ha jugado un papel central. La creciente contaminación de la atmósfera, los suelos y el agua; la pérdida de múltiples especies de flora y fauna, y la destrucción de la capa de ozono; en conjunto y a largo plazo, representan un peligro para la sobrevivencia humana, pero en lo inmediato se traduce en una pérdida de la calidad de vida (7).

En los últimos 20 años, los movimientos sociales conservacionistas, ecologistas, gobiernos y la sociedad en general, han empezado a buscar y adoptar nuevas formas de desarrollo que se adecuen por una parte a los requerimientos de transformación y aprovechamiento de la naturaleza, y por otra parte, la necesidad de su conservación como condición para preservar la propia existencia humana, por lo que, el paso de un modelo de desarrollo depredador y deteriorador, a uno sustentable que mantenga la armonía con el ambiente, tiene múltiples complicaciones. Lo que presupone una modificación de nuestra visión y relación con la naturaleza, ya que esta no es sólo una fuente de materias primas, sino también es el entorno necesario para la existencia misma. De esta manera se hace imperante un manejo racional de los recursos naturales, además de modificar la organización productiva y social que originan, así como la creación de nuevas relaciones sociales cuyo eje ya no sea la ganancia sino el bienestar en general (53).

El turismo es una de las actividades productivas que se están convirtiendo rápidamente en una de las mayores industrias del mundo y los ingresos generados representan ya una parte importante de la economía mundial. Todas las tendencias parecen apuntar a que este fenómeno seguirá creciendo y que en el futuro más personas estarán dispuestas a viajar más y más lejos. Al mismo tiempo, varios países están empezando a reconocer los beneficios que el turismo puede aportar a su economía en términos de empleo e ingresos en divisas (15). Sin embargo, el turismo no está exento de problemas y el llamado turismo de masas ha demostrado tener ciertos efectos negativos en los destinos --el deterioro de los recursos naturales, contaminación o tensiones sociales e inestabilidad económica son sólo algunos-- como consecuencia de un crecimiento rápido y por una falta de planificación (7, 13).

Por fortuna, el turismo ha alcanzado una nueva etapa, el llamado turismo alternativo o turismo temático, por ejemplo, el turismo basado en la cultura, en el patrimonio o en la naturaleza; ofrece muchas oportunidades para poner en práctica nuevos modelos viables de desarrollo turístico. Estos nuevos

productos turísticos ofrecen una nueva experiencia al viajero, al tiempo que suponen una base para un desarrollo económico sustentable y respetuoso con el ambiente y la cultura local. Las tendencias del mercado indican que este nuevo tipo de turismo tiene cada vez más adeptos porque los turistas buscan algo más que vacaciones. En cualquier caso, para que el turismo contribuya a un desarrollo sustentable del destino, este deberá planificarse cuidadosamente estableciendo un seguimiento permanente que permita introducir medidas preventivas y correctivas de ser necesario (15, 44, 57).

Algunos autores enfocan al turismo alternativo con bases comunitarias y bajo una perspectiva que apoye a tres prioridades del desarrollo en las comunidades: a) el mejoramiento del nivel de vida de las comunidades rurales, b) la revalidación y mantenimiento de las identidades comunitarias y c) la conservación de los recursos naturales a través de su uso sustentable. El carácter innovador de este programa es el de generar un turismo alternativo que favorezca la entrada de ingresos económicos a las comunidades indígenas y campesinas, promoviendo un uso responsable de los recursos naturales, así como el reforzamiento de las tradiciones e identidad de las culturas locales contemporáneas. Un programa de turismo alternativo no sólo debe fundamentarse en facilitar el desarrollo de servicios que beneficien a las comunidades locales. El turismo alternativo no es considerado como una respuesta única y aislada ante el reto que representa el desarrollo social, sino tan sólo como una de las alternativas de uso sustentable de los recursos naturales, que adicionalmente a muchas otras, pueden generar fuentes estacionales de empleo y sobre todo, mecanismos que refuercen y permitan un progreso ambiental y culturalmente más saludable (7, 54).

El ecoturismo puede generar ingresos altamente necesarios para la economía local y regional, y también ofrece nuevos incentivos para que gobiernos y habitantes dentro y cerca de las áreas naturales con gran belleza escénica las preserven. Aun más, puede proveer un justificante económico para la conservación de áreas que de otra manera tal vez no recibiría ninguna protección. Además, ofrece oportunidades de expandir y estimular la economía de una región rural aislada a un costo relativamente bajo (57).

La Unión Mundial para la Naturaleza (UICN, por sus siglas en inglés) define al ecoturismo como "aquella modalidad turística ambientalmente responsable, consistente en viajar o visitar áreas naturales relativamente sin alteración con el fin de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales (paisaje, flora y fauna silvestres) de dichas áreas, así como cualquier manifestación cultural (del presente y del pasado) que puedan encontrarse ahí, a través de un proceso que promueva la conservación, y por lo tanto que tenga un bajo impacto ambiental-cultural y, que propicie un involucramiento activo, social y económicamente benéfico para las poblaciones locales (58). Lo anterior significa que la definición del

ecoturismo comprende un componente normativo, que sólo a través del establecimiento de lineamientos estrictos y de su cumplimiento, se podrá garantizar que el ecoturismo sea viable y rentable (44). Las actividades ecoturísticas que más se desarrollan son: observación de aves, observación de vida silvestre, navegación recreativa, estudio botánico, apreciación del paisaje, acercamiento a culturas indígenas, ascenso de montaña, cacería y/o pesca y campamento, aunque cabe mencionar que no son todas las que existen (13, 55).

### 5.1.1. Ecoturismo

El ecoturismo<sup>1</sup> o turismo de naturaleza, es uno de los segmentos del mercado de viajes que crece más rápidamente, experimentando un crecimiento espectacular, entre el 10-30% anual, comparado con la media de 4% del turismo en el ámbito global. El Ecoturismo es un instrumento que, si se utiliza adecuadamente, puede hacer realidad los objetivos que se recogen en su definición. Sin embargo, utilizar el término “eco” como un simple reclamo comercial añadido a cualquier producto de un destino solo conducirá al fracaso. Para que un proyecto de ecoturismo tenga éxito se ha de planificar con cuidado considerando al ambiente y a las comunidades locales como principales prioridades. Además es necesario establecer y respetar objetivos y límites a largo plazo (44, 57).

El ecoturismo se centra en el aprendizaje, la práctica de actividades y el apoyo a proyectos de conservación de la naturaleza. El incremento de viajeros que están interesados en vacaciones activas orientadas a disfrutar de la naturaleza y al aprendizaje es una de las tendencias recientes que se consolida rápidamente. En los casos de ecoturismo que han funcionado bien, los aspectos comunes son la participación de la población local y una buena planificación (58).

Algunos de los componentes que pueden utilizarse en conjunto o de manera independiente son: la infraestructura “soft” (por ejemplo, sendero interpretativo), productos biodegradables hechos con materiales locales (ejemplo, jabón vegetal), conferencias sobre plantas medicinales, programas de voluntariado para la conservación de la naturaleza (por ejemplo, la “Minga” o día en que los turistas trabajan con la comunidad para mejorar algún aspecto del ambiente), una expedición subacuática

<sup>1</sup> The Ecotourism Society define al ecoturismo como: “formas responsables de viajar a áreas naturales conservando el medio ambiente y promoviendo la mejora de las condiciones de vida de la población local”.

Los ecoturistas: son gente con buen nivel de educación, les gusta practicar actividades al aire libre, tienen un poder adquisitivo relativamente elevado, son sensibles al medio ambiente, llevan una vida activa, se aburren con las vacaciones de sol y playa y, en algunos casos, son familias con hijos ya mayores que buscan experiencias educativas. Los valores de este grupo incluyen la conservación de la naturaleza y el medio ambiente, disfrutar de la naturaleza, confort, practicar actividades al aire libre tales como excursionismo, equitación, escalada, explorar lugares remotos y vírgenes, observación de pájaros, espeleología, geología, etc.

ecológica, etc. Cualquiera que sea la actividad el ecoturismo ha demostrado ser una fuente sostenible de ingresos si se gestiona de manera adecuada (13, 54).

### **5.1.2. El Ecoturismo en México**

La importancia del turismo en México es innegable. Se estima que en 20 años, esta industria se convertirá en la principal del mundo, por arriba del petróleo y la automotriz. De tal modo, más de 1,600 millones de personas viajarán por todo el orbe dejando derramas económicas por alrededor de dos mil billones de dólares, lo que garantiza el crecimiento del turismo cuatro veces más por encima de cualquier otro sector, de acuerdo con cifras de la Organización Mundial del Turismo. En el ámbito internacional, México es el séptimo país más visitado del mundo y el décimo cuarto en ingresos por el mismo concepto.

Algunas cifras del sector turismo muestran su competitividad. Entre enero y junio de 1999, llegaron a México 10 millones 72 mil viajeros, lo que significa un incremento de 4.2% en relación con los primeros seis meses de 1998. Como los viajeros que ingresaron al país generaron divisas por 4,103 millones de dólares (mdd), es probable que a finales del año se capten ingresos por arriba de los 8,000 mdd.

Tomando en consideración los ingresos en divisas que proporcionan los visitantes internacionales a México (4,103 mdd), menos los egresos de los residentes en México que viajan al extranjero (2,016 mdd), durante el primer semestre de 1999 se obtuvo un saldo positivo de 2,087 mdd en la balanza turística, sin dudas un aporte significativo para el país.

Si el desarrollo ecoturístico continúa con su tendencia creciente, entonces las áreas sin perturbar que posean características ecológicas sobresalientes estarán cada año en mayor demanda. Es decir, a medida que a escala mundial el número de ecoturistas aumenta, el número y tamaño de áreas naturales sin perturbar disminuyen. En una economía de mercado esto significa que las áreas naturales conservadas en buen estado pueden ir adquiriendo una considerable plusvalía si se orienta adecuadamente hacia el ecoturismo. De ahí la importancia de incrementar en nuestro país el número y tamaño de áreas naturales adecuadamente protegidas y de establecer sistemas de manejo y control en las ya existentes. Un aspecto que deberá enfatizarse es que, si el ecoturismo se restringe sólo a las áreas legalmente protegidas, demasiadas presiones podrán ser ejercidas sobre estas. En este sentido, promover el ecoturismo en áreas naturales sin protección puede propiciar que las comunidades locales por propio interés y no sujetos a presiones legalistas externas, conserven sus áreas y recursos naturales circundantes (14, 53, 58).

El ecoturismo en México cuenta con importantes ventajas derivadas de las diversas ofertas de los recursos naturales, la existencia de variados ecosistemas, el alto grado de endemismos, la presencia de especies características, y de la gran riqueza histórica, arqueológica y cultural, además de su ubicación geográfica y de su cercanía con los grandes mercados (EE.UU. y Canadá). El ecoturismo constituye, una buena opción de financiamiento para la conservación y aprovechamiento de la biodiversidad, posibilitando programas de protección a la naturaleza congruente con el desarrollo local y regional mediante la generación de fuentes de empleo y financiamiento (55).

México cuenta con gran potencial para el desarrollo del ecoturismo, ya que existen en el país alrededor de 93 Áreas Naturales Protegidas decretadas (y existiendo otras en proceso de designación) que cubren una extensión territorial de 11.8 millones de hectáreas. Esto es equivalente al 6% del territorio nacional (2). A pesar del enorme potencial en cuanto a megadiversidad y riqueza cultural que existe en México, es evidente que no ha sido aprovechado eficientemente, debido a que el desarrollo de la actividad turística, hasta hoy, sólo se había preocupado por satisfacer las demandas de los turistas, estandarizando y masificando el servicio sin tomar en cuenta el impacto ambiental. Una de las opciones es iniciar estrategias locales y regionales, en las que la capacitación juegue el papel central, ya que no debemos recrear el modelo del turismo convencional en donde el principal y único atractivo gira entorno de la infraestructura (10, 15).

### **5.1.3. Limitaciones del Ecoturismo**

Una de las desventajas del ecoturismo es la de su naturaleza estacional, resultando ineficiente y costoso mantener equipo y mano de obra inactivas durante ciertas temporadas del año, en ocasiones puede coincidir con la temporada pico de cosechas, e incluso puede ser una fuente inestable de ingresos, sujeto a otros factores como la inestabilidad política, climática y fluctuaciones económicas.

El turismo es una de muchas alternativas que puede coadyuvar a que los grupos indígenas den un aprovechamiento adicional a los recursos naturales que usufructúan. Sin embargo, un turismo mal planificado puede constituir una actividad económica con altos impactos ambientales y culturales indeseables. Desde una perspectiva ambiental, en diversos casos las actividades turísticas han incrementado la extracción irracional de los recursos naturales (por ejemplo, el tráfico ilegal de flora y fauna), la perturbación de diversos eventos biológicos (por ejemplo, el abandono de los sitios de reproducción o refugio; la erosión y compactación del suelo, entre otros) y en lo cultural (la influencia

masiva de los turistas ha inducido, en muchos casos, a la corrupción de tradiciones de las sociedades indígenas) (53, 54, 55).

Existen varias limitaciones que impide el desarrollo del ecoturismo en los países subdesarrollados, una de ellas ha sido la falta de un esquema de integración que permita la planeación y el desarrollo adecuado del ecoturismo, así como el no conceder a este tema una alta prioridad en los planes nacionales de gobierno. Otra limitante ha sido la falta de una estrategia adecuada de promoción, mercadeo turístico y ecoturístico. Aun más, la falta de mecanismos para la protección de los ecosistemas naturales, sobre todo los cubiertos por bosques, así mismo la falta de una adecuada infraestructura ecoturística que sea de bajo impacto ambiental y que armonice con el entorno. Además, de no existir a ningún nivel programas adecuados para la capacitación ecoturística, quizá uno de los problemas que más peso tiene, es que en la actualidad no existe una normatividad especializada de salvaguardar el espacio que podría ser dedicado al ecoturismo. La mayor parte del ecoturismo natural a escala mundial se practica en áreas que tienen algún estatus oficial de protección. Sin embargo, el creciente interés por destinos turísticos naturales no bastaría para pensar que la actividad se transforma o se vuelve más sustentable. El asunto es más complejo, el turismo como practica social como ya se mencionó, corresponde a una racionalidad dominante y la sola modificación del destino turístico no implica una transformación en la práctica social ni en la práctica económica. Por ello, el turismo alternativo y su espectacular crecimiento también se han convertido en una amenaza para el ambiente. La magnitud y ritmo de su crecimiento, la falta de planeación ambiental (inserción en planes de ordenamiento ecológico, estudios de impacto ambiental, capacidad de carga de los ecosistemas, etc.) y el hecho de que la promoción de esta actividad sea realizada por agencias de viajes interesadas en la captación de demanda más que en la conservación de los recursos naturales, está generando una situación extremadamente peligrosa para los frágiles ecosistemas, reservas naturales y áreas protegidas de gran biodiversidad, en los que preferentemente se desarrolla la nueva actividad turística (53, 57, 58).

A pesar de que México cuenta con condiciones en extremo favorables para el despliegue de las nuevas actividades que conforman el turismo alternativo (variedad y diversidad geográfica, climática y de suelos; la presencia de muchos y muy variados ecosistemas de gran atractivo y una enorme riqueza cultural) el modelo turístico impulsado por el gobierno, el capital nacional y extranjero ha sido el que se realiza de manera convencional y, su crecimiento se ha basado fundamentalmente en los llamados centros integralmente planeados (Cancún, Ixtapa, Bahías de Huatulco) que implican el desarrollo a gran escala de zonas hoteleras, áreas de recreo y zonas comerciales y, en menor medida, en la consolidación y

mantenimiento de los centros tradicionales de playa. Sólo recientemente, la Secretaría de Turismo y un conjunto de operadores privados se han preocupado por desarrollar el turismo alternativo (7, 13, 53).

Las condiciones para que el ecoturismo se desarrolle en México están dadas. Es imprescindible destacar que para asegurar su éxito se requiere de una adecuada administración y financiamiento que conduzcan a la conservación de los recursos naturales, los cuales representan su principal atractivo. La participación gubernamental en sus tres niveles es elemental, así como el involucramiento de los sectores social y privado y de la sociedad en su conjunto. La intervención del gobierno quedaría aislada si no existe la respuesta oportuna de la población y de empresarios para emprender acciones en favor del ecoturismo, o contrariamente, las iniciativas y propuestas de proyectos de una comunidad o del sector privado no cristalizarían de no existir la adecuada atención del sector gobierno. Tienen que existir, por lo tanto, relaciones recíprocas de trabajo para garantizar el éxito de las empresas ecoturísticas. Es innegable entonces que gobiernos, sector empresarial y población deben de unir esfuerzos para asegurar resultados positivos del ecoturismo en nuestro país (55, 58).

## **5.2. Procesos de Planeación de Actividades Recreativas en Parques Naturales**

Dadas las circunstancias ya planteadas tanto mundialmente como en nuestro país, el ecoturismo es una actividad que puede estar sujeta a múltiples opciones de manejo pero que, al igual que muchas otras, requiere de un cuidadoso proceso de planeación para lograrlo (57).

La planeación es la dirección consciente y la integración colectiva de todas aquellas actividades que se basan en el uso de la tierra como asentamiento, recurso o estructura. Todo buen proceso de planeación debe comenzar con un levantamiento de los recursos existentes en una región o localidad: el paisaje, la población humana y las actividades socioeconómicas de las comunidades existentes. La planeación no puede iniciarse con un esquema abstracto y arbitrario que se busca imponer a la comunidad, sino que propiciará el conocimiento de las condiciones y oportunidades existentes. Todo modelo de planeación integrada deberá de considerar los aspectos de planeación turística, jugando en ello un papel muy importante los criterios de zonificación.

Podemos ubicar los objetivos básicos (que buscan resolver las necesidades humanas) a los cuales un plan regional debe responder dentro de las siguientes grandes categorías (16, 55):

- Incrementar la calidad de vida de los habitantes de la región.
- Propiciar el uso sustentable de todos los recursos disponibles.
- Mantener proximidad y una actitud respetuosa con la naturaleza.
- Evitar la uniformidad y monotonía.
- Proporcionar satisfacción y esparcimiento al visitante o turista, entre otras.

Al considerar la tendencia de los bienes y servicios a concentrarse en algunos conglomerados urbanos y la capacidad de éstos para extender su influencia más allá de los límites urbanos hasta una parte importante del espacio rural que los rodea, aparece una cualidad muy importante de las regiones, que es su polarización. Esta forma de concebir el funcionamiento de una región en torno a centros gravitatorios y a sus radios de influencia juegan un papel muy importante en la definición de todo espacio turístico (15).

En todo esquema de integración geográfica o regional de un proyecto, habrán de aplicarse criterios de planificación física. Debido, a que ésta tiene como finalidad el ordenamiento de las acciones del hombre sobre un territorio determinado y se ocupa de resolver de manera armoniosa la construcción de todo tipo de obras, así como de anticipar los efectos de la explotación de los recursos naturales (18).

La zonificación del suelo y agua para usos recreativos que lleva a cabo el servicio nacional forestal en los parques de los Estados Unidos de América, ha asumido una gran importancia, en la actualidad cada parque elabora un documento de planeación, el cual es evaluado cada dos años por las autoridades correspondientes. Este documento está formado por información acerca de los objetivos iniciales del parque, la condición de los recursos naturales existentes, el uso actual de tierras y agua, el contexto regional y adyacente del suelo, los requerimientos legislativos y administrativos para la planeación, la influencia de los recursos en la experiencia de los visitantes, entre otros. Esta información es utilizada para identificar los mejores usos y los problemas que pueden surgir si se toma esta dirección, y con la incorporación de información adicional se establecen los objetivos finales del parque, los cuales son publicados en el plan de manejo.

Cada parque necesita desarrollar, recabar y analizar datos acerca de los recursos naturales y culturales relevantes (demográficos, etnográficos y socioeconómicos) para incorporarlos al plan de manejo. Estos datos servirán para evaluar alternativas, formular propuestas y en la toma de decisiones de planeación

sobre su uso recreativo (1, 8). Actualmente se han desarrollado diferentes metodologías para establecer la zonificación de actividades recreativas en parques y elaborar planes de manejo correspondientes. A continuación se enuncian algunos métodos utilizados para su establecimiento.

### **5.2.1. El Espectro de Oportunidades Recreativas (Recreation Opportunity Spectrum, ROS)**

Fue implementado por el Servicio Forestal Estadounidense, este concepto está integrado y usado en la recreación al aire libre dentro de los planes de manejo. El objetivo básico de ROS, es la planeación para proveer diversos esquemas de uso recreativo que satisfagan las preferencias del usuario, en el presente y futuro (1, 15).

El ROS es una herramienta indispensable en el proceso de planeación, pudiendo ser usado en:

- Elaboración de inventarios.
- Analizar los efectos de las actividades humanas sobre el recurso.
- Estimar las consecuencias de la toma de decisiones en el plan de manejo.
- Vincular las preferencias del visitante con el plan de manejo.
- Identificar los roles complementarios en el uso recreativo.
- Desarrollo de estándares, guías y monitoreo de actividades.
- Integración e implementación de proyectos en el desarrollo del parque.

ROS reconoce y definen seis clases de uso recreativo: urbano, rural, senderos, semiprimitivo motorizado, semiprimitivo no motorizado y primitivo. Cada clase está definida en los términos de combinación de actividades y de las experiencias de los visitantes. Las subclases están establecidas y reflejadas por las condiciones regionales y locales. El sistema ROS establece un trabajo de campo para dividir el área en zonas de recreación específica y para establecer estándares de manejo. En la zonificación de áreas privadas, el servicio forestal mediante el ROS las clasifica en actividades exclusivas o particulares.

A continuación, se da la descripción y caracterización de cada una de las clases propuestas por el Espectro de Oportunidades Recreativas:

- **Clase Urbana.** Esta clase está caracterizada por la alta actividad humana, concentrada y desarrollada. En estos sitios la recreación puede ir de un nivel de intensidad alta a baja. El paisaje se encuentra dominado por infraestructura (edificios, casa-habitación, accesos, hoteles, albergues, muelles,...) y en menor grado por áreas verdes (principalmente plantas exóticas)

- **Clase Rural.** En estas áreas, el observar y escuchar actividades humanas se presentan con cierta facilidad, aunque este contacto no es tan concentrado como en la zona urbana. Las características del paisaje cambian, las áreas verdes aumentan en proporción y la infraestructura disminuye a tan sólo unos cuantos alojamientos, pequeñas instalaciones, sitios de recreación, muelles, etc., la frecuencia de contacto con otra gente va de moderado a alto, sobre todo en sitios con un cierto desarrollo. No hay un criterio de distancia para el desarrollo de este tipo de zonas.
- **Clase Senderos.** Esta zona se caracteriza por la predominancia de áreas verdes, disminuyéndose la presencia o contacto humano, así como el establecimiento de infraestructura. En general la percepción del visitante en esta zona siempre es el medio natural. Las actividades humanas que se encuentran son caminos, senderos, áreas de campamento, sitios de descanso, áreas de ski, zonas de pastoreo, colecta de productos naturales (semillas, frutos,...), actividades de protección y conservación, los caminos con equipo motorizado son algo característico de esta zona. La interacción entre los visitantes es muy remota, salvo en los sitios donde se emplean equipos motorizados.
- **Clase Semiprimitiva.** Tanto la zona semiprimitiva motorizada como la no motorizada, se caracterizan por el predominio de paisajes naturales. La infraestructura se vuelve más escasa en comparación con las clases anteriores. La extensión que puede abarcar es amplia, ya que comprende áreas remotas en forma silvestre y áreas con pequeños desarrollos para la recreación. La concentración de los visitantes regularmente es baja. El manejo y mantenimiento que se les proporciona son mínimos y sin embargo, existe un enorme potencial para la práctica de deportes de alto riesgo. La única diferencia que existe entre las zonas semiprimitiva motorizada y no motorizada, es precisamente la presencia de los vehículos. En los sitios no motorizados la existencia de caminos es tolerada, aunque generalmente son restringidos al visitante, por lo que se establece un uso de manejo, recuperación e investigación del ecosistema.
- **Clase Primitiva.** Estos sitios se caracterizan por un alto grado de naturalidad. Comúnmente presentan una extensión promedio de 2.02 ha, y la presencia de actividad humana es muy remota. El uso de los vehículos motorizados y equipo se permite sólo en casos de extrema urgencia. La infraestructura y las actividades recreativas tienen un carácter restringido. El manejo y control de la zona son casi nulos y restringidos.

### 5.2.2. Límite de Cambio Aceptable (*Limit of Acceptable Change, LAC*)

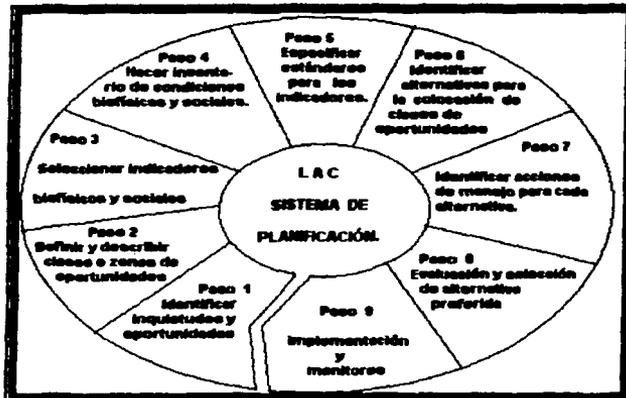


Fig. 1. Representación esquemática de la metodología del Límite de Cambio Aceptable.

Fue desarrollada en los Estados Unidos a mediados de los 80's. Sus autores consideran que los métodos tradicionales para determinar la capacidad de carga son demasiado simples y no siempre corresponden a la realidad. Si un nivel específico de uso empieza a producir deterioros ambientales apreciables o experiencias insatisfactorias para el turista, podría decirse que el área en cuestión está excediendo su capacidad de carga al superar dicho nivel de uso. Sin embargo, los defensores de la metodología del LAC argumentan que ni desde el punto de vista ecológico ni social, se puede afirmar que hay una relación clara y directa entre uso e impacto. En algunos ambientes, incluso en niveles bajos de uso turístico, pueden provocar impactos sustanciales en la vegetación y el suelo, mientras que en otros sitios, tales recursos pueden ser muy resistentes y flexibles (15, 18). Algunas experiencias recreativas, como la búsqueda de la quietud y soledad o la observación de animales esquivos, son afectadas adversamente por incrementos en los niveles de uso, mientras que ciertas actividades más vinculadas al ejercicio físico o turismo de aventura, no lo son.

La metodología del LAC se basa en nueve etapas, como se muestra en la figura 1. El proceso consta de una secuencia lógica de componentes que conducen al establecimiento de normas o estándares de esquemas ambientales y sociales, para un rango de diferentes clases de oportunidades recreativas. El

proceso también incorpora un rango de posibles alternativas para dividir un área natural en zonas conforme a los propósitos de manejo, a los inventarios de condiciones y recursos, así como el reconocimiento de que algunos impactos son inevitables y que una diversidad de condiciones son necesarias para satisfacer el amplio espectro de necesidades de los usuarios.

No obstante que las normas de los límites de cambio aceptable tienen un alto grado de subjetividad, se basan en condiciones clasificadas para diferentes entornos sociales y ecológicos, apoyadas en el postulado de ofrecer opciones tanto en la administración del parque como al público usuario. Al ofrecer un rango de alternativas al público, el concepto parece ser defendible, al momento de surgir confrontaciones con relación a las decisiones administrativas de un área protegida. Lo realmente relevante, es que el personal que determine los LAC para las áreas naturales de interés sea capaz de involucrar en el proceso, a los diferentes sectores (comunidades locales, operadores turísticos, ONG's), además del personal administrativo del área protegida en cuestión.

En general, los planes de manejo recreativos están basados en el establecimiento bien definido de zonas para la recreación, donde se deberá de designar las estrategias de uso y manejo acordes a la zona. Estas estrategias deben estar basadas en la evaluación de los estudios previamente elaborados de la zona. Como cada parque tiene diferentes propuestas y por lo tanto diferentes tipos de manejo, las actividades que se realicen en cada parque serán distintas, sin embargo, dentro de esta desigualdad se reconocen cuatro tipos de zonas: natural, cultural desarrollo recreativo y de uso especial. Y de éstas se derivan las subzonas, de acuerdo con los objetivos particulares de cada parque. Las zonas y sus estrategias básicas se describen a continuación (1):

- **Zona Natural.** Son áreas con una mínima perturbación, y se encuentra sin impactos significativos antropogénicos o de organismos introducidos. Los recursos naturales se encuentran en un elevado estado de conservación, e incluye muestras representativas de la biodiversidad nativa que requiere de protección absoluta. Las actividades deberán ser selectivas y restringidas.
- **Zona Cultural.** En esta zona se permite el manejo del suelo para fines de preservación, protección y educación ambiental, en un esquema ordenado, buscando proveer de entretenimiento al visitante. Otros recursos culturales son los sitios arqueológicos, construcciones coloniales u otros sitios de interés histórico. El desarrollo de las zonas culturales va y tendrá que ir muy de la mano con la educación ambiental, la cual consiste de temas de preservación y uso de los recursos naturales.
- **Zona de Desarrollo Recreativo.** Esta zona tiene la finalidad de proveer y mantener espacios para los servicios recreativos del parque. Son áreas poco alteradas que pueden o no presentar

organismos introducidos. Son ecosistemas naturales que contienen muestras representativas de la biodiversidad nativa y que pueden soportar visitas; generalmente contienen rasgos sobresalientes y de gran interés para los visitantes (playas, formaciones geológicas, aspectos históricos, paisajes, flora, fauna, etc.), permitiéndose principalmente las actividades de interpretación y recreativas. Las actividades de investigación generalmente se realizan en menor grado. Las subzonas en que se divide son:

- Uso extensivo
  - Uso intensivo
  - Uso administrativo
- **Zona de Uso Especial.** Estas áreas se encuentran con un fuerte grado de alteración, y se encuentran ubicadas dentro del territorio del parque en las zonas aledañas a los centros de población. En estas se permiten usos contradictorios a los objetivos primarios del parque, ya que en esta zona se realiza la extracción controlada de los recursos; pero siempre buscando minimizar los efectos adversos de dicha explotación. Esta zona se encuentra dividida en tres subzonas:
- Comercial
  - Aprovechamiento de recursos
  - Embalse

Generalmente, cada plan de manejo debe incluir propuestas interrelacionadas con la protección y el manejo de los recursos naturales, la conservación del suelo, fomentar la cooperación con las comunidades locales, la interpretación, el uso recreativo, la accesibilidad a las zonas recreativas, conocer la capacidad de carga, tareas de mantenimiento del parque y en general indicadores de localización, así como el tamaño, capacidad y desarrollo del parque.

Con respecto a México actualmente no existe una guía para la implementación y desarrollo de parques recreativos como es el caso de otros países. El proceso de selección de sitios en nuestro país se lleva a cabo de manera tal que se eligen las mejores zonas o las más conservadas para el desarrollo del ecoturismo dejando de lado la planeación.

### **5.2.3. Zonificación de Parques a Nivel Mundial**

Se establece la siguiente clasificación de las áreas naturales en diferentes zonas de manejo, de acuerdo con los lineamientos establecidos así como considerando las condiciones ecológicas y de usos de recursos que prevalecen en el Parque Nacional.

● **Zonas de Protección**

**Definición:** Son áreas localizadas como puntos céntricos estrictamente protegidas conforme a objetivos de preservación de su calidad silvestre. Representan las áreas de mayor importancia y fragilidad de la Reserva. En estas zonas el uso pecuario, o cualquier otra actividad, debe ser nulo. Además, se presentan en ellas la mejor condición de representatividad de los ecosistemas naturales o mínimamente alterados.

**Objetivos:**

- Preservar el ambiente natural en una condición en donde se permitan sólo actividades científicas no destructivas y acciones de protección de la flora y fauna.
- Realizar investigación científica sobre los procesos ecológicos típicos de este tipo de ecosistemas.
- Establecerse sitios de monitoreo ambiental que sirvan de referencia para mediciones de los cambios a largo plazo de la biosfera y de este tipo de ecosistemas.

**Lineamientos de uso:**

- No se permiten actividades científicas ni de ningún otro tipo que impliquen la destrucción de los recursos o la alteración de las condiciones naturales de vida de las especies presentes en la zona.
- Los estudios científicos estarán restringidos a los que apruebe la máxima autoridad de la reserva.
- No se permite el acceso al público en general.
- Las construcciones se limitarán a pocos y sencillos senderos de carácter científico.

● **Zonas de Uso Restringido**

**Definición:** Son las superficies que rodean a las zonas núcleo o centrales consistentes en áreas de yermo donde la intervención humana es la mínima posible y compatible con las zonas núcleos. En lo referente a la recreación se tolera un uso público moderado correspondiente a la posibilidad de establecer campamentos rústicos (sin ningún tipo de servicio) temporales y senderos para realizar la actividad de caminata de tal manera que ambos usos no interfieran con el carácter primitivo e inalterado de esas áreas.

Estas zonas incluyen actividades de investigación, enseñanza y formación en materia ecológica, así mismo abarca áreas adecuadas para la manipulación experimental con miras a la elaboración, evaluación y demostración de métodos de desarrollo turístico y agropecuario sostenible. También ejemplos de ecosistemas modificados o degradados cuya reconstitución permita volver al estado natural o casi natural.

**Objetivos:**

- El objetivo de manejo es reducir o amortiguar los impactos correspondientes a usos intensivos en la reserva, preservando la condición natural propia de las áreas núcleo y al mismo tiempo realizando actividades de investigación, educación, ganadería extensiva y de turismo ecológico, en su forma menos intensiva.

**Lineamientos de Uso:**

- El uso público recreativo se restringe a caminatas y campamentos rústicos.
- No se permite el establecimiento de habitaciones permanentes o facilidades de infraestructura para la recreación.
- Las actividades de investigación y educación no deberán dañar los recursos de esta zona.
- Las construcciones permitidas se reducen a senderos para propósitos recreativos.
- No se permite el uso de vehículos.
- Se autoriza una señalización mínima.
- Los senderos serán construidos con un mínimo de destrucción de la vegetación y el suelo manteniendo una pendiente más o menos constante sin exceder los 7°.

● **Zonas de Recreación y Administración**

**Definición:** Son áreas que rodean a zonas núcleo y de amortiguamiento abarcando una superficie más amplia y abierta. Fomenta actividades productivas en régimen de cooperación entre investigadores, administradores y la población local con miras a lograr una planificación física adecuada y desarrollar de forma sostenible los recursos de la región, al tiempo que se mantiene la mayor armonía posible con las finalidades de la reserva. Considerando las posibilidades de desarrollo turístico así como los diferentes requerimientos e impactos de las correspondientes actividades recreativas.

Se dividen las zonas de desarrollo en Áreas de Recreación Extensiva y Nodos de Recreación Intensiva la cual se subdivide en Áreas de Recreación al Aire Libre y Centro de Servicios para los visitantes.

○ **Área de Recreación Extensiva**

**Definición:** Son áreas naturales que representan una transición entre los nodos de recreación al aire libre y la zona de amortiguamiento por lo que presentan cierto grado de alteración humana.

Esto hace que se establezca como prioridad en esta zona la investigación aplicada para incrementar la oferta forrajera de los ecosistemas presentes.

En lo referente al uso recreativo, éste se basará fundamentalmente en el disfrute estético del ambiente natural conjuntado con las actividades de interpretación ambiental. Estas áreas se

caracterizan porque a diferencia de los nodos de recreación general al aire libre, su desarrollo enfatiza el ambiente natural, en lugar de suministrar facilidades construidas por el hombre, de tal manera que no hay altas concentraciones del público ni acceso a vehículos de motor.

**Objetivos:**

- Mantener al mínimo el impacto sobre el ambiente natural por actividades turísticas pero facilitar el acceso y el uso público del área sin grandes concentraciones, para la interpretación ambiental, el turismo ecológico y el fomento de la cultura.
- Suministrar oportunidades para la interpretación ambiental en los diferentes ecosistemas presentes en la Reserva.
- Suministrar oportunidades de turismo ecológico.
- Prevenir posibles daños a las zonas núcleo y de amortiguamiento.

**Lineamientos de Uso:**

- No se permite el uso público general concentrado.
- Se permiten caminos de baja velocidad, brechas, senderos y señalamientos de interpretación ambiental, centros de interpretación de la naturaleza, museos, jardines botánicos y sitios de exhibición de hábitats *in situ*.
- Se permite el uso de vehículos sólo en los caminos indicados para ello.
- Los caminos deberán localizarse y construirse en armonía con la topografía y el paisaje evitando rellenos y cortes. También deberán tener el mínimo de ancho posible y con una pendiente menor a 4°.

○ **Nodos de Recreación Intensiva**

**Definición:** Consisten en áreas naturales o intervenidas cuyos recursos son adecuados para realizar actividades recreativas, educativas o culturales con elevada densidad. Presentan una topografía que puede desarrollarse para el paso y estacionamiento de vehículos y otras instalaciones. Es deseable mantener el ambiente lo más natural posible pero se acepta la presencia concentrada de visitantes así como las facilidades requeridas para su atención.

**Lineamientos de Uso:**

- Las actividades comerciales se restringen a la venta de alimentos, souvenir y material didáctico impreso.
- El diseño, material y construcciones deben armonizar con el ambiente.
- Las instalaciones sanitarias deben localizarse a una profundidad por debajo del nivel de agua para uso humano y a una distancia mínima de 100 metros.

○ **Áreas de Recreación General al Aire Libre**

**Definición:** Esta es un área natural que ofrece una mayor diversidad de oportunidades de recreación al aire libre pero sin llegar a la aglomeración y esparciendo las diferentes actividades dentro de un espacio amplio. Se caracteriza por el desarrollo de facilidades para ofrecer un número considerable y variado de actividades como: camping, pic-nic, pesca, senderos naturales, juegos al aire libre, observación de la vida silvestre y cacería fotográfica. Así mismo, pueden establecerse museo, biblioteca, módulos de información, tiendas comerciales y zonas de campamentos con servicios básicos como agua y sanitarios. Las facilidades, construcciones o instalaciones de apoyo a estas actividades pueden variar desde simples hasta elaboradas dependiendo de su armonización con el paisaje natural aledaño. En estas áreas se permite el acceso de vehículos motorizados y estacionamientos para autos.

○ **Centros de Servicio para el Visitante**

**Definición:** Esta es un área intervenida con un alto grado en el desarrollo de facilidades para el usuario y manejada exclusivamente para servicios de alojamiento, información, alimentación de los visitantes, integrándolos con actividades de recreación intensiva incluso en lugares cerrados. Esta área se ubica cerca de los centros de población rurales y urbanos. La entrada de la reserva se emplea como instrumento para evitar y controlar la concentración de la gente en las áreas de recreación al interior de la Reserva. Debido a que la planeación involucra una representación espacial del uso actual y propuesto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una de las mejores herramientas de apoyo. Sin embargo, es necesario no limitarse a una mera representación gráfica de mapas y desarrollar las capacidades de análisis espaciales disponibles en dichos programas.

**5.2.4. Problemáticas de la Planificación y Manejo de las Áreas Naturales de México**

Las principales problemáticas son el deterioro ambiental y los factores de tipo institucional. Dentro de los problemas de deterioro ambiental se enumeran por ejemplo, los impactos causados por la extensión de la agricultura, la presión demográfica, la urbanización, la industrialización, la contaminación, prácticas inadecuadas en el uso del suelo, construcción de vías de comunicación y el turismo mal planificado, por citar sólo algunos. Y los factores de tipo institucional que afectan al desarrollo y aprovechamiento de las ANP se refieren principalmente a su inadecuada legislación, irregularidad en la tenencia de la tierra, así como la falta de planeación y recursos para llevar a cabo la planeación (2, 12, 26). Otro problema fundamental es la carencia de criterios ecológicos para la definición de áreas idóneas para la conservación, pues en algunos casos las ANP ya decretadas se encuentran ubicadas fuera de

zonas con importante riqueza biológica. Y aún más carentes son los criterios ecológicos para proponer planes de manejo o índices de impacto ambiental eficaces y de fácil utilización (31).

La enorme cantidad de problemas ambientales en un mundo de sistemas naturales dinámicos e imprevisibles exigen nuevos métodos que hagan uso de avances recientes en la integración digital del razonamiento humano, de datos y de modelos dinámicos. De tal manera, que ya en la publicación del informe de la Comisión Brundtland existe un reconocimiento general de la necesidad de desarrollar nuevos conceptos en el manejo de los recursos naturales (2). Muchos problemas de recursos locales y globales tienen una dimensión espacial obvia, de tal forma que hay un interés cada vez mayor por utilizar Sistemas de Información Geográfica para la integración de datos, modelos y conocimientos. La necesidad de integrar conocimiento específico al campo de competencia con datos y modelos espacialmente relacionados, ha desatado el desarrollo de tecnologías de información digital y de despliegues visuales en computadora (ambos relacionados a SIG), como son la Inteligencia Artificial, los Sistemas Expertos y los Sistemas de Apoyo a la Toma de Decisiones. Por lo tanto, los SIG están siendo cada vez más integrados con una variedad de campos científicos, utilizando despliegues visuales en computadora como interfaz con el usuario, la integración de los SIG ha tenido su avance más significativo en la teledetección (33).

### **5.3. Evaluación de tierras con fines forestales**

Las decisiones acerca del uso de la tierra han sido siempre parte de la sociedad. Una de las decisiones más antiguas tuvo relación con la interrogante sobre que tierras bajo cobertura forestal podrían desmotarse y convertirse a usos agrícolas. Las demandas crecientes de madera y leña como combustible, ha conducido a cambios en el uso de la tierra. Además de los cambios entre el uso forestal y no forestal, existe una amplia gama de decisiones que involucran la elección entre diferentes tipos de usos forestales. ¿En qué medida el manejo de determinado bosque se dirigiría hacia la producción de madera o leña? ¿Cuán importantes son los productos del bosque diferentes a la madera, las funciones del bosque en la conservación del suelo y el agua, el uso de pastura por comunidades locales o los usos recreativos? (9, 22, 26).

El enfoque y métodos de evaluación de la tierra se desarrollan con el objeto de proveer un marco de trabajo sistemático para evaluar los efectos de la tierra sobre la producción potencial y otros beneficios. La base de la evaluación de tierras es la comparación entre la tierra y su uso. La tierra se refiere a todas las características del ambiente natural que pueden influir su uso por el hombre; la tierra incluye no

solamente fisiografía y suelo, sino también clima y vegetación. En otras palabras el concepto de tierra de acuerdo con algunos autores, se define geográficamente, como una "área específica de la superficie terrestre; sus características se refieren a todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biosfera, verticalmente arriba y debajo de esta área, incluyendo los de la atmósfera, el suelo, la geología subyacente, la hidrología, la vegetación, la fauna y los resultados de la actividad humana pasada y presente, así como las interacciones de todos ellos. Se consideran dichos atributos y sus interacciones desde el punto de vista de la influencia que ejerzan sobre los usos actuales y futuros de la tierra por el hombre" (9, 23).

Estas propiedades varían tanto en forma individual como colectiva, dando por resultado paisajes característicos en diferentes áreas y es papel de la clasificación de tierras el identificarlos y reconocerlos, así como el establecer su área de ocurrencia. Cada clase de uso de la tierra tiene una serie de condiciones favorables o adversas a un uso, determinado por sus requerimientos y limitaciones. Lo que es una seria limitación para una clase de uso, puede ser menos severa o incluso benéfica para otra. El enfoque de la evaluación de tierras es evaluar los requerimientos y limitaciones de cada clase de uso y comparar éstos con las propiedades de diferentes áreas. Esto proporciona criterios sobre la adaptabilidad de los diferentes tipos de tierra presentes en un área para cada uno de los usos. La comparación entre estas aptitudes proporciona información para formular pautas sobre el manejo y planeación del uso de la tierra, particularmente sobre la selección entre sitios alternativos (34). La actividad forestal, como una forma de uso de la tierra, tiene una serie de características distintivas, que tienen importantes consecuencias para la evaluación de tierra.

Hay un amplio rango de intensidades de manejo forestal, desde áreas silvestres no manejadas, con vegetación más o menos natural, hasta bosques altamente manejados compuestos de especies seleccionadas con crecimiento y formas mejoradas por el manejo. El espectro de la intensidad de manejo comienza con los bosques naturales valorados por su función de conservación y manejados solamente para protección. Hay también bosques con una baja intensidad de manejo sujetos a aprovechamiento selectivo y sin ningún esfuerzo para inducir la regeneración natural. En el siguiente nivel se tienen aquellos bosques naturales productivos en los que la regeneración es casi totalmente natural. A este nivel siguen los bosques mejorados a través de una variedad de prácticas de manejo forestal para obtener la regeneración de especies deseadas. La siguiente etapa es la de las plantaciones forestales (35).

Toda evaluación de tierra necesita tomar en cuenta estos diferentes niveles de intensidad de manejo, sin olvidar la función conservacionista, aun en el caso de que el objetivo principal sea la producción de

madera. Los tipos de decisiones se asimilan a escalas espaciales en las cuales ocurre la planificación forestal, la cual tiene los niveles global o continental, nacional, distrito o proyecto y local.

Existe una interacción entre la planificación a estos diferentes niveles. Por una parte, las estrategias referidas a nivel nacional y provincia proveen claramente el marco de referencia para la planificación al nivel de distrito o proyecto, y similarmente para la planificación del distrito hacia niveles locales. Hay pues un efecto inverso, cualquier decisión que se tome en el ámbito local, por ejemplo, Expandir o reducir el área de producción forestal, tiene un impacto acumulativo sobre la problemática total. La propuesta de cambios en el uso de la tierra, a cualquier nivel de planificación, necesita por lo tanto ser evaluada a la luz de sus efectos sobre el ámbito total (23). En la tabla 1 se proporcionan ejemplos del tipo de decisiones y el nivel de planificación. En la conducción de evaluación de tierras puede ser útil identificar donde se encuentran los objetivos en relación con esta matriz (8, 9).

**Tabla 1 Toma de decisiones a diferentes niveles de planeación.**

Niveles de planificación	Tipos de decisiones		
	Clases de uso de la tierra	Clases de uso forestal	Clases de manejo forestal
<b>Global / Regional</b>	Estudios estratégicos de recursos forestales, suministro y demanda potenciales.	Estudios regionales de manejo de cuencas, estudios regionales de desarrollo de recursos forestales y promoción de la cooperación entre países.	
<b>Nacional / Provincial</b>	Conversión de bosques a agricultura o uso no forestal a bosque. Parques nacionales.	Directrices nacionales sobre bosques para producción, protección, recreación, etc.	Política de manejo forestal.
<b>Distrito / Proyecto</b>	Conversión de bosques a agricultura o uso no forestal a bosque. Establecimiento de plantaciones forestales. Distribución de tierra en proyectos integrados (uso múltiple).	Implementación de la asignación de terrenos forestales para producción, protección, recreación, etc.	Preparación de planes de manejo forestal.
<b>Local</b>	Ajuste de límites de reservas forestales. Extensión de áreas de bosques veredales	Necesidades locales y su incorporación a los planes de manejo forestal.	Implementación de manejo forestal.

### 5.3.1. Funciones y Productos de la Evaluación de Tierras

La evaluación de tierras tiene que ver con la identificación de los cambios posibles en el uso del suelo o en su manejo, de tal manera que satisfaga las necesidades locales o nacionales, y con la formulación de estimativos de las consecuencias de usos alternativos.

Los Resultados de la Evaluación de Tierras, dan las siguientes clases de información:

- Descripciones de los tipos de utilización de la tierra, que contempla no solamente datos básicos descriptivos, tales como especies forestales, sino también prácticas de manejo.
- Mapas de Aptitud, que muestran las aptitudes definidas de las unidades de tierra para cada uno de los tipos relevantes de utilización.
- Estimaciones sobre las consecuencias de la aplicación de cada tipo relevante de utilización de la tierra a cada unidad de tierra.
- Estudios básicos y especializados.

La evaluación de tierras no toma decisiones por el usuario, ella esboza varias alternativas de acción y presenta las consecuencias de tales alternativas para cada uno de los diferentes tipos de tierra presentes en un área específica (16, 40). Estas consecuencias incluyen:

- ¿Cómo esta manejada la tierra actualmente y qué sucederá si las presentes practicas continúan sin cambio?
- ¿Qué cambios en el uso o mejoramientos en las prácticas de manejo son posibles?
- Para cada uno de los cambios de uso o manejo y en cada tipo de tierra:
  - ¿Qué efectos posiblemente adverso podrían ocurrir?
  - ¿Qué insumos, capital y gastos recurrentes son necesarios?
  - ¿Cuáles son los beneficios estimados en la producción o servicios de cada cambio?
  - ¿Cuál es el mejor manejo forestal integrado o de uso múltiple para lograr el balance deseado de insumos, producción y conservación?

### 5.3.2. Levantamiento de Tierras

Las actividades del levantamiento se dirigirán hacia la obtención de la información requerida. Este principio se aplica tanto a los tipos de información obtenida como a su detalle y precisión. De esta manera, el tiempo y el costo de los levantamientos y otros estudios especializados de recursos de tierras son utilizados más eficientemente. En resumen, el principio requiere que la necesidad de las actividades del levantamiento de la tierra se evalúe con base en las siguientes etapas:

- **Objetivo.** ¿Qué o cuáles son los objetivos de la información sobre la tierra? ¿Qué función tiene ésta en la evaluación?
- **Información.** ¿Qué tipos de información sobre la tierra se necesitan para llenar tales objetivos? ¿Cuán detallada será esta información y que estándar de precisión se requiere?
- **Actividades.** ¿Qué levantamientos y estudios especializados son necesarios para coleccionar la información de la naturaleza, detalle y precisión requeridos?

Los estudios de tierras pueden subdividirse conceptualmente en dos etapas: levantamiento de las unidades de tierra, y determinación de las cualidades y características de la tierra de cada unidad. Las unidades de tierra forman las bases cartográficas de una evaluación. El mapa principal a una escala básica de evaluación, muestra las unidades de tierra y todos los límites entre las clases de aptitud de las tierras. Las cualidades o atributos de la tierra y sus características forman la base de comparación con los requerimientos de uso de la tierra (8, 23).

Los pasos en los levantamientos y estudios de la tierra son:

- Identificación y definición de las unidades apropiadas de tierra.
- Levantamiento y mapeo de la extensión de las unidades.
- Selección de las cualidades de la tierra relevantes para la evaluación.
- Decidir sobre cuáles características de la tierra se van a utilizar para medir o estimar las de la misma.
- Determinar los valores de las características de la tierra, requeridas para cada una de las unidades de tierra.

Al principio de una evaluación, en la etapa de planificación, se necesita hacerse una selección de las unidades de tierra sobre las cuales dicha planeación deba basarse. Las aptitudes de la tierra para varios tipos de uso se basarán sobre las unidades de tierra, estas son las áreas de menor tamaño sobre las cuales pueden hacerse planteamientos de aptitud y de decisiones de planificación de uso de la tierra. Las unidades de aptitud de la tierra se determinan por los objetivos del levantamiento. La planificación detallada del manejo forestal requerirá datos al nivel de fases de tierra o series de suelos, o aun el nivel más detallado provisto por mapas de propiedades individuales del suelo. Los levantamientos para asignación de usos de la tierra en proyectos de desarrollo multipropósito requieren de unidades de tierra de tamaño intermedio.

Los levantamientos de unidades de tierra pueden basarse en fisiografía y sus suelos asociados, en vegetación y relaciones ecológicas, así como en el crecimiento del árbol observado o estimado. En orden descendente, partiendo de extensas áreas que contienen una cierta diversidad de características de la tierra hacia áreas pequeñas que son relativamente homogéneas, las unidades posibles de tierra sobre las cuales basar una evaluación, incluyen los siguientes aspectos (9, 41):

- Zonas climáticas, agroecológicas o ecológicas; incluyendo zonas de vegetación zonificadas altitudinalmente.
- Sistemas de tierra o unidades comparables basadas en levantamientos ecológicos.

- **Unidades cartográficas compuestas, basadas en fisiografía, suelos, vegetación o combinaciones de estos.**
- **Unidades de mapa relativamente uniformes.**
- **Unidades de tierra derivadas de la superposición de mapas de características individuales de la misma.**

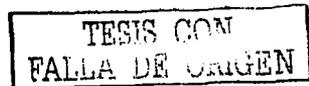
Un problema especial en la evaluación de la tierra para manejo forestal multipropósito, es que las unidades de tierra de diferente tamaño y naturaleza pueden ser apropiadas para diferentes objetivos. Tomando las unidades seleccionadas para el manejo forestal como referencia, los siguientes propósitos requieren un tratamiento especial (8, 23):

- **El manejo forestal para conservación del agua necesita basarse sobre la cuenca hidrográfica.**
- **El manejo forestal para conservación de la vida silvestre necesita definir áreas que cubran el ámbito de movimiento diario de animales, especialmente hasta y desde las fuentes de agua para beber y los patrones de migración cuando existan.**
- **El manejo forestal para turismo y recreación incluye a menudo falta de homogeneidad, por ejemplo, diversidad de paisaje, como un requerimiento. Esta situación se maneja tomando unidades más detalladas de tierra como base inicial para luego combinarlas y proveer áreas que tengan la variedad que contribuya a la aptitud para la recreación.**

Dependiendo de los objetivos de la evaluación de la tierra, pueden identificarse tres niveles de intensidad de levantamientos de recursos: de reconocimiento (baja intensidad), semidetallado y detallados (intensidad alta). Es conveniente considerar los levantamientos de recursos básicos en tres grupos: levantamiento de factores individuales ambientales (fisiografía, suelos, etcétera), levantamiento integrados del ambiente; y levantamientos especializados empleados en la evaluación del recurso forestal (36).

### **5.3.3. Sistemas de Tierra**

Este sistema provee una alternativa para el mapeo de cada factor ambiental por separado. Las unidades, sistemas de tierra y subdivisiones o facetas de tierra se definen en términos del ambiente total, aunque la identificación y mapeo inicialmente se basen sobre fisiografía y vegetación. El sistema de tierra definido como un patrón repetido de fisiografía, suelo y vegetación, es una unidad apropiada para la evaluación de tierras solamente al nivel de reconocimiento. La subdivisión (faceta) de la tierra, un área sobre la cual para efectos prácticos, las condiciones ambientales pueden considerarse homogéneas, pueden utilizarse



como una unidad de tierra tanto a una escala semidetallada a detallada, requiriendo una alta intensidad de observaciones de campo en el último caso.

Las cualidades de la tierra son atributos de tierra que tiene una definida influencia sobre la aptitud del uso de la misma. Esta influencia puede ser sobre el crecimiento, la facilidad de manejo o la necesidad para la conservación. Ejemplo: la disponibilidad de humedad, condiciones de enraizamiento, peligro al fuego, y la susceptibilidad a la erosión. Las cualidades de la tierra son relativamente pocas, aproximadamente 30 cualidades cubren los requerimientos de todos los tipos de manejo forestal en todos los ambientes. Las características de la tierra son atributos de la misma que pueden medirse o estimarse; ejemplo: precipitación media anual, profundidad del suelo, ángulo de la pendiente, etc. (las características de la tierra se emplean como medios para medir o estimar sus cualidades). Cientos de características de la tierra pueden influir sobre el crecimiento forestal, el manejo o la conservación, directa o indirectamente (Tabla 2). Es posible basar una evaluación de tierras directamente sobre características de la misma o sobre cualidades de la tierra estimadas por medio de características de la tierra. Ambos métodos conducen a resultados muy similares (25, 36).

**Tabla 2. Cualidades de la tierra para uso forestal, con las características que pueden usarse para medir o estimar sus cualidades (las características ordenadas en columna proveen estimaciones indirectas).**

	Cualidad de la tierra	Características de la tierra
Cualidades que afectan al crecimiento	Régimen de radiación	Horas de sol, longitud del día: latitud y tipo de clima.
	Régimen de temperatura	Temperatura media anual, temperatura media de la estación de crecimiento, meses fríos y calientes: altitud y tipo de clima.
	Disponibilidad de humedad	Razón de precipitación- evaporación, precipitación: la media anual de la estación de crecimiento y vegetación indicadora.
	Drenaje del suelo	Profundidad de moteados: vegetación indicadora.
	Disponibilidad de nutrientes	Niveles promedio de N, P, K, etcétera, pH y tipo de suelo.
	Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva del suelo, piedras y grava, afloramientos rocosos y cascajos, estructura del suelo: tipo de suelo.
	Condiciones que afectan la germinación y establecimiento	Textura del suelo, piedras y grava y cementaciones.
	Salinidad - sodicidad	Conductividad eléctrica, % de sodio intercambiable, tipo de suelo y vegetación indicadora.
	Riesgos climáticos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuego</li> <li>• Heladas</li> <li>• Vientos</li> </ul>	Frecuencia observada; longitud de estación seca, razón precipitación evaporación, capacidad de combustión de la vegetación rastrera. Días promedio con heladas: altitud. Frecuencia y severidad de vientos fuertes, índice de exposición.
	Riesgos fisiográficos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundaciones</li> <li>• Deslizamientos</li> </ul>	Frecuencia y severidad observada: sitio topográfico. Frecuencia y severidad observada, ángulo de la pendiente, intensidad de la lluvia, profundidad del suelo.
	Incidencia de pestes y enfermedades.	Incidencia observada, humedad relativa, temperatura, factores edáficos de influencia conocida.

Continuación de Tabla 2.

Estimaciones del volumen forestal y rendimiento	Volumen de madera presente.	Por especie, a partir del inventario forestal.
	Rendimiento estimado de madera.	Por especies a partir de las predicciones del rendimiento forestal o la correlación crecimiento-sitio: índice de sitio.
	Tasas de sobrevivencia de plántulas.	Promedios registrados para tipos de sitios o área en general o por especies.
Cualidades que afectan el manejo	Factores del terreno que afectan las operaciones mecanizadas y el acceso interno.	Clases de terreno, ángulo de pendiente, relieve relativo, microrrelieve, capacidad de carga del suelo.
	Condiciones que afectan los sitios de vivero.	Disponibilidad de agua, textura del suelo.
	Cubiertas de vegetación presente.	Facilidad de aclareo.
	Tamaño de las unidades de manejo potencial.	Tamaño de los bloques de tierra apta.
Cualidades que afectan la conservación	Localización.	Distancia de caminos, vías asfaltadas, ferrocarril, río.
	Riesgos de erosión.	Pérdida de suelo estimada (ton/ha/año), ángulo de pendiente, erosibilidad de la lluvia, erosibilidad del suelo, intensidad de la lluvia, permeabilidad del suelo, textura del suelo, cubierta vegetal: tipo de suelo.
	Tolerancia de la vegetación a la degradación.	Observada o estimada, condición presente de la vegetación: tipos de vegetación.
Cualidades que afectan el potencial recreativo	Presencia de especies valiosas.	Presencia, rarezas.
	Belleza escénica.	Valor estético o científico y variedad de paisajes y vegetación.
	Recursos para actividades recreativas y turísticas.	Por ejemplo, montañas para escalar, recursos pesqueros.

Los factores escogidos como un medio de representación de las cualidades de la tierra se llaman factores de diagnóstico. Un factor de diagnóstico puede consistir de uno de los siguientes elementos:

- Una característica simple de la tierra, una serie de las características de la tierra combinadas en alguna forma específica.
- Una cualidad de la tierra, descrita por algún sistema de clase o grados de limitación. Ejemplo, disponibilidad de nutrientes muy alta, alta, moderada, baja y muy baja; disponibilidad de humedad, etcétera.

#### Requisitos de un Sistema de Clasificación de Tierras

El enfoque más conveniente en la actualidad para la clasificación de tierras de nuestro país es el enfoque morfológico. Según Webster y Beckett<sup>2</sup> en 1970 (citado en 9), indicaron que cualquier sistema de clasificación morfológica de tierras, para que sea de utilidad, debe reunir cuatro requisitos:

<sup>2</sup> Webster, R. y P.H.T. Beckett. 1970. *Terrain classification and evaluation using air photography*. A review of recent work at Oxford. Photogrammetry, 26:51-75.

- Que la información sobre los terrenos pueda establecerse en términos de Clases de Tierras y se relacionen a un amplio número de usos posibles.
- Que la información colectada en un sitio pueda emplearse para planear el uso de la tierra de otro, siempre y cuando los sitios sean similares.
- Que la fotointerpretación sea la principal herramienta de trabajo y las clases básicas de terrenos puedan reconocerse sobre fotografías aéreas con pocas observaciones de campo.
- Que la clasificación sea simple, para que pueda ser utilizada por personas que no son especialistas en evaluación de tierras.

### **Sistema de Clasificación Fisiográfico**

El Levantamiento Fisiográfico, cuenta en el ámbito regional con un sistema de clasificación muy simple, ya que tiene 2 tipos de unidades: la **Faceta** y el **Sistema Terrestre**. La Faceta es la unidad básica de clasificación y se define como: "Una porción de la superficie terrestre, usualmente con una forma simple, sobre una misma roca o depósito superficial y con suelo y régimen de humedad que son uniformes o varían en forma simple o consistente". Cada Faceta es lo suficientemente homogénea para ser manejada uniformemente, y son de un tamaño tal que pueden ser cartografiados sobre fotografías aéreas de escalas entre 1:10,000 a 1:80,000, en la práctica se les considera como las áreas más pequeñas que pueden distinguirse sobre fotografías aéreas a las escalas mencionadas.

Con las facetas se pueden coleccionar y organizar la información sobre los recursos terrestres de un área y aspectos sociales y económicos. Si las facetas presentan una homogeneidad, estas pueden agruparse en áreas más grandes.

Los Sistemas Terrestres, son unidades cartografiables a escalas pequeñas de 1:250,000 a 1:1,000,000, la subdivisión de un territorio en Sistemas Terrestres produce áreas de un tamaño adecuado para la planeación regional, cada una con su propio potencial de desarrollo. Pero su principal función es la de ayudar a la identificación de las facetas que lo integran.

La clasificación puede que no sea lo suficientemente refinada para todos los propósitos. En estos casos se proponen dos unidades auxiliares: a) el Elemento y b) la Variante. El elemento es la unidad más pequeña del terreno que puede ser de interés y es una parte de la faceta. Por ejemplo, una faceta en una meseta puede tener dos elementos: La cresta plana y la margen convexa. Los elementos son visibles sobre fotografías a escalas de 1:10,000 a 1:80,000. La variante se emplea para indicar cambios dentro de una faceta que no son predecibles desde la superficie o desde su posición en el sistema terrestre. Por ejemplo, una faceta puede tener diferentes sustratos. En la identificación de las variantes es siempre indispensable un mayor trabajo de campo (8).

### **Levantamiento Fisiográfico**

El método para la realización del Levantamiento Fisiográfico, está basado en una modificación de la metodología propuesta de por Webster y Beckett (1970) y consta de los siguientes pasos:

- **Delimitación de la zona de estudio.** Nos permite organizar la búsqueda de información y adquisición de materiales por lo que es indispensable su ubicación geográfica.
- **Obtención de la información existente.** Buscar toda la información cartográfica disponible tales como mapas: geológico, edafológico, uso de suelo, etc. No siendo necesario que toda la zona esté cubierta con este tipo de materiales, en algunos casos basta con disponer de información parcial del área de trabajo. Además, es necesario obtener material fotográfico, imágenes de satélite y fotografías aéreas.
- **Unificación de escalas.** La información cartográfica colectada se lleva a la misma escala de la imagen. Es conveniente mencionar que las ampliaciones o reducciones son aproximaciones. Por otra parte y específicamente en las reducciones, es de esperarse que algunos rasgos se pierdan o queden demasiado pequeños que no se hace necesario considerarlos.
- **Unidades provisionales.** Una vez uniformizada la escala de los mapas, cada uno es comparado, y conforme al enfoque morfológico sólo se trazará aquellos linderos que sean evidentes; es decir, aquellos linderos que presentan una correlación con los rasgos de la imagen. Se obtiene un número de unidades que conocemos o esperamos que tengan paisajes diferentes a sus vecinos.
- **Transferencia de linderos.** Los linderos trazados en la imagen son transferidos a las fotografías aéreas. Para lograrlo, la persona debe familiarizarse con la imagen de satélite y las fotografías, buscando algunos rasgos que aparezcan en ambas.
- **Fotointerpretación detallada y recorridos de campo.** Con las unidades provisionales trazadas sobre las fotografías aéreas, el siguiente paso consiste en identificar la naturaleza de tales unidades y las partes que lo componen. Para ello es necesario el estudio detallado de las fotografías aéreas. En aquellas partes donde el acceso a los terrenos es imposible, se conjugan los recorridos de campo con la fotointerpretación, para establecer correlaciones que se emplean para definir aquellas partes en donde no son posibles tales recorridos. Cada una de estas nuevas áreas representan a las facetas. Si se cree conveniente, se puede realizar una revisión de las facetas después que el trabajo de campo se ha efectuado.
- **Descripción de facetas.** Cada una de las partes identificadas como componentes de las unidades provisionales, son consideradas como facetas y éstas se describen, generalmente, en

términos de su forma, pendiente, suelos y cubierta vegetal, y algunas otras características de interés; sin embargo, todos esos datos se obtienen directamente en el campo.

- **Definición de sistemas terrestres.** Los sistemas terrestres se definen sobre las facetas presentes y sus relaciones. Usualmente todo sistema terrestre contiene un conjunto de facetas con las mismas interrelaciones, aunque se acepta como normal, el encontrar una o dos facetas como erróneas para un sistema terrestre en particular. Es de esperarse que en algunas partes de nuestro país se carezca de todo tipo de información o que la información existente no coincida con los rasgos observables sobre la imagen, en tales casos se propone una interpretación deductiva realizada sobre la imagen. Se examina la imagen basándose en los parámetros de Tono y Forma, con la restricción de que si se generan áreas muy pequeñas, se deben buscar asociaciones de tonos y formas. Estas delimitaciones constituyen a las Unidades Provisionales del método cartográfico, prosiguiendo con los demás pasos.

Young<sup>3</sup> (1976) (citado en 23), indicó que los sistemas terrestres variaban en superficie desde 10 m<sup>2</sup> hasta 1,000 km<sup>2</sup>. Esto puede interpretarse como una reflexión de la propia naturaleza del paisaje o bien a una falta de especificidad de los rangos de variación permitidos por los sistemas terrestres. Lo anterior trae consigo que cuando diferentes personas, cada una con una concepción diferente de sistema terrestre, realizan el estudio de una misma zona, en algunos casos efectúen diferentes delimitaciones. Sin embargo, aunque se acepte un amplio margen de variación, es posible establecer un tamaño mínimo para las unidades cartográficas, es decir, de 0.25 cm<sup>2</sup>. En la Tabla 3 se muestran las superficies de las áreas mínima cartografiadas para sistemas terrestres y facetas, en función de la escala de trabajo.

Unidad	Escala	Área mínima cartografiable (cm <sup>2</sup> )	Superficie (Ha)
Faceta	1:80,000	0.25	16.00
	1:50,000	0.25	6.25
	1:40,000	0.25	4.00
	1:10,000	0.25	0.25
Sistema Terrestre	1:1x10 <sup>6</sup>	0.25	2,500
	1:5x10 <sup>5</sup>	0.25	625
	1:2.5x10 <sup>5</sup>	0.25	156

<sup>3</sup> Young, A. 1976. *Tropical soil and soil survey*. Cambridge University Press, London.

A partir de levantamientos fisiográficos anteriores, los mejores resultados se obtienen para los Sistemas Terrestres trabajados a escalas 1:50,000 y para las Facetas las escalas de 1:40,000 a 1:50,000, que para un estudio de reconocimiento resulta muy adecuado.

Cuando se realiza la fotointerpretación detallada, estamos delimitando facetas que de acuerdo con su definición son homogéneas en suelo y régimen de humedad o bien, varían en forma simple y en un sólo sentido. Si lo primero fuera lo que siempre ocurriera, bastaría con hacer una observación para caracterizar a toda la faceta; pero si sucede lo contrario, es necesario cuando menos hacer dos observaciones para la detección de tal variación. En la práctica, uno nunca sabe a cuál de esos dos casos se esta enfrentando, de tal manera que el único criterio que puede darse es que el número mínimo de sitios observados por faceta es de 2 y el máximo reportado es de 8, siendo de 3 a 4 sitios por faceta los mas adecuados. Sin embargo, el número de sitios de muestreo varía de acuerdo a 3 factores: La forma del terreno, su litología y la textura del suelo.

La descripción de un sitio cumple dos propósitos: el primero es directamente útil en la caracterización de facetas y el segundo para definir en general a los sistemas terrestres. De esta forma el tipo de información que se requiere abarca: la geomorfología, geología, clima, suelos, corrientes superficiales, cubierta vegetal, uso de la tierra y altitud.

La forma del terreno se describe basándose en la pendiente general, por ejemplo: Meseta, Cantil, Talud, Planicie, Cauce, Depresión, Barranca, Cresta, Ladera y Declive (Figura 2).

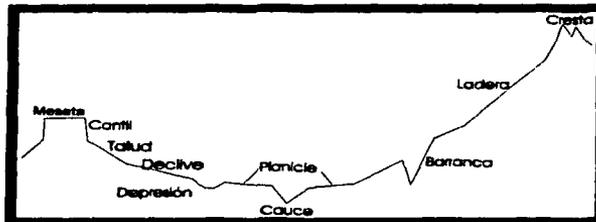


Fig. 2 Esquema para la identificación de las formas básicas del terreno.

Después de fotointerpretar, en campo se ubica el terreno y se marca la faceta para establecer su forma.

La pendiente se describe en términos de forma y en porcentaje. La forma de la pendiente comparada con la forma del terreno es más particular del sitio, aunque es posible que las dos coincidan como en las planicies o que difieran, como en los terrenos ondulados donde puede haber pendientes cóncavas y convexas (6, 25).

El punto focal en la evaluación de tierras son los datos sobre el uso de la tierra y sobre la tierra misma se agrupan y comparan. La comparación conduce a la clasificación de aptitud de la tierra, y éstos datos son:

- Las clases relevantes de uso de la tierra, sus requerimientos y limitaciones.
- Las unidades de tierra, sus cualidades y características.
- El impacto ambiental de uso sobre la tierra.
- Las consecuencias sociales y económicas de cada alternativa de uso sobre la unidad de tierra.
- Los objetivos de la confrontación o cruce son:
  - Refinar la descripción de los tipos de utilización de la tierra.
  - Determinar las especificaciones de manejo y mejoramiento de cada tipo de utilización de tierra sobre cada unidad.
  - Evaluar las unidades provisionales en términos de impacto ambiental y consecuencias sociales.
  - Proveer un análisis económico de los costos relativos y los beneficios de cada combinación de uso de la tierra con cada unidad de tierra.

En las evaluaciones para manejo forestal de producción y de recreación, existen tres pasos en la comparación inicial de los requerimientos de uso de la tierra, con las cualidades de la misma (9):

- Elaborar la ponderación de factores para cada requerimiento de uso de la tierra
- Comparación de éstos con las unidades de tierra para obtener calificaciones de aptitud de tierra.
- Combinación de estas últimas, en clases provisionales de aptitud de tierra.

La evaluación para recreación es un tema especializado, aplicable igualmente tanto a tierras forestales como no forestales. La decisión de planificación que debe tomarse se refiere normalmente al establecimiento, permanencia o cambio en los límites de un área específica para uso recreativo y turístico (por ejemplo, un parque nacional), antes que a la evaluación de la tierra (Tabla 4). Este objetivo forma un componente del uso forestal multipropósito y puede ser integrado dentro de las evaluaciones para otros propósitos. Los requerimientos escénicos que comprenden tanto las formas de la tierra como de vegetación y cubren tanto la calidad como la variedad estética son de amplia aplicación. La experiencia muestra que la presencia de cuerpos de agua puede ayudar grandemente a los atractivos recreativos. En el caso de especies animales y vegetales de interés, existe una superposición entre los objetivos recreativos y de conservación, situación que requiere un manejo de compromiso. El clima puede ser un recurso, particularmente las grandes altitudes y las áreas frías dentro de las regiones

tropicales. Los recursos para actividades especializadas cubren condiciones aptas para montañismo, prácticas de esquí, pesca, etc. (15).

<b>Tabla 4. Requerimientos de uso de la tierra para manejo forestal con fines recreativos y turísticos.</b>	
<b>Recursos</b>	Belleza escénica, calidad y variedad estética. <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Formas de la tierra</li> <li>○ Vegetación.</li> </ul> Cuerpos de agua Especies de interés <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Plantas</li> <li>○ Animales</li> </ul> Clima Recursos para actividades especializadas.
<b>Requerimientos de Manejo</b>	Construcción y mantenimiento de vías Acceso interno Sitios para facilidades especializadas Tamaño y potencial de las unidades de manejo Localización
<b>Requerimientos de Conservación.</b>	Resistencia a la degradación bajo la presión recreativa <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vegetación</li> <li>○ Suelo</li> </ul> Peligro de fuego

Los requerimientos de manejo para usos recreativos incluyen construcción y mantenimiento de vías de acceso internos y la presencia de sitios adecuados para hoteles y otras facilidades. El tamaño de las unidades y su localización en relación con los usuarios potenciales, especialmente las vías de acceso, son importantes. Los requerimientos de conservación incluyen la respuesta de la tierra (vegetación o suelo) a las presiones recreativas; por ejemplo, la erosión causada por las pisadas (6, 57)

#### 5.4. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS en inglés, o SIG en español) son el resultado natural de la evolución de las ciencias de la computación y la electrónica. Las computadoras personales actuales, pueden manejar con mayor comodidad grandes volúmenes de datos asociados con la información geográfica. Un SIG, puede ser considerado como un híbrido entre los Sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y los productos tradicionales de bases de datos. Por lo que se favorece trabajar con los datos en su verdadero contexto espacial, proporcionando de manera cómoda la información en una interfaz con alto impacto visual y gran capacidad de síntesis informativa (Figura 3).

**Fig. 3. Modelo conceptual de un Sistema de Información Geográfica.**



Las aplicaciones del SIG incluyen todas aquellas en que se hace necesario manejar información que se encuentra distribuida en el espacio físico del mundo en que vivimos (28). Una de las tecnologías que ha contribuido enormemente a la aparición de información geográfica en formato digital es el Sistema de Posicionamiento Global o GPS. Basado en las señales que emite una constelación de satélites que cubren al globo terráqueo. Por lo que esta tecnología ha permitido el desarrollo de los sistemas de navegación para buques y aviones que no dependen de las condiciones climáticas y a la vez son totalmente confiables y precisos (52, 47).

El desarrollo de las ciencias espaciales también permite que por primera vez en la historia humana se cuente con fotografías del globo terráqueo. Existiendo satélites especialmente diseñados con el propósito, de transmitir periódicamente a la Tierra imágenes digitalizadas, que con ayuda del software adecuado pueden interpretarse y ser utilizadas en:

- Actualización de mapas.
- Supervisión del desarrollo de plagas o enfermedades vegetales en amplias áreas.
- Planificación de talas y reforestación en bosques.
- Seguimiento de derrames de petróleo en el mar o incendios forestales de grandes proporciones.
- Evaluación de dispersión de contaminantes.
- Estudio de evolución de hábitats naturales con el paso del tiempo.
- Estudio de erupciones volcánicas, etc. (dependiendo de los objetivos del estudio).

Al hablar de los Sistemas de Información Geográfica pensamos en un sin fin de soluciones prácticas que vemos reflejadas en un producto final: un mapa. Este sistema incluye toda la infraestructura tecnológica que permite consultar y manipular la información permitiendo realizar análisis prácticos de acuerdo a los requerimientos de cada estudio (27, 38, 51).

#### **5.4.1. Conceptos básicos y su relación con sistemas similares**

El objetivo de un SIG es transformar datos geográficos en información válida y confiable, para la toma de decisiones ambientales. Pero para que este sea totalmente eficiente, el SIG requiere de equipo y programas de cómputo apropiados, datos de entrada confiables, modelos robustos pero aplicables y personal capacitado adecuadamente (21). El SIG al ponerse de moda, conlleva a una problemática muy especial y es, que se suele confundir el dominio de aspectos conceptuales, -es decir, como incorporar la cuestión territorial al análisis de temas, tales como el aprovechamiento de los recursos o el ordenamiento territorial- con la operación de un sistema de cómputo. Eso lleva a varios problemas que pueden sintetizarse como un incorrecto privilegio de la cuestión técnica sobre la conceptual. Así, por ejemplo, se adquieren sistemas cuyas capacidades se subutilizan, se recaban los datos inadecuados o se intenta aplicar los modelos equivocados. Conllevando esto, a un uso poco eficiente de los recursos financieros y la producción de una información no necesariamente válida. El punto es, que estos sistemas siempre generan un producto revestido con una aureola de objetividad y exactitud. El riesgo está en que, en la toma de decisiones ambientales, al SIG se le adjudica un papel decisivo, que rebasa al de un mero instrumento técnico (casi como si tuviera vida propia) (50, 52).

Si no existen principios éticos claros (además de los conceptuales) en los actores sociales relacionados con el SIG, no se capturarán los datos relevantes, no se aplicarán los modelos pertinentes, no se utilizarán las unidades territoriales importantes, ni mucho menos se socializará la toma de decisiones. Por lo que, todo quedará en un ejercicio presuntamente preciso y exacto, elaborado por “expertos” y auto-validado por su estructura (30). En esencia, el SIG es un Sistema de Gestión de Base de Datos (DBMS, por sus siglas en inglés), específicamente diseñado para el tratamiento simultáneo de datos espaciales e información descriptiva conexas. Por lo general, un DBMS proporciona un lenguaje para el análisis de datos, que permite al usuario describir los mecanismos o métodos utilizados por aquel. Un DBMS debe contar con procedimientos adecuados para comprobar la coherencia de los datos y mantener su integridad (47).

Sin embargo, además de tener una gran capacidad para la representación gráfica, el SIG debe permitir también el tratamiento de datos descriptivos no gráficos, como la información estadística, conjuntamente con los datos espaciales a los que están relacionados. Por ejemplo, si el usuario modifica los datos espaciales, el SIG deberá introducir automáticamente los cambios necesarios en la base de datos estadísticos correspondiente. Para que un sistema pueda considerarse un verdadero SIG debe tener la capacidad de relacionar esos dos tipos de datos. Si bien el SIG difiere de otros instrumentos, como el

sistema de gestión de base de datos alfanuméricos, la representación gráfica computarizada y la cartografía automatizada, cada uno de estos otros sistemas constituye en realidad un componente del SIG, cuya labor es integrar a todos esos sistemas en una sola operación (19, 49).

#### **5.4.2. Funcionamiento de un SIG**

El SIG permite obtener una gran cantidad de información de distintos tipos, siendo una de sus finalidades el procesar la información para convertirla en un conjunto de datos compatibles, capaces de combinarlos y exponer los resultados sobre un mapa (21, 28, 30).

Algunas de las operaciones estándar del SIG son las siguientes:

- Integración de mapas trazados a escalas diferentes, con proyecciones o leyendas distintas.
- Cambio de escala, proyecciones, leyendas e inscripciones en los mapas, etcétera.
- Superposición de distintos tipos de mapas de una zona determinada para formar un nuevo mapa en el que se incluyan los datos descriptivos de cada uno de los mapas.
- Creación de zonas intermedias o próximas en torno a las líneas o polígonos de un mapa. Esta técnica se utiliza para buscar zonas a una distancia dada de las carreteras, ríos, etc., o de ciertas condiciones temáticas. Estas zonas intermedias pueden a su vez utilizarse como otra capa de superposición.
- Ofrecer respuestas o formular preguntas de carácter espacial y/o informativo, a través de la base de datos.

Existen varias maneras de representar y organizar los datos en un SIG. La función esencial de los datos espaciales es la de subdividir la superficie de la tierra en objetos o entidades significativas que pueden ser caracterizados. El mundo se puede percibir de dos maneras según su forma de representación espacial:

- La heredada de los cartógrafos, que representa al mundo real como un mosaico de líneas y puntos interconectados que señalan la localización y/o límites de entidades (Modelo Vector).
- Resultado de la tecnología computacional, representa el mundo sobre una estructura en malla de dimensiones variables en la que un elemento se señala por la presencia o ausencia de algún valor dentro de una celda (Modelo Raster).

Fig. 4.  
Esquema  
donde se  
ilustra la  
transformación  
del  
mundo real  
en modelos  
vector y  
raster.



Estas aproximaciones de la realidad constituyen dos maneras de representar el espacio cartográfico y se conocen como Modelos Vectoriales y Raster (Figura 4). La mayoría de los Sistemas de Información Geográfica, tienen la capacidad de transformar a partir de un formato al otro.

El método más común para representar datos espaciales ha sido el método vectorial. La cartografía, se ha basado en el uso de líneas o "vectores", para representar elementos como carreteras o corrientes, y definir bordes entre diferentes entidades espaciales como tierra y agua. Las investigaciones de técnicas de hacer los mapas se fundamentaron en los principios de la geometría y la trigonometría que emplean vectores. En una estructura vectorial las líneas son infinitamente delgadas y no incrementan de ancho si un área es electrónicamente ampliada (Figura 5) (56).

En la estructura de datos vectoriales, el espacio en dos dimensiones es asumido como continuo permitiendo una muy precisa representación de localización, longitud, distancias y áreas. La localización es descrita por pares de coordenadas, y este par son los bloques fundamentales de construcción de la cual los elementos espaciales como puntos, líneas y áreas son formados. En una estructura vectorial, los puntos son representados por un único par de coordenadas X y Y, mientras que las entidades lineales y entidades de áreas (polígonos) están compuestos de segmentos rectos de líneas uniendo dos pares de coordenadas (vértices) en sistemas como longitud/ latitud o Universal Transversa de Mercator. La relación espacial es importante para redes de líneas o polígonos (uniones, adyacencias, etc.) y se hacen explícitamente a través del uso de la relación de topología arco-nodo.

Los atributos de valores para puntos, líneas y polígonos son típicamente almacenados independientemente de la representación espacial de las entidades. Tales atributos son almacenados en los manejadores de base de datos (DBMS). La liga entre los datos de atributos y el mapa puede darse a través de un campo o identificador común a ambos. Los datos vectoriales pueden ser codificados con un considerable grado de precisión. La precisión de los vectores, sin embargo, es sólo real en cierta clase de datos, por ejemplo, datos capturados de precisiones de investigación. Esta aparente precisión, sin embargo, puede ser artificial para fenómenos con límites indistinguibles, como tipos de suelos o donde hay una posición incierta como resultado de la manera en que los datos fueron adquiridos, como información de mapas cuya fuente es desconocida (21, 49).

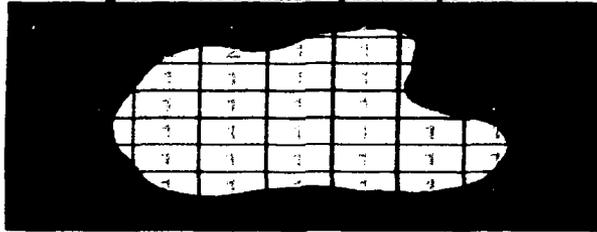
**Fig. 5. Modelo de datos espaciales tipo Vector.**



La estructura más simple de datos raster representa el espacio en dos dimensiones como un arreglo matricial de una malla de celdas (pixeles) cuadrada o rectangular. Cada celda de la malla representa un cuadrado o porción rectangular de la superficie de la Tierra (Figura 6). La resolución de los datos raster es determinada por el tamaño de las celdas en el terreno, así, el raster representa un espacio discreto donde la precisión de localización depende del tamaño de la celda de la malla. La malla más pequeña en tamaño implica un gran volumen de datos y espacio en disco. En cada celda se asume que se tiene un único valor para un determinado atributo. Un valor de celda de malla puede representar un punto de alguna medición (por ejemplo, una elevación) o una medición de área (por ejemplo, usos del suelo, reflexión). Los atributos para múltiples entidades geográficas pueden ser conceptualizados como múltiples capas de raster.

Las precisiones de las coordenadas en el raster están implícitas en el tamaño de la celda. Las consideraciones explícitas de los elementos espaciales (puntos, líneas y áreas) y sus características topológicas y geométricas no son inherentes a los datos raster, pero pueden ser extraídas de su estructura si es que se requiere. Fue solo después del advenimiento de las computadoras que la estructura raster para los datos comenzó a emerger como una atractiva alternativa para ciertos tipos de mapeo. Debido a la pequeña memoria y limitantes de la computación en los inicios de la computación, los mapas raster eran burdos en comparación a los mapas convencionales (estructurados vectorialmente). Los mapas raster fueron frecuentemente percibidos como inferiores, para algunas aplicaciones, aunque se les usaba en el mapeo de límites no muy precisos. Muy pronto se volvió esta deficiencia aparente en ventaja, ya que pese a que la resolución espacial del raster era burda para algunos propósitos cartográficos, presentaba algunas poderosas ventajas en la codificación de datos y en aplicaciones que requerían un mapeo temático y análisis. Efectuándose múltiples sobreposiciones de mapas, que podían completarse en cuestión de segundos usando este método raster (52).

**Fig. 6. Modelo de datos espaciales tipo Raster.**



Con un SIG se pueden seleccionar una o ambas estructuras (vectorial y/o raster) para trabajar. La aplicación de cada una de estas aproximaciones se optimiza en situaciones donde la información espacial muestreada y procesada cercanamente refleja las características del modelo de datos. Por ejemplo, la información temática proveniente de sensores remotos o datos generalizados por una malla usada en un programa de investigación puede someterse a un modelo raster. Los modelos de datos vectoriales trabajan mejor cuando las condiciones del mundo real se pueden definir con precisión con líneas o bordes (Tabla 5).

No hay una regla exacta que ayude a seleccionar el modelo de datos más apropiado, pero existen varios factores que se deben considerar en el momento de la selección (33, 46, 56):

- Volumen de datos.
- Topología<sup>4</sup> y consulta espacial. La topología no ofrece medidas, sólo establece relaciones. Hay tres tipos de relaciones topológicas:
  - Conectividad entre objetos (ejemplo, una red de calles).
  - Adyacencia (ejemplo, las casas de una cuadra).
  - Contención (ejemplo, localidades de colecta en un tipo de vegetación).
- Generalidad. En ocasiones, es posible que los objetos desarrollados en un proyecto de SIG no estén suficientemente definidos por lo que según el tipo de generalización, los modelos raster o vector ofrecen ventajas diferentes. Los vectores se acoplan a distintas escalas debido a su precisión (pero nunca es mayor a la precisión con la que se captura la información), en cambio el modelo basado en raster está limitado en las dimensiones espaciales especificadas por la celda de menor tamaño.

<sup>4</sup> La topología es la relación matemática entre los objetos espaciales.

- **Posibilidades analíticas.** Se debe tener en cuenta que tipo de operaciones analíticas son inapropiadas para su ejecución con datos vectoriales por su lentitud o complejidad, ofreciendo mayores ventajas un modelo raster.
- **Exactitud y precisión.** Una vez que se conoce el nivel de exactitud de la información (espacial y no espacial) con la cual contamos, es importante definir hasta que grado deseamos perfeccionarla. La exactitud con la que se digitaliza la información también es un factor a considerar, pues de una baja resolución en la captura resulta una baja precisión.
- **Variables.** Un Sistema de Información Geográfica se distingue de una base de datos o de sistemas automatizados para dibujo, por su integración de variables a las estructuras de datos con conocimiento espacial. El uso de números para representar valores aporta una mayor flexibilidad y un nivel de precisión que no sería posible obtener con los métodos de la cartografía tradicional, dado que utiliza una herramienta poderosa como la estadística.
- **Atributos.** Un atributo es una característica particular de un elemento espacial. En el ámbito geográfico por ejemplo, se considera a la parcela como una entidad en la que algunos elementos descriptivos son: clave de la parcela, nombre de la parcela, área total, ubicación geográfica, vecinos inmediatos, nombre del propietario, domicilio, teléfono, año de adquisición. En este caso hay atributos referentes al espacio y al tiempo.

Tabla 5. Análisis comparativo de la utilidad de los modelos de datos.

	Ventajas	Desventajas.
Raster	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ El tratamiento de los algoritmos, es mucho más sencillo y simple de escribir que en los sistemas por vectores.</li> <li>❖ Los sistemas de cuadrícula son más adecuados para las entradas en forma de retícula como es el caso de las imágenes digitales de telepercepción, y</li> <li>❖ Los sistemas reticulares son más compatibles con los dispositivos de salida de forma reticular como las impresoras de líneas y muchas terminales gráficas.</li> <li>❖ Utiliza una matriz bidimensional de celdas ortogonales. Esto es con un ángulo de 90 grados y un tamaño uniforme.</li> <li>❖ Cada celda tiene un valor numérico ligado a una celda (la cual se ubica en columnas y renglones)</li> <li>❖ Las operaciones de sobreposición son muy fáciles de implementar.</li> <li>❖ Representación continua de los datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Las necesidades de almacenamiento son mucho mayores que la de los sistemas vectoriales,</li> <li>❖ La representación de un recurso depende del tamaño de la célula y resulta especialmente difícil representar adecuadamente los rasgos lineales, como las líneas topográficas, las carreteras, las líneas férreas, etc. a menos que la cuadrícula sea pequeña, y</li> <li>❖ La mayor parte de los datos de entrada están digitalizados en forma de vector y deben ser trasladados a formato reticular para poder almacenarlos en un sistema de este tipo.</li> <li>❖ Las relaciones topológicas son difíciles de representar.</li> </ul>
Vector	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Se necesita mucha menor capacidad de almacenamiento que en los sistemas reticulares. (Como sólo almacena las coordenadas de cada elemento gráfico, el gráfico casi no ocupa espacio.)</li> <li>❖ El mapa original puede representarse en su resolución original.</li> <li>❖ Múltiples atributos pueden ser fácilmente representados.</li> <li>❖ Utiliza puntos, líneas y polígonos para representar los fenómenos del paisaje. Se basa en relaciones topológicas entre los elementos.</li> <li>❖ Cada rasgo se ubica por coordenadas x, y o longitud, latitud y tiene un identificador descriptivo asociado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Los algoritmos para las funciones realizadas son más complejos y menos confiables que los de los sistemas reticulares,</li> <li>❖ Los datos espaciales de variación continua (como las imágenes por satélite) no pueden ser representados en forma de vector y hay que convertirlos a sistema reticular para procesar la información de ese tipo.</li> <li>❖ El nivel de detalle depende del método de compilación cartográfica y de la escala de trabajo.</li> <li>❖ El proceso entre vectores para representar las operaciones de sobreposición es más largo.</li> </ul>

### 5.4.3. Componentes principales de un SIG

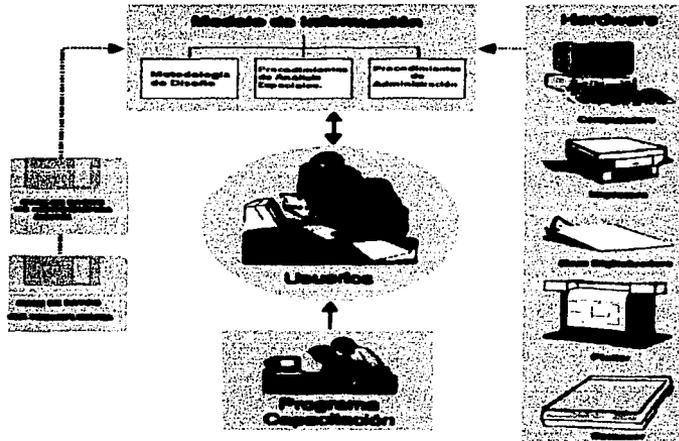
Los sistemas de información geográfica tienen los siguientes componentes: el equipo, los programas informáticos, los recursos humanos y la organización que permite al sistema funcionar. Siendo necesaria la revisión de cada uno de estos temas, para la mejor comprensión de éstos y de su interacción como partes de un SIG (Figura 7) (19, 21, 27).

#### Equipo

El hardware usado por un SIG es común a cualquier sistema computarizado de gestión de bases de datos, la cual cuenta con una unidad central de procesamiento (CPU), discos para almacenar datos y programas, cintas utilizadas para almacenar datos adicionales, pantalla de visualización y otras unidades periféricas para fines generales. Un SIG cuenta además, con varios componentes especializados de equipo, entre ellos, un digitalizador o dispositivo de exploración que se utiliza para convertir la

información geográfica obtenida de los mapas, en datos digitales y enviarla a la computadora; un trazador de gráficos para imprimir los mapas y otros gráficos del sistema; así como una pantalla de visualización para gráficos en color donde el usuario puede realizar la edición y visualización de los mapas espaciales.

Fig. 7. Principales componentes de un Sistema de Información Geográfica.



Los principales componentes del programa del SIG están destinados a desempeñar las siguientes funciones (46, 50):

- Entrada de datos (digitalización e ingreso de los atributos utilizando un teclado);
- Almacenamiento de datos y gestión de la base de datos;
- Análisis y tratamiento de datos;
- Interacción con el usuario (edición de gráficos / mapas); y
- Salida y presentación de datos (representación gráfica).

La introducción de datos, incluye la conversión de datos procedentes de los mapas, observaciones sobre el terreno, las imágenes procesadas obtenidas mediante satélites y fotografías aéreas en datos digitales compatibles.

Para la introducción de una gran cantidad de datos cartográficos, se utilizan los sistemas automatizados de digitalización como los dispositivos de exploración. Éstos eliminan el trabajo manual de seguir las líneas y aseguran resultados coherentes y repetibles cada vez que se explora un mapa. Aunque la exploración es más rápida que la digitalización, sólo pueden someterse a este proceso los mapas de buena calidad e incluso así, el resultado del producto no es por lo general tan satisfactorio. Sin embargo, una vez digitalizado un mapa, puede reproducirse y transformarse a voluntad. En muchos casos, los inventarios de los recursos naturales están incompletos o atrasados y hay que revisar la información de los mapas antes de digitalizarla.

**Almacenamiento y gestión de la base de datos** consiste en determinar la forma en que los datos han sido estructurados y el sistema de preguntas, análisis e informes de los atributos relacionados a las características sobre los mapas. El **procesamiento de datos** abarca dos tipos de operaciones: 1) la que consiste en preparar los datos, eliminando los errores y actualizándolos, o bien haciéndolos compatibles con otro conjunto de datos y 2) el de analizar los datos para dar respuestas a las preguntas que pueda formular el usuario al SIG. El procesamiento de datos puede referirse a los aspectos espaciales y no espaciales de la información o ambos. Las operaciones típicas de elaboración automatizada de datos incluyen la superposición de diferentes mapas temáticos, la adquisición de información estadística sobre los atributos, el cambio de escala, la adaptación de los datos a las nuevas proyecciones, el cálculo de las superficies y los perímetros y la elaboración de perspectivas tridimensionales.

**La presentación de los datos** es la forma en que se expone la información al usuario. Puede hacerse mediante visualización en pantalla (visualización transitoria) o en mapa impreso (copia impresa), realizada con un trazador, registrada magnéticamente o de información impresa en forma digital (17).

#### **5.4.4. Análisis espacial y modelación cartográfica**

El análisis espacial se origina con el desarrollo de la geografía cuantitativa y estadística en los 50's. En un principio se basó en la aplicación de métodos estadísticos a los datos espaciales existentes.

Con el análisis espacial se amplían las posibilidades de las consultas tradicionales a la base de datos, al poder analizar los datos que se basan en su localización. Por ejemplo, podemos buscar las frecuencias de un tipo específico de pendiente en un mapa de erosión de una zona de cultivo y obtener como resultado un mapa de riesgo de erosión de suelo. Este mapa de riesgo no existía en la base de datos original, pero se generó con los datos ya existentes y de un proceso de relaciones específicas. En la Tabla 6, se

resumen las operaciones de análisis espacial que se aplican a los diferentes tipos de datos geográficos (28, 37).

**Tabla 6. Tipos de análisis espaciales aplicados a datos geográficos.**

Tipo de dato geográfico	Método de análisis	
Punto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vecino cercano</li> <li>• Métodos cuadrados</li> <li>• Análisis de redes y métodos de teoría de gráficas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensión de fractales</li> <li>• Detección de orillas</li> </ul>
Área	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de áreas</li> <li>• Autocorrelación espacial</li> <li>• Regresión espacial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regionalización</li> <li>• Interacción espacial</li> <li>• Determinación de sitios idóneos</li> </ul>
Superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proceso de imágenes</li> <li>• Mapeo bayesiano</li> </ul>	

Se considera que un buen punto de partida para el análisis espacial es el mapeo generado por el SIG, dado que es el resultado de una serie de preguntas hechas por el usuario que implican operaciones de análisis espacial. Por ejemplo, los patrones del mapa significan algo ¿Cuáles serán las causas de un patrón particular?, ¿Se pueden predecir o modelar estos patrones?, ¿Se pueden manipular con herramientas de planeación? Estas preguntas se agrupan en dos tipos (48):

- La descripción espacial de los patrones (cuestionan sobre descripciones numéricas)
- La relación espacial de los mismos (cuestionan aspectos complejos; por ejemplo, la causa de un patrón de erosión).

Los Sistemas de Información Geográfica proveen un mayor rango de capacidades de análisis que pueden operar con topología de datos espaciales, así como con datos no espaciales y atributos.

Los métodos de modelado espacial se pueden utilizar para crear un número ilimitado de capacidades de análisis con los datos (30, 32):

- Correlación de varias funciones simples de análisis.
- Diseño de programas de simulación.

La modelación cartográfica es una metodología de procesamiento de datos geográficos, mediante la descomposición de (29, 33):

- Los datos provenientes de diversas fuentes.
- Las capacidades del procesamiento de datos.
- Las especificaciones de control del procesamiento de datos, en componentes que pueden ser recombinados con cierta facilidad y flexibilidad.

El modelo cartográfico de un área geográfica se representa como una serie de capas o coberturas de dos o más dimensiones, en donde cada unidad de espacio cartográfico es representada por un par de coordenadas cartesianas, la cual se asocia a una característica única. Asimismo, cada cobertura contiene información sobre la resolución, proyección, orientación, título y zonas.

Cada zona es una condición geográfica con una característica almacenada en una tabla que la distingue de otras; conteniendo una etiqueta y una serie de unidades de espacio cartográfico. Cada unidad de espacio cartográfico en un sistema raster, correspondería a un píxel o celda. En cambio en un sistema vector, por el tipo de objetos espaciales que maneja, correspondería a un área asociada a un centroide o etiqueta (Figura 8).

En el álgebra de mapas de la modelación cartográfica, hay variables que se representan como coberturas, las cuales se procesan mediante una serie de operaciones cartográficas (reclasificación de zonas, combinación de coberturas, cálculo de distancias y direcciones). Cada una de estas operaciones acepta como entrada una o más coberturas que resultan en un mapa que a su vez se puede utilizar como acceso a otro proceso, de modo que se generan operaciones complejas que permiten construir modelos (39, 47, 48).

Con el resultado obtenido, es posible efectuar un análisis de álgebra de mapas, en el cual los datos de los mapas de temas específicos, como el de uso de suelo o densidad de población, se procesan como variables que, a través de funciones matemáticas específicas se pueden transformar y combinar para formar nuevas coberturas. Por este motivo, la modelación cartográfica se considera como un sistema orientado a funciones matemáticas y lógicas que lo distingue de otras metodologías de análisis (38).

**Fig. 8. La modelación cartográfica tiene distintos tipos de despliegue gráfico y algebraico relacionados.**



Entre las técnicas de modelación cartográfica se distinguen dos variantes:

- Los modelos que sólo responden a preguntas del tipo ¿Cómo puede ser? y,
- Los modelos que sirven para resolver problemas, es decir que responde a ¿Qué debería ser?

Esta distinción se puede expresar en función de dos modelos: descriptivos y prescriptivos. Las decisiones que se toman para resolver problemas relacionados con el espacio por lo general, se hacen, a simple vista. Sin embargo, uno de los objetivos fundamentales de los modelos es mejorar la habilidad para generar y evaluar alternativas tendientes a resolver un problema determinado.

### **Modelos Descriptivos**

Aun cuando el objetivo de estos modelos es describir fenómenos sobre la superficie terrestre, se puede hablar de la aplicación de dos técnicas:

- Las que analizan en diferentes niveles de significación, al descomponer los datos y
- Las que sintetizan los datos cartográficos, al reorganizarlos en contextos particulares.

Estas técnicas de modelación cartográfica son similares a los métodos estadísticos. Sin embargo, lo que las distingue de éstos, es su habilidad para manipular los objetos que están espacialmente interrelacionados, asociándose con:

- El análisis de la posición cartográfica: la cual, se expresa a través de la medición de distancia y/o dirección. Estas mediciones indican:
  - La posición absoluta con respecto al marco de referencia de renglones-columnas, el cual comparten todas las celdas. Esta posición absoluta requiere que cada celda involucrada se asocie a dos coordenadas, lo cual se puede obtener con un SIG.
  - La posición relativa con respecto a una serie de celdas particulares, para lo cual es necesario que todas las posiciones involucradas se relacionen con un marco de referencia común. Las posiciones relativas comúnmente se expresan en función de distancia y/o direcciones entre las celdas.
- El análisis de la forma cartográfica: se expresa a través de las mediciones de tamaño y forma. Refleja las relaciones de distancia y dirección dentro de la forma y varían según la forma, que puede ser puntual, lineal o real.
- La síntesis de las características cartográficas: se aplica en estudios como la planeación del uso del suelo, lo que implica una relación más subjetiva entre el usuario de los datos geográficos y lo que los datos representan.

Las técnicas de modelación cartográfica descriptivas se utilizan para exponer los hechos significativos que resultan de una serie de datos y también para expresar el significado que un usuario puede atribuirles, lo cual se puede expresar en función de formulación e implementación (40, 41, 42).

### **Modelos Prescriptivos**

Estos modelos se desarrollan con el fin de representar hechos y así poder simular procesos, expresar juicios o predecir fenómenos.

Los problemas que abordan estos modelos implican un modo de asignación cartográfica, esto es, el proceso de seleccionar celdas para cumplir con los objetivos planteados. Esta técnica contempla tres pasos fundamentales:

- Plantear un problema
- Proponer una solución al problema
- Evaluar los resultados obtenidos.

#### **5.4.5. Toma de decisiones en un Sistemas de Información Geográfica**

La calidad de las decisiones está en función de la información de la que se dispone. La necesidad de la toma de decisiones se presenta a todos los niveles, por lo que se distinguen principalmente tres (50):

- Nivel estratégico. Las decisiones que se toman a este nivel afectan a toda la organización. Se consideran los objetivos de la organización, como un todo y se establecen estrategias para alcanzarlos. Son decisiones a largo plazo.
- Nivel táctico. La toma de decisiones se realiza localmente, es decir, en áreas específicas. Las decisiones son al nivel de planeación y de control y son consideradas a mediano plazo.
- Nivel operativo. Las decisiones son únicamente enfocadas al control de áreas para el cumplimiento eficiente de ciertas tareas. Se toman a corto plazo, pues constituyen acciones inmediatas para resolver un problema determinado.

## **6. MATERIAL Y MÉTODO**

### **6.1. Material**

#### **Material Cartográfico**

- Ortofoto Digital E14B41f (Feb de 1994, INEGI). Escala 1:20,000
- Modelo Digital de Elevación (INEGI). E14B41. Escala 1:50,000
- Mapas Temáticos y Topográfico (INEGI) E14B41. Escala 1:50,000
- Espaciomapa de la Ciudad de México (1995, INEGI) E14-2. Escala 1:250.000
- Carta Geográfica del Estado de México (1995, EGECEM). Escala 1:250,000
- Fotografía aérea (1986, INEGI). Escala 1:37,000

#### **Material de Campo**

- Brújula con clisímetro.
- Equipo de radio comunicación.
- Cámara fotográfica
- Reactivos
- Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS)
- Prensa botánica
- Binoculares
- Guías de identificación taxonómicas de las especies forestales de la zona
- Pala recta y palas de jardinería
- Cintas métricas de 3 y 50metros
- Altimetro

#### **Equipo de Cómputo**

- 1 Computadora
- Procesador Pentium II (400 MHZ) o superior.
- 64 Mb de memoria RAM o superior
- 4 Gb de memoria en disco duro o superior
- Tarjeta de video
- Lector de CD-ROM 48X
- Sistema operativo Windows 98 2ª edic. o posterior
- Impresora o plotter.

## **6.2. Método**

### **6.2.1. Zona de estudio**

En el sistema orográfico conocido con el nombre de Sierra Nevada, localizado a 50 Km. de la Ciudad de México, se elevan dos volcanes, el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, que a partir de la cota de los 3600 msnm constituyen el Parque Nacional Iza-Popo, con una superficie de 25679 Ha. El primer esfuerzo conservacionista en el área de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl se realizó en 1929 con la creación de la reserva forestal de los bosques de la hacienda de Zoquiapan en el Estado de México y la de Ixtalahuacan en Puebla. Pero el decreto de esta zona como Parque Nacional se remonta al 29 de octubre de 1935, cuando el entonces presidente Lázaro Cárdenas firma el decreto, por el cual se establece la protección permanente y definitiva de la vegetación y la fauna silvestre endémica de la zona, con el objetivo de conservar los regímenes hidrológicos, el suelo, el clima de la región, y a los dos volcanes que alberga esta zona (5, 45).

#### **Localización**

Se encuentra ubicada en el Eje Neovolcánico Transversal específicamente en la Sierra Nevada, en colindancia con el Valle de México. La ubicación política de la zona de estudio es el Estado de México, de donde se abarcan a algunas comunidades, las que se consideraron como su área de influencia, como son: Amecameca, San Pedro Nexapa, Las Delicias, Atlautla de Victoria y Ozumba de Alzate. Los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl se encuentran ubicados entre los 18°59' y 19°16'25'' latitud norte y 98°34'54'' y 98°42'08' longitud oeste. Localizándose la zona de estudio entre las coordenadas geográficas 19°00' y 19°08' latitud norte y 98°02' y 98°09' longitud oeste (8, 11, 14).

La principal vía de acceso desde la ciudad de México es la carretera 190-D (México-Puebla) hasta la desviación hacia la Ciudad de Cuahutla (Ruta 115). Esta carretera pasa por las afueras de Chalco, continuando hasta la ciudad de Amecameca, y a dos kilómetros más adelante, se encuentra la desviación hacia el albergue "Vicente Guerrero" en Tlamacas. A partir de esta desviación, se sigue una carretera pavimentada. Por la zona sur de la ciudad de México, se puede llegar al parque siguiendo la carretera Xochimilco-Oaxtepec hasta Tenango de Tepopula. Desde este poblado se toma la carretera que llega a Ozumba pasando primero por Juchitepec. En este punto se entronca con la ruta 115, se debe de dar vuelta a la izquierda con dirección a Chalco hasta encontrar la desviación a Tlamacas. Otra vía de acceso es la terracería que sale de la Autopista México-Puebla y que da acceso a la parte norte del parque. Por

otra parte, existen muchas brechas y veredas, algunas utilizadas por habitantes de los alrededores y otras por los paseantes que visitan al parque (11, 14).

### **Potencialidad Recreativa del Parque Nacional Izta-Popo**

El potencial recreativo del PN Izta-Popo es muy elevado, como lo demuestra el estudio realizado por Boo para el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF). Donde según los muestreos, los visitantes del parque lo encuentran interesante desde los siguientes puntos de vista: el recreativo, el estudio geológico, la observación de la vida silvestre dentro del parque y otras actividades relacionadas con la naturaleza. Destacan el montañismo y el alpinismo como principales atractivos, que motivan la afluencia de los visitantes. Dentro de los puntos más relevantes destacan el ecológico y el de importancia arqueológica de los volcanes (45).

### **Relevancia Ecológica**

El PN Izta-Popo a pesar de su reducida extensión territorial, es muy importante desde el punto de vista geográfico y botánico. Ello se debe a su ubicación dentro del Eje Neovolcánico Transversal, el cual, incluye a las montañas más altas de México y la presencia de un marcado gradiente altitudinal. Siendo esta combinación de factores la que propicia el desarrollo de diversos tipos de vegetación, los que representan una riqueza florística muy importante. Al comparar las diferentes comunidades vegetales, los bosques de coníferas y de encinos (altamente representados en los volcanes) son los ecosistemas que tienen un mayor número de especies. Otra comunidad muy importante por la abundancia de los endemismos, que se ubica en la zona, es la vegetación alpina. Dentro de las cotas de los 2500 a los 2800 msnm, se tiene otra de las comunidades vegetales importantes en nuestro país: el bosque mesófilo de montaña, que sólo se presenta en manchones discontinuos y en condiciones ambientales muy especiales. En estas comunidades se encuentran tanto especies holárticas como neotropicales. Resultado de esta diversidad de comunidades, es que en la zona existe el 44.13% de las 2071 especies reconocidas para la Cuenca de México.

La historia evolutiva de la fauna de la Cuenca de México y por lo tanto de la Sierra Nevada donde se localiza el PN Izta-Popo, ha tenido una influencia notable por las características fisiográficas propias de la Provincia Biótica Volcánico Transversal, esto se refleja en una alta diversidad de especies en la región que representan hasta el 30% del total de mamíferos existentes en el país.

En cuanto a aves, la zona destaca por el alto número de especies residentes (75%) y porque funciona como un punto de transición de las rutas migratorias del Pacífico y del Golfo de México. Por último la mayoría de las especies están consideradas en los proyectos prioritarios de conservación de varias instituciones norteamericanas (8, 14).

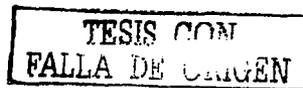
### **Importancia Arqueológica**

Los siguientes datos fueron tomados del diagnóstico de los recursos culturales hechos por Pantoja y Acuña (1996) (citado en 5). En la época prehispánica los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl eran considerados como dioses, dada su majestuosidad y belleza, además de su cercanía con Tenochtitlan. Desde entonces han sido objeto de culto religioso y lugar de peregrinación hasta nuestros días. Otro motivo de interés en los volcanes es que por ellos pasaban importantes rutas comerciales que comunicaban a los diferentes pueblos del altiplano con los de Puebla, Oaxaca y Tlaxcala, principalmente.

Debido a la veneración de que fueron objeto estas montañas, se edificaron diferentes adoratorios a diferentes altitudes y en diversas cañadas, con el fin de hacer llegar "más pronto" las plegarias a los dioses. De estos adoratorios se han identificado al menos 17 sitios arqueológicos: 11 en el Iztaccíhuatl y 6 en el Popocatepetl. Todos estos sitios están relacionados con el dios Tláloc (Dios del agua y de la lluvia), deidad imprescindible en cualquier sociedad agrícola que, además fue y sigue siendo objeto de leyendas e historias de tradición oral (14, 45).

Como resultado de las excavaciones de diversos sitios que presentaban restos arqueológicos en estas montañas se presentan algunos datos interesantes:

- Existe una cerámica específica, conocida como "de los volcanes", caracterizada por la presencia de vasos antropomorfos negros con la representación de Tláloc.
- Se han ubicado dos tipos de sitios arqueológicos:
  - A cielo abierto, algunos con estructura arquitectónica.
  - Cuevas o abrigos rocosos, algunos de los cuales tienen pinturas rupestres.
- Todos los sitios han sido clasificados como pertenecientes a la etapa posclásica.
- El culto más importante es el de Tláloc; por ello están ligados a elementos acuáticos tales como manantiales y arroyos.
- Aparentemente existe una relación entre la posición de los diferentes sitios y ciertos patrones de orientación astronómica. Al menos en el Iztaccíhuatl, esto se infiere por la orientación del sitio arqueológico Nahualac, El Caracol y El Pecho.



### Medio Biótico y Abiótico del Parque Nacional Izta-Popo

Las estructuras más sobresalientes de la Sierra Nevada están representadas por los estratovolcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, constituidos principalmente por rocas ígneas extrusivas y piroclastos de diferentes composiciones, así como suelos geológicos de origen aluvial de diversas edades. Debido a que no se han presentado perturbaciones tectónicas significativas desde que se depositaron las lavas y piroclastos en el área aludida, no se detectan más detalles estructurales sobresalientes.

El relieve es un factor de importancia en el desarrollo de la disección horizontal a pesar de su edad (plio-cuaternario), favorecida por la litología, el clima y las pendientes. La disposición de aguas superficiales perennes es escasa en la mayor parte del área, con excepción de los escurrimientos que provienen de los deshielos del Iztaccíhuatl y de las abundantes precipitaciones pluviales que ocurren en verano.

La mayoría de los suelos edáficos, son derivados de material piroclástico, poco desarrollados; tienen alto contenido de materia orgánica, retención de humedad, alto porcentaje de arena, humus, fijación de fósforo y elevada capacidad de intercambio iónico, por lo que son muy limitados para fines agrícolas (43).

### Edafología

En la región ocupada por los cuatro volcanes altos (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Telapón y Tláloc), el material parental de los suelos está formado por cenizas volcánicas y pómez de diferentes edades, lo que ejerce un efecto sobre el desarrollo de los andosoles que ocupan grandes superficies (8, 43).

En 1975, Domínguez (citado en 5) hace un estudio ecológico del volcán Popocatepetl de la parte del Estado de México en un transecto comprendido desde el rancho de Tlamacas (4200 msnm) hasta San Pedro Nexapa (2900 msnm); realiza una diferenciación altitudinal basada en el tipo de vegetación existente en las diferentes fases de suelos en el volcán.

Con los tipos de vegetación caracterizados se tuvieron tres zonas que corresponden a:

- **Páramo de altura (4000 msnm):** El suelo es de ceniza volcánica y pómez que aflora fragmentando en las laderas con bastante declive, el suelo es negro de textura arenosa (84-96% de arena, 4-14% de limo y cuando existe 2% de arcilla). Se desliza con facilidad por gravedad, viento y agua. La vegetación está compuesta principalmente por gramíneas. La Capacidad de

Intercambio Catiónico Total (CICT), el porcentaje de nitrógeno, calcio y magnesio intercambiable se encuentran en escasa proporción.

- **Bosque de pino (3400-3800 msnm):** El color del suelo es negro y café muy oscuro en húmedo por ser derivado de cenizas volcánicas; el lipilli se observa en capas de color café olivo. La textura es arena migajonosa y migajón arenoso; un pH generalmente ácido; el porcentaje de materia orgánica es mayor en la superficie; el alófono es abundante después del horizonte orgánico que abarca los primeros 10 cm.
- **Bosque de oyamel (2900-3300 msnm):** Suelos mejor desarrollados, de color gris oscuro y café grisáceo oscuro en seco y gris muy oscuro y café muy oscuro en húmedo; la textura es migajón arenoso y arena migajonosa; el pH es de 6-6.5; el porcentaje de materia orgánica es de 8-11%. La CICT está en relación con el porcentaje de MO y la arcilla; el alófono es escaso en la superficie.

### Hidrología

Los recursos hídricos que proporcionan los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl provienen principalmente del deshielo y de las precipitaciones pluviales. Las corrientes superficiales del PN Izta-Popo se pueden clasificar como perennes<sup>5</sup> e intermitentes<sup>6</sup>.

La red hidrográfica del PN Izta-Popo es muy vigorosa, lo que se traduce en una mayor densidad de afluentes con corrientes más fuertes y por consiguiente, en una acentuada actividad morfogenética que se distribuye diferencialmente de acuerdo a la morfología vertical de los volcanes. Por lo tanto, se ha sugerido una distribución altitudinal de los recursos hídricos del PN Izta Popo de acuerdo a su origen y a su actividad morfogenética (5, 8).

- **Zona de glaciación.** Esta zona abarca la franja vertical que va desde la cima de los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl hasta los 4500 msnm. La precipitación cae en forma de nieve o granizo, presentándose una superposición de capas que permiten la formación de hielo y, en algunos casos glaciares. La cota de los 4500 msnm, es el límite inferior de esta zona porque a esta altitud la ablación<sup>7</sup>, que depende de la precipitación, el calor y la humedad, es más abundante.
- **Zona de intemperismo y erosión glacio-pluvial.** De los 4000 hasta los 4500 msnm las aguas pluviales escurren inmediatamente, previa saturación de los suelos de poco espesor y funden el

<sup>5</sup> Las corrientes perennes son aquellas que se mantienen durante todo el año, aún en la época de estiaje, ya que son alimentadas por manantiales o por el deshielo.

<sup>6</sup> Las corrientes intermitentes se producen sólo en el momento de la lluvia e inmediatamente después de ésta.

<sup>7</sup> Es decir, la disminución del volumen de una masa de nieve o hielo de un glaciar por fusión.

hielo que se encuentra diseminado a estas alturas. Los escurrimientos son incipientes y los manantiales hacen su aparición, los perennes alimentados por los deshielos y los temporales por las lluvias.

- **Zona de erosión fluvial.** Entre los 3500 a 4000 msnm, el caudal de las corrientes superficiales provienen de la ablación superior y de la lluvia, abundante a estas alturas, además de la presencia de pronunciadas pendientes.
- **Zona de intensa erosión.** De los 2500 a 3450 msnm aproximadamente, la capacidad de las aguas ejercen una vigorosa erosión, dado el aumento del volumen de agua en los arroyos de fuertes pendientes.
- **Zona de depósitos proluviales.** Entre los 2300 y los 2500 msnm, los arroyos depositan los azolves que arrastraron por los flancos de los volcanes. La acumulación de sedimentos forma conos de deyección o abanicos aluviales (depósitos proluviales). Estos depósitos se extienden a todo lo largo del frente occidental de la Sierra Nevada, con amplitudes de 4 Km en promedio, aunque alcanzan hasta 10 Km en algunas partes. Los mayores se observan en especial al sur del arroyo de la Cañada de Nexpayantla y cubren desde los 2400-2500 msnm en la planicie de Amecameca. En estas zonas se inician los aprovechamientos del agua para regadío, generación de energía, usos domésticos, etc. también aquí se localizan los vasos de almacenamiento (bordos y represas) puesto que al construirlos se procura situarlos después de que la corriente haya depositado la mayor parte de los materiales que arrastraron los torrentes y arroyuelos de las zonas más altas que la alimentan.

La Sierra Nevada al concordar con la línea que divide las aguas tributarias del Océano Atlántico de las del Océano Pacífico, los arroyos que recorren la vertiente occidental van a desembocar al norte de los canales de la antigua zona lacustre de Chalco y al Lago de Texcoco, que pertenecen a la Cuenca de México. Esta fue una cuenca endorreica que, en virtud de las obras del Gran Canal de Desagüe del Valle de México, actualmente es tributaria del río Tula, afluente del río Pánuco y desagua en el Golfo de México. Al sur, todas las corrientes contribuyen a formar el río Cuautla, a su vez tributario del Balsas. En la vertiente oriental, las corrientes del norte del macizo corresponden a la subcuenca del río Atoyac; las australes, a la subcuenca del río Nexapa, pero en este caso, ambos ríos son importantes tributarios de la Cuenca del Balsas. Este último desemboca en el Océano Pacífico (5, 43).

**Clima**

Para determinar el clima del macizo montañoso de los volcanes Izta-Popo, se cuenta con siete estaciones (Tabla 7).

**Tabla 7. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas circundantes a la zona de estudio.**

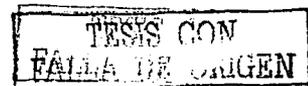
Estación	Altitud (msnm)	Latitud Norte	Longitud Oeste
San Rafael	2530	19°13'	98°46'
Amecameca	2470	19°08'	98°46'
Hueyatla	3557	19°05'	98°39'
Río Frio	3000	19°20'	98°40'
Tetela del Volcán	2200	18°54'	98°45'
San Pedro Nexapa	2700	19°05'	98°44'
San Juan Tetla	3200	19°12'	98°35'

El clima y vegetación predominantes es del tipo subhúmedo con asociaciones vegetativas de bosque de oyamel, bosque de pino, encino-pino, pino-encino y pastizal inducido (5, 13), que rige sobre todo en las partes de lomerío.

**Tabla 8. Tipo de clima (según Köppen) de acuerdo a cada una de las estaciones meteorológicas.**

Clave	Nombre de la Estación	Clima
15-006	AMECAMECA	C(W2°)(W)b(i)g
15-024	HUEYATLACO CAMPAMENTO	C(E)(W')(W)Cig
15-200	SAN PEDRO NEXAPA	C(W2')(W)big
17-046	TETELA DEL VOLCÁN	C(W2')(W)bigx
21-093	SANTA RITA TLAHUAPAN	C(W2')(W)big

A continuación se describe el análisis de las estaciones meteorológicas implicadas en la zona de estudio (Tabla 8):



- **Amecameca Cb(w2)(w')gw''**

De clima templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano; la temperatura media anual es de 14°C; el mes más frío es enero con 10.8°C y el más cálido es mayo con 16.2°C, teniendo la presencia de canícula<sup>8</sup>. La precipitación media anual es de 928.4 mm; febrero es el mes más seco con 6.9 mm y septiembre el más lluvioso con 185.6 mm. El porcentaje de lluvia invernal es de 3.4%, por la precipitación se considera el más húmedo de los subhúmedos. Su cociente de precipitación y temperatura (P/T) es de 66.3, por sus condiciones de temperatura se considera templado con verano fresco largo. Su oscilación térmica es de 5.4 por lo que se considera con poca oscilación; presenta una marcha anual de la temperatura tipo Ganges y se considera intertropical.

- **San Pedro Nexapa Cb(w)kig**

Es templado subhúmedo con régimen de lluvia de verano, con una temperatura media anual de 13.56°C. Los meses más fríos corresponden a diciembre y enero con 11.4°C y el más cálido es mayo con 15.95°C, con una precipitación anual total de 910 mm. El porcentaje de lluvia invernal es de 5.04. El P/T es de 67.15, por las condiciones de temperatura se considera semifrío con verano fresco largo; su oscilación térmica es de 4.55 por lo que se considera isotermal. Presenta una marcha anual de temperatura tipo Ganges y se considera estación intertropical

El régimen encontrado en todas las estaciones es de verano. Las regiones con mayor cantidad de precipitación (>1000 mm) son aquellas que se localizan en las partes más altas de las laderas de las montañas de la sierra (entre los 3000-4000 msnm). Están directamente expuestas a los vientos húmedos, asociados con los alisios durante el verano. Por sus características de precipitación, se clasifican dentro de los más húmedos de los subhúmedos, correspondiendo a San Pedro Nexapa, Amecameca, San Rafael y Río Frío.

La precipitación invernal que se presenta en la región es escasa (5-10.2%) y obedece a la presencia de "nortes húmedos"<sup>9</sup>. Hay presencia de canícula en las estaciones de Río Frío, Hueyatlaço y Amecameca.

Se aprecia que la temperatura media del aire disminuye con la altura, especialmente en la región de las sierras en donde se encuentran las isotermas de los 4°C situadas en los volcanes Izta-Popo, este

<sup>8</sup> Es decir, periodo de sequía intraestival durante la temporada de lluvias.

<sup>9</sup> Masas de aire polar modificadas en su paso por el Golfo de México y que logran traspasar las laderas de la Sierra Madre Oriental sin perder totalmente su humedad.

gradiente se explica por el relieve<sup>10</sup>. Las temperaturas máximas promedio (entre 9.2-19.8°C) se presentaron en mayo en casi todas las estaciones, siendo San Rafael la que las presenta en abril. Pudiendo observar que de manera general, en el área se presenta una marcha anual de temperatura del tipo Ganges<sup>11</sup>. Las temperaturas mínimas son en diciembre y enero con valores promedio entre 6.4-15.6°C, aunque existe un gradiente térmico en la zona, para el caso particular de Amecameca, la oscilación térmica es muy poca (5-7°C), San Rafael, San Pedro Nexapa, Río Frio, Hueyatlaico y Tetela del volcán son isotermales.

Los vientos dominantes en la región, se presentan durante el verano, cuando la zona intertropical de convergencia se desplaza hacia el norte y es dominada por los vientos alisios en lo que se refiere a la circulación general. Sin embargo, durante el invierno, al desplazarse hacia el sur, se tiene la influencia de las masas de aire polar (Nortes húmedos y secos), los cuales justifican el pequeño porcentaje de la precipitación invernal en la región. Para el caso de Amecameca, estación situada justo donde la orografía comienza a ascender, la dominancia de los vientos a lo largo del año, es de norte-sur.

### Vegetación

La zona de estudio se ubica dentro de la zona templado-subhúmeda del país, la que comprende los principales sistemas montañosos de México, tales como las Sierra Madre Oriental, Occidental, del Sur de Chiapas, el Eje Neovolcánico Transversal, las montañas de Oaxaca y el Macizo Central de Chiapas. La vegetación típica de estos ecosistemas son los bosques de coníferas y encinares.

A nivel general, las especies reportadas concuerdan con la flora característica de montañas de México y Centroamérica, cuyos representantes son los siguientes géneros: *Abies*, *Arceuthobium*, *Cupressus*, *Fucsia*, *Geranium*, *Halenia*, *Lamourouxia*, *Rubus* y *Thalictrum*.

A pesar de que no existen muchos géneros característicos de las regiones muy húmedas de las montañas de México, se puede mencionar la presencia de algunas especies con este tipo de afinidad como *Acer negundo* var. *mexicana*, *Celastrus pringlei*, *Citharexylum affine*, *Cornus excelsa*, *Fraxinus uhdei*, *Ilex toluicana*, *Meliosma dendata*, *Oreopanax xalapensis* y *Symplocos prionophylla*. La presencia y distribución de estas plantas, al igual que los datos obtenidos del registro fósil indican la existencia indudable de climas más húmedos que el actual.

<sup>10</sup> Conforme aumenta la altitud, el grosor de la capa atmosférica disminuye y por lo tanto, la pérdida de calor es más rápida.

<sup>11</sup> Es decir, que son lugares que presentan el mes más caliente antes del solsticio de verano.

Con respecto a las relaciones florísticas a nivel más amplio, destacan los elementos boreales u holárticos, por ejemplo: *Abies*, *Alnus*, *Cornus*, *Crataegus*, *Juniperus*, *Monotropa*, *Pinus* y *Quercus*. Esta afinidad geográfica es la que muestran las comunidades forestales. También son comunes los géneros de las montañas de Sudamérica, entre los que pueden mencionarse: *Bomarea*, *Cestrum*, *Chaptalia*, *Fuchsia*, *Monnina*, *Pernettya*, *Stevia* y *Tillandsia*.

Esta convivencia de plantas de afinidades boreales y meridionales se presenta aún en el piso alpino, por encima del límite de la vegetación arbórea, donde se encuentran especies comunes con los andes sudamericanos: *Alchemilla pinnata*, *Cardamine flaccida*, *Luzuea racemosa* y *Plantago rubulosa*. Otras cuya área de distribución abarca las zonas frías del hemisferio norte son: *Limosella aquatica*, *Monotropa hipopithys*, *Montia Chamissoi*, *M. fontana* y *Sagina procumbens*.

Otro elemento geográfico importante dentro de la región montañosa del valle lo forman los géneros de distribución restringida a México o que sobrepasa ligeramente sus límites. Se puede citar como ejemplos a *Lasiarrhenum*, *Nectouxia*, *Selloa* y *Weldenia*.

Del total de especies reportadas para los volcanes, 329 (36%) tienen su límite de distribución dentro de la República Mexicana, 178 (20%) para la región Centro-Sur, 106 (12%) para el Eje Neovolcánico Transversal y 10 (1%) para el Valle de México.

De las especies endémicas, vale la pena resaltar aquellas que sólo se conocen en el Valle de México, como *Agrostis calderoi*, *Chusquea bilimekii*, *Festuca rzedowskiana*, *Eupatorium isolepsis*, *E. parayanum*, *E. ramireziorum*, *Senecio parayanus*, *Iresine ajuscana*, *Sedum clavifolium* y *Cucurbita radicans* (5, 8).

Las comunidades vegetales aquí descritas son las que han reporta para el PN Izta-Popó (5).

- **Bosque de Aciculifolios**

Es la comunidad más ampliamente distribuida en la zona; se presentan en altitudes que van desde los 2500 a 4000 msnm, sobre suelos someros y a menudo rocosos. En general, son bosques abiertos perennifolios, donde las especies arbóreas dominantes pertenecen al género *Pinus*, que pueden alcanzar una altura de 20 a 30 m. En las partes bajas se encuentran codominando varias especies de este mismo género, tales como *P. montezumae*, *P. pseudostrabus* y *P. rudis*, entre otras.

El estrato arbustivo es muy escaso, aunque en ocasiones algunas especies son favorecidas por el efecto de incendios como es el caso de *Lupinus montanus*. Otras especies comunes en este estrato son: *Buddleia parviflora*, *Ribes ciliatum*, *Eupatorium spp.*, *Salix paradoxa*, *Eringium spp.* y *Senecio spp.*

El estrato herbáceo presenta mayor cobertura que el arbóreo y está compuesto por gramíneas amacolladas o "zacates"<sup>12</sup>. Las especies más frecuentes en este estrato son. *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Calamagrostis tulicensis*, *Festuca tulicensis*, *F. amplissima*, *Alchemilla procumbens*, *Arenaria spp*, *Stipa ichu*, *Lupinus spp* y *Penstemon spp*.

Entre los 2500 y 3100 m de altitud se localizan bosques de *Pinus montezumae*, en algunos sitios estos bosques son inespecíficos, pero en otros lugares este pino se encuentra asociado con otras especies como *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Q. crassipes*, *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis*, *Salix oxylepis*, *Arbutus glandulosa*, *Buddleia parviflora*. En estos sitios el suelo es andosol profundo y la precipitación varía de 1100-1900 mm.

De los 2400 a los 2900 msnm, predomina el *P. pseudostrobus* en la vertiente o ladera norte, desde el oriente de Río Frio hasta la parte media y sureste de los volcanes, asociado con *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. montezumae*. Los bosques de *P. rudis* se encuentran principalmente entre los 2600-3000 m, en suelos someros y pobres, por lo que a esta comunidad se le llama pinar xerófilo. Los árboles son de talla mediana (10-20 m) y en ocasiones se presentan en combinación con algunas especies de *Quercus*, *Juniperus* o *Alnus*.

Los bosques de *P. hartwegii* se localizan a mayor altitud, de los 2700 a más de 4000 msnm; el extremo superior marca el límite de la vegetación arbórea: 3600-3800 msnm en Paso de Cortés, entre los 3900-4100 msnm en la parte oeste del Iztaccihuatl y al noroeste del Popocatepetl de los 3800-4000. Los bosques por lo general son de 5-20 m, poco densos o francamente abiertos como en las zonas cercanas a los pastizales subalpinos. Entre las especies acompañantes se presentan principalmente compuestas: *Senecio orizabensis*, *S. procumbens*, *S. mairetianus*, *Selloa plantaginea*, *Hieracium mexicanum*; y gramíneas: *Calamagrostis tolucensis*, *Festuca orizabensis*, *F. tolucensis*, *F. livida*, *Agrostis vinosa* y *Poa orizabensis*; y otras herbáceas importantes son: *Alchemilla pinnata*, *A. vulcanica*, *Lupinus aschenbornii*, *L. montanus*, *Penstemon gentianoides*, *P. roseus* y *Vacinium geminiflorum*. Este bosque es característico de los volcanes.

- **Bosques Mixtos**

En la Sierra Nevada el bosque de Pino-Aile se presenta entre los 3350 y los 3500 msnm, restringido a las vertientes norte y este, donde los suelos dominantes son andosoles poco profundos.

<sup>12</sup> De acuerdo con Rzedowski (1979), esta característica es una estrategia adaptativa, correlacionada con los frecuentes incendios y los drásticos cambios de temperatura, característicos de las zonas de mayor altitud.

- **Bosque de Pino-Encino**

El Bosque de pino-encino se localiza principalmente entre los 2350 y 2600 msnm. Son bosques bajos con árboles de 8 a 12 m de alto, poco densos sobre suelos andosoles. Según el lugar, se presentan asociaciones de *Pinus leiophyla* y varias especies del género *Quercus* como: *Q. crassipes*, *Q. laeta*, *Q. castanea* y *Q. rugosa*. Este tipo de vegetación se encuentra muy perturbado por actividades agrícolas.

- **Bosque de Coníferas**

Bosque perennifolio característicamente alto (20-40 m) y denso, que normalmente se desarrolla en suelos andosoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y con humedad todo el año. Su distribución se limita al rango altitudinal que va de los 2700 a los 3500 m, en la ladera occidental y entre los 2800 y 3400 m en la oriental. Presenta cuatro estratos bien definidos: el arbóreo, el arbustivo, el herbáceo y el rasante o musinal.

- En el estrato arbóreo la especie dominante y con frecuencia exclusiva es el oyamel y de manera aislada se presentan *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Garrya laurifolia*, *Pronus serotina* y *Cupressus lindleyi*. En algunas áreas de la Sierra Nevada por debajo de los 2900 m de altitud, se presenta *Cupressus lindleyi* que llega a ser codominante con *Abies religiosa*.
- En condiciones naturales, los estratos arbustivos y herbáceos son escasos; sin embargo, cuando existen disturbios, éstos aumentan de manera considerable. Las especies más comunes en dichos estratos son *Senecio barba-johannis*, *S. angulifolius*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Acaena elongata*, *Brachypodium mexicanum* y *Festuca amplissima*. Este tipo de vegetación se localiza principalmente en las laderas orientadas hacia el norte.

- **Bosque de Encino (*Quercus*)**

Estas comunidades se presentan entre los 2250 y 3100 msnm. Los árboles por lo general son bajos (de 5-12 m), y medianamente densos, ubicados en el suelo de tipo litosol y regosol. Su zona de distribución presenta una precipitación media anual de 700 a 1200 mm. Estos bosques pueden ser perennifolios o caducifolios y las principales especies que se presentan son: *Q. rugosa*, *Q. crassipes* y *Q. laurina*.

Los estratos arbustivo y herbáceo presentan una gran cantidad de especies. Los géneros mejor representados son: *Brickellia*, *Baccharis*, *Castilleja*, *Desmodium*, *Dalia*, *Eupatorium*, *Muhlenbergia*, *Penstemon*, *Salvia*, *Senecio* y *Stevia*.

Entre los 2500 y 2800 msnm se presenta el bosque de *Q. rugosa*, que puede ser puro o bien estar asociado con *Q. crassipes*, algunas especies de *Pinus* u otras como *Arbutus xalapensis*,

*Cupressus lindleyi*, *Garrya laurifolia* y *Clethra mexicana*. Este bosque se localiza principalmente en algunos sitios cercanos a Amecameca y llegan a tener 25 m de altura.

Entre los 2880 y 3100 msnm se localizan bosques de *Q. laurina* con *Q. rugosa*, *Abies religiosa*, *Arbutus spp.*, *Juniperus deppeana* y algunas especies de *Pinus*.

- **Pastizal Subalpino o Zacatonal**

Los pastizales subalpinos se caracterizan por la presencia de gramíneas amacolladas que oscilan entre los 60 y 120 cm de alto y se localizan en altitudes de 2700 a 4300 msnm. Frecuentemente se trata de comunidades secundarias inducidas. A pesar de que su fisonomía es muy homogénea, las especies dominantes de estas comunidades varían de acuerdo a la altitud, formando cinturones definidos. Esto mismo se observa en las características del suelo y la topografía.

Los zacatonales de *Muhlenbergia macroura*, se establecen sobre laderas y valles, dentro del rango altitudinal que va de 3200 a 3500 msnm. Otro elemento frecuente en esta comunidad es *M. quadridentata*.

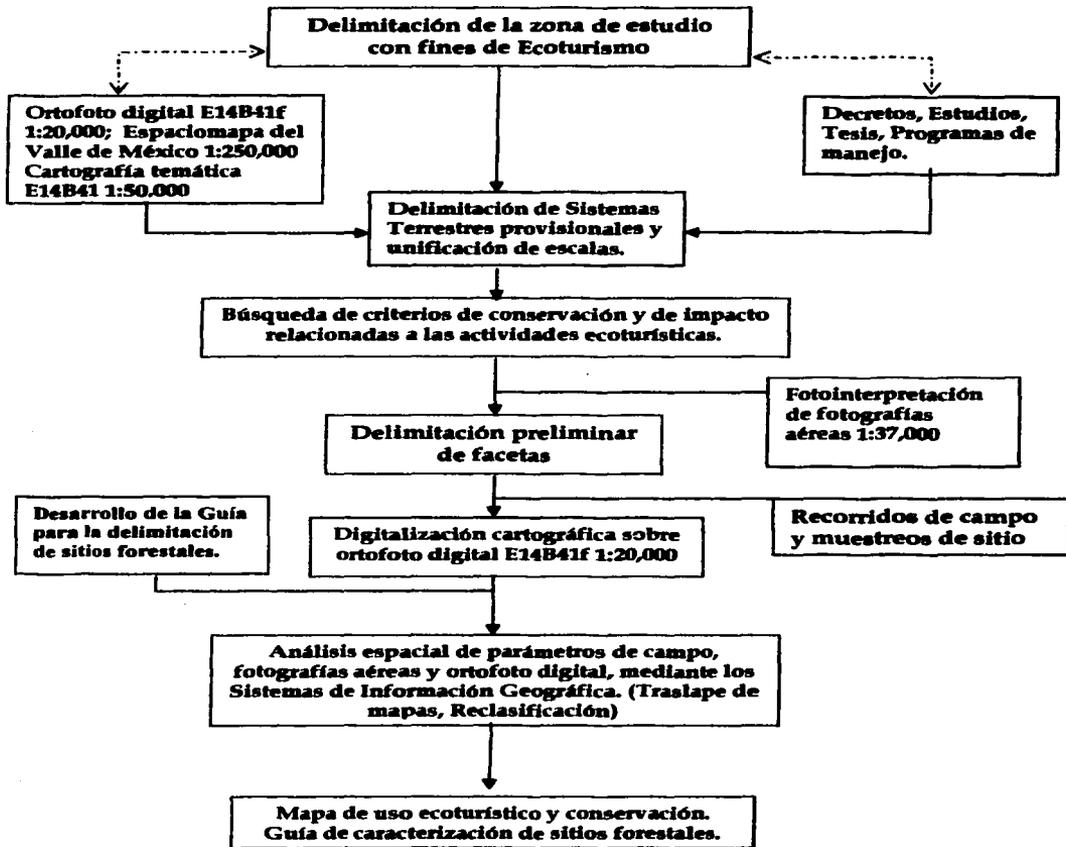
Por último tenemos que *Festuca amplissima* y *Stipa ichu* son las especies dominantes en los zacatonales de altitudes que van de 2500 a 3300 msnm, principalmente en claros de bosque de oyamel y de pino.

- **Bosque Mesófilo de Montaña**

Existe un área muy reducida de este tipo bosque en cañadas protegidas de la fuerte insolación y vientos, en la parte baja del Popocatepetl e Iztaccíhuatl, cerca de San Rafael y Amecameca, entre los 2500 y 2800 msnm. Crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica y húmedos durante casi todo el año. El bosque alcanza una altura de 10 a 25 m. Este tipo de vegetación se conserva verde todo el año, no obstante, de tener algunos elementos caducifolios. Las especies dominantes más frecuentes son: *Clethra mexicana*, *Cornus disciflora*, *Meliosma dentata*, *Ilex tolucana*, *Pronus brachybotrya* y *Quercus laurina*. Pueden presentarse otras especies arbóreas, según la localidad: *Abies religiosa*, *Cupressus lindleyi*, algunas especies de *Pinus* y *Sambucus mexicana* entre otras.

En el estrato arbustivo sobresalen *Cestrum terminale*, *Archibaccharis sescenticeps*, *Eupatorium aschenbornianum*, *Lamourouxia xalapensis*, *Montanoa frutescens* y *Salvia mocinoi*. En el estrato herbáceo se presentan *Bidens ostruoioides*, *Adiantum andicola*, *Bromus dolichocarpus*, *Dryopteris parallelogramma*, entre otras. Las trepadoras y epífitas son frecuentes; entre las primeras: *Celastrus pringlei*, *Archibaccharis hirtella*, *Clematis dioica*, *Smilax moranensis* y *Valeria clematidis*; de las segundas abundan los musgos, helechos y *Tillandsia spp.*

6.2.2. Diagrama metodológico



### 6.2.3. Desarrollo

#### Delimitación

La delimitación del área de estudio se realizó mediante la información cartográfica de la zona, partiendo del espaciomapa de la Ciudad de México a escala 1:250 000, y el establecimiento de linderos de la zona de estudio fue a través de la ortofoto digital E14B41f a escala 1:20 000, ya que a partir de ésta se realizaron todas las digitalizaciones de los recursos e infraestructuras de la zona.

#### Digitalización de Sistemas Terrestres

Posterior a esta delimitación, se procedió a la elaboración de los Sistemas Terrestres para la zona del Izta-Popo, en el Estado de México; para lo cual se utilizaron el espaciomapa de la Cd. de México y la carta geográfica del Estado de México a escala 1:250 000. De los Sistemas Terrestres establecidos, sólo fueron elegidos aquellos que se encontraron comprendidos dentro del área de la Ortofoto digital debido a que ésta fue la que se adquirió para trabajar. Una vez hecho esto, se procedió a la digitalización de los linderos de los sistemas terrestres contenidos en el espaciomapa, con esto se realizó la unificación de escalas y de esta manera, eliminar la problemática de trabajar con cartografía impresa de diversas escalas. Este mismo procedimiento fue el que se utilizó para uniformizar los diferentes materiales cartográficos como las cartas temáticas y las fotografías aéreas de la zona de estudio.

#### Selección de parámetros de conservación y recreación.

Mediante la revisión bibliográfica de criterios de conservación e impacto relacionados con las actividades ecoturísticas, se seleccionaron los parámetros que proporcionaron información confiable sobre el estado de conservación de cada sitio y sobre el estado que debían tener los recursos naturales así como la infraestructura necesaria para poder desarrollar cierto tipo de actividad ecoturística. Por tal motivo, se buscaron las metodologías sobre planificación e implementación de actividades recreativas en sitios naturales. Con las categorías de cada una de éstas, se obtuvieron los principales parámetros o características que determinan a los sitios, así como las actividades recreativas que se desarrollan en ellos. De esta manera fue como se unificó los parámetros a evaluar tanto de campo, como la de infraestructura que debía ser elaborada (caminos, senderos, claros, masa forestal, pendientes, etc.) mediante su digitalización en la ortofoto digital, así como su ubicación en las fotografías aéreas.

*Establecimiento de facetas.*

Después de determinar cuales serían los parámetros a evaluar y las características de los sitios para cada una de las actividades recreativas se continuó con el establecimiento de las facetas temporales, las cuales se trazaron primero sobre las fotografías aéreas a escala 1:37 000, mediante la fotointerpretación estereoscópica y basándonos en la metodología del levantamiento fisiográfico. Esta metodología se eligió por ser la que más ventajas proporciona al momento de hacer zonificaciones de grandes extensiones de terreno, ya que de esta manera se economizan recursos humanos y materiales, a la vez que permite hacer comparaciones y generalizaciones de las condiciones de las facetas a partir de los puntos de muestreo. En la fotointerpretación, se tomaron en cuenta los criterios propios del levantamiento fisiográfico: textura de las formas presentes en la fotografía, la tonalidad de los grises, uso del suelo, exposición, geofomas y el criterio de área mínima cartografiable de 0.25 cm<sup>2</sup>.

*Sitios de muestreo.*

Ya trazadas las facetas preliminares en las fotografías aéreas con apoyo de las cartas temáticas y topográfico, se digitalizó sobre la ortofoto digital E14B41f.

Debido a que las facetas se establecen en función de la uniformidad que presentan sus características biofísicas, los sitios de muestreo se establecieron de la siguiente manera:

- 2 sitios de muestreo para cada faceta.
- En aquellas facetas que mostraron una marcada heterogeneidad se establecieron de 3 a 4 sitios de muestreo.

En los sitios de muestreo se trató que fueran representativos en términos generales de las condiciones físicas y biológicas de cada una de las facetas; y para garantizar la precisión de los puntos de muestreo establecidos sobre las fotografías aéreas, éstos fueron digitalizados. De esta manera se pudo conocer la ubicación geográfica de los mismos, por lo que con ayuda de un Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS), fue posible localizar el sitio de muestreo en la zona de estudio, con una gran precisión gracias a que por medio de este procedimiento se pueden obtener las coordenadas geográficas, hecho que no es posible de obtener a partir de la fotointerpretación.

*Digitalización.*

Con las facetas y los puntos de muestreo identificados geográficamente, el siguiente paso fue el de digitalizar las distintas capas de información necesarias, esto con la finalidad de conocer los accesos a los sitios de muestreos establecidos y el de generar una información básica de infraestructura de la zona

de estudio, que en buena parte es incompleto o de baja precisión. Las capas de información digitalizadas que se generaron son:

- Carretera principal.
- Accesos primarios (Terracería)
- Accesos secundarios (Brechas y Veredas)
- Claros en el bosque
- Pendientes
- Curvas de nivel
- Facetas y puntos de muestreo

Recorridos de campo.

Con esta información, más las cartas temáticas y las fotografías aéreas se realizaron los reconocimientos de campo, los cuales, tuvieron la función de verificar los linderos propuestos para las facetas, el de corroborar la fiabilidad de las distintas capas de información, el de conocer los tipos de comunidades vegetales y condiciones de sitio que forman patrones característicos en las fotografías aéreas, para poder hacer predicciones tanto de comunidades y de características generales del sitio para las demás facetas en las que no se realizó el muestreo.

Entre la información recabada por estos muestreos están los de comunidades arbóreas, daño a vegetación, grado de conservación, características más relevantes del suelo, geoforma, microrrelieve del terreno, así como el uso actual del suelo y el registro de las actividades antropogénicas (recreativas y de aprovechamiento) que se desarrollan en la zona de estudio. De esta forma, se pudo obtener un diagnóstico general.

El muestreo de la vegetación se realizó por ser un parámetro que permite conocer el estado de conservación de un sitio forestal, buscándose recabar los parámetros que pudieran proporcionarnos dicho diagnóstico, por lo que se recabaron los siguientes datos:

- Número de estratos,
- Cobertura por estratos,
- Especies forestales representativas,
- Daño a vegetación y
- Patrón de Retención de Copa.

Para determinar el tipo de arbolado más representativo o predominante en cada sitio de muestreo se utilizó la metodología de cuadrante centrado en un punto (Figura 9) (24).

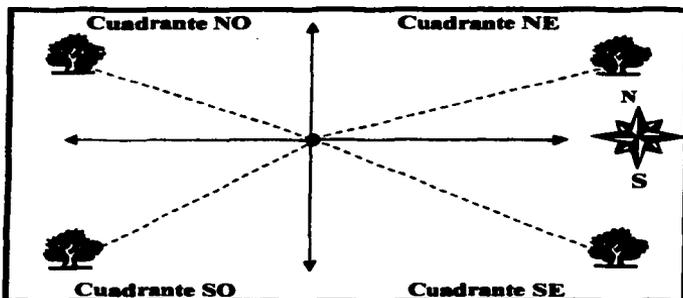


Figura 9. Representación del método cuadrantes centrados en un punto.

En la determinación de las geoformas, se tomaron en cuenta las más relevantes con la finalidad de saber su relación con las comunidades vegetales. De la misma manera, se caracterizaron los distintos micrositios, buscando conocer la relación entre topoformas y las actividades antropogénicas desarrolladas en las facetas y las comunidades vegetales.

En la selección y evaluación de los parámetros edáficos, se eligieron aquellos que proporcionaron información cualitativa<sup>13</sup> de campo, lo suficientemente confiable para determinar las características o estado de conservación de cada sitio de muestreo. El que los muestreos de suelo fueran realizados en campo, tuvo la finalidad de promover una mayor operatividad y economización de tiempo y recursos en la obtención de datos, ya que la finalidad de ésta propuesta es que pueda ser empleada por personas a quienes les interese hacer un diagnóstico confiable y sencillo de los parámetros edáficos de una amplia zona.

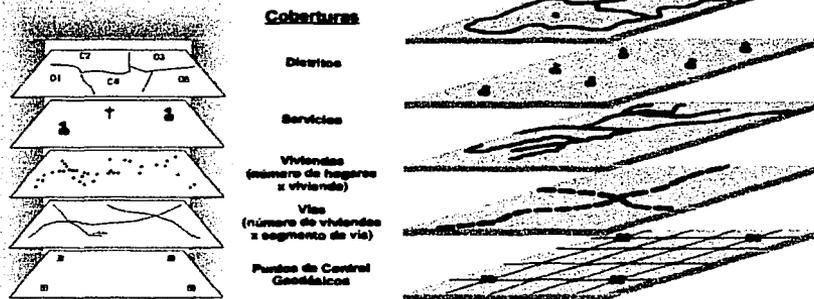
Los parámetros cualitativos realizados en campo, fueron: determinación de la textura al tacto, número de agregados, pH, presencia de CO<sub>2</sub>, color en seco y húmedo, pendiente, tipo y grado de erosión, pedregosidad y geoforma (ver Anexo 2) (6, 22, 25).

### Análisis espaciales

En lo que respecta al análisis de la información, éste consistió en digitalizar mapas de temas o capas de información básica para el desarrollo del trabajo, las cuales comprendieron: infraestructura carretera, terracerías, la de brecha y veredas del bosque, líneas eléctricas, ciudades y la de colonos (34). Todas estas capas de información se elaboraron basándose en la ortofoto digital y apoyado en la fotointerpretación de la zona (Figura 10).

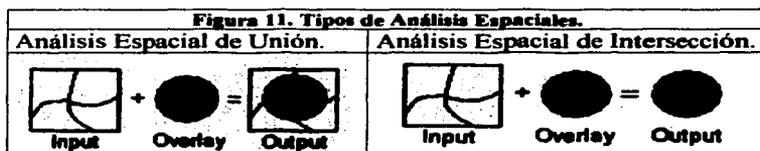
<sup>13</sup> Los parámetros edáficos cuantitativos se excluyeron debido a que en el Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan y Anexas, en el cual está inmerso este trabajo de tesis, estaban a cargo de otro proyecto, por lo cual no se hizo uso de éstos. Así pues, la selección de parámetros cualitativos estuvo en función de una mayor facilidad, con la finalidad de poder formular un diagnóstico preliminar confiable de la zona de estudio.

**Figura 10. Representación esquemática de diversas capas de información. Modelo Rural**



Con la información recabada en campo, se procedió a su identificación y posteriormente a su delimitación cartográfica en la ortofoto digital.

El análisis espacial de los parámetros evaluados se realizó con el empleo de un SIG, donde se integraron los mapas vector elaborados, así como su base de datos asociada a cada tema. Uno de los análisis que se emplearon fue el tratamiento de la información georreferenciada (Geoprocesing), el cual permite crear mapas o temas nuevos, muy distintos a los tradicionales mapas temáticos. En dicho análisis se desarrollan procesos de intersección y de unión, el primer proceso consta de interceptar dos temas y elaborar uno nuevo en forma de polígono o líneas, en donde únicamente las áreas y las bases de datos con aspectos en común serán las que tengan una salida. En el proceso de unión se crea un nuevo tema basándose en la sobreposición de dos temas o capas, así formada esta nueva capa, se combinan los polígonos y a las bases de datos (Figura 11) (17, 21, 56).



Mediante este tipo de análisis espaciales se buscó la obtención de lineamientos y actividades para las áreas que requerían de prácticas de conservación y de aquellas donde se pueden establecer actividades recreativas ecológicamente responsables y planeadas (ecoturísticas) (44, 54).

## **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la delimitación y ubicación de la zona de estudio se establecieron los Sistemas Terrestres sobre el espacio mapa de la Ciudad de México, obteniéndose cuatro sistemas: Alta montaña, Bosque de coníferas, Agricultura de riego y Agricultura de temporal (Figura 12).

Lo siguiente en el establecimiento de la zona de estudio, consistió en delimitar de forma temporal las facetas en la ortofoto digital E14B41f, con el apoyo de la cartografía temática y la propia ortofoto digital.

Mediante la fotointerpretación y criterios de conservación e impacto a las actividades ecoturísticas se corroboraron y corrigieron las facetas preliminares y como los criterios de zonificación solo contemplan a las actividades ecoturísticas como el criterio delimitatorio, las zonas donde se desarrolla la actividad agrícola no se contemplaron y fueron excluidas, por lo que la zona de estudio contempló en un principio, desde el ecotono agrícola-masa forestal el cual se encuentra en las zonas bajas y el límite superior lo determinaba el límite mismo de la ortofoto digital, el cual abarca una buena parte de las laderas del volcán Popocatepetl. Sin embargo, el límite máximo como se verá más adelante, fue modificado estableciéndose en la cota altitudinal de los 3600msnm, utilizando solo el Sistema Terrestre de Bosque de Coníferas para utilizarlo como zona de estudio.

Para establecer los recorridos de campo se ubicaron los sitios de muestreo, en donde por cada faceta homogénea (en cuanto a textura, color y topofomas), se propusieron dos sitios de muestreo. En aquellas facetas que presentaban una marcada heterogeneidad (en donde precisamente ésta característica le confería una constante de formas, color y textura) se propusieron de 3 a 4 sitios de muestreo (Figura 13), con la finalidad de tener mejor representadas las características de estas facetas. Por ende, se propuso un total de 118 sitios de muestreo para toda la zona de estudio, de los cuales se realizaron 30 sitios de muestreo y de esta manera se evaluaron las facetas propuestas, corrigiéndose y/o replanteándose éstas.

Después de haber elaborado la digitalización cartográfica sobre la ortofoto digital E14B41f, y con los datos de campo y sitios de muestreo, se realizó la integración, generándose una Guía de Sitios Forestales (Tabla 9); donde los datos se agruparon en cuatro tipos; el de Conservación, Regeneración, Aprovechamiento y Degradado. Cada uno de estos tipos está determinado por aquellas características que mejor los diferenciaban, por lo que en la tabla sólo se presentan aquellos parámetros que mostraron tener un carácter definitorio, como lo son:

- Topoforma
- Características visuales de fotointerpretación.
- Erosión
- Color (tonalidades) de las fotografías aéreas
- Actividades antropocéntricas

- Daño en vegetación
- Cobertura por estrato
- Incendio
- Patrón de Retención de Copa (ver Anexo 1).

Cada uno de estos tipos, debe su clasificación al conjunto de características que poseía y no por lo que se pudiera entender por Conservado, Degradado, Regeneración o de Aprovechamiento, ya que esta clasificación se realiza en función de los parámetros de campo evaluados; por lo que, si un sitio presentaba una marcada tendencia hacia un cierto tipo, se procedía a su designación en cualquiera de los cuatro categorías ya mencionadas. Por lo cual, si en algunos sitios no eran evidentes los procesos para determinar al sitio (por ejemplo, el de regeneración natural, pero si presentaba factores o características favorables para la regeneración), se le designaba con la categoría más probable.

El hecho de que sólo se agrupen en cuatro tipos los sitios de muestreo obedece a que un número mayor de tipos implicaba un mayor detalle de las condiciones y características de campo, fotointerpretación y digitalización, lo que le restaría operatividad y factibilidad al momento de implementarlo.

De esta manera, se obtuvo como resultado una Guía para la delimitación para sitios forestales; donde se puede determinar el tipo de sitio forestal en campo. Este producto fue generado, como una necesidad de poder caracterizar, agrupar y clasificar a los distintos sitios forestales, de acuerdo a unos cuantos grupos de características, sin tener que realizar todo el levantamiento del sitio. Sin embargo, la Guía presenta una limitante en su aplicación, y es que ésta depende en gran medida de las comunidades vegetales de bosque templado, y por lo tanto, depende también de una manera importante de la altitud, puesto que la vegetación se establece y distribuye de acuerdo a gradientes altitudinales y en la zona de estudio la vegetación comienza a cambiar aproximadamente a los 3 500 msnm; altura a la que se encuentran las comunidades forestales de *Pinus hartwegii* y la de zacatonal alpino. De igual manera, las actividades antropogénicas son también muy distintas, desarrollándose principalmente actividades recreativas y en un menor grado las de aprovechamiento. Si se analiza un poco la situación de las comunidades de *P. hartwegii*, éstas tienen una distribución espacial muy particular, siendo ésta más abierta que de las que se encuentran por debajo de la cota altitudinal de los 3500 msnm, además el arbolado de *P. hartwegii* se caracteriza por ser predominantemente ralo, con lo cual si se quisiera aplicar la Guía en estos sitios, ésta dará resultados erróneos, simplemente al querer determinar el número de estratos o el de cobertura por cada estrato, estos podrían darnos el resultado de sitios degradados y en algunos casos de aprovechamiento, siendo que estas comunidades vegetales ya obedecen al parecer a otros parámetros que no fueron evaluados. El límite inferior está marcado por las propias masas forestales, precisamente donde se encuentra el ecotono entre las masas forestales y la agrícola.

Figura 12. Establecimiento de sistemas terrestres de la Región Ista Popo, Estado de México.



Figura 13. Facetas y sitios de muestreo (preliminares) propuestos para la zona de estudio

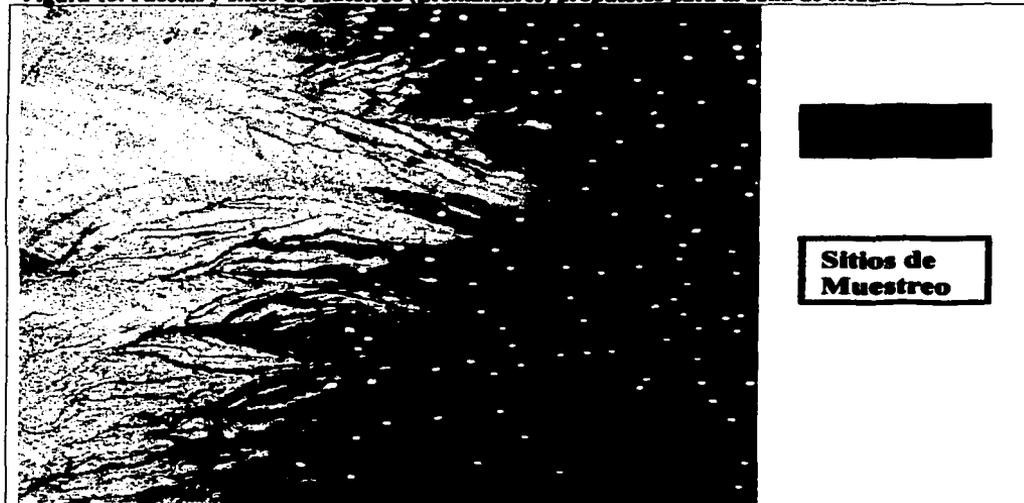


Tabla 9. Guía para la delimitación de sitios forestales mediante características de campo y fotointerpretación.

		Topoforma	Cañada o ladera con pendientes >20%
CONSERVACIÓN	Características Visuales	Textura rugosa-semirrugosa. Se observa masa forestal cerrada.	
	Color	Gris oscuro-claro	
	Erosión	Nula	
	Activ. Antropogénica	Baja	
	Daño en vegetación	Derrribados, despuntados, tocones	
	Cobertura por estrato	Arbóreo $\geq 60\%$ Arbustivo (o herbáceo alto) $\leq 60\%$ Área desnuda $\approx 0-20\%$	
	Incendio	Nulo o muy ligero (superficial)	
(PRC)	El tipo S representa $\geq 50\%$ y de los tipos I, D, A, predominan los subtipos 2 y 3, $\geq 40\%$		
REGENERACIÓN	Topoforma	Cañada o ladera	
	Características Visuales	Textura rugosa - semirrugosa observándose la masa forestal semabierto y con cierta inaccesibilidad	
	Color	Gris oscuro - claro	
	Erosión	Nula	
	Activ. Antropogénica	Nula	
	Daño en vegetación	Derrribados, despuntados, tocones	
	Cobertura por estrato	Arbóreo 35 - 65 % Arbustivo (o herbáceo alto) 40-80 % Rasante 60-90% Área desnuda 10-15%	
Incendio	Nulo		
(PRC)	Predomina el tipo A2 y se encuentran de manera general cualquiera de los tipos (I, D, A, L) pero con predominancia de los subtipos 1 y 2.		
APROVECHAMIENTO	Topoforma	Zonas planas, accesibles (por Ejemplo, pie de monte o cercano a caminos, no importando si se encuentra en ladera).	
	Características Visuales	Textura semirrugosa - abierta (rala) y con cercanía de caminos	
	Color	Gris claro	
	Erosión	Presente	
	Activ. Antropogénica	Aprovechamiento	
	Daño en vegetación	Quemados, clearados, tocones	
	Cobertura por estrato	Arbóreo $\pm 30\%$ Arbustivo (o herbáceo alto) $\geq 70\%$ (puede variar por la intensidad de manejo) Rasante 65-80 %	
Incendio	Moderado - severo		
(PRC)	Predominan los subtipos 1 y 2, y se llega a encontrar el tipo S.		
DEGRADADO	Topoforma	Áreas con terrenos de formas accesibles y con caminos	
	Características Visuales	Textura poco rugosa con parches de áreas sin vegetación (Semabierto)	
	Color	Gris claro	
	Erosión	Presente	
	Activ. Antropogénica	Aprovechamiento y asentamientos (colonos)	
	Daño en vegetación	Quemados, despuntados, tocones, clearados y daño en follaje	
	Cobertura por estrato	Arbóreo $\pm 15 - 25\%$ Arbustivo (o herbáceo alto) $\pm 7-15\%$ Rasante 90 - 100 %	
Incendio	Se podría esperar la presencia de estos.		
(PRC)	Predomina el tipo A1 y los subtipos 2		

**Integración de actividades recreativas con las distintas metodologías de planeación.**

Esta integración de actividades recreativas y sus necesidades de infraestructura y de sitios, cumple con la finalidad de ayudar a caracterizar a cada una de las facetas en el tipo de actividades que pueden ser desarrolladas, en función de cada uno de los cuatro tipos forestales.

A continuación se presentan los tipos de actividades recreativas que son y pueden ser practicados en la zona de estudio, a menos en una fase a corto y mediano plazo (Tabla 10). Estas actividades dependen en gran medida, del tipo de recursos para llevar a cabo cada una de ellas, por lo que en conjunción con los parámetros de la Guía de sitios forestales y de las necesidades *per se* de las actividades recreativas, se buscó generar la forma de identificar los sitios más adecuados para realizar actividades recreativas. Por consiguiente, se procedió a delimitar aquellas actividades que podrían ser implementadas en la zona; primero, a partir de las que ya se realizan y segundo, a partir de las que comúnmente se realizan en ambientes similares a las del Parque Nacional Izta-Popo y su zona de influencia.

**Tabla 10. Actividades recreativas propuestas para la Zona de Estudio.**

i. Áreas de observación de aves.	viii. Contemplación de senderos naturales
ii. Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.	ix. Contemplación de zonas biodiversas (Bosque mesófilo de montaña)
iii. Miradores naturales.	x. Escalada
iv. Contemplación de zonas de Alta Montaña.	xi. Zonas de búsqueda de minerales
v. Paseos y excursiones a pie.	xii. Campismo
vi. Ciclismo	xiii. Áreas de comida
vii. Contemplación de cuerpos acuáticos (ríos/ arroyos, caídas de agua,...)	xiv. Áreas para la observación astronómica
	xv. Áreas para el volado de cometas.

En la planificación de cualquier área o recurso, siempre es indispensable reunir y analizar los datos acerca de los recursos disponibles, tanto los biológicos como los socioeconómicos; para que se den respuestas integrales en el plan de manejo implementado. Esta una de las etapas más importantes, ya que se da la formulación de propuestas, la evaluación de alternativas y la toma de decisiones para la planeación. Sin embargo, la simple propuesta de actividades, no es suficiente para llevar a cabo la planeación de las actividades recreativas. Por lo que hoy en día, se han desarrollado varias metodologías para el establecimiento de zonificación en los parques y en la elaboración de planes de manejo.

De lo anterior, se desprende la siguiente integración de las distintas actividades recreativas a cada uno de las metodologías de planeación: ROS, LAC, y el propuesto para la zonificación de Parques Naturales.

- **Espectro de Oportunidades Recreativas (Recreation Opportunity Spectrum, ROS).** Implementado por el *Servicio Forestal Norteamericano*, para la recreación al aire libre dentro de los planes de manejo. Este sistema contempla seis clases de usos recreativos, de los cuales solo se presentarán aquellos que por sus características de sitio, sean compatibles con las características de la zona de estudio.
  - Senderos: Predominan las áreas verdes, las actividades antropogénicas son pocas, así como la infraestructura presente (Tabla 11). En general, la percepción del visitante de esta zona es la del medio natural.

**Tabla 11. Integración de actividades recreativas a la Clase Senderos del ROS, para usos recreativos.**

Características	Actividades propuestas
○ Caminos, Senderos	○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.
○ Áreas de campamento	○ Paseos y excursiones a pie.
○ Sitios de descanso	○ Ciclismo
○ Pastoreo de ganado	○ Zonas de búsqueda de minerales
○ Colecta de semillas y frutos	○ Camping
○ Restauración de cuerpos acuáticos	○ Áreas de picnic
○ Caminos con equipo motorizado	○ Áreas para el volado de cometas
○ Baja interacción entre los visitantes.	

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

Terrenos accesibles (pie de monte, zonas planas con caminos cercanos).  
 Sitios con parches de áreas sin vegetación o semiabiertos.  
 Erosión evidente  
 Actividades antropogénicas de aprovechamiento e infraestructura variada (casa, negocio,...)  
 El daño a la vegetación es evidente (quemados, desramados, tocones, despuntados y daño en follaje).  
 La cobertura del estrato arbóreo es < de 30%.

- Semiprimitiva (motorizada y no motorizada). Paisajes de predominancia natural con una infraestructura mínima para la recreación (Tabla 12). La concentración de los visitantes y su manejo es muy baja.

**Tabla 12. Integración de actividades recreativas a la Clase Semiprimitiva (motorizada y no motorizada) del ROS, para usos recreativos.**

Características	Actividades propuestas
○ Elevado potencial para la práctica de deportes de alto riesgo.	○ Contemplación de senderos naturales
○ En sitios no motorizados los caminos están cerrados al visitante, usándose para el manejo, recuperación e investigación.	○ Contemplación de cuerpos acuáticos (ríos/ arroyos, caídas de agua,...)
	○ Áreas para la observación astronómica
	○ Zonas de búsqueda de minerales
	○ Paseos y excursiones a pie
	○ Miradores naturales
	○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas
	○ Escalada

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

Comprende terrenos accesibles, aun laderas y cañadas.  
 La masa forestal se encuentra semiabierto, con cierta inaccesibilidad  
 En general no se presenta erosión hídrica.  
 Las actividades de aprovechamiento forestal son en general de baja intensidad.  
 El daño a la vegetación es evidente (derribado, despuntados, desramados, tocones).  
 La cobertura del estrato arbóreo es del 30-65%.

- **Primitivo.** Zonas de alto grado de naturalidad, con remotas actividades humanas, no se permite el uso de vehículos motorizados y equipo (Tabla 13). Casi no hay manejo de la zona.

**Tabla 13. Integración de actividades recreativas a la Clase Primitiva del ROS, para usos recreativos.**

Características	Actividades propuestas
○ Sin infraestructura turística	○ Areas de observación de aves.
○ Los accesos consisten de brechas y veredas.	○ Contemplación de zonas de Alta Montaña
	○ Contemplación de zonas Biodiversas (Bosque Mesófilo de Montaña)

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

El terreno se caracteriza por ser inaccesible (cañadas y laderas con pendientes mayores de 20%)  
 La masa forestal se observa cerrada.  
 La erosión es nula o muy baja.  
 La actividad antropogénica va de nula a muy baja.  
 El daño a la vegetación es bajo, presentándose algunos árboles derribados, despuntados o tocones.  
 La cobertura del estrato arbóreo es mayor del 60%.

- **Límite de Cambio Aceptable (LAC<sup>14</sup>).** Desarrollada en Estados Unidos a mediados de los 80's. En general, se implementan planes de manejo basados en el establecimiento de zonas para la recreación, donde se designan varias estrategias de uso y manejo. La designación del manejo en las zonas está basada en la evaluación de los estudios elaborados en el parque. A pesar de que cada parque tiene diferentes propuestas y así como distintos tipos de manejo, se reconocen cuatro tipos diferentes de zonas (natural, cultural, recreativa y de uso especial). Dentro de estas categorías que se proponen se hará el mismo ejercicio de integración de sitios con el de actividades recreativas para la zona de estudio.

<sup>14</sup> Los autores, consideran que los métodos tradicionales para determinar la capacidad de carga son demasiado simples y no siempre corresponden a la realidad. Por ejemplo, si un nivel específico de uso empieza a producir deterioro ambiental apreciable, o experiencias insatisfactorias para el turista, se dice que el área en cuestión está excediendo su capacidad de carga, al superarse cierto nivel de uso.

Por lo que se argumenta que desde el punto de vista ecológico ni social se puede afirmar que hay una relación clara y directa entre uso e impacto. Ya que en algunos ambientes, incluso en niveles bajos de uso turístico pueden provocar impactos sustanciales en la vegetación y los suelos, mientras que en otros sitios tales recursos son muy resistentes y flexibles. Por ejemplo, la búsqueda de quietud o la observación de especies esquivas son afectadas adversamente por incrementos en los niveles de uso, mientras que ciertas actividades más vinculadas con el ejercicio físico o el "turismo de aventura" normalmente no lo son.

- Zona Natural. Las actividades en esta zona son selectivas y restringidas (Tabla 14).

**Tabla 14. Integración de actividades recreativas a la Zona Natural del LAC, para usos recreativos.**

<b>Características</b>	<b>Actividades propuestas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Área prácticamente casi sin perturbación.</li> <li>○ Poco impactados por organismos exóticos o por actividad antropocéntrica.</li> <li>○ Se encuentran recursos representativos de la biodiversidad nativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de aves.</li> <li>○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.</li> <li>○ Miradores naturales.</li> <li>○ Contemplación de zonas de Alta Montaña.</li> <li>○ Paseos y excursiones a pie.</li> <li>○ Contemplación de senderos naturales</li> <li>○ Contemplación de zonas biodiversas (Bosque mesófilo de montaña)</li> </ul>
<p><b>Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.</b></p> <p>Las áreas que presentan un mayor grado de conservación son las cañadas o laderas pronunciadas.                      La masa forestal es cerrada.                      No se presenta erosión.                      El daño a la vegetación es mínimo.                      La cobertura del estrato arbóreo es &gt; de 60%.</p>	

- Zona Cultural. El desarrollo de zonas culturales va ligado con la educación ambiental, la cual consiste en temas de preservación y uso de recursos naturales (Tabla 15).

**Tabla 15. Integración de actividades recreativas a la Zona Cultural del LAC, para usos recreativos.**

<b>Características</b>	<b>Actividades propuestas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zona con manejo de suelos (preservación, protección y educación ambiental) para proveer entretenimiento al visitante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas</li> <li>○ Paseos y excursiones a pie.</li> <li>○ Contemplación de cuerpos acuáticos (ríos/ arroyos, caídas de agua,...)</li> <li>○ Contemplación de senderos naturales</li> <li>○ Zonas de búsqueda de minerales</li> <li>○ Camping</li> <li>○ Áreas para la observación astronómica</li> </ul>
<p><b>Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.</b></p> <p>De terrenos accesibles, aún las cañadas que presentan cercanía a caminos.                      La masa forestal varía de semicerrada a abierta, con una condición variable de accesibilidad.                      La erosión presente en la zona es baja en general.                      La actividad antropogénica es predominantemente baja.                      El daño a la vegetación comienza a ser evidente.                      La cobertura del estrato arbóreo varía de 30-65%.</p>	

- Zona de Desarrollo Recreativo. El objetivo es proveer y mantener espacios para los servicios recreativos, por lo tanto son zonas que puede soportar visitas, permitiendo principalmente actividades de interpretación y recreación (Tabla 16). Se divide en las siguientes subzonas: Uso Extensivo, Uso Intensivo y Uso Administrativo.

**Tabla 16. Integración de actividades recreativas a la Zona de Desarrollo Recreativo del LAC, para usos recreativos.**

Características	Actividades propuestas
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas poco alteradas o sin organismos introducidos.</li> <li>○ Contiene muestras representativas de la biodiversidad nativa resistentes a los visitantes.</li> <li>○ Se caracteriza por tener: formaciones geológicas, aspectos históricos, paisaje, flora, fauna,....)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.</li> <li>○ Paseos y excursiones a pie</li> <li>○ Ciclismo</li> <li>○ Escalada</li> <li>○ Zonas de búsqueda de minerales</li> <li>○ Camping</li> <li>○ Áreas de picnic</li> <li>○ Áreas para el volado de cometas.</li> </ul>
<b>Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.</b>	
Terrenos de todo tipo, con la única condición de ser accesibles.	
La masa forestal es característicamente de abierta a semiabierta.	
La erosión es evidente en la mayoría de estos sitios.	
La actividad antropogénica es constante, predominando los de aprovechamiento forestal.	
El daño a la vegetación es de intensiva a semi intensiva.	
La cobertura del estrato arbóreo es variable, pero no rebasa el 50%.	

- **Zonificación de Parques a Nivel Mundial.** Este tipo de clasificación es la que se utilizará en la zonificación del Parque Nacional, ya que éste es capaz de integrar las actividades recreativas, así como las distintas metodologías ya descritas. Esta propuesta se elaboró a partir de planteamientos nacionales e internacionales, proponiéndose un sistema de zonificación integrado, donde cada zona está relacionada con las adyacentes porque la alteración del uso en una zona tiene forzosamente una repercusión en todo el sistema. El manejo de las zonas debe ser coordinado, ya que cada zona tiene sus propios objetivos, usos permitidos y normas, de acuerdo a sus propias características ecológicas y de manejo, considerándose tres principales zonas de uso: Zonas de Protección, Zonas de Uso Restringido y Zona de Recreación y Administración.
- **Zona de Protección.** Representan las áreas de mayor importancia y fragilidad. El uso pecuario, o cualquier otra actividad será nula. Solo serán permitidas actividades científicas no destructivas y acciones de protección de la flora y fauna (Tabla 17).

**Tabla 17. Integración de actividades recreativas a la Zona de Protección de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial.**

<b>Características</b>	<b>Actividades propuestas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Área estrictamente protegida</li> <li>○ Nula actividad antropocéntrica (y científica) que implique la destrucción o alteración de los recursos.</li> <li>○ El acceso al público en general no se permite.</li> <li>○ La infraestructura se limitará a pocos y sencillos senderos de apoyo al trabajo científico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de aves.</li> <li>○ Contemplación de zonas de Alta Montaña.</li> <li>○ Contemplación de cuerpos acuáticos (ríos/ arroyos, caídas de agua,...)</li> <li>○ Contemplación de zonas biodiversas (Bosque mesófilo de montaña)</li> </ul>
<b>Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.</b>	
Terrenos poco accesibles (cañadas o laderas con pendientes > de 20%), principalmente senderos de apoyo.	
Masa forestal cerrada	
Erosión nula	
Actividad antropogénica de nula a baja.	
El daño a la vegetación es bajo.	
Cobertura del estrato arbóreo es > del 60%.	
Son consideradas como las áreas de mayor importancia y fragilidad.	

- Zona de uso restringido. Circunda a la zona de protección, se tolera la recreación en un nivel moderado con la posibilidad de establecer campamentos rústicos temporales y senderos para caminata, de tal manera que no interfieran con el carácter primitivo inalterado de la zona (Tabla 18). La finalidad del manejo de la zona es la de reducir o amortiguar los impactos de los usos intensivos, preservando la naturalidad de la zona de protección, y a mismo tiempo realizar actividades de investigación, educación, ganadería extensiva y de turismo ecológico poco intensivo. Los ecosistemas alterados o modificados que quieran reconstituirse, podrán entrar en esta categoría.

**Tabla 18. Integración de actividades recreativas a la Zona de Uso Restringido de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial.**

<b>Características</b>	<b>Actividades propuestas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Se permiten actividades de investigación, enseñanza y formación, pero sin dañar los recursos de la zona.</li> <li>○ El uso recreativo se restringe a caminatas y campamentos rústicos.</li> <li>○ No se permite el establecimiento de infraestructura para la recreación.</li> <li>○ Los accesos se limitan a senderos para propósitos recreativos no motorizados</li> <li>○ La señalización deberá ser mínima</li> <li>○ Los senderos deberán mantener una pendiente de aprox. 7 grados de pendiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de aves.</li> <li>○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.</li> <li>○ Miradores naturales.</li> <li>○ Contemplación de zonas de Alta Montaña.</li> <li>○ Paseos y excursiones a pie</li> <li>○ Contemplación de cuerpos acuáticos (ríos/ arroyos, caídas de agua,...)</li> <li>○ Contemplación de senderos naturales</li> <li>○ Contemplación de zonas biodiversas (Bosque mesófilo de montaña)</li> <li>○ Camping</li> <li>○ Áreas de observación astronómica.</li> </ul>

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

Terrenos semi accesibles (cañadas o laderas) con senderos no motorizados.  
 Masa forestal cerrada a semi abierta, observandose cierta inaccesibilidad.  
 La erosión es baja.  
 La actividad antropogénica es baja  
 El Daño a la vegetación se caracteriza por presentar árboles derribados, despuntados o tocones.  
 La cobertura del estrato arbóreo es de 35-65%.  
 Se permiten las actividades de bajo impacto sin infraestructura.

- Zona de Recreación y Administración. Esta zona comprende una superficie más amplia y abierta. Las actividades productivas deberán fomentar la cooperación entre investigadores, administradores y población local. Estas zonas se dividen en a) áreas de recreación extensiva, b) nodos de recreación intensiva y c) centros de servicios para visitantes.
- Área de Recreación Extensiva. Presenta cierto grado de alteración humana, en lo recreativo se usará para el disfrute estético, conjuntándolo con actividades de interpretación ambiental. Caracterizándose por el ambiente natural en lugar de suministrar facilidades de infraestructura para el hombre, lo que provoca que no haya altas concentraciones de visitantes y de automotores (Tabla 19).

**Tabla 19. Integración de actividades recreativas a la Zona de Recreación Extensiva de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial.**

Características	Actividades propuestas
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Área semi conservada</li> <li>○ Actividades de interpretación ambiental, turismo ecológico y fomento a la cultura.</li> <li>○ Características de la zona pueden ser variadas.</li> <li>○ Con caminos de baja velocidad, brechas, senderos y con señalamientos de interpretación ambiental, centros de interpretación de la naturaleza, museos, jardines botánicos (viveros forestales) y sitios de exhibición de hábitats <i>in situ</i>.</li> <li>○ El uso de vehículos se limita a los caminos destinados para ese uso.</li> <li>○ Caminos con características acordes con el paisaje del sitio y la topografía, y lo más estrecho posible con pendiente menor a 4 grados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Áreas de observación de formaciones geológicas y pedológicas.</li> <li>○ Miradores naturales.</li> <li>○ Ciclismo</li> <li>○ Contemplación de senderos naturales</li> <li>○ Escalada</li> <li>○ Zonas de búsqueda de minerales</li> <li>○ Camping</li> <li>○ Áreas de picnic</li> <li>○ Áreas para la observación astronómica</li> <li>○ Áreas para el volado de cometas.</li> </ul>

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

Terrenos accesibles (por ejemplo, pie de monte o con cercanía a caminos,...), con caminos de baja velocidad (brecha, vereda y terracería)  
 Masa forestal semiabierta a abierta (rala) con cercanía a caminos.  
 Erosión evidente.  
 Actividad antropogénica de aprovechamiento y de disfrute estético con baja infraestructura.  
 Cobertura del estrato arbóreo de aproximadamente el 30%.

- **Nodos de recreación Intensiva.** Áreas poco perturbadas a perturbadas, cuyos recursos son aptos para las actividades recreativas, educativas o culturales, soportando una alta densidad de visitantes (Tabla 20). La topografía se caracteriza por la facilidad de acceso para los vehículos y de la infraestructura requerida para su atención.

**Tabla 20. Integración de actividades recreativas a las Zonas de Recreación Intensiva de acuerdo con la metodología de Zonificación de Parques a Nivel Mundial.**

<b>Características</b>	<b>Actividades propuestas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Actividades comerciales restringidas a la venta de alimentos, recuerdos y material didáctico.</li><li>○ La infraestructura comercial y de caminos debe respetar la armonía del lugar</li><li>○ Actividades como: Campamentos, días de campo, pesca, senderos naturales, juegos al aire libre, conservación de la vida silvestre, y cacería fotográfica.</li><li>○ Zona de campamento con servicios básicos de agua y sanitarios.</li><li>○ Las construcciones o instalaciones pueden variar de simples a elaboradas. Permittedose el acceso de vehículos motorizados y estacionamiento.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Paseos y excursiones a pie</li><li>○ Escalada</li><li>○ Camping</li><li>○ Áreas de picnic</li><li>○ Áreas para el volado de cometas.</li></ul>

**Características para identificar el sitio de acuerdo a la Tabla de sitios forestales.**

Terrenos accesibles con caminos motorizados (carretera asfaltada, terracerías y/o brechas.)

Masa forestal semi abierta con parches de áreas sin vegetación.

Erosión evidente.

Actividad antropogénica intensa (aprovechamiento forestal, agrícola o de colonos.)

Daño a vegetación evidente (árboles quemados, despuntados, tocones, desramados y daño en follaje) la cobertura del estrato arbóreo es de 15-25%.

**Establecimiento de las zonas de usos recreativos y conservación de la zona de estudio.**

Para establecer la zonificación de actividades ecoturísticas y conservación en la ortofoto digital E14B41f se consideraron aquellas capas de información que concordaran con las características para identificar a cada una de estas actividades, de acuerdo con la Zonificación de parques a nivel mundial y a la Guía de sitios forestales (Tabla 21).

**Tabla 21. Capas de información empleadas en el establecimiento de la zonificación del área de estudio.**

Capas de información.	Zonificación en base a capas de información.
1) Zona de estudio.	
2) Carretera asfaltada.	
3) Accesos Primarios (terracería):	<b>Zona de Protección.</b>
3.1) A 100 metros	4 (los más alejados, a 500m.), 5.1, 10 (clase 3-4), 11
3.2) De 100 a 300 metros	
3.3) De 300 a 400 metros	
3.4) A 500 metros.	
4) Accesos Secundarios (brechas y veredas).	<b>Zona de Uso Restringido.</b>
5) Facetas:	4 (con cercanía o poco abundantes, de 400 a 300m.), 5.2, 10 (clase 2), 11.
5.1) Conservado.	
5.2) Regenerado.	
5.3) Aprovechamiento.	
5.4) Degradado.	<b>Zona de Recreación Extensiva.</b>
6) Puntos de Muestreo.	3 (con presencia o cercanía, de 300 a 100 m.), 5.3, 10
7) Zona de aplicación.	(clase 2, 11.
8) Claros en bosque.	
9) Poblados.	
10) Pendientes (%):	<b>Zona de Recreación Intensiva.</b>
10.1) 0-6.88% (ligero).	2,3 y 4 (con cercanía), 5.4, 8 (presencia), 10 (clase 1-2), 11.
10.2) 6.88-13.76-20.6% (moderada).	
10.3) 20.6-27.5-34.4% (fuerte).	
10.4) 34.4-41.2-61.9% (pronunciadas).	
11) Hidrología.	
12) Toponímico.	

Para utilizar algunas de estas capas de información fue necesario realizar su reclasificación, por distancias y rangos; en el caso de las capas de accesos, se realizó una reclasificación por distancias, ya que con esto se puede comprender a grandes rasgos, la influencia, acceso y/o perturbación de algún sitio en particular.

La capa de pendientes, se empleó con la finalidad de determinar de forma directamente proporcional la accesibilidad de los sitios y también llegar a fungir como un indicador para determinar si un sitio evaluado en la ortofoto digital es degradado o si su aspecto de degradado sea efecto de la topografía (pendiente) y la altitud. La capa de hidrología se empleó para determinar la presencia o cercanía de cuerpos acuáticos, esto debido a su valor e importancia para realizar algunas actividades recreativas y como indicador de un sitio a conservar. La capa del tipo de faceta, se generó a partir de los sitios de muestreo –mismos que fueron utilizados para la elaboración de la Guía de Caracterización de Sitios Forestales-, y la capa de facetas propuestas resultó ser la capa de información de mayor peso definitorio de las zonas forestales sobre la cual se integraron las demás variables analizadas.

En la integración de las capas de información para el establecimiento de las zonas de cada uno de los usos Ecoturísticos y Conservación, se realizó de la siguiente manera (Tabla 22):

**Tabla 22. Integración de las capas de información para el establecimiento de la zonificación de usos recreativos.**

Capas de información	Análisis Espacial.		Zona	Área (Ha).		Producto
				Por zona.	Zona de aplicación	
Terracería a 500m. Hidrológico. Faceta Conservada. Pendiente tipo: 3-4.	Unión.	Intersección.	Protección.	2939	5571	MAPA DE USO DE USO ECOTURÍSTICO Y CONSERVACIÓN.
	Intersección					
Terracería de 400-300m. Hidrológico. Faceta Regeneración. Pendiente tipo: 2.	Unión.	Intersección.	Uso Restringido	276		
	Intersección					
Terracería a 100-300m. Brechas y Veredas. Faceta de Aprovechamiento. Pendiente tipo: 2	Unión.	Intersección.	Recreación Extensiva.	1271		
	Intersección					
Carretera Asfaltada. Terracería a 100m. Brechas y Veredas. Faceta Degradada. Pendiente tipo: 1-2.	Unión.	Intersección.	Recreación Intensiva	1085		
	Pendiente					

Para cada zona, el análisis espacial de unión o intersección de capas de información, se decidió a partir de una integración o análisis lógico de acuerdo con las necesidades de cada zona. En el caso de la Zona de Protección, se eligieron los sitios que tuvieron el menor número de accesos (Carretera y Terracerías) y los más alejados (a 500 metros de los accesos principales), ya que si se eligieran los sitios que presentaran una cercanía a caminos, estos no se podrían considerar como un indicador de baja perturbación e impacto del sitio.

En el caso de la capa de hidrología, su valía consiste en que proporciona un parámetro de conservación y de belleza escénica, por lo que se le analizó en función de su presencia o cercanía.

La capa de faceta de sitios conservados, por sí misma proporciona información de los sitios que deben ser protegidos o restringidos a la gente en general.

La capa de pendientes (topográfico), se utilizó para generar aquella información que proveyera la caracterización de cada uno de los sitios en función de su inaccesibilidad y por consiguiente de la conservación que presentan.

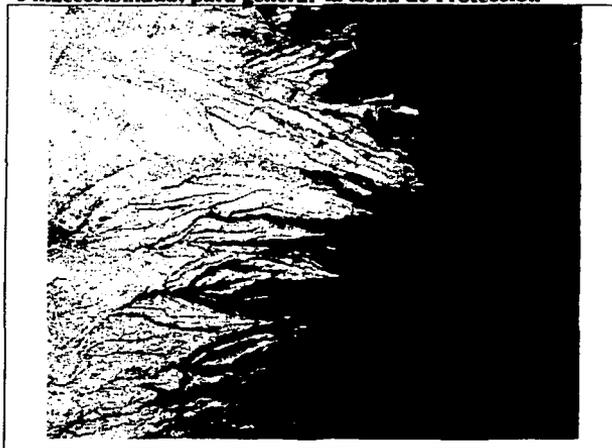
De esta manera, las capas de accesos y la de hidrología se unieron para dar como resultado una capa de información que cumpliera con el criterio de lejanía de caminos y el de presencia de cuerpos hidrológicos, pero en el caso de facetas y pendientes, se generó la capa de información que contenía aquellos sitios que tuvieran la característica de ser conservado e inaccesible, por lo que el análisis espacial establecido fue el de Intersección de sitios que cumpliera con esas condiciones (Figura 14).

El siguiente procesamiento que se realizó, fue el de identificar a aquellos sitios que tuvieran la característica de ser conservados y no fueran de fácil acceso por su topografía y por su falta (o lejanía) de vías de acceso. Por lo cual, los sitios que cumplieron con dichas condiciones dio como resultado la Capa de Zonas de Protección, para lo cual se realizó el análisis espacial de intersección de capas (Figura 15).

Figura 14. Integración de las capas de información en el establecimiento de la Zona de Protección



Fig. 15. Capa que integra las características de conservación e inaccesibilidad, para generar la Zona de Protección



La Zona de Uso Restringido se implementó, en el mismo sentido que el de protección, donde se comenzó a elegir a los sitios con un alejamiento aún considerable a las vías de accesos (de 400-300 metros), debido a que este alejamiento se mantiene el criterio de cierto grado de conservación y por otro lado, la capa de hidrología también sigue cumpliendo la función de indicador de sitios propuestos a conservar y de belleza escénica. Se volvió a establecer el análisis espacial de unión de capas, con la finalidad —como en el caso anterior— de establecer las condiciones generales del sitio. El tipo de faceta utilizado en esta ocasión fue el de regeneración, ya que este da también la pauta de un sitio conservado aunque en menor grado y a su vez la de un sitio que debe ser controlado de cierta manera, su acceso. Para determinar el tipo de pendiente que tendría que ser utilizado, se baso en la tabla de sitios forestales, por lo que las pendientes moderadas son las que mejor describen este tipo de zonas. De esta manera lo sitios que tuvieran lugares con características de regeneración y por lo tanto de un sitio restringido, pero de topografía semiaccesible, da como resultado aquellos sitios que cumplen con estas condiciones, utilizándose nuevamente el análisis espacial de intersección. Por lo que sólo se eligieron aquellos sitios que presentaban la característica de Zona de Uso Restringido.

Las zonas para la Recreación Extensiva e Intensiva, estuvieron dadas principalmente por su característica de facilidad de acceso. Por lo que en estos casos se utilizaron todas las capas de accesos (Carretera Asfaltada, Terracerías y la de Brechas y Veredas). En el caso de la Recreación Intensiva se hizo uso de la capa de Carretera asfaltada, que en conjunto con el de las demás vías de acceso se tiene el diagnóstico de un sitio altamente perturbado y/o degradado, ya que a un mayor número de accesos, mayor es la actividad antropogénica a la cual está sometida esos lugares. En el caso de la capa de pendientes, se eligieron aquellas pendientes que fueron muy ligeras o casi nulas, debido a que esto es uno de los factores que determinan la accesibilidad de un lugar, utilizado tanto para actividades recreativas como productivas (por ejemplo, agricultura y aprovechamiento forestal), por lo que a partir del número de accesos y su topografía se empezó a establecer una diferencia de intensidad de uso. Por lo cual, en este caso, las capas de facetas de Aprovechamiento y Degradado fungieron con carácter definitorio para cada uno de los distintos tipos de uso recreativo, donde la Faceta de Aprovechamiento estableció la Zona de Uso Recreativo Extensivo, esto por su característica de perturbación moderada y siendo idónea para actividades recreativas. La capa de Faceta Degradada, estableció la Zona de Recreación Intensiva, debido a que ésta faceta concentra a aquellos sitios que han sido más fuertemente alterados y por lo tanto de un sitio que presenta una intensa actividad antropogénica.

Una vez establecidas cada una de estas zonas como capas de información, se procedió a realizar otro análisis espacial de unión de capas, en donde se agruparon todas las zonas propuestas, para de esta

manera tener la capacidad de realizar análisis espacial de área, lo cual se realizó con el propósito de conocer el área que comprendía cada una de las zonas. Por otra parte, como la información de las distintas zonas de aprovechamiento y conservación se encuentran en forma de parches de diferentes tamaños así como de distribución, se elaboró una capa de zona de amortiguamiento o influencia (a 100 metros de cada uno de los parches) con lo cual, se buscó asegurar una integridad de las zonas generadas y el de tener una continuidad espacial para cada una de éstas. De esta manera, se elaboró la capa de amortiguamiento (buffer) de las zonas de uso ecoturístico y conservación, buscándose realizar una integración espacial y congruencia entre distribución, tamaño, forma y uso de cada una de las zonas generadas (Ver Mapa).

A partir de estos análisis espaciales, algunas zonas que se establecieron fuera del área de aplicación fueron excluidas (o no tomadas en cuenta), así como aquellas zonas que tenían un área muy pequeña o que además se encontraban inmersas en otras de mayor tamaño, esto debido a que no cumplían con el criterio de área mínima cartografiable –mismo que se estableció para realizar las digitalizaciones del área de estudio- de 0.25 cm<sup>2</sup> a una escala de 1:37,000. Ahí pues, la capa de zona de aplicación sirvió para elaborar e implementar el criterio de aquellas zonas que fueron eliminadas y por lo tanto, no ser contempladas en los análisis espaciales posteriores. En o que respecta a las áreas que no presentaron algún tipo de clasificación, se debe seguramente a que son sitios que presentan otros tipos de actividades que no fueron contempladas (por ejemplo, turismo cultural, educación ambiental, áreas de aprovechamiento forestal, agroforestería,...).

En el mapa de uso ecoturístico y conservación se muestra claramente la distribución y cobertura de las zonas propuestas: Protección, Uso Restringido, Recreación Extensiva y Recreación Intensiva, de las cuales, mediante el SIG se realizaron los cálculos de área con lo que se tiene una mejor idea sobre el espacio propuesto para cada una de las zonificaciones y con ello favorecer que cuando se desee implementar, se tenga una idea sobre la extensión de cada uno de los usos propuestos.

A partir de este mapa, se desprende la siguiente discusión; de forma general tenemos que las zonas de Protección y de uso Restringido se encuentran distribuidas espacialmente de manera general en las partes altas, en donde la zona de protección se encuentra predominantemente en las zonas más altas del área de estudio. Por otra parte la zona de uso restringido se ubica inmediatamente por debajo de la zona de protección y por encima de las zonas de uso recreativo, siendo esta la que presenta una distribución espacial muy reducida. Por lo que respecta a las zonas de uso Recreativo Extensivo e Intensivo, se tiene que su presencia y distribución se ven fuertemente influenciadas por las actividades productivas que se desarrollan cerca o parcialmente dentro de estas zonas.

De manera particular, tenemos que la zona de Protección es la que presenta la mayor cobertura, con un área de 2939 Ha, lo que deja entrever el estado general de conservación de la zona. Estas áreas concuerdan topográficamente con las cañadas que se encuentran en las laderas inmediatamente por debajo de los volcanes y en los sitios con pendientes pronunciadas.

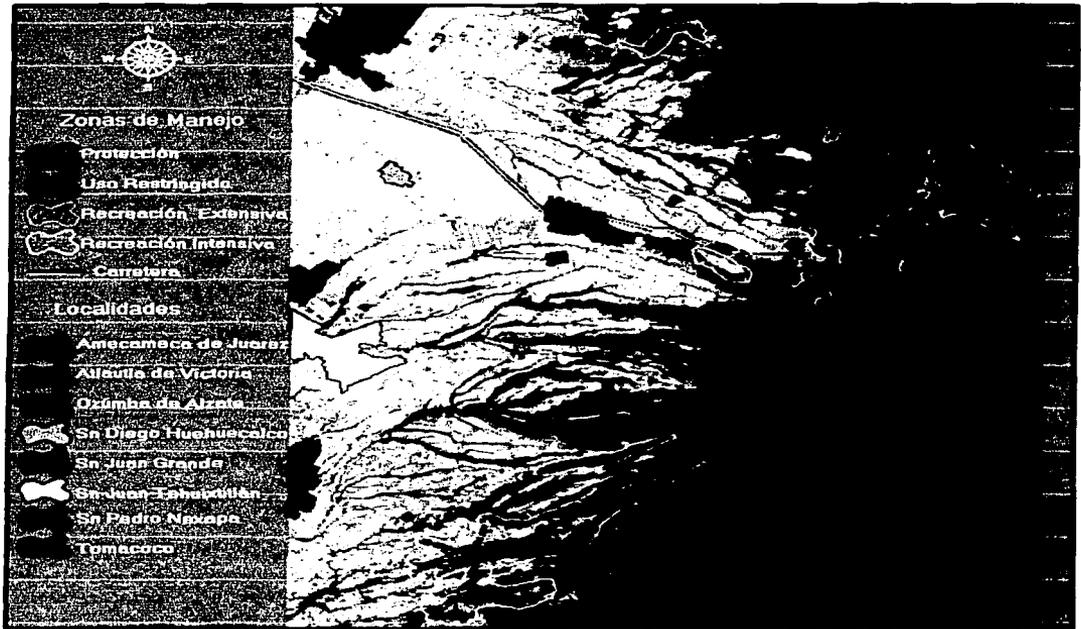
Las zonas de uso restringido presentan apenas una cobertura de 276 Ha, lo que la convierte en la zona más conspicua, lo que de cierto modo evidencia su marcada condición de regeneración de las condiciones naturales. Estas zonas tienen la característica de que se encuentran generalmente colindando con las zonas de protección y recreación, lo que hace suponer que las zonas de uso restringido son aquellos lugares que se esperaría encontrar en estos sitios de transición.

La Zona de Recreación Extensiva cuenta con una extensión de 1271 Ha, lo que la convierte en la segunda en cuanto a extensión, lo que resalta su importancia en cuanto al cuidado que se debe tener con su aprovechamiento y actividades que se pretendan implementar, ya que de lo contrario se pondrá en riesgo las zonas de conservación y por ende las condiciones naturales propias del Parque Nacional Izta-Popo. Además esta zona reviste otro aspecto a considerar y es el que si su degradación aumenta las zonas de uso restringido se verán fuertemente afectadas por el aumento de actividades productivas, por lo que hay que propiciar que estas zonas sigan presentándose sólo en las áreas bajas de la zona de estudio.

La Zona de Recreación Intensiva presenta una extensión de 1085 Ha, estas zonas tienen la característica de presentar una marcada heterogeneidad en cuanto a su distribución, ya que se presentan tanto en las partes inferiores como en las superiores de la zona de estudio, sin embargo su presencia en las partes altas responde a varios factores: la influencia de la carretera que es el acceso principal para acceder a Paso de Cortés, la presencia de líneas eléctricas, además de que las pendientes donde confluyen son poco pronunciadas.

De la siguiente manera, tenemos que la zonificación cuenta con una cobertura total de 5,571 Ha, con lo que se pretende el tener al menos la herramientas necesarias para implementar en proyectos posteriores un plan de manejo donde se tomen en cuenta factores como fauna, suelo, etc., y de esta forma dar una respuesta integral, no solo al área de influencia sino también al Parque Nacional Izta-Popo.

MAPA DE USO ECOTURÍSTICO Y CONSERVACIÓN



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza  
Departamento de Biología  
El Estero  
San Gabriel, México D.F.  
Nicolás Eusebio Contreras de Rojas  
FEBRERO de 2003

0 750 1500 3000 4500 6000 Meters



### **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con el trabajo se demostró que es posible realizar una planeación sin recurrir a muestreos exhaustivos, sino mediante levantamiento fisiográfico y procesamiento de muestreos en campo por medio de la ayuda de una guía, con lo que se puede tener una mayor operatividad y economía en tiempo y recursos.

La obtención de solo cuatro tipos de zonas de los sitios de muestreo, obedece a que un número mayor de tipos implicaba un mayor detalle de las condiciones y características de campo, fotointerpretación y digitalización, lo que le restaría operatividad y factibilidad al momento de implementarlo.

La guía para la delimitación de sitios forestales fue generada como una necesidad para poder caracterizar, agrupar y clasificar a los distintos sitios forestales, de acuerdo a unos cuantos grupos de características, sin tener que realizar todo el levantamiento del sitio. Sin embargo, la guía presenta una limitante en su aplicación, ya que depende en gran medida de las comunidades vegetales, y por lo tanto, de la altitud, y en la zona de estudio la vegetación comienza a cambiar aproximadamente a los 3 500 msnm.

Las zonas de protección son las más extensas y en mucha menor proporción se tienen a las de uso restringido, quedando en extensión intermedio los usos recreativos extensivos e intensivos, además las primeras se ubican cerca del Parque Nacional y las últimas hacia los poblados.

Se propone que el siguiente nivel de este trabajo consista en aplicar análisis de procesamiento digital de imágenes satelitales para poder automatizar y extrapolar la identificación de las zonas y sus actividades asociadas.

Un punto relevante que se detectó con el material cartográfico digital del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) es que no siempre concordaba y por lo tanto se presentaron problemas con la ubicación geográfica, además de ser muy general y de bajo detalle, que al momento de querer implementar alguna zonificación o planeaciones del terreno, mucha de la información requerida tendría que ser generada, conllevando a un elevado costo en tiempo, dinero y recursos humanos.

## 9. LITERATURA CITADA

- 1)  Aguilar M., J. J. (2001) "Planeación ecológica de áreas con potencial ecoturístico en el Rancho Los Ebanos, Matamoros Tamaulipas". Tesis profesional. UACH-Depto. De Suelos. Chapingo, Edo. de México.
- 2)  Alcerreca A., C. y Consejo D., J. J. (1988) "Fauna silvestre y Áreas Naturales Protegidas." Colección Medio Ambiente. Edit. Fundación Universo Veintiuno, A. C. México, DF.
- 3)  Benítez Díaz, H.; Vega López, E.; Peña Jiménez, A.; Ávila Foucat, S. (1998) "Aspectos económicos sobre la biodiversidad de México". 1ª Edición. Edit. CONABIO-INE. México, DF. Pág. 51-77, 113-121, 145-165, 191-203
- 4)  Calderón M. S. y González G, Y. (1990) "Propuestas de zonificación del Parque Nacional "el Tepozteco", Estado de Morelos". Tesis de Licenciatura. ENEP-Zaragoza, UNAM. México, DF.
- 5)  Chávez C., J. M. y Trigo B., N. (1996) "Programa de manejo para el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl". Edit. Jason's. UAM-Xochimilco. Colección "Ecología y planeación". México, DF.
- 6)  Cuanalo de la Cerda, H. (1990) "Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo". 3ª Edic. Colegio de Postgraduados (Centro de Edafología) Chapingo, México.
- 7)  De la Vega M., J. Plan de desarrollo municipal 1997-2000. "Proyecto ecoturístico, Zona Oriente del Municipio de Texcoco, Estado de México". H. Ayuntamiento Municipal de Texcoco, Dirección de Planeación y Desarrollo.
- 8)  Domínguez Cárdenas, R. (1981) "Aplicación del levantamiento fisiográfico para la determinación del uso múltiple de tierras forestales en un área de la unidad industrial de explotación forestal "San Rafael", Edo. De México". Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados (Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Centro de Genética). Chapingo, Edo. de México.
- 9)  FAO. (1986) "Evaluación de Tierras con fines forestales." Estudio FAO Montes. Núm. 48. Roma, Italia.
- 10)  Flores Cano, E. (Coordinador). (1997) "El patrimonio nacional de México" Tomo I. Edit. FCE. México. Páginas: 111-138
- 11)  Flores F., M. "Diseño y aplicación de una metodología para la identificación de ecotonos en el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl y su área de influencia." Informe de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Depto. El hombre y su ambiente. México, DF.
- 12)  Gaceta de Gobierno del Estado de México. 4 de junio de 1999. "Ordenamiento ecológico del Territorio del Estado de México". N° 106, tomo CLXVII. DESCRIPCIÓN: Formular un instrumento de planeación territorial que permita inducir el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, en concordancia con el desarrollo de las actividades productivas en el Estado de México.
- 13)  García B., J. (2000) "Evaluación del potencial ecoturístico de los recursos naturales como alternativa de conservación en nueve ejidos de la Selva Lacandona, Chiapas". Informe de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Depto. El hombre y su ambiente. México, DF.
- 14)  García C., J. M. (1999) "Estrategia de desarrollo rural integral sustentable en la región volcánica Izta-Popo". Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Edo. de México.

- 15) ☐ Hammitt, W. E. And Cole, D. N. (1987) "Wildland recreation: Ecology and management". Edit. Wiley-Interscience publication. USA.
- 16) ☐ Jensen, M.E. and Bourgeron, P.S. (2001) "A guidebook for integrated ecological assessment". Edit. Springer-Verlag. New York, EU.
- 17) ☐ Johnston, C. A. (1998) "Geographic information systems in ecology". Editorial Blackwell Science Ltd. USA.
- 18) ☐ Klomp, A. And Lunt, I. (1997) "Frontiers in ecology: Building the links". Edit. Elsevier Science.
- 19) ☐ Malczewski, J. (1999) "GIS and multicriteria decision analisis". Edit. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- 20) ☐ Mena A., L. (1999) "Proyecto de ordenamiento ecológico en el Municipio de Tlalmanalco de Velásquez, Estado de México." Informe de Servicio Social. AUM-Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Depto. El hombre y su ambiente. México, DF.
- 21) ☐ Navarro P, M. C.; Legorreta P., G. (1992) "Sistemas de información geográfica: Teoría introductoria y ejercicios con AutoCAD e IDRISI". Número II. Ediciones docentes del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", UNAM. Facultad de Ciencias, Dep. de Biología.
- 22) ☐ Olvera Vargas, M.; Moreno Gómez, S. Y Figueroa Rangel, B. (1996) "Sitios permanentes para la investigación silvícola: Manual para su establecimiento". Univ. de Guadalajara, México.
- 23) ☐ Ortiz S., C. A. y Cuanalo de Cerda, H. E. (1984) "Metodología del levantamiento fisiográfico: Un sistema de clasificación de tierras". UACH-Centro de Edafología. Chapingo, Edo. de México.
- 24) ☐ Pérez Hernández, M. A. (s/f) "Prácticas de laboratorio integral de biología III: Módulo de ecología". UNAM-FES Zaragoza. México.
- 25) ☐ Siebe, C.; Jahn, R y Stahr, K. (1996) "Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo".
- 26) ☐ Simmons, I. G. (1982) "Ecología de los recursos naturales". Edit. Omega. Barcelona. Pág. 101-123.
- 27) ☐ Adinarayana, J.; Flach, J. D.; Collins, W. G. (1994) "Mapping land use patterns in a river catchment using geographical information systems". *Journal of Environmental Management*. Núm. 42, Pág. 55-61.
- 28) ☐ Ball, G. L. (1994) "Ecosystem modeling with GIS". *Environmental Management*. Vol. 18, núm. 3, pag. 345-349.
- 29) ☐ Berry, J. K. And Berry J. K. (1998) "Assessing spatial impacts of land use plans". *Journal of Environmental Management*. Núm. 27, Pág. 1-9.
- 30) ☐ Bocco V., G.; Palacio P., J. L. y Valenzuela, C. R. (1991) "Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica" *Ciencia y desarrollo*. Vol. XVII núm. 97, Pág. 79-88.
- 31) ☐ Camarillo, J. L.; Gutiérrez, E. C.; Camarena, G. (1991) "Áreas naturales protegidas en México: Una síntesis". *Ciencia y desarrollo*. Vol. XVII, núm. 99, Pág. 39-45.
- 32) ☐ Eade, J. D. O.; Moran, D. (1996) "Spatial economic evaluation: Benefits transfer using geographical information systems". *Journal of Environmental Management*. Núm. 48, Pág. 97-110.

- 33) ▣ Gumbrecht, T. (1996) "Aplicación del SIG en la capacitación para el manejo ambiental". *Journal of Environmental Management*. Núm. 46, Pág. 17-30.
- 34) ▣ Hepcan, S. (2000) "A methodological approach for designating management zones in Mount Spil National Park, Turkey". *Environmental Management*. Vol. 26, núm.3, Pág. 329-338.
- 35) ▣ Hyman, J. B. And Leibowitz, S. G. (2000) "A general framework for prioritizing land units for ecological protection and restoration". *Environmental Management*. Vol. 25, núm. 1, Pág. 23-25.
- 36) ▣ Juárez G., M. C. (1996) "Los mapas: Funciones y enfoques". *Geografía. Revista del INEGI*. Vol. VI, núm. 7, Pág. 65-71.
- 37) ▣ Kim, L. A. (1990) "An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS". *Journal of Environmental Management*. Núm. 31, Pág. 247-259.
- 38) ▣ Lai, P. (1990) "Feasibility of geographic information systems approach for natural resource management". *Environmental Management*. Vol. 14, núm. 1, Pág. 73-80.
- 39) ▣ Lewis, D. M. (1995) "Importance of GIS to community-based management of wildlife: Lessons from Zambia". *Ecological applications*. Vol. 5, núm. 4, Pág. 861-871.
- 40) ▣ Lohanson, A. K. L. And Cramb, R. A. (1994) "integrated land evaluation as an aid to land use planning in Northern Australia". *Journal of Environmental Management*. Núm. 40, Pág. 139-154.
- 41) ▣ Oleschko, K. (1995) "Perspectivas de la percepción remota de las propiedades físicas de los suelos". *Terra*. Vol. 13, núm. 1, Pág. 30-48.
- 42) ▣ Peccol, E.; Bird, A. C. y Brewer, T. R. (1996) "GIS as a tool for assessing the influence of countryside designations and planning policies on landscape change". *Journal of Environmental Management*. Núm. 47, Pág. 355-367.
- 43) ▣ Quiroz R., N. H. (1996) "Morfopedología y erosión en los grandes estratovolcanes de la Sierra Nevada". *Geografía. Revista del INEGI*. Vol. VI, núm. 7, Pág. 1-34.
- 44) ▣ Wall, G. (1997) "Is ecotourism sustainable?" *Environmental Management*. Vol. 21, núm 4, pag. 483-491.
- 45) ▣ Anónimo. "Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.greenbuilder.com/mader/ecotravel/mexico/parques/edomexico2b.html>. y <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/mexico/parques/edomexico2.html>.
- 46) ▣ Anónimo. "Sistemas de información geográfica (SIG)." Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://cali.cetcol.net.co/~resnatur/sig.html>.
- 47) ▣ Edeso F., J. M.; Mauri, P. Y Merino; A. (2001)"Aplicaciones de los sistemas de información geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.arrakis.es/~pedromm/articulo1.htm>.
- 48) ▣ Felicísimo, A. M. (1994) "Modelos Digitales del Terreno". (Documento PDF) Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- 49) ▣ García O., G. "Aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) al transporte carretero". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.imt.mx/Espanol/Notas/6/art4.html>.

- 50)  García O., G. "La percepción remota como medio para la actualización de datos en un SIG". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.itm.mx/Espanol/Notas/11/art1.html>
- 51)  García O., G. "Los sistemas de información geográfica y el transporte". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.imt.mx/Espanol/Notas/26/art2.html>
- 52)  Levachkine, S. (2000) "Digitalización automatizada de mapas raster". *Revista digital universitaria*. Vol. 1. Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.revista.unam.mx/vol.0/art3/art3.html>.
- 53)  López G., P. y Palomino, B., P. (1998) "Turismo y Medio Ambiente" Fecha de acceso: Febrero de 2002. <http://www.tcinfinet.com/mader/planeta/ecobocon.html>
- 54)  Schindler, L. (1997) "Regional ecotourism plans". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.up.ac.za/science/eco/region.htm>.
- 55)  SEMARNAP-SECTUR (1997) "Programa de ecoturismo en áreas naturales protegidas de México". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www2.planeta.com/mader/planeta/1197mexico.html>
- 56)  Servicio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (SDRN). Dirección de Investigación, Extensión y Capacitación de la FAO. (2001) "Sistema de información geográfica en el desarrollo sostenible". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.fao.org/sd/epdirect/gis/intro.htm>.
- 57)  South Australian Tourism Commission. (1998) "Ecotourism: A south Australian design guide for sustainable development". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www.podi.com/ecosource/ecotour/research/dsanbook.htm>.
- 58)  Ward, K. N. (1997) "Ecotourism: Reality or rethoric. Ecotourism development in the state of Quintana Roo, México". Fecha de acceso: Febrero de 2002 <http://www2.planeta.com/mader/ecotravel/mexico/yucatan/ward/ward.html>.



Carta geográfica Estado de México. Escala 1:250,000 (1995) INEGI, México



Espaciograma de la Ciudad de México. Escala 1:250,000 INEGI, México



Fotografías aéreas. Escala 1:37,000 (1986) INEGI, México



Mapas Temáticos y Topográfico Carta Amecameca E14B41 INEGI, México



Modelo Digital de Elevación E14B41 Escala 1:50,000 INEGI, México



Ortofoto Digital E14B41f Escala 1:20,000 (Febrero de 1994) INEGI, México

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

10. ANEXOS

En el patrón de retención de copa los porcentajes que se dan, están en función de la observación de las masas forestales que se evaluaron en el sitio y los resultados se reportan en porcentaje del total de los árboles presentes a una circunferencia de 20 m a la redonda del punto central del sitio.

**Anexo 1. Patrones de Retención de Copa<sup>15</sup>.**

% DE COPA RETENIDA TIPO DE MORTALIDAD	0	25% 1/4	50% 2/4	75% 3/4	100% 4/4
Irregular (I)	 I 0	 I 1	 I 2	 I 3	 I 4
Descendente (D)		 D 1	 D 2	 D 3	
Ascendente (A)		 A 1	 A 2	 A 3	
Lateral (L)		 L 1	 L 2		

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>15</sup> Realizado por SAGAR, 1984

**Anexo 2. FORMATO DE CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA**

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Hora: \_\_\_:\_\_\_ am / pm Clave de Faceta: \_\_\_\_\_ Localidad \_\_\_\_\_  
 Altitud: \_\_\_\_\_ msnm Coordenadas: E \_\_\_\_\_ ; N \_\_\_\_\_ Punto: A B C D  
 Observador: \_\_\_\_\_

Estratos	Cobertura %	Altura (m)	Daño en Vegetación arbórea					
			Nulo	Quemado	Desramado	Corteza	Follaje	
Arbóreo			Ocotado	Cinchado	Lacrado	Resinado	Despuntado	
Arbustivo			Podrido	Plagado	Raíces exp	Tocones	Derribado	
Especies forestales predominantes			P O Q C J A P= Pinus, O= Oyamel, Q= Quercus, C= Cupressus, J= Juniperus, A= Alnus					
			INCENDIO	Nulo	Ligero	Moderado (50cm)	Fuerte (1m)	Severo (árbol maduro)

**VEGETACIÓN.**

Regeneración Natural:	Presencia de conos:	(%) Área desnuda:		
Nulo P O Q C J A	Nulo Poca Reg Mucho			
Cuadrante de Regeneración (1m <sup>2</sup> ):				
PATRÓN DE RETENCIÓN DE COPA (%).		Muerto en pie	Saludable	
Irregular: 1 2 3		Descendente: 1 2 3	Ascendente: 1 2 3	Lateral: 1 2

**GEOFORMAS.**

Posición Topográfica	Fondo de valle o depresión	Planicie	Pie de monte	Cañada
Ladera	Meseta	Cima	Cresta	Lomerío
Microrrelieve	Lomerío	Accidentado	Ladera cóncava	L convexa
L cóncava / convexa	Surcado	Pedregoso	Otro:	

Exposición	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
	NORESTE	NOROESTE	SURESTE	SUROESTE
Pendiente:	(*) Longitud de pendiente (m):			

**SUELO.**

PARÁMETROS EN CAMPO.				
% Hojarasca:	Espesor Hojarasca (cm):	Composición Hojarasca:		
		P O Q C J A		
Tipo roca: Ig Met Sed	Basura: No Poca Reg Much	Extracción del sotobosque:		
		No Poca Reg Much		
% Gravas / piedras:	% Rocas:	Textura tacto:		
Color húmedo:	Color seco:	pH:	Compactación: No Poca Reg Much	