



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA PARA EL INVENTARIO FORESTAL DEL ESTADO DE MÉXICO 2010

INFORME ACADÉMICO POR ACTIVIDAD PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

ALMA LILIA MAYA ISLAS



ASESORA: DRA. LILIA DE LOURDES MANZO DELGADO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA, LO QUE MÁS QUIERO EN LA VIDA

A MI MADRE

A MI PADRE

A MI HERMANO

A MI TÍA

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora la Dra. Lilia de Lourdes Manzo Delgado

A Consultores para la Investigación Aplicada y el Desarrollo S.A de C.V

A mis sinodales:

Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez

Mtra. Irma Edith Ugalde García

Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez

Dr. Jesús Abraham Navarro Moreno

ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| OBJETIVOS PARTICULARES | 3 |
| CAPITULO 1. GENERALIDADES Y CONTEXTO INTERNACIONAL | 4 |
| 1.1 Conceptualización | 4 |
| 1.1.1 Objetivos de los Inventarios Forestales en el contexto internacional | 5 |
| 1.1.2 Objetivos del Inventario Nacional Forestal | 8 |
| 1.1.3 El uso de la percepción remota y los sistemas de información geográfica en los inventarios forestales, fundamentos físicos y técnicos. | 11 |
| 1.1.4 Análisis espacial en el Inventario Nacional Forestal..... | 13 |
| 1.2 Inventarios Forestales en el contexto mundial | 14 |
| 1.2.1 Inventario Forestal de Finlandia..... | 15 |
| 1.2.2 Inventario Forestal de Suiza | 15 |
| 1.2.3 Inventario Forestal de Canadá NFI | 16 |
| 1.2.4 Inventario Forestal de Estados Unidos..... | 16 |
| CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES EN EL CONTEXTO NACIONAL | 17 |
| 2.1 Inventarios Nacionales Forestales en México | 17 |
| 2.1.1 Primer Inventario Nacional Forestal 1961 – 1985 | 17 |
| 2.1.2 Inventario Nacional Forestal de Gran Visión 1991 – 1992 | 18 |
| 2.1.3 Inventario Nacional Forestal Periódico 1992 – 1994 | 20 |
| 2.1.4 Inventario Nacional de Recursos Naturales 2000 | 22 |
| 2.1.5 Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004 – 2009 | 24 |
| 2.2 Inventarios Forestales Estatales actualizados..... | 27 |
| 2.2.1 Inventario Forestal y de Suelos del Estado de Querétaro..... | 28 |
| 2.2.2 Inventario de Recursos Naturales de Jalisco | 29 |
| 2.2.3 Próximos Inventarios Estatales | 30 |
| 2.3 Antecedentes del Inventario Forestal del Estado de México | 30 |
| 2.3.1 Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005 – 2025 . | 31 |
| 2.3.2 Protectora de Bosques del Estado de México..... | 32 |
| 2.3.3 Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México..... | 34 |
| CAPÍTULO 3. FASES PREVIAS A LA ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA EN EL INVENTARIO FORESTAL DEL ESTADO DE MÉXICO | 37 |
| 3.1 Selección de puntos de muestreo | 37 |
| 3.1.1 Muestra estadística | 37 |
| 3.1.2 Distribución de conglomerados | 39 |
| 3.2 Procesos cartográficos durante los muestreos de campo | 41 |
| 3.3 Levantamientos en campo | 45 |
| CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DEL ARCHIVO VECTORIAL DE COMUNIDADES VEGETALES | 48 |
| ESCALA 1:50 000..... | 48 |
| 4.1 Matriz de procedimientos | 48 |
| 4.2 Definición de Objetivos | 49 |
| 4.3 Insumos | 49 |
| 4.4 Disponibilidad de recursos | 51 |
| 4.5 Elección del método de análisis visual por interpretación de imágenes de satélite | 52 |
| 4.6 Determinación de clases en leyenda..... | 53 |
| 4.6.1 Revisión bibliográfica | 55 |
| 4.6.2 Caracterización de comunidades vegetales y criterios para su identificación..... | 55 |
| 4.6.3 Reconocimiento de factores para la visualización e interpretación de imágenes..... | 60 |
| 4.7 Análisis visual e interpretación | 63 |
| 4.8 Descripción de conflictos en situaciones particulares | 67 |

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| 4.9 Procesos y productos finales cartográficos..... | 70 |
| 4.9.1 Archivo vectorial formato shape..... | 71 |
| 4.9.2 Juego de cartas digitales e impresas..... | 72 |
| 4.9.3 Mapas municipales de comunidades vegetales..... | 75 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS | 76 |
| CONCLUSIONES | 80 |
| ANEXO 1. “ <i>Currículum vitae</i> ” | 83 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 84 |

INTRODUCCIÓN

El Estado de México representa el 1.1 % de la superficie total del país, cuenta con una extensión territorial de 22,487.67 km², de la cual 10,878 corresponden a superficie forestal, que equivalen al 48 % del territorio estatal, constituido en su mayoría por bosques de coníferas y latifoliadas, cuyas especies más comunes son el pino, el oyamel y el encino. Con la finalidad de contar con información cartográfica digital actualizada de los recursos forestales de esta entidad, la Protectora de Bosques del Estado de México, PROBOSQUE, tomó la iniciativa de elaborar el Inventario Forestal del Estado de México 2010 con el apoyo de la empresa particular Consultores para la Investigación Aplicada y Desarrollo S.A. de C.V. (INYDES).

La actualización del inventario requirió de personal especializado en el conocimiento de la distribución geográfica y ubicación de los recursos forestales, así como también la experiencia en el manejo de técnicas de identificación cartográfica con el uso de sistemas de información geográfica. Estas capacidades son las que brinda el programa de la Licenciatura en Geografía, de la Universidad Nacional Autónoma de México, motivo por el cual la pasante en Geografía Alma Lilia Maya Islas, responsable del presente Informe Académico Profesional, fuera contratada por INYDES - PROBOSQUE, asignándole el cargo de Coordinadora Especialista en Cartografía, apoyando también la logística de todas las etapas del proyecto.

La realización del inventario forestal se dividió en tres etapas. La primera consistió en la realización de mediciones dasométricas en campo. La segunda etapa se destinó al análisis espacial para identificar y clasificar la vegetación. La última etapa se destinó a la edición cartográfica a escala 1:50000.

El presente Informe Académico Profesional describe las diferentes etapas del proyecto mencionado teniendo como objetivo general describir la metodología establecida por PROBOSQUE para elaborar la cartografía del Inventario Forestal del Estado de México 2010, como una contribución para impulsar la realización de este tipo de proyectos en otros estados del país.

La publicación final del Inventario Forestal del Estado de México 2010, se encuentra disponible en internet en cuyos créditos se reconoce mi participación, el enlace es http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/publicaciones/inventario_forestal/index.htm.

OBJETIVO GENERAL

- Describir la metodología para la elaboración de la cartografía en el Inventario Forestal del Estado de México (IFEM) 2010, basada en objetivos y requerimientos específicos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar el contexto internacional, nacional y estatal de los inventarios forestales.
- Describir la importancia de las mediciones dasométricas como base para los inventarios forestales.
- Resaltar la importancia de los archivos vectoriales como apoyo en futuros inventarios y proyectos relacionados con la cartografía forestal.
- Aplicar las normas de los metadatos y nomenclatura de los archivos espaciales.
- Destacar la importancia y potencialidad de la Licenciatura en Geografía impartida en la UNAM en relación al conjunto de conocimientos y habilidades que el geógrafo posee para elaborar proyectos cartográficos de gran importancia como lo es el Inventario Forestal del Estado de México.

CAPITULO 1. GENERALIDADES Y CONTEXTO INTERNACIONAL

1.1 Conceptualización

Inventario Forestal se define como la recopilación de datos sobre la superficie de las distintas especies de árboles (Vida, 2001), en inglés Forest Inventory (FI). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la FAO, es el organismo internacional encargado de velar por la producción y distribución de alimentos a nivel mundial donde entran los recursos naturales y, con ello, los bosques. Este organismo, en cooperación con sus Estados miembros, realiza la Evaluación de los Recursos Forestales a nivel mundial de cada cinco a diez años desde 1946 (FAO, 2010).

El Inventario Forestal se puede entender como la evaluación de uno o más elementos del recurso forestal, considerando también las condiciones en que se desarrollan. Sin embargo, muchos conceptos se han definido para tratar de describir con precisión lo que es un Inventario Forestal, algunos de los cuales dejan ver los objetivos que idealmente deben cumplir; uno de los más mencionados en México es el que lo describe como la *cuantificación ordenada de superficies clasificadas, de los volúmenes contenidos y el crecimiento probable referidos a especies, divisiones naturales y convencionales adoptadas*. (Romahn, Ramírez y Treviño, 1994). Este concepto, si bien menciona el propósito principal de un inventario que es la cuantificación de recursos y superficies, no alude la importancia de la ubicación espacial de los recursos naturales, así como sus características geográficas, necesarias para obtener un correcto análisis.

Otro concepto es el que indica que el Inventario Forestal *es un conjunto de técnicas y procedimientos para la obtención de información cuantitativa y cualitativa de los recursos forestales, vegetación asociada, componentes y características del territorio donde se localiza el bosque. Los inventarios deben ser consistentes y comparables en el tiempo* (SEMARNAT, 2004). Este concepto deja ver claramente los objetivos institucionales que actualmente se persiguen en este proyecto al añadir el componente de la *comparabilidad en el tiempo* ya que, justamente, las diversas metodologías que se han utilizado en el país no han permitido el análisis temporal. Sin embargo, en este concepto no se menciona la obtención de superficies, quizás debido a que la fase del proyecto del Inventario Nacional Forestal 2004-2009 (INFyS)

que realiza la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), únicamente contempla información puntual obtenida de los muestreos en campo.

1.1.1 Objetivos de los Inventarios Forestales en el contexto internacional

Los objetivos de los Inventarios Forestales procuran sujetarse al cumplimiento de los indicadores que dicta la FAO a través de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA por sus siglas en inglés), como parte de un compromiso internacional y en un afán de homogenizar criterios a nivel mundial y comparar la existencia de recursos. Por este motivo, los objetivos se han enfocado conforme a la evolución de los dictámenes de esta institución.

El antecedente de los Inventarios como primer esfuerzo fueron los Inventarios Forestales Mundiales elaborados por la FAO en tres periodos, 1953, 1958 y 1963. Sus objetivos fueron fijados únicamente para la obtención de superficie de recursos forestales a escala mundial a través de evaluaciones estadísticas. La obtención de esta información partió de cuestionarios contestados por los países participantes, así como de encuestas oficiales. Los principales ajustes entre estos tres inventarios fueron la integración de países que no habían participado en el inventario anterior pero también la conceptualización de definiciones de clases cada vez más precisas y estrictas (FAO, 2010).

En la década de los setenta la evaluación fijó objetivos más particulares por lo que se elaboraron inventarios regionales de acuerdo con las características de cada país. Los mecanismos de obtención de datos fueron, además de cuestionarios, viajes a los países de cada región, obtención de información cualitativa como volúmenes, especies y descripción de los bosques, entre otras variables (FAO, 2010).

Para los años ochenta las evaluaciones se elaboraron a mayor detalle y escala por cada país, integrando estudios ya elaborados a nivel nacional e internacional con discusiones con expertos que sopesaron la fiabilidad de cada fuente y se integraron textos cualitativos y estadísticos. La novedad en estas evaluaciones fue el empleo de la interpretación de imágenes de satélite escala 1:1000,000 en zonas donde no existía información (FAO, 2010).

El empleo de la teledetección se enfocó en países cuyos resultados eran imprecisos y cuestionables; se empleó la interpretación de imágenes de satélite para cubrir los huecos de información existentes, así como la verificación y corrección de las estimaciones obtenidas (más información en FAO, 1981). Esta labor se hizo a partir de imágenes Landsat 1 y 2, y con la composición de color estándar 4, 5 y 7.

Las evaluaciones publicadas en los años noventa cubrieron objetivos mejor definidos, como la mayor precisión de los cambios de la cubierta forestal a escala mundial, nacional y regional; el desarrollo de una técnica de control para las estimaciones de la cubierta y el cambio forestal, así como la interpretación de puntos de muestreo y comparación de éstos entre dos fechas. El cumplimiento de estos objetivos derivó en tres novedades principales: la elaboración de un modelo informatizado para determinar deforestación; un modelo estadístico de predicción de la tasa de deforestación y el empleo de técnicas de teledetección con imágenes de alta resolución (FAO, 1996). Por cada unidad de muestreo se obtuvieron imágenes Landsat con distintas fechas para evaluar los cambios en la vegetación. Para ello, se empleó la técnica de interpretación manual de imágenes a una escala de 1:250 000. (FAO, 2010).

Para los años 2000 y 2005 las evaluaciones mejoraron en varios aspectos; la participación de los países fue mayor, se unificó el concepto de bosque, un punto muy importante de considerar. El marco se fundamentó en el concepto de ordenación forestal sostenible, se utilizaron en mayor medida las técnicas de teledetección instruidas con mucho apoyo a través de las capacitaciones, entre otras mejoras (FAO, 2010).

Con el empleo de la teledetección se obtuvieron resultados de cambio de cubierta vegetal en tres periodos de años distintos (1980, 1990 y 2000). Con imágenes de satélite de baja resolución se obtuvieron mapas nuevos mundiales de cubierta y de zonas ecológicas (FAO, 2010).

Se observa cómo en la evolución de objetivos y alcances de las evaluaciones, así como con los avances tecnológicos, se ha ido incrementando el nivel de exigencia en la fase cartográfica para aumentar la escala y obtener los datos más finos posibles sobre la identificación, ubicación y superficie de los recursos forestales de interés.

1.1.1.1 Indicadores de la FAO

México, como país miembro de la FAO desde 1945, ha sido beneficiado por parte de esta organización con apoyos fiduciarios, servicios de asesorías técnicas y programas de colaboración con gobiernos e instituciones, por lo cual tiene la entera disposición de cooperación con este organismo, de tomar en cuenta la conceptualización de términos, así como ajustarse a los indicadores que en materia forestal evalúa (FAO s.f.).

En 1994 se organizó un grupo de trabajo internacional de doce países con características geográficas-forestales comunes, en el que estuvo presente México, al cual se le llamó Proceso de Montreal, (Proceso de Montreal, s.f.). De éste se obtuvieron Criterios e Indicadores para la Conservación y la Ordenación Sostenible de los Bosques Templados y Boreales, a los que pertenece México por su ubicación geográfica y sus grandes extensiones de bosque templado, además de que se propusieron varios criterios en materia ambiental y en bosques, constituyendo un evento novedoso y reciente para México. Como resultado del Proceso de Montreal se realizaron varias reuniones; en la sexta de éstas, que se organizó en Santiago de Chile en febrero de 1995, se obtuvo el documento conocido como Declaración de Santiago (1995) en el cual se describen criterios e indicadores propuestos a las naciones para considerar en sus estudios de medio ambiente sostenible (Proceso de Montreal, s.f.). Los siete criterios son los siguientes:

- Conservación de la diversidad biológica.
- Mantenimiento de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales.
- Mantenimiento de la sanidad y vitalidad de los ecosistemas forestales.
- Conservación y mantenimiento de los recursos suelo y agua.
- Mantenimiento de la contribución de los bosques al ciclo global del carbono.
- Mantenimiento y mejoramiento de los múltiples beneficios socioeconómicos a largo plazo.
- Marco legal, institucional y económico para la conservación del manejo sustentable de bosques.

A partir de estos criterios se generaron 67 indicadores que pretenden ser parte de los marcos jurídicos y metodológicos en cada país (Declaración de Santiago 1995, s.f.). Los indicadores que tienen una mayor influencia en la normatividad del Inventario Nacional Forestal para México son los relacionados con la superficie forestal, por clase de edad, por etapa de sucesión; en complemento con el volumen de plantaciones de especies nativas y exóticas, entre otros. Sin

embargo, para México, en términos generales, los 67 Indicadores resultan muy ambiciosos en cuanto a los alcances forestales. Considerando los criterios rectores y los indicadores, la FAO publica cada cinco años la “Evaluación de Recursos Forestales Mundiales”, cuya base temática es la siguiente (FAO, 2010):

- Extensión de los recursos forestales.
- Diversidad biológica forestal.
- Salud forestal y vitalidad.
- Funciones productivas de los recursos forestales.
- Funciones de protección de los recursos forestales.
- Funciones socioeconómicas de los bosques.
- Marco jurídico, normativo e institucional.

En el año 2001 se publicó el Plan Estratégico Forestal para México 2025, en el cual se establece que se deben tomar en cuenta los criterios e indicadores surgidos del Proceso de Montreal para los estudios forestales que en México se realicen; es así como a partir de 2004 el Inventario Nacional Forestal y de Suelos considera estos ejes para la elaboración de su metodología, así como también la base temática de la Evaluación de los Recursos Forestales (FAO, 2010). Como parte medular de la normativa de los inventarios forestales se considera recabar información en campo de variables dasométricas, que permitan cubrir los acuerdos del Proceso de Montreal.

1.1.2 Objetivos del Inventario Nacional Forestal

Con base en los objetivos y alcances internacionales que con el paso de los años se han ido estableciendo, México cuenta actualmente con una serie de políticas orientadas al uso sustentable de los recursos forestales. Para ello, el Inventario Forestal sirve como base para la cuantificación y ubicación de estos recursos.

El Programa Estratégico Forestal para México 2025 propone un SNIF, un Sistema Nacional de Información Forestal SNIF (Figura 1.1), el cual contempla instituciones y registros e información concerniente a los recursos forestales con el objetivo de contribuir a la planeación y toma de decisiones, así como normar y difundir dicha información.



Figura 1.1 Vinculación del Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF) con otros sistemas de información forestal. (SEMARNAT-CONAFOR, 2001).

Los instrumentos que proporcionan el sustento legal, administrativo y estratégico y que determinan objetivos para el Inventario Nacional son los siguientes:

1.- Programa Estratégico Forestal para México 2025.

Un instrumento clave del SNIF es el Inventario Nacional Forestal, cuyos objetivos propuestos son (SEMARNAT-CONAFOR, 2001):

- a) Estandarizar los criterios nacionales para los diversos inventarios forestales, así como su estructura de datos.*
- b) Promover la elaboración de inventarios forestales con las entidades federativas con criterios homogéneos para integrarlos al Sistema Nacional de Información Forestal.*
- c) Obtener información detallada y fidedigna sobre los recursos naturales a nivel regional preferentemente por cuenca hidrográfica.*
- d) Vincular el Inventario Nacional Forestal con el SNIF y los demás sistemas de información relativos al sector.”* (SEMARNAT-CONAFOR, 2001)

Como puede observarse, estos objetivos se enfocan a estructurar y homologar la serie de datos nacionales en esta materia.

2.- Programa Institucional 2007-2012.

El Programa Institucional 2007-2012 determina como objetivo *“Establecer un sistema de planeación forestal participativo en los niveles nacional, estatal y regional”* (SEMARNAT-CONAFOR, 2008). Se destaca en este objetivo las escalas de trabajo propuestas donde menciona los estudios a nivel estatal.

3.- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable vigente (Diario Oficial de la Federación, 25 de febrero de 2003), menciona que el Inventario Forestal *es el instrumento de política nacional en materia forestal*, cuyos objetivos son el de proveer la información relativa a los tipos de vegetación forestal, a la superficie y localización de terrenos forestales, así como a la dinámica de cambio de la vegetación forestal del país, que permita evaluar las tasas de deforestación. Si bien este concepto enfatiza el objetivo que interesa a las instituciones gubernamentales, también conjuga los elementos ideales primordiales de un inventario que son: la cuantificación de recursos forestales, superficie, localización y dinámica de cambio.

4.- Documento Rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos.

El Documento Rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos establece las bases, lineamientos y estructura de este instrumento, en escala nacional y estatal.

El objetivo general que describe para el Inventario es *“Contar con información cartográfica y estadística de los suelos y ecosistemas forestales del país para apoyar la política nacional de desarrollo forestal sustentable e impulsar las actividades del sector con información de calidad.”* (CONAFOR, 2012a)

Los objetivos específicos son:

“a) Estimar anualmente las zonas con cambio en la cobertura forestal del país por medio de monitoreos basados en percepción remota.

b) Cuantificar quinquenalmente los recursos forestales del país, en cuanto a extensión y volumen de madera.

c) Producir un Informe General de los Bosques en México cada cinco años.

d) *Coadyuvar con el INEGI en la elaboración de la cobertura nacional de vegetación que se producirá quinquenalmente.*

e) *Diseñar y ejecutar el muestreo dasonómico del país de acuerdo con los objetivos del Inventario Nacional Forestal y hacerlo de tal manera que sirva de apoyo a los Inventarios Estatales.*

f) *Estimar la degradación del suelo cada cinco años e identificar las zonas que requieran de atención prioritaria.” (CONAFOR, 2012a)*

Este Informe caracteriza más detalladamente los alcances del Inventario, y también menciona los mecanismos para la elaboración de la cartografía, indispensables para la consulta de resultados. Otro punto de interés es el propósito del diseño del Inventario Nacional, que pretende ser de utilidad para la ejecución de los Inventarios Estatales.

1.1.3 El uso de la percepción remota y los sistemas de información geográfica en los inventarios forestales, fundamentos físicos y técnicos.

La percepción remota, es la *“ciencia de adquirir información de un objeto, sin estar en contacto directo con él”*. (Lindenlau, 1976; citado por Aguirre, 2009). Con los avances en técnicas de esta ciencia, los análisis de la vegetación en los inventarios forestales han ido adquiriendo mayor grado de confiabilidad en sus resultados, así como también la periodicidad de sus actualizaciones se ha hecho más constante.

Los fundamentos de la percepción remota que facilitan el estudio en la identificación y análisis de la vegetación, comprenden cuatro elementos clave que determinan el método, objetivo y alcance de la investigación, éstos son: *“a) Fuente de radiación; b) trayectoria o medio de transmisión; c) objetivo o blanco y d) sensor”*. (Aguirre, 2009).

El componente fundamental de la teledetección en base al cual se relacionan todos los elementos y técnicas de percepción remota, es la energía radiante que emite el cuerpo u objeto de interés y el cual es definido por su comportamiento a través del espectro electromagnético (**Figura 1.2**). En el caso de la vegetación, los pigmentos que conforman las hojas absorben la reflectividad en el espectro visible, por lo que se considera que tiene baja reflectividad en esa banda; sin embargo, proyecta una alta reflectividad en la banda del

Infrarrojo Cercano (IRC), con algunos máximos relativos en el Infrarrojo Medio (SWIR), (Chuvienco, 2002). Ya que se conoce el comportamiento de la vegetación en las diversas regiones del espectro electromagnético, dependiendo del número y ancho de bandas que capta determinado sensor, es posible combinarlas dentro de los componentes que son sensibles al ojo humano (rojo, verde y azul; RGB por sus siglas en inglés); de este modo se resaltarán la vegetación en un falso color para que pueda ser identificada.

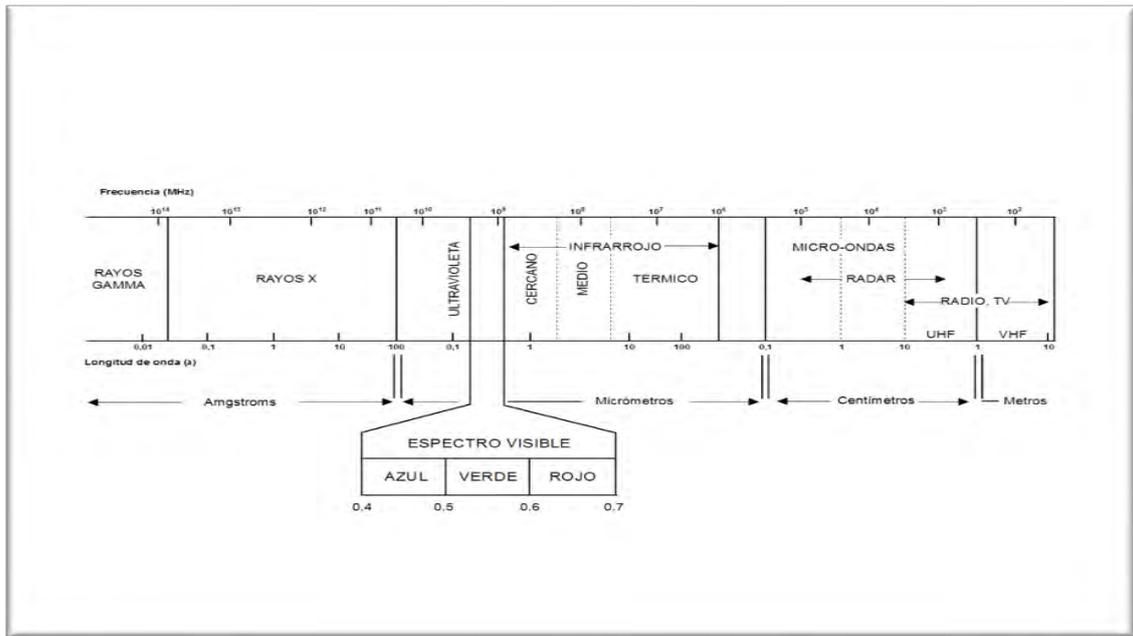


Figura 1.2. Espectro electromagnético. (Chuvienco, 2002).

Algunos factores que interfieren en la respuesta espectral de la vegetación, son los que la caracterizan en cuanto a la presencia de pigmentos, estructura celular y contenido de humedad; sus características geométricas como la forma de sus hojas, del dosel y la distribución de la planta; otro factor determinante, son los que se derivan de sus situaciones geográficas, tales como la pendiente, orientación, condiciones atmosféricas, entre otros factores (Chuvienco, 2002).

El comportamiento de la vegetación en el espectro electromagnético es particularmente complejo considerando su fenología. Existen técnicas con las que es posible determinar su identificación examinando su firma espectral en el periodo o fase que interesa a la investigación. La **Figura 1.3** muestra las curvas espectrales típicas para la vegetación sana y la vegetación senescente (Manzo, 2009).

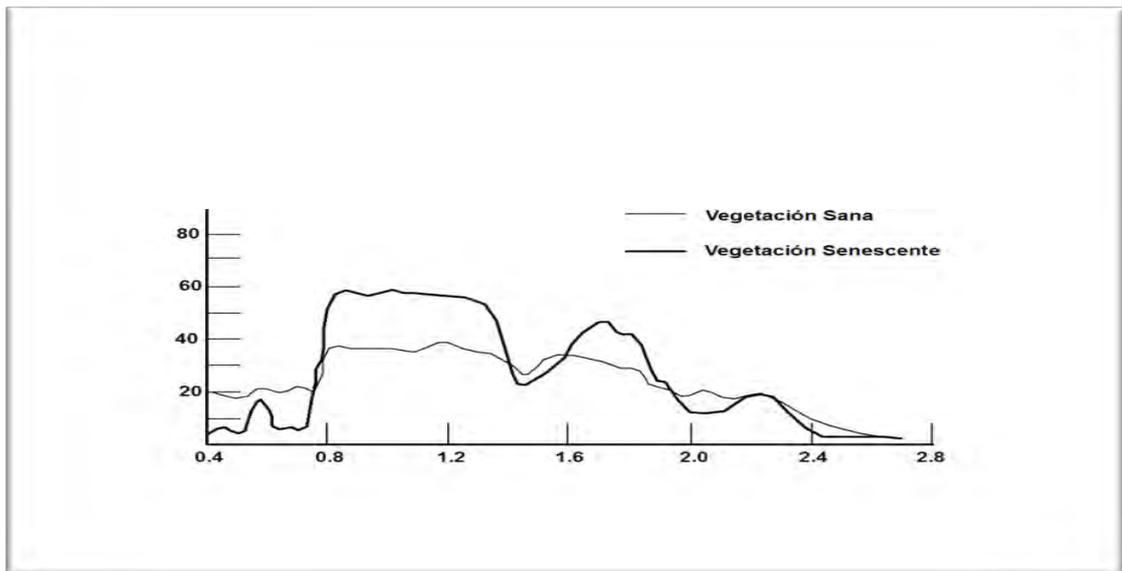


Figura 1.3. Curvas espectrales de la vegetación típica sana y senescente (Manzo, 2009).

Por mencionar algunas técnicas más utilizadas en la identificación de vegetación a partir de la percepción remota, se tiene como ejemplo la clasificación digital de imágenes, análisis visual y combinación de bandas (Vega, López y Manzo, 2007), la determinación del Índice de Vegetación (NDVI por sus siglas en inglés), el análisis digital con correcciones y realces (Chuvieco, 2002), entre otras.

A partir de los años 90, es cuando los datos geoespaciales se integran con mayor fuerza a la informática generando los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son las herramientas automatizadas a través de las cuales es posible realizar las técnicas y métodos mencionados para la identificación de vegetación. Esta ventaja ha sido aprovechada en medida de lo posible en la cartografía de los inventarios forestales a nivel mundial (Aguirre, 2009).

1.1.4 Análisis espacial en el Inventario Nacional Forestal

Se han descrito en el apartado anterior los objetivos de los diversos documentos que rigen el Inventario Nacional en la actualidad. La cartografía es un objetivo primordial; sin embargo, otros instrumentos son los que norman su ejecución.

A nivel nacional la fase del análisis espacial, la que se refiere a los procesos cartográficos para delimitar comunidades vegetales, es llevada a cabo como esfuerzo conjunto entre la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la CONAFOR y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), según lo dispuesto en el Convenio General de Colaboración INEGI-CONAFOR del 25 de agosto del 2003. Siendo el INEGI el especialista y encargado de describir el estado de los recursos naturales, así como promover la normatividad de estándares en la cartografía.

La Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, en su Título Segundo, Capítulo IV, Sección III, establece estas responsabilidades:

*“Art. 27.- El Subsistema Nacional de Información Geográfica y del Medio Ambiente, en su componente del medio ambiente, **procurará describir el estado y las tendencias del medio ambiente, considerando los medios naturales, las especies de plantas y animales y otros organismos que se encuentran dentro de estos medios.**”*

El Subsistema referido en el párrafo anterior, deberá generar, como mínimo, indicadores sobre los siguientes temas: atmósfera, agua, suelo, flora, fauna, residuos peligrosos y residuos sólidos.

“Art. 28.- El Instituto elaborará, con la colaboración de las Unidades, los indicadores a que se refieren los dos artículos anteriores a partir de la información proveniente de:

...

*II. **Un sistema integrado de inventarios y encuestas sobre recursos naturales y medio ambiente.***

...”(Diario Oficial de la Federación del 16 de abril de 2008)

1.2 Inventarios Forestales en el contexto mundial

Los bosques abarcan el 31% de la superficie total de la Tierra. Los cinco países con mayor riqueza forestal son Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y China. Los países de Norteamérica, Canadá y Estados Unidos y los europeos, como Finlandia y Suiza, son los que llevan la vanguardia en el tema de inventarios forestales a nivel internacional tanto en metodologías, mediciones y difusión de resultados de sus Inventarios Forestales (FAO, 2010).

Los Inventarios elaborados en otros países, en general, contienen la misma base metodológica de asignación de puntos a muestrear, llamados comúnmente parcelas. Son mallas cuadrículas con distancias entre puntos equidistantes, lo que varía es la distancia entre ellos; esto es, dependiendo de la extensión del territorio, de las características de vegetación que presentan y del sustento económico con el que cuentan. Asimismo, los remuestreos de dichas parcelas varían en periodicidad y regiones dependiendo de las políticas que a cada país convienen. (The Swiss National Forest Inventory, 2013; Ramírez y Rodas, 2002).

1.2.1 Inventario Forestal de Finlandia

Este país cuenta con uno de los inventarios continuos más antiguos en el mundo; su programa de inventario permanente tiene más de 70 años (Rajoo, Niskanen y Jaakkola, 2011). Se inició en 1917 y ha evolucionado en el diseño de sus conglomerados, actualmente en forma de “L” invertida; así mismo ha cambiado de parcelas de área fija a parcelas de radio variable. En la actualidad este país utiliza un diseño muestral de características únicas a nivel mundial y es conocido como Inventario de Multifuente, que se sustenta sobre la base de un SIG donde se integra la información del Inventario Forestal además de la información ambiental, propiedad de las tierras, censos de aves, entre otros. Con estas técnicas se están estudiando ecología de paisaje para cuantificar y caracterizar los patrones espaciales de cambio, así como la tendencia y la distribución de especies (Romero, 2002).

1.2.2 Inventario Forestal de Suiza

Es una de las naciones con más zonas forestales en Europa pues el 31% de su territorio está cubierto de bosques. Este país ha desarrollado dos tipos de inventarios, el primero consistió en un diseño sistemático de parcelas en distanciamiento de 1 km por 1km. En la actualidad, este diseño se transformó en un diseño en dos fases para estratificación en un esquema de inventario continuo asumiendo un sistema de reemplazo parcial en el tiempo, con uso de parcelas temporales de apoyo. Su unidad muestral de terreno corresponde a parcelas

circulares de radios diversos dependiendo de su tamaño (The Swiss National Forest Inventory, 2013).

1.2.3 Inventario Forestal de Canadá NFI

El Inventario Forestal de Canadá, NFI (por sus siglas en inglés), es quizá uno de los que presenta mayor difusión de resultados por su disponibilidad en internet, permite consultar información referente a la selección de parcelas por imágenes de satélite y fotos aéreas; estructura de parcelas; clasificación de comunidades, superficies por regiones geográficas y provincias, tabulador de áreas, volúmenes y estadísticas; mapas temáticos con resultados, entre otras (NFI, s.f.).

1.2.4 Inventario Forestal de Estados Unidos

El Inventario Forestal de los Estados Unidos de América, FIA (por sus siglas en inglés), presenta una diferencia notable en cuanto a la definición de parcelas, ya que su base no es la malla de puntos y cuadrículas equidistantes, sino que sus formas son hexagonales. Uno de los objetivos teóricos de esta nueva distribución de parcelas es muestrear aleatoriamente por año cada punto que rodea a un hexágono perteneciente al hexágono contiguo (visto desde la malla) incluyendo el centro de éste, cubriendo cada año el 20% del total nacional y, de este modo, comenzar el ciclo nuevamente. Los puntos no son todos equidistantes, puesto que para ajustar la metodología anterior de malla de cuadros tuvieron que ser respetados los ya existentes y en los nuevos hexágonos donde no había parcelas de medición, seleccionaron una nueva en el centro de la figura geométrica (Bechtold y Patterson, 2005).

Las variables cualitativas del FIA son muy minuciosas puesto que hacen encuestas y les dan seguimiento a los dueños de las parcelas, preguntando acerca de sus planes a futuro, sus intenciones, valores y nivel educativo; esto se entiende por la condición de ese país en el que la mayor parte de los bosques son de propiedad privada, ya sea de propietarios comunes o de empresas (FIA, 2012).

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES EN EL CONTEXTO NACIONAL

2.1 Inventarios Nacionales Forestales en México

Desde mediados del siglo XX México ha visto la necesidad de incorporar los recursos naturales renovables como los bosques al proceso productivo del país, pues por su gran extensión (ocupa el decimosegundo lugar en el mundo por superficie boscosa según FAO, 2010) y bajo una ordenación sostenible, los bosques representan bienes y servicios en beneficio de la sociedad. Sin embargo, para lograr un adecuado aprovechamiento, manejo y conservación de este recurso es necesario llevar a cabo una correcta evaluación cuantitativa y cualitativa que se viene dando a través de los diferentes inventarios que se han realizado en el país y que deben estar en concordancia con la política basada en la sustentabilidad (CONAFOR, 2010).

México, al ser parte de los países de América del Norte, se ve influenciado por los Inventarios elaborados en Estados Unidos y Canadá, como se observará en la descripción del desarrollo de los Inventarios Nacionales. A la fecha, en el país se han realizado cuatro inventarios y en la actualidad se está desarrollando el quinto. En cada uno de ellos se han utilizado diferentes metodologías y técnicas que obedecen tanto a las cuestiones económicas como al avance tecnológico y la accesibilidad para la evaluación.

2.1.1 Primer Inventario Nacional Forestal 1961 – 1985

En 1960 México presentó un programa para elaborar el Primer Inventario Forestal, quince años después de haberse consolidado como país miembro de la FAO. Dicho programa fue aceptado ampliamente, incluyendo cursos en el extranjero para el equipo técnico, becas a los ejecutores y asesoría de expertos. Dichos apoyos económicos y de soporte fueron planeados y concluidos en 1964; sin embargo, el proyecto se alargó más por cuestiones en teoría de reestructuraciones metodológicas. La institución encargada de su ejecución fue la Secretaría de Agricultura y Ganadería, la SAG, a través de la Subsecretaría Forestal y de la Fauna (CONAFOR, 2010).

Debido a la inmensidad del proyecto, en cuanto a cuantificar por primera vez estos recursos en un país tan diverso y complejo, las etapas de ejecución se fueron dando por cubrimiento de entidades federativas, dependiendo de la superficie y la complejidad de los estados, agrupándose para realizar el barrido y presentar el Informe una vez concluido. Esto, a su vez, dio ventaja para lograr cartas de vegetación a escala 1:50 000 y a 1:100 000.

Ya que las políticas de aquellos años priorizaban en mayor sentido (incluso más que las actuales) la producción comercial de recursos, el Inventario fue evidentemente enfocado a cuantificar en relación a los recursos maderables, por lo cual se entiende que la clasificación utilizada fue la siguiente (Takaki, 2005):

- Forestal Comercial.
- Forestal Potencial Comercial.
- Forestal No Comercial.
- Forestal No Arbolado.
- Chaparral.
- Hojosas.
- No Forestal.

2.1.2 Inventario Nacional Forestal de Gran Visión 1991 – 1992

En 1990, México gestionó ante la FAO, a través del Proyecto de Evaluación de Recursos Forestales del Mundo, una base técnica metodológica y de apoyos para la realización del Inventario Nacional de Gran Visión, cuyos objetivos principales eran la realización de este estudio contando con bajo presupuesto y en poco tiempo pero que, a la vez, sentara las bases del inicio en años siguientes para el Inventario Forestal Periódico (SARH, 1994a).

Este Inventario fue ejecutado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la SARH, a través de la Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Su ejecución dio inicio en 1991 y contó con gran apoyo de organizaciones internacionales, empezando con la FAO, quien aportó metodologías, asesorías técnicas, materiales cartográficos, e incluso procesamiento de datos. El Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos contribuyó con los mismos puntos de la FAO añadiendo además impresiones de cartografía. La Universidad de

Helsinki de Finlandia colaboró con asistencia técnica, capacitación e incluso un estudio piloto en una localidad de Oaxaca. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), también colaboraron aportando capacitación a ejecutores, imágenes de satélite y mapas temáticos (SARH, 1994a).

Debido al bajo presupuesto y el poco tiempo disponible de ejecución se aprovecharon los estudios elaborados por delegaciones estatales de planes de manejo y dasonómicos. La clasificación de uso de suelo y vegetación utilizada se diferencia del Inventario anterior en cuanto a que abarca más clases de estudio, y no se enfocan únicamente a los recursos comerciales. Para la fase cartográfica, tanto de planeación como de generación de cartografía final, se utilizaron imágenes NOAA con resolución espacial de 1 km², imágenes LANDSAT – TM, y fotografías aéreas. En la primera fase se clasificaron las imágenes en las categorías siguientes (SARH, 1994a):

- Bosques Templados.
- Selvas Altas y Medianas.
- Selvas Bajas.
- Vegetación Arbustiva.
- Pastizales, Agricultura, Zonas Urbanas y Otras.
- Agricultura de Riego.
- Desierto.
- Cuerpos de Agua.
- Nubes.

Las 17 clases finales resultantes fueron las siguientes:

- Coníferas.
- Hojosas.
- Bosque Mesófilo.
- Selvas Medianas y Altas.
- Selvas Bajas.
- Manglares.
- Mezquital y Huizaches.
- Selva Baja Caducifolia.
- Chaparrales.

- Matorral Xerófilo.
- Otros Tipos de Vegetación.
- Áreas Fuertemente Perturbadas.
- Áreas Perturbadas.
- Agropecuario.
- Cuerpos de Agua.
- Zonas Urbanas.
- Desiertos y Áreas sin Vegetación Aparente.

Para la fase de la obtención de superficies se utilizó la información de puntos de muestreo ya levantados anteriormente, puesto que en este Inventario no hubo trabajo de campo, obteniendo así las 17 categorías que ya se mencionaron. El resultado fueron ocho cartas escala 1:1 000 000 (CONAFOR, 2010).

2.1.3 Inventario Nacional Forestal Periódico 1992 – 1994

En 1992 inicia el Inventario Forestal Periódico para ser concluido en 1994, ejecutado nuevamente por la SARH quien convino con la Universidad Nacional Autónoma de México, la UNAM, para la elaboración de la cartografía. Este Inventario fue el que mayor nivel de estudio y empleo de tecnologías avanzadas había utilizado hasta esos años. El objetivo principal era el realizar este estudio cada 10 años de modo permanente y así actualizar esta información. (SARH, 1994b).

Los productos obtenidos fue la Carta Forestal escala 1:250 000. La clasificación aumentó considerablemente respecto a las clases anteriormente inventariadas. Consta de seis categorías por ecosistema, que son bosques, selvas, vegetación de zonas áridas, vegetación hidrófila y halófila, áreas forestales perturbadas y usos no forestales, resultando 40 clases por tipo de vegetación que son las que se indican en la Tabla 1.1 (SARH, 1994b):

Tabla 1.1. Clases de vegetación del Inventario Forestal Periódico 1992-1994 (Elaborado sobre la base total del INFP 1992-1994).

| | |
|----------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Bosque de pino abierto | 21. Selva fragmentada |
| 2. Bosque de pino cerrado | 22. Sabana |
| 3. Bosque de oyamel abierto | 23. Mezquites y huizachales |
| 4. Bosque de oyamel cerrado | 24. Chaparrales |
| 5. Bosque de otras coníferas abierto | 25. Matorral subtropical |
| 6. Bosque de otras coníferas cerrado | 26. Matorral submontano |
| 7. Bosque de pino y encino abierto | 27. Matorral espinoso |
| 8. Bosque de pino y encino cerrado | 28. Matorral xerófilo |
| 9. Bosque fragmentado | 29. Vegetación hidrófila |
| 10. Bosque de encino abierto | 30. Vegetación halófila |
| 11. Bosque de encino cerrado | 31. Agricultura de riego |
| 12. Bosque de galería | 32. Agricultura de temporal |
| 13. Plantaciones forestales | 33. Plantaciones agrícolas |
| 14. Selva alta y mediana | 34. Pastizal |
| 15. Selva baja | 35. Vegetación de desiertos arenosos |
| 16. Bosque mesófilo de montaña cerrado | 36. Vegetación de dunas costeras |
| 17. Bosque mesófilo de montaña abierto | 37. Áreas sin vegetación aparente |
| 18. Manglar | 38. Cuerpos de agua |
| 19. Selva de galería | 39. Zonas urbanas |
| 20. Palmar | 40. Áreas perturbadas forestales |

Para la elaboración de la cartografía se utilizaron imágenes Landsat TM5 con resolución espacial de 30x30 m por pixel. Se imprimieron dichas imágenes para realizar la interpretación, seleccionando poligonales y asignándoles las claves correspondientes a las clases mismas que, posteriormente, con la información recabada en campo, se confirmaron o corrigieron; este proceso se fue haciendo durante y posterior a la interpretación a manera de supervisión. Finalmente, se digitalizaron estas interpretaciones sobre Arc/Info para obtener superficies a través del software (SARH, 1994b).

Los mapas representan también una zonificación por conservación, restauración y producción forestal. En el Simposio de Ciencias de Norte América, Caballero y otros expertos (1998, citado en CONAFOR, 2010) identificaron varias deficiencias en este proyecto, entre ellas está el que no hubo una supervisión adecuada de la calidad de los procesos, en especial la de campo pero también los tiempos de entrega de resultados muy ajustados y apresurados, que no jugaron un punto a favor.

2.1.4 Inventario Nacional de Recursos Naturales 2000

Durante el año 2000, la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la SEMARNAP, le solicitó al Instituto de Geografía de la UNAM actualizar la Carta de Uso de Suelo y Vegetación serie II, de INEGI. No hubo gran presupuesto ni tiempo, por lo que el Inventario fue planeado para realizarse en dos fases. La primera era únicamente de gabinete con información recopilada de Inventarios anteriores; en la segunda fase se realizarían los muestreos y validación en campo pero esta fase nunca se logró (SEMARNAT 2002, citado en CONAFOR, 2010).

Los resultados de este Inventario fueron la colección de cartas de escala 1:250 000 cuyos objetivos iniciales fueron no sólo la cuantificación de existencias maderables y no maderables para diagnóstico comercial, sino también ubicar el cambio de uso de suelo, estrategias de conservación y ubicaciones de zonas de riesgo (Palacio *et al.*, 2000); sin embargo, la Red de Monitoreo de Políticas Públicas (2006) considera que éste Inventario sólo se concluyó parcialmente, pues no logró los objetivos definidos en un inicio y al no haber existido la fase de validación en campo no lo considera un Inventario; no obstante, investigadores del Instituto de Geografía (Couturier *et al.*, 2008) realizaron una evaluación en la zona de la cuenca de Cuitzeo con muestreos de conglomerados en campo, así como con técnicas en gabinete con insumos cartográficos de alta resolución y arrojaron un resultado de 81% de confiabilidad de dicho Inventario.

Quizás el mayor aporte que tuvo este proyecto fue la información representada en una sola carta a través de su simbología, ya que abarcó no sólo las clasificaciones de tipo de vegetación primaria, sino también la florística. La Figura 2.1 muestra los elementos jerarquizados utilizados (Palacio *et al.*, 2000).

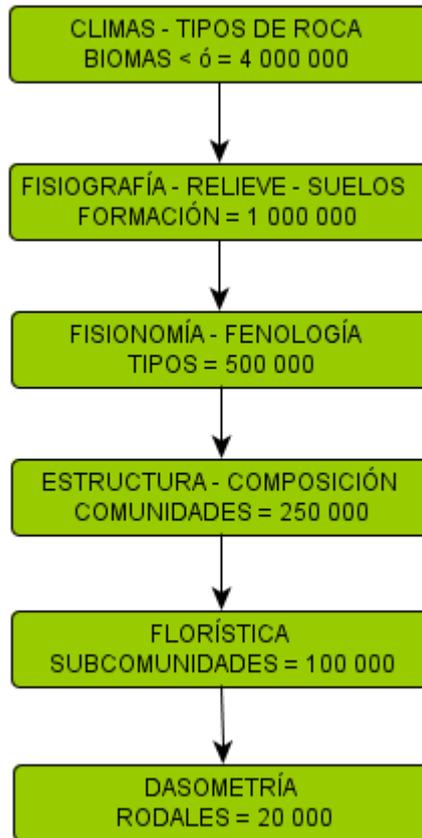


Figura 2.1. Categorización por escalas representadas en el INF 2000 (Palacio *et al.*, 2000).



Figura 2.2. Carta de Cubierta Vegetal del Inventario Nacional de Recursos Naturales (IG, 2000).

Las clases finales representadas en la simbología fueron 46 y sus denominaciones se observan en la figura 2.3:

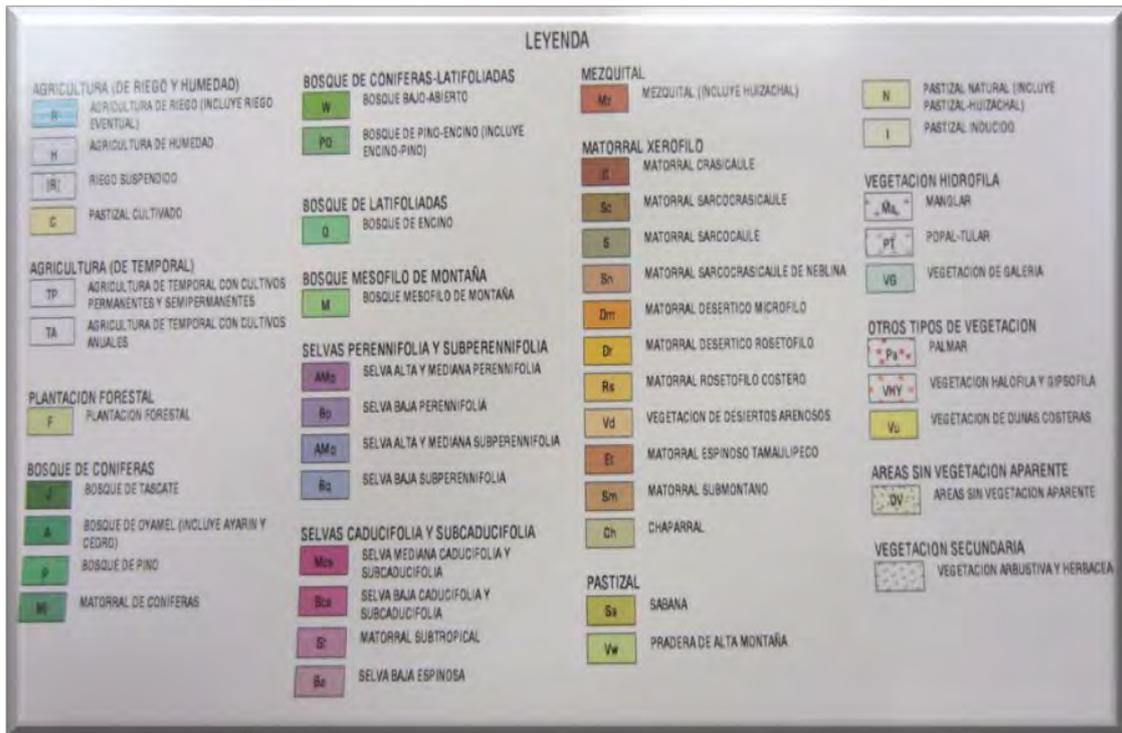


Figura 2.3. Simbología de la Carta de Cubierta Vegetal del Inventario Nacional de Recursos Naturales (IG, 2000).

Se utilizaron como insumos imágenes de satélite Landsat ETM7 proporcionadas por la NASA, y la técnica, la Interpretación visual efectuada por 60 especialistas interpretadores de INEGI y UNAM (Palacio *et al.*, 2000).

2.1.5 Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004 – 2009

El Inventario Nacional Forestal y de Suelos, reconocido también por sus siglas como INFyS, surge a partir del mandato de documentos tales como el Programa Estratégico Forestal para México 2025, el Programa Nacional Forestal 2001 – 2006, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y la Ley de Información Estadística y Geográfica. Es así como en 2003 la SEMARNAT organizó lo

correspondiente a la elaboración de dicho Inventario y designó como responsables directos de su ejecución a la CONAFOR y al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y como colaboradores al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), al Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Marina (SEMAR), así como a Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), (SEMARNAT, 2004).

El objetivo principal del INFyS es el *“contar con información cartográfica y estadística de los suelos y ecosistemas forestales del país para apoyar la política nacional de desarrollo forestal sustentable e impulsar las actividades del sector con información de calidad”* (SEMARNAT, 2004); además de generar un Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF), que compile todas las fases, materiales e información relacionados con los recursos naturales forestales.

En 2003 se organizó un taller internacional para elaborar la propuesta metodológica donde se invitó a los Servicios Forestales de EU y Canadá, así como al Instituto de Investigaciones Forestales de Finlandia. Para cumplir este objetivo, se puso a disposición información existente e insumos como imágenes de satélite y fotografías aéreas otorgadas en ese tiempo por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, el Instituto de Geografía de la UNAM y SEMAR, e incluso compañías particulares como Sistemas de Información Geográfica S.A. (SIGSA). Sin embargo, esta disponibilidad se ha ampliado al avance de los años y con el surgimiento de ERMEXS, Estación de Recepción de México de la constelación SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre), administrada por la Marina. Se dispone también de tablas de volúmenes para especies, elaboradas por INIFAP, cartas temáticas y diccionarios de datos de INEGI así como información de aprovechamientos forestales contenidos en el Registro Nacional Forestal, entre otros materiales (SEMARNAT, 2004).

El esquema metodológico de muestreo por conglomerado fue elaborado especialmente para este Inventario e incluye por primera vez el muestreo de suelos. Se realizaron manuales explícitos para los muestreos en campo y se determinó que dichos muestreos los llevarían a cabo empresas particulares externas a CONAFOR. Para confirmar la veracidad de la información recabada se realizó un plan de supervisión, el cual efectúa otra empresa particular distinta a las que están muestreando en un mismo año. La CONAFOR e INEGI, junto con las empresas ejecutoras, deben instruir a través de cursos cada inicio de año de levantamiento a las cuadrillas que se encargan de realizar los muestreos (COMPRANET, 2010).

La CONAFOR divide a la República Mexicana en cinco regiones caracterizadas por sus similitudes geomorfológicas, de ecosistemas y estatales. El número de conglomerados a muestrear varía dependiendo de la región ya que la intensidad de los muestreos debe satisfacer los estándares necesarios para cubrir la información requerida por cada comunidad vegetal; el total de éstos, distribuidos en toda la República, es de 26 220 (Magaña, 2010), los cuales fueron muestreados por primera vez en el lapso de los años 2004 a 2009; a partir de 2010 lo que se realiza en campo es un remuestreo sobre los mismos conglomerados. El inventario está estructurado para que cada cinco años se publiquen resultados y se actualice la carta forestal.

La distribución de dichos conglomerados se realizó con base en una malla de puntos y cuadros que tiene como unidad mínima 5 km de equidistancia entre cada uno; se realizó una estratificación consultando la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI y se estimó la distribución según el tipo de vegetación como se presenta en la Tabla 2.1 (CONAFOR, 2012b):

Tabla 2.1. Distribución por tipo de vegetación (CONAFOR, 2012b).

| GRUPO | DISTANCIA KM |
|------------------------|--------------|
| BOSQUE | 5 X 5 |
| BOSQUE CULTIVADO | |
| SELVA ALTA-MEDIANA | |
| SELVA BAJA | 10 X 10 |
| COMUNIDADES SEMIÁRIDAS | |
| COMUNIDADES ÁRIDAS | 20 X 20 |
| MANGLAR | 5 X 5 |
| PALMAR | |
| GALERÍA | |
| SUBACUÁTICA | 10 X 10 |
| OTROS CONCEPTOS | 20 X 20 |

Al momento, se ha cumplido el propósito del INFyS, en el sentido en que cada año continúan realizándose los muestreos en campo. Los resultados preliminares también están disponibles en internet (<http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys/temas/resultados-2004-2009>,

septiembre de 2013) donde se muestra una galería de mapas con los resultados de las variables tomadas en campo.

2.2 Inventarios Forestales Estatales actualizados

Los Inventarios nacionales proveen información muy valiosa de consulta en cuanto a la cuantificación y distribución de recursos forestales; sin embargo, su carácter Nacional representa escalas muy pequeñas para estudios que demandan mayor detalle regional; es por ello que se valora la importancia de contar con inventarios a nivel estatal, los cuales deben aumentar la escala de estudio, así como las unidades de medición y variables que cubran de modo más completo las necesidades de información que caracterizan la región estatal.

El Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), promulgada en 2003, contiene dos artículos principales que aluden a la realización de Inventarios estatales:

“Artículo 9: La SEMARNAT y CONAFOR promoverán ante las entidades federativas la unificación de criterios, procedimientos y metodologías para la integración del Inventario.

Artículo 10: Además de lo previsto en el artículo 45 de la Ley, el Inventario deberá contener, por cada entidad federativa, la información siguiente:

I. Cuencas hidrológico-forestales

II. Regiones ecológicas

III. Áreas Naturales Protegidas

IV. Recursos forestales por tipo de vegetación

V. Áreas afectadas por incendios, plagas, enfermedades, ciclones por cualquier otro siniestro

VI. Degradación de suelos

VII. Áreas de recarga de acuíferos

VIII. Aquella contenida en los inventarios estatales forestales y de suelos”. (LGDFS, 2003)

Desafortunadamente, de 32 entidades de la República sólo tres han concluido y publicado sus Inventarios Forestales al momento y en años recientes, ya que la mayoría cuenta con estudios forestales de los años 90 ó principios de 2000, cuya información evidentemente no está actualizada. Dichas entidades son: Querétaro, Jalisco y Estado de México. Otra entidad que actualmente está a punto de concluir su Inventario es Tlaxcala, elaborado por la Universidad

Autónoma de Tlaxcala y una empresa particular; sin embargo, aún no se publica información alguna donde se pueda consultar sus avances y procesos metodológicos.

2.2.1 Inventario Forestal y de Suelos del Estado de Querétaro

Elaborado por la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS) en Querétaro por conducto de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA) y el apoyo de CONAFOR, el Inventario Forestal y de Suelos de Querétaro, el IFoSEQ, se realizó y publicó en años anteriores a 2009. Una empresa particular fue contratada para elaborar los muestreos en campo. Las metodologías realizadas en los levantamientos fueron las mismas que realiza la CONAFOR para el INFyS, incluyendo la colección de muestras de suelos. De este modo, la selección de conglomerados a muestrear se basó en la malla nacional de CONAFOR, estratificándola para aumentar la intensidad en zonas densas de bosques arbolados. Los conglomerados muestreados fueron 565 en total (OEIDRUS, s.f.).

Los mapas resultantes fueron:

- Obtención de superficies forestales por municipio
- Áreas Naturales Protegidas.
- Áreas localizadas sobre los 3000 msnm.
- Terrenos con pendientes mayores a 45°.
- Zonas de Producción en áreas forestales. (Clasificados por cobertura de copa.)
- Terreno Forestal, preferentemente forestal y no forestal.
- Uso de suelo y vegetación.
- Cambio de uso de suelo. (Información de tipo puntual).
- Regiones ecológicas.
- Presencia de los géneros *Abies*, *Pseudotsuga* y *Cupressus*.
- Presencia del género *Pinus*.
- Presencia del género *Quercus*.
- Presencia del género *Juniperus*.
- Presencia del género *Bursera*.
- Presencia del género *Prosopis*.
- Altura media del arbolado.
- Distribución de edades de las coníferas *Pinus* y *Abies*.

- Volumen y madera.
- Cobertura de copas.
- Área basal.
- Densidad del arbolado.
- Renuevo en bosques y selvas (Información de tipo puntual).
- Elementos fisonómicos distintivos y considerados en el apartado de repoblado de zonas semiáridas. (Información de tipo puntual).
- Presencia de epífitas. (Información de tipo puntual).

Se utilizó como base la Carta de uso de suelo y vegetación elaborada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro, así como imágenes de satélite y fotografías aéreas escala 1:7 000 (OEIDRUS, s.f.).

2.2.2 Inventario de Recursos Naturales de Jalisco

Fue elaborado por el Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Jalisco (FIPRODEFO) en el año 2006. La metodología utilizada para elaborar dicho estudio es distinta a la normativa de CONAFOR (Flores, 2010), por lo cual dificulta el análisis y la comparación de resultados con otros inventarios, así como de comparaciones temporales.

Este estudio se realizó con la finalidad de inventariar no sólo los recursos forestales, sino todos los recursos naturales y procesos de los ecosistemas que conforman la entidad, es decir que se inventarió, además de la vegetación, la fauna y los elementos geográficos que conforman dichos ecosistemas. Los resultados fueron publicados y se encuentran disponibles actualmente en la página <http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx:8040/oeidrus-jalisco/index.php> (consultado el 21 de enero de 2013). Cabe aclarar que la última fase, la de la validación, no se logró realizar; no obstante, la información obtenida representa un instrumento de consulta muy valioso para la entidad.

2.2.3 Próximos Inventarios Estatales

En 2013, la CONAFOR formuló la convocatoria para elaborar en el transcurso de este año los inventarios estatales correspondientes a 16 entidades. Se pretende que en los años siguientes un número similar de entidades cubran la actualización de su Inventario Forestal. La ejecución de dichos inventarios la realizarán empresas privadas organizadas por partidas, en donde una sola empresa levantará los estados correspondientes a toda una partida. La Tabla 2.2 indica cuáles entidades se levantarán y a qué partida pertenecen (COMPRANET, 2013):

Tabla 2.2. Partidas y entidades (COMPRANET, 2013).

| PARTIDA | ESTADO |
|---------|---------------------------------|
| 1 | Chihuahua |
| | Coahuila |
| | Durango |
| 2 | Colima |
| | Jalisco |
| | Michoacán de Ocampo |
| 3 | Morelos |
| | Puebla |
| 4 | Guerrero |
| | Oaxaca |
| 5 | Veracruz de Ignacio de la Llave |
| | Tabasco |
| | Chiapas |
| 6 | Campeche |
| | Quintana Roo |
| | Yucatán |

2.3 Antecedentes del Inventario Forestal del Estado de México

En los siguientes temas se explican los documentos que rigen el IFEM actualmente, la institución encargada de su ejecución y, finalmente, el estudio que antecede a este Inventario. Todos estos puntos enmarcan el antecedente y contexto local de este proyecto.

2.3.1 Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005 – 2025

En el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 se propone una “estrategia” para elaborar planes y conseguir resultados a mediano y largo plazo, hacia el 2025. Este discurso se enfocó a varios sectores e instituciones de los tres niveles de gobierno, incluyendo el sector ambiental; sin embargo, no formula acciones o planes concretos y las premisas resultan ambiguas, lo que da pie nuevamente a que las instituciones y entidades realicen estudios sin necesidad de formular metodologías homólogas.

El Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México (PDFSEM) 2005 – 2025, elaborado por SEDAGRO-PROBOSQUE (2006) se desarrolló en un contexto político específico pues la administración de la entidad en ese momento era de un partido diferente al del Ejecutivo federal y ello se hace evidente en la ausencia de un plan a largo plazo, aunque sí contiene críticas por la falta de atención al sector forestal, lo cual no dista de la realidad. Sin embargo, éste documento tampoco establece medidas de acción concretas y mucho menos ofrece resultados, si bien ofrece un estudio muy completo de la situación forestal, rural y ecológica en el Estado de México.

El PDFSEM presenta un diagnóstico de la situación actual del sector forestal en la entidad para que a partir de éste, y tomando en cuenta las estrategias de instituciones como PROBOSQUE, SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario), CONAFOR, SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), SEMARNAT, CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), CEPANAF (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna), CNA (Comisión Nacional del Agua), entre otras, se establezcan objetivos para la elaboración de estudios, programas y políticas educativas en materia forestal sustentable. En varios apartados enfatiza la falta o nula existencia de presupuesto por parte de los gobiernos al sector forestal, así como de falta de políticas y normativas claras y cuestiona la costumbre de verlo únicamente por la *generación de empleos y su poca aportación al PIB*.

En cuanto al Inventario Forestal Estatal, éste señala como objetivo la importancia de *“obtener información detallada y fidedigna sobre los recursos naturales a nivel regional, preferentemente por Unidad de Manejo Forestal.”* La estrategia que menciona es la de *“ejecutar urgentemente, en coordinación con las instancias correspondientes, un nuevo esquema para el Inventario Forestal del Estado, con toma de datos de manera periódica para*

su actualización permanente, con normas precisas y metodologías unificadas, acordes a las necesidades de los distintos actores forestales y con definición de las responsabilidades a nivel Municipal, de Unidad de Manejo Forestal, Regional y Estatal” (SEDAGRO-PROBOSQUE, 2006). Como se puede observar, es un documento que abre posibilidades a realizar estas investigaciones. Otra virtud es que resalta la necesidad de unificar metodologías y de la toma de datos periódicamente para mantener la actualización. Se denota también un llamado de urgencia que reclama para atender este sector.

2.3.2 Protectora de Bosques del Estado de México

La Protectora de Bosques del Estado de México, PROBOSQUE, es la institución encargada del cuidado, estudio y el diseño de programas enfocados a preservar el medio ambiente forestal y ecológico, además de regular las actividades de aprovechamiento de recursos en el Estado de México. A partir del Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005 – 2025, su objetivo principal es el *“lograr el desarrollo forestal sustentable de la entidad”* (PROBOSQUE, 2011.). La Institución es un organismo público descentralizado que pertenece a la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México y fue creado en 1990. En el marco de sus atribuciones se destacan las siguientes:

I Planear operativamente y ejecutar la protección, conservación, reforestación, fomento y vigilancia de los recursos forestales del Estado.

II Realizar el estudio dasonómico que permita clasificar los bosques y suelos de vocación forestal en el territorio estatal, así como formular y actualizar permanentemente el inventario forestal.

III Proponer el establecimiento de áreas de reserva para proteger la biodiversidad, monumentos naturales y zonas de protección forestal para la conservación de los ecosistemas y el fomento y desarrollo de los recursos forestales.

IV Organizar la limpieza y saneamiento de los bosques y el control de los aprovechamientos forestales domésticos, para el abastecimiento de los núcleos de población rural conforme a los convenios celebrados con la federación.

V Organizar campañas permanentes para prevención y combate de incendios, plagas y enfermedades, así como controlar el pastoreo de zonas forestales.

VI Realizar trabajos de restauración y reforestación, defensa contra la desertificación de suelos y otros encaminados a proteger y utilizar con mayor provecho los bosques, los suelos y las aguas y organizar a la sociedad en general para estos fines.

VII Realizar programas de investigación para el desarrollo de los recursos y especies forestales y el perfeccionamiento de sus técnicas, sistemas y procedimientos.

VIII Promover y coordinar con los sectores público, social y privado, la creación de viveros y zonas de reforestación.

IX Inspeccionar y vigilar las zonas forestales, así como los aprovechamientos autorizados.

X Promover la organización productiva de los poseedores y propietarios forestales en el ámbito municipal, regional y estatal, así como gestionar la asesoría técnica y capacitación necesarias para el mejoramiento de sus procesos productivos.

XI Organizar los servicios técnicos y el registro y control de los peritos forestales.

XII Adquirir toda clase de bienes y realizar los actos que se requieran para el cumplimiento de su objetivo.

XIII Las demás que le atribuyan las disposiciones legales y los convenios o acuerdos en la materia.” (PROBOSQUE, 2011.)

En cumplimiento con la atribución II, en el año 2010, PROBOSQUE realiza la tarea de elaborar el Inventario Forestal de la Entidad para actualizar la información de superficie vegetal con la que cuenta. El estudio anterior más reciente fue de 1995 y se elaboró con información parcial y fragmentada de predios beneficiados por programas de manejo forestal, así como de reforestaciones y plantaciones (SEDAGRO, 2006). Anterior a éste, el último estudio integral que el gobierno estatal había realizado fue el Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México y data de 1985-1990 (PROBOSQUE, 1991).

Es así como en abril de 2010 PROBOSQUE, en convenio con SEDAGRO, lanzan la convocatoria para la licitación dirigida a empresas, universidades y organizaciones para ejecutar el Inventario Forestal del Estado de México con base en los lineamientos emitidos por la Institución. En la Junta de Aclaraciones se observa que las sociedades participantes en la licitación fueron Felipe Ochoa y Asociados SC, Universidad Autónoma Chapingo, Terga Recursos SA de CV, y Consultores para la Investigación Aplicada y el Desarrollo SA de CV (COMPRANET, 2010). Esta última empresa consultora fue la ganadora del fallo definitivo.

En los Términos de Referencia promulgados por PROBOSQUE se describen los productos y entregables que la empresa ganadora ejecutará, así como una descripción del esquema de los muestreos y los aspectos metodológicos relevantes. Los productos entregables en concreto son:

- Muestreos de conglomerados. Formatos y evidencias fotográficas.
- Base de datos de formatos capturados en Access.
- Colectas de material florístico recolectado en campo.
- Cuadros de resultados de conglomerados por municipio de las siguientes variables:
 - . Existencias reales.
 - . Altura y diámetro promedio.
 - . Resultados ICA-IMA.
 - . Área o diámetro basal¹.
 - . Distribución de volumen de coníferas y a nivel género de hojosas (m³/ha).
 - . Daños del arbolado.
 - . Combustible.
- Cartografía escala 1:50 000.
 - . Cartas de vegetación escala 1:50 000, un juego impresas y en archivo digital.
 - . Archivo vectorial.
- Informe con análisis de la información resultante impreso.

Además, se le solicita al licitante una Propuesta Técnica Metodológica que ejecutaría la misma empresa ganadora (PROBOSQUE, 2010a). En los capítulos posteriores se profundizará en cada uno de estos aspectos que propuso y realizó la empresa ejecutora.

2.3.3 Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México

El Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México (SEDEMEX) elaborado de 1985 a 1990, es el documento más reciente que inventaría los recursos forestales y clasifica comunidades vegetales con el que contaba el Estado de México. Contiene información de la importancia de estos recursos desde la época precolombina y hasta la actualidad, cuando inician los

¹ Área o diámetro basal es el "área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura de 1,30 m". (Geilfus, 1994).

Inventarios Nacionales. Presenta un diagnóstico de recursos sociales y naturales que caracterizan a la entidad así como la relación que existe entre ellos. Uno de los resultados más importantes de este estudio es la obtención de superficies de las clases inventariadas como se presenta en la Tabla 2.3.

Presentó además información valiosa en cuanto a uso de suelo no forestal, existencias de madera en bosque y selva, incremento anual para bosques, zonificación de terrenos forestales, zonas de producción, restauración y conservación, daños al arbolado en pie y áreas naturales protegidas (Rodríguez, 1990).

Tabla 2.3: Clases del Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México (Rodríguez, 1990).

| ECOSISTEMA | FORMACIÓN | TIPO DE VEGETACIÓN |
|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| BOSQUES | CONÍFERAS | Bosque de pino abierto |
| | | Bosque de pino cerrado |
| | | Bosque de oyamel abierto |
| | | Bosque de otras coníferas abierto |
| | | Bosque de otras coníferas cerrado |
| | CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS | Bosque de pino y encino abierto |
| | | Bosque de pino y encino cerrado |
| | | Bosque fragmentado |
| | LATIFOLIADAS | Bosque de encino abierto |
| | | Bosque de encino cerrado |
| Bosque de galería | | |
| | | Plantaciones forestales |
| SELVAS | SELVAS ALTAS Y MEDIANAS | Selva alta y mediana |
| | SELVAS BAJAS | Selva baja |
| | OTRAS ASOCIACIONES | Bosque mesófilo de montaña cerrado |
| | | Bosque mesófilo de montaña abierto |
| | | Manglar |
| | | Selva de galería |
| | | Palmar |
| | | Selva fragmentada |
| | | Sabana |
| VEGETACIÓN DE ZONAS ÁRIDAS | ARBUSTOS | Mezquitales y huizaches |
| | | Chaparrales |
| | MATORRALES | Matorral subtropical |
| | | Matorral submontano |
| | | Matorral espinoso |

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| | Matorral xerófilo |
| | |
| VEGETACIÓN HIDRÓFILA Y HALÓFILA | Vegetación hidrófila |
| | Vegetación halófila |
| | |
| ÁREAS PERTURBADAS | |
| | |

CAPÍTULO 3. FASES PREVIAS A LA ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA EN EL INVENTARIO FORESTAL DEL ESTADO DE MÉXICO 2010

3.1 Selección de puntos de muestreo

Ya que es imposible muestrear en campo el 100% de recursos forestales se debe considerar sólo un cierto número de unidades de muestreo a partir de las cuales, en la fase del análisis, es posible determinar una aproximación con cierto nivel de confiabilidad de las existencias reales en superficie y ubicación.

3.1.1 Muestra estadística

Además de las técnicas cartográficas, se emplean técnicas estadísticas para contabilizar los recursos; éstas se realizan a partir de diversos métodos como las extrapolaciones, donde una unidad de muestreo representará un mayor número de elementos. Pueden obtenerse a partir de ellas datos del arbolado como área basal, edad, peso de combustible, entre otras propiedades.

La finalidad de los inventarios forestales no es únicamente obtener la cartografía de la distribución de comunidades, sino también contabilizar otras propiedades de los recursos con métodos estadísticos, ya que obtenerlos con otras técnicas como la percepción remota, implica actualmente costos y tiempos muy altos de elaboración.

En el caso del Estado de México se contaba ya con la información del INFyS 2004-2009 de CONAFOR que, para esta entidad, había muestreado 245 conglomerados en total, con datos de área basal y volumen por cada uno de ellos. Cabe reiterar que estos resultados existen únicamente como información puntual.

Estos datos fueron aprovechados en la fase previa del IFEM puesto que a partir de ellos se realizó una muestra estadística² para conocer la población o número de conglomerados a muestrear con la finalidad de obtener altos niveles de confianza en los resultados de las posteriores estimaciones estadísticas.

Este informe se considera el proceso previo del proyecto; por lo tanto, no se desarrolla este tema; sin embargo, es importante conocer las bases para comprender los fundamentos de la totalidad del proyecto. Por ello, se describe de manera general este proceso.

A partir de los datos de área basal por conglomerado que proporcionó CONAFOR se elaboró la muestra estadística. La finalidad es obtener un número representativo de la población total del arbolado en la entidad. Esta muestra se obtuvo por cada cuenca hidrográfica existente en la entidad con el propósito de aproximar más las condiciones estimadas de recursos a las condiciones reales. El argumento para utilizar esta zonificación son las características como geosistema que integran cada cuenca³.

A continuación se resumen estos pasos realizados en gabinete (PROBOSQUE-INYDES, 2011):

- 1.- Zonificación del área estatal por cuencas hidrográficas.
- 2.- Estratificación de acuerdo a la comunidad vegetal con base a la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III, escala 1:250 000 de INEGI.
- 3.- Cálculo de la varianza con base en la información de área basal en 245 unidades de muestreo tomados en años anteriores y proporcionados por CONAFOR tomando en consideración la cuenca y la comunidad vegetal de cada conglomerado.
- 4.- Cálculo del tamaño de la muestra, que se obtiene con la fórmula:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

Donde:

n = Población

t = Valor del estudio (área basal)

s = Desviación estándar

E = Error estándar de la media (5%)

² Se llama *muestra* a “una parte de la población a estudiar que sirve para representarla”, (Murria R. Spiegel, 1991).

“Una *muestra* es una colección de algunos elementos de la población, pero no de todos”, (Levin and Rubin, 1996).

³ Se decidió estratificar las comunidades vegetales en base a una zonificación por cuencas hidrográficas, ya que al ser éstas redes naturales geomorfológicas, regulan la dinámica hidrológica de una zona cuyos sistemas físicos y bióticos son elementos interdependientes (Dourojeanni *et al.*, 2002). Estas características resultan propicias para emplear las cuencas como unidad de paisaje en el análisis de comunidades vegetales.

El resultado de esta muestra arrojó 533 conglomerados con un nivel de confiabilidad de 95% y un error máximo permisible de 5%.

3.1.2 Distribución de conglomerados

Una vez obtenido este número de conglomerados a muestrear, el siguiente proceso en gabinete consistió en seleccionar dónde debían distribuirse los 533 puntos de muestreo. Para ello, se trazó como base para la selección de puntos, una malla equidistante de 2.5 km que cubre toda la entidad.

Para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la CONAFOR, los conglomerados se distribuyeron a partir de una malla equidistante de 5, 10 y 15 km por cada grupo de vegetación (bosques, selvas y otro tipo de comunidades vegetales) (CONAFOR, 2012b). Para tener consistencia con la metodología de CONAFOR, en el IFEM también se utilizaron estas equidistancias por tipo de comunidad; sin embargo, la base sobre la cual se eligieron todos los puntos fue de 2.5 km con la finalidad de mostrar más opciones de muestreo.

El último proceso para ubicar los 533 conglomerados, consistió en la identificación de intensidad de muestreo por regiones geográficas; para ello, se sobrepuso la capa de la carta de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, serie III, escala 1:250 000, ubicando las clases que corresponden a bosques, selvas y otras comunidades vegetales. También se sobrepusieron las imágenes de satélite Spot 2010. En el software se identificaron las zonas donde se observó un mayor número de clases de comunidades vegetales en un área relativamente chica, así como también las zonas donde la imagen de satélite presentaba tonalidades diversas. Se identificaron las regiones de mayor importancia ecológica, como la Sierra Nevada y la franja de elevaciones montañosas pertenecientes a la subprovincia fisiográfica de Lagos y Volcanes de Anáhuac.

Estos criterios se utilizaron con el fin de aumentar el número de muestreos en las zonas de mayor dificultad para la identificación de fronteras entre comunidades vegetales. A su vez, se evitó seleccionar puntos en poligonales correspondientes a asentamientos humanos, cultivos u otros tipos de usos de suelo. Las Figuras 3.1 y 3.2 muestran las capas sobrepuestas.

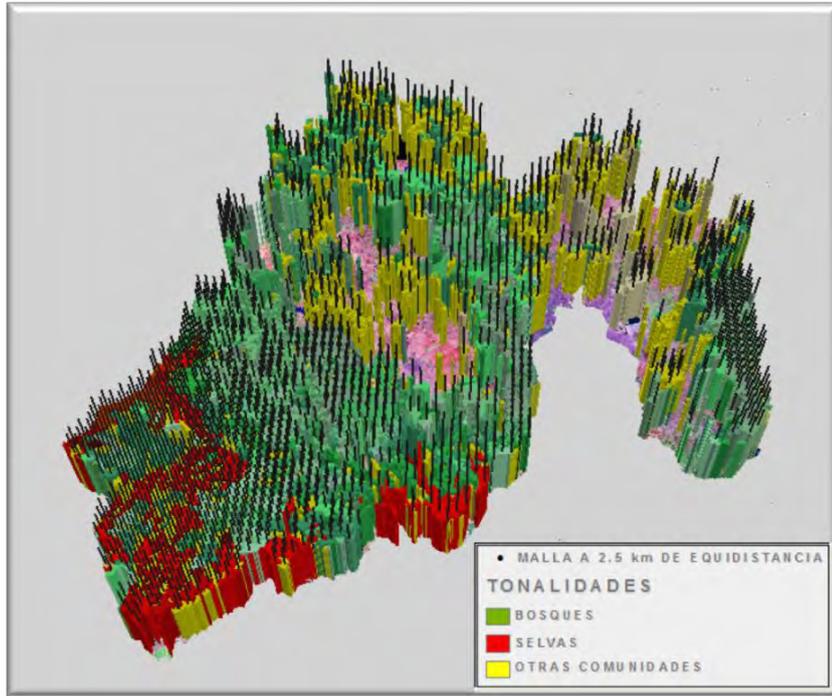


Figura 3.1. Capas de clases de comunidades e imágenes de satélite sobrepuestas con la malla a 2.5 km sobre las zonas con vegetación, para seleccionar la intensidad de puntos de muestreo (Elaboración propia).

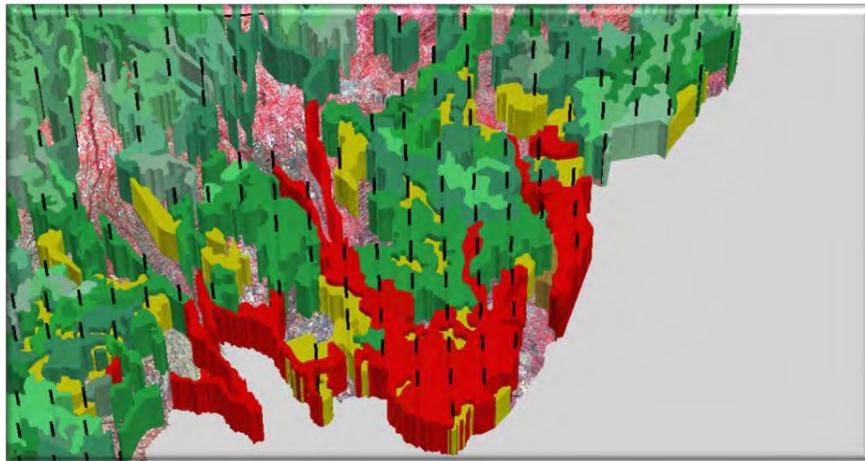


Figura 3.2. Acercamiento de la región sur en frontera con Guerrero. Esta fue una de las zonas con mayor intensidad de muestreo (Elaboración propia).

Cabe mencionar que la selección de puntos de muestreo fue consensada entre los responsables del proyecto por parte de la empresa y los especialistas de PROBOSQUE en diversas reuniones donde se trató este proceso.

La Figura 3.3 muestra la distribución de los 533 conglomerados, resultado del análisis descrito en esta importante fase.

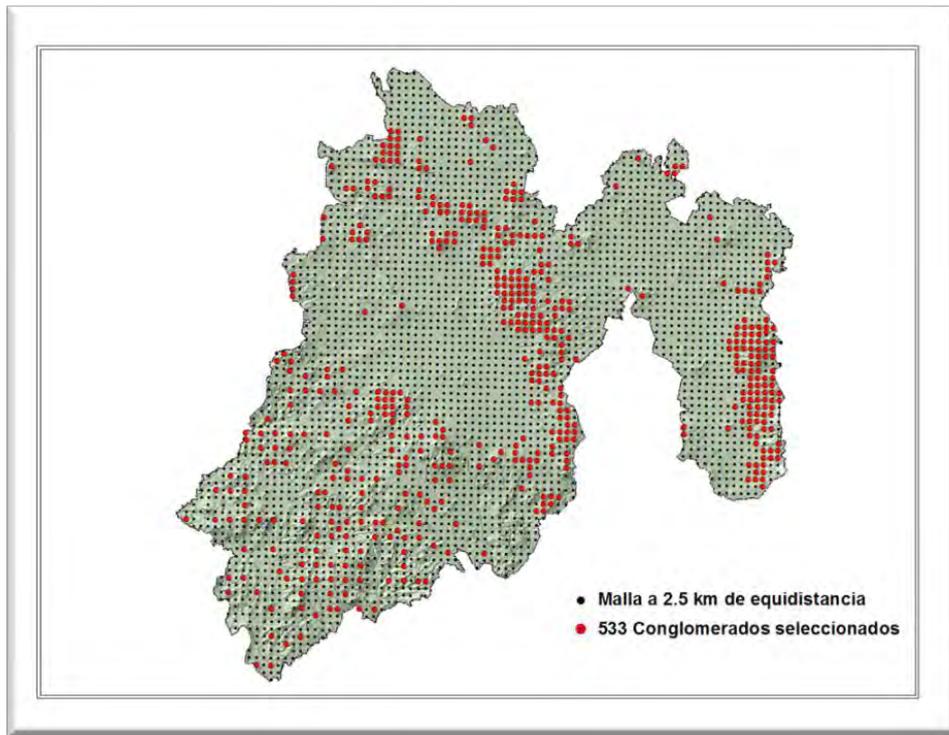


Figura 3.3. Selección de conglomerados muestreados en el IFEM 2010 (Elaboración propia).

3.2 Procesos cartográficos durante los muestreos de campo

La labor cartográfica no sólo intervino en la elaboración del producto final, sino que también fue indispensable durante la fase de los muestreos en campo. Esta intervención consistió en la planeación y programación de rutas para las brigadas. A partir del análisis sobre el sistema de información geográfica de elementos como la topografía, densidad de vegetación, tipo de vegetación, vialidades o caminos, accesibilidad y temporalidad estacional, es como se definieron las rutas de trabajo. A partir del análisis geográfico se decidió la asignación de brigadas por un criterio decisivo de gestión, que fue el de preparación y nivel de experiencia de cada una de las ocho brigadas, conformadas por dos personas cada una. Otro criterio de gestión de menor contundencia dado por el tiempo disponible, fue el de la repartición equitativa de dificultad de conglomerados por cada brigada. Este último criterio de gestión es de gran importancia para evitar el agotamiento del personal y contener el sentido ecuánime entre todo el personal de trabajo.

La temporalidad estacional es otra variable de importancia para la identificación de ciertas especies; sin embargo, en este proyecto no fue un factor determinante para la planeación

general de los levantamientos, ya que la identificación de éstas se realizó en gabinete con las colectas obtenidas a cargo de un experto forestal de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), junto con el equipo de especialistas de PROBOSQUE.

Cabe mencionar también que no siempre fue posible efectuar en la práctica la planeación y programación de rutas de trabajo debido a imprevistos técnicos relativos a los equipos de trabajo (camionetas, instrumentos, entre otros) así como por circunstancias sociales de riesgo para el personal (zonas de cultivos ilícitos, delincuencia o narcotráfico) y movimientos en la conformación de brigadas por el sentido de urgencia de entrega de resultados mensuales.

Los productos cartográficos que se utilizaron para ello fueron cartas topográficas digitales escala 1:250 000 y 1:50 000 de años aproximados entre 1997 y 2007; la plataforma de Google Earth; la carta de Uso de Suelo y Vegetación, serie III, de INEGI, escala 1:250 000 publicada en 2005; los mapas de pronósticos del tiempo a seis meses para la planeación total y a dos meses para la programación de rutas mensuales elaborados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El periodo que abarcó la fase de muestreos en campo fue de la última semana de mayo a noviembre de 2010. Este periodo estacional en el Estado de México representa la temporada lluviosa del año (de mayo a octubre, según Enriqueta García, 1965), lo cual es positivo para la observación de la vegetación vigorosa pero genera dificultades para la accesibilidad a los conglomerados y la toma de datos, inconvenientes que en la planeación a partir del análisis de factores, ayudaron a minimizar los obstáculos que impedían el flujo del trabajo.

Una vez asignadas las rutas para cada brigada se trazaron sus mapas de apoyo, los cuales fueron impresos en medidas 60 x 40 cm, a color. Éstos se realizaron en el software ArcGis 9.3, donde se representaban con símbolos los puntos a muestrear sobre la carta topográfica de INEGI. Por cada ruta se realizó un mapa panorámico donde se visualizaron todos los conglomerados cuya base fue la carta topográfica de INEGI escala 1:250 000 y con la carta escala 1:50 000 se realizaron mapas de acercamientos para observar a mayor detalle la localización y los elementos geográficos que obstaculizan o facilitan el trayecto.

Las imágenes siguientes muestran como ejemplo tres mapas que corresponden a la ruta de una brigada en el mes de octubre. El primero (Figura 3.4) es el Panorámico, generado con la carta topográfica 1:250 000 de fondo para la visualización general de ubicación de la ruta; los

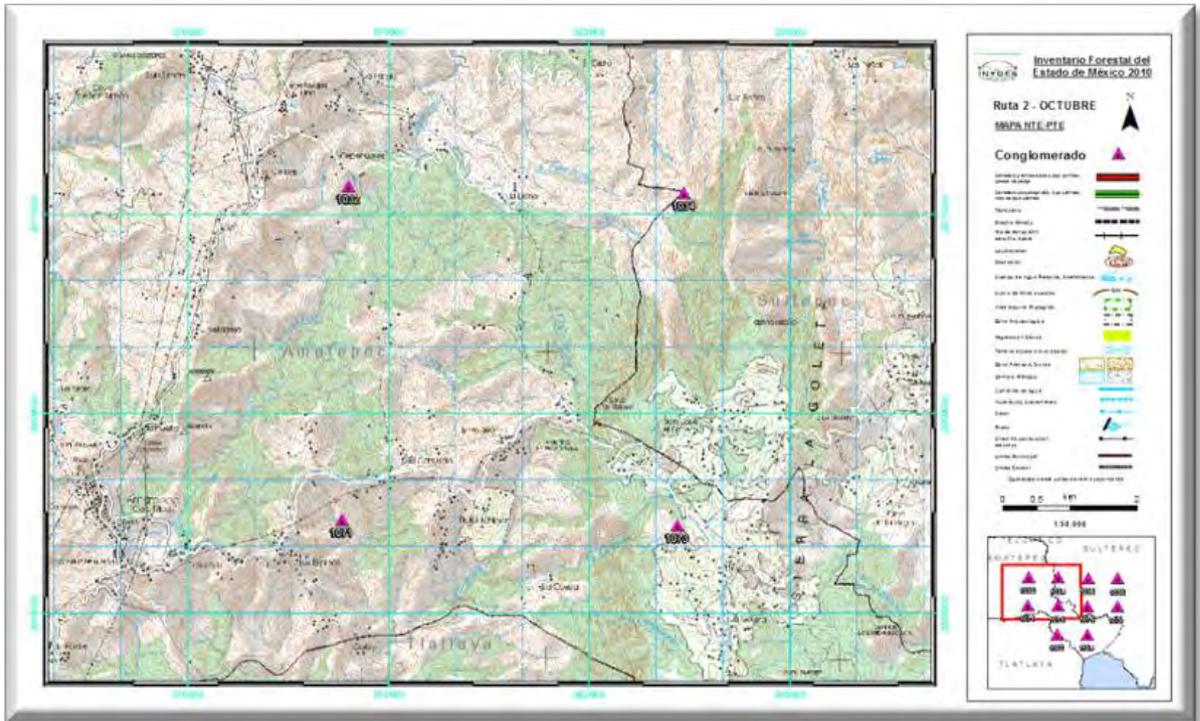


Figura 3.5. Mapa Norte-Poniente de la Ruta 2 del mes de octubre (Elaboración propia durante el IFEM 2010).

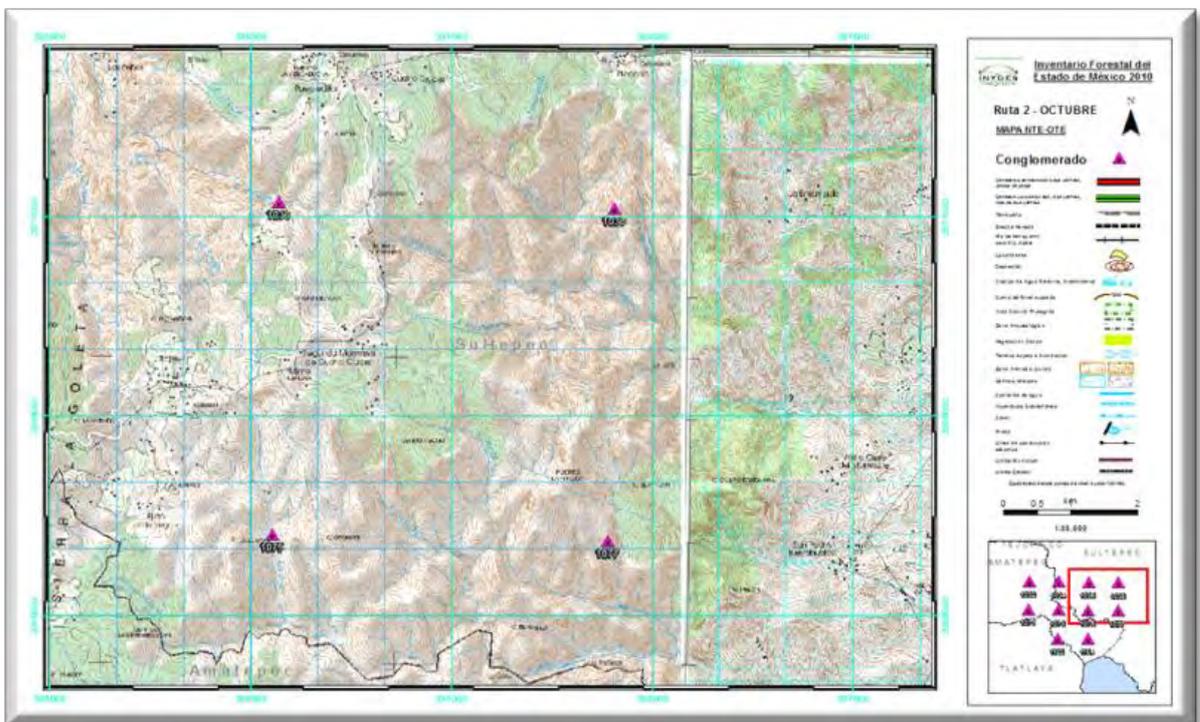


Figura 3.6. Mapa Norte-Oriente de la Ruta 2 del mes de octubre (Elaboración propia durante el IFEM 2010).

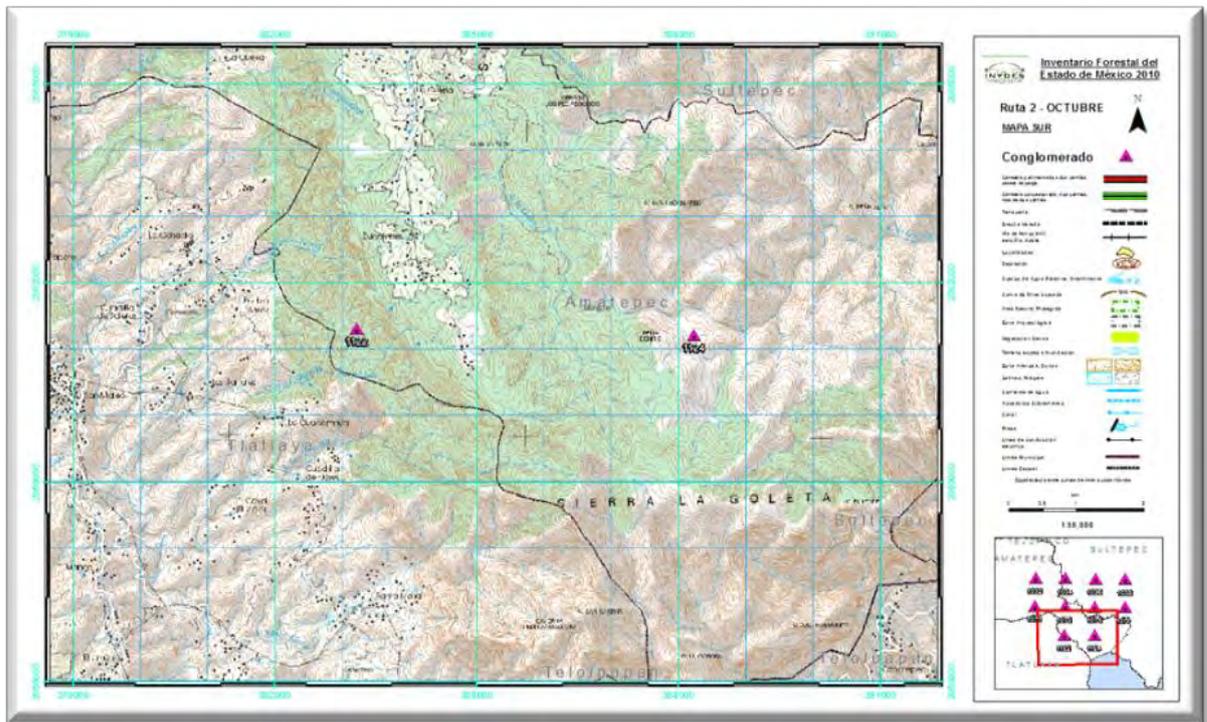


Figura 3.7. Mapa Sur de la Ruta 2 del mes de octubre (Elaboración propia durante el IFEM 2010).

Otra característica importante de los mapas es que contienen grid en coordenadas UTM que permitieron ubicar un punto en específico con el GPS y con los datos de la escala (gráfica o numérica) estimar la distancia al punto de interés.

Adicionalmente a los mapas impresos, se proporcionó a las brigadas una ficha técnica en la que se indicaban las coordenadas por cada conglomerado, así como otros datos requeridos para las mediciones.

3.3 Levantamientos en campo

Los resultados de los levantamientos en campo fueron la base para actualizar la cartografía de vegetación del Estado de México. El insumo que otorgó fue la información puntual por unidad de muestreo o conglomerado con el tipo de comunidad vegetal que se identificó. Para la comprensión de la totalidad del proyecto se describen a continuación algunos puntos relevantes de esta importante fase, la cual fue ejecutada por brigadas conformadas por profesionistas de especialidades relacionadas al sector forestal.

La metodología para la toma de datos y mediciones de campo en el IFEM 2010 se realizó de forma muy similar a la que elabora CONAFOR, con la finalidad de cumplir con la normatividad nacional homologando la información obtenida. La finalidad principal es dar seguimiento al monitoreo y evaluación de recursos a estos conglomerados en años posteriores.

Se le llama unidad de muestreo o conglomerado a la porción de terreno seleccionada que es objeto de mediciones dasonómicas en cuatro sitios de muestreo. Esta superficie consta de una hectárea en circunferencia cuyo radio es de 112.84 m. Cada sitio de muestreo está conformado con figuras geométricas ya sea circulares o rectangulares que constituyen cierta superficie en m². Las primeras se ocupan cuando el tipo de comunidad vegetal corresponde a bosques y a otros tipos de comunidades vegetales; las segundas cuando corresponde a selvas. Cada uno de ellos tiene una equidistancia de 45.14 m.

Los siguientes esquemas muestran la distribución del conglomerado para los tres grandes grupos de comunidades vegetales, es decir, bosques, selvas y otros tipos de comunidades vegetales (PROBOSQUE, 2010b). Figuras 3.8 y 3.9.



Figura 3.8. Esquema circular correspondiente al conglomerado para comunidades tipo bosques y otros tipos de comunidades vegetales (PROBOSQUE, 2010b).

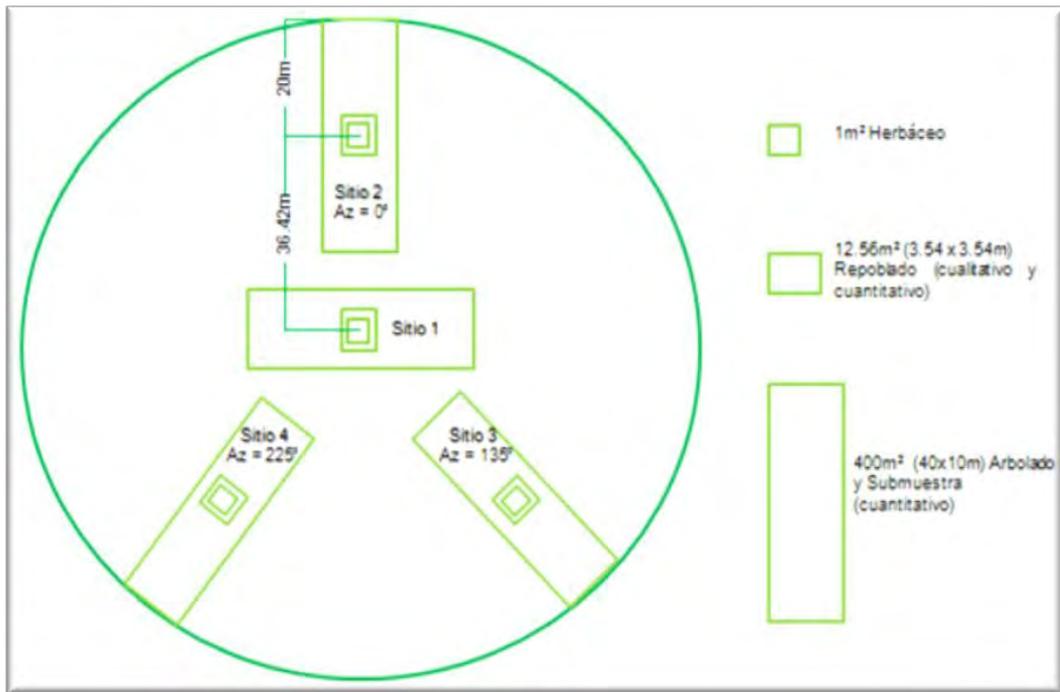


Figura 3.9. Esquema del conglomerado para comunidades tipo selva (PROBOSQUE 2010b).

No sólo se obtuvo en campo el tipo de vegetación al que corresponde determinado conglomerado. A continuación se mencionan otros tipos de variables cuantitativas y cualitativas que, a su vez, fueron descritas con mayor detalle en el cuestionario del Manual de Campo⁴:

- 1.- Datos generales de la ubicación geográfica del conglomerado.
- 2.- Diversidad de especie por estrato arbóreo, arbustivo, herbáceo.
- 3.- Diversidad de epífitas en el arbolado por tipo.
- 4.- Características de las especies de flora en riesgo.
- 5.- Cuerpos de agua presentes.
- 6.- Impactos ambientales.
- 7.- Evidencia de incendio.
- 8.- Plagas.

⁴ Para la labor cartográfica estos datos no fueron requeridos, sino sólo la variable de tipo de vegetación.

CAPÍTULO 4. ELABORACIÓN DEL ARCHIVO VECTORIAL DE COMUNIDADES VEGETALES

ESCALA 1:50 000

4.1 Matriz de procedimientos

Para ejecutar los procesos de la elaboración de cartografía en el IFEM fue necesario guiarse por ciertos procedimientos, tal como lo recomienda Chuvieco (2002). Algunos de estos pasos fueron determinantes para la elección del método de visualización e interpretación de imágenes, tales como los objetivos y la disponibilidad de recursos; así mismo, algunos pasos, como el tratamiento de las imágenes, ya se habían realizado anteriormente (selección de imágenes de satélite, tratamientos como correcciones, ortorrectificación, entre otros). Por esta razón, el esquema propuesto por Chuvieco se modificó para adaptarlo a las necesidades particulares de este proyecto. La Figura 4.1 representa el esquema modificado y sintetiza cada uno de los pasos.

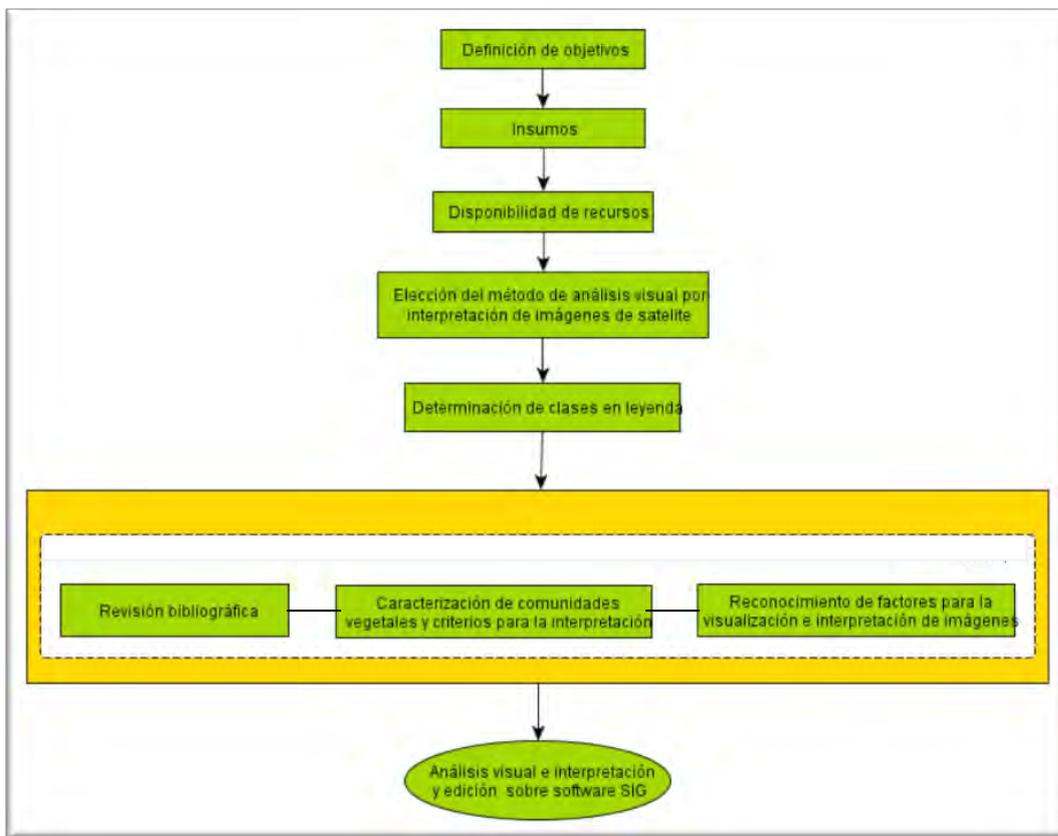


Figura 4.1. Matriz de procedimientos para cartografía del IFEM (Elaboración propia basada en Chuvieco, 2002).

4.2 Definición de Objetivos

Los objetivos de la fase de interpretación cartográfica corresponden a los resultados esperados publicados en la licitación del IFEM 2010 (Compranet, 2010). Son los siguientes:

Objetivos generales:

- Localización de comunidades vegetales existentes en el Estado de México al año 2010; delimitación de fronteras entre ellas.
- Obtención de superficies por comunidad vegetal.
- Obtención de cartografía en archivo vectorial escala 1:50 000.

Objetivos estratégicos:

- Aprovechamiento de estudios previos cartográficos en la entidad.
- Elaboración con recursos limitados.
- Elaboración en dos meses máximo a partir de la finalización de los levantamientos en campo.
- Unidad mínima cartografiable de 1 ha.

4.3 Insumos

Los insumos con los que se contaron para la interpretación cartográfica, de acuerdo con su nivel de importancia, se dividen en básicos y de apoyo.

Básicos: Son los materiales o datos de información más relevantes para el análisis espacial.

- 44 Imágenes SPOT 5 (Système Pour l'Observation de la Terre) con las características siguientes: Multiespectrales (cuatro bandas). Año 2010, periodo invernal, con 10 m² por píxel, cubrimiento de todo el Estado de México. Ya tratadas; apiladas, georreferenciadas, ortorrectificadas, con correcciones radiométricas y atmosféricas. Proporcionadas por IGECM (Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México) a través de PROBOSQUE. El requisito indispensable para la obtención de las imágenes fue la vigencia del año 2010. Las circunstancias administrativas y el tiempo determinado para proporcionarlas fue a finales del periodo invernal de principios de ese mismo año.

- Información puntual con coordenadas de Tipos de comunidades Vegetales de 533 conglomerados muestreados para el IFEM 2010 por brigadistas en campo de INYDES.

Apoyo: Son insumos proporcionados por PROBOSQUE, de fuentes como IGCEM e INEGI, con el objeto de servir de apoyo al interpretador. Estos materiales fueron los siguientes:

- Archivo vectorial Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250 000. Serie III. Año 2005. INEGI. Cubrimiento nacional.
- 44 Imágenes Spot 5. Multiespectrales (4 bandas). Año 2008. Con 10 m² por píxel, cubrimiento de todo el Estado de México.
- Fotografías aéreas escala 1:20 000. Cubrimiento del 70% del Estado de México. Año 2000.

Cartografía temática de apoyo:

- Ríos-Escurremientos. Tipos: Perennes e Intermitentes. Escala 1:100 000. IGCEM.
- Cuerpos de Agua: Escala 1:100 000. IGCEM.
- Límites municipales. Actualizado a 2010. IGCEM.
- Carreteras. Pavimentadas, Revestidas, Terracería y Brecha. Escala aproximada 1:250 000. IGCEM.
- Curvas de nivel. Equidistancias de 100 m. IGCEM.
- Localidades. Actualizadas a 2009. IGCEM.
- Áreas Naturales Protegidas. IGCEM.
- Minas. Ubicación de minas activas e inactivas. IGCEM.
- Carta edafológica. Unidades y clasificación. IGCEM.
- Geológica. Edad de la roca y tipo. Descripción. IGCEM.
- Rocas. Clase y tipo de la roca. Escala 1:1 000 000. INEGI.
- Clima. Escala 1:500 000. 2001. Denominación, grupo de clima, precipitación, humedad, oscilación térmica. IGCEM.
- Cuencas. INEGI-CNA-INE.
- Subcuencas. CONABIO.
- Precipitación Media Anual. Escala 1:1 000 000. INEGI.
- Temperatura Media Anual. Escala 1:1 000 000. INEGI.
- Cartas topográficas digitales escala 1:50 000 y 1:250 000 del Estado de México. INEGI.
- Cartas municipales digitales formato PDF. INEGI.

4.4 Disponibilidad de recursos

Actualmente, los alcances tecnológicos cartográficos han contribuido, junto con las técnicas clásicas ya existentes, a la adecuación de diversos métodos de obtención de información espacial, dependiendo de los objetivos particulares de cada estudio. Gracias a ellos es posible adecuar los métodos de análisis respecto a los recursos con que se cuenta para su elaboración, tales como: 1) *medios económicos y humanos disponibles*, 2) *rapidez y exactitud exigida*, 3) *tipo y continuidad de las tareas*, 4) *homogeneidad de la superficie analizada* (Chuvieco, 2002).

A continuación se describen los recursos con los que se contaron en base a la revisión de puntos principales propuestos por Chuvieco (2002):

1) El monto económico invertido para la totalidad del proyecto fue muy escaso y limitado en ambas fases (levantamientos en campo y cartografía). La mayor parte se designó a la costosa ejecución en campo, donde hubo que abastecer de material e instrumentos de medición, así como de camionetas y viáticos a ocho brigadas compuestas por dos miembros cada una.

En cuanto a los recursos humanos, se requirió una persona que fungiera como Coordinador Especialista en Cartografía, figura que yo ejercí. Las capacidades y requerimientos del perfil fueron los siguientes:

Una persona de tiempo completo responsable de la ejecución de los procesos cartográficos por parte de la empresa. Perfil de especialista en cartografía con Sistemas de Información Geográfica; contar con licenciatura en Ciencias del Medio Ambiente, Geografía o Geomática; experiencia comprobada suficiente para ejercer con agilidad el análisis espacial; conocimientos del comportamiento geográfico de la vegetación y su identificación cartográfica y, como último requerimiento, contar con conocimientos en especificaciones para elaborar cartas de vegetación.

La figura descrita en el párrafo anterior fue la que yo ejercí en el proyecto. Mi *currículum* hasta ese momento cubría los requerimientos y contaba con los comprobantes que se indican. En el (Ver Anexo 1) se describe dicho currículum.

Además de la figura ya descrita por parte de la empresa, se contó con tres personas de PROBOSQUE encargadas de revisar y corregir los procesos, también elaboraron la

interpretación de ubicación de zonas con degradación. Este personal experto en cartografía y en recursos forestales del Estado de México pertenece al área de cartografía de PROBOSQUE.

Se contó por parte de la empresa INYDES con equipo principal de cómputo con capacidades aptas para análisis sobre Sistema de Información Geográfica, cuyas características fueron: 1 Tera de disco duro, 6 Gb de memoria RAM, procesador Intel Core i3. Plataforma ArcGis 9.3. Adicional a la PC principal, se requirió una Laptop con el mismo software para poder trasladarla a instalaciones de PROBOSQUE cuando se requiriera. También se proporcionó personal de apoyo esporádicamente para funciones sencillas.

2) Se consideraron tres meses para concluir esta etapa y elaborar las correcciones en gabinete. Los niveles de confiabilidad debían ser suficientes, ya que al término del proyecto no se elaboraría una validación de resultados en campo.

3) Resultados del proyecto replicables en el tiempo para su monitoreo, validación y contribución a su robustez.

4) El Estado de México tiene diversidad en cuanto a tipos de vegetación, clima y topografía; es necesario contar con un equipo experto en el conocimiento de la distribución de especies y ecosistemas en la entidad para poder elaborar una interpretación más precisa. Estas figuras fueron conformadas por el personal de PROBOSQUE.

4.5 Elección del método de análisis visual por interpretación de imágenes de satélite

Para el IFEM 2010 se decidió optar por el método de análisis visual o interpretación de imágenes de satélite para desarrollar la fase cartográfica, puesto que los recursos con que se contaron ya descritos así como los alcances y objetivos del mismo, atendían cabalmente a los propósitos del proyecto.

La interpretación visual de imágenes de satélite (o de fotografías aéreas) se basa en la identificación de objetos de diferentes características; unos pueden ser de fácil reconocimiento, pero otros no; estos casos se sintetizan de la siguiente forma (Janssen *et al.*, 2001):

1.- Reconocimiento directo y espontáneo de un objeto: el intérprete lo reconoce fácilmente debido a sus características evidentes.

2.- Inferencia lógica: Se utiliza un proceso de razonamiento a partir del conocimiento profesional y la experiencia para identificar un objeto. En ocasiones este razonamiento no es suficiente para la interpretación correcta, siendo necesario el trabajo de campo.

La interpretación implica un conocimiento previo de la zona de interés en la imagen y su contexto; la visualización debe ser influenciada por el tipo de análisis que se pretende realizar, lo que es sustentado por el trabajo de campo (Fernández - Coppel, 2001).

Las ventajas y desventajas que presenta el método de interpretación en este proyecto son, en síntesis, las siguientes (Chuvieco, 2002; Gutiérrez, 2005):

Ventajas:

- Inversión escasa.
- Mayor rapidez.
- Imágenes de satélite ya tratadas.
- Buena precisión en clases heterogéneas.
- En zonas inexactas permite codificar correctamente consultando a conocedores de la región.

Desventajas:

- Menor confiabilidad en zonas de transición.
- Menor precisión en clases homogéneas.
- Omisión al no explotar ventajas de técnicas modernas como realces y filtros para mejorar la identificación de objetos.

4.6 Determinación de clases en leyenda

Para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos, la Comisión Nacional Forestal utiliza la clasificación de vegetación que maneja INEGI, de modo que el Inventario Forestal del Estado de México, igualmente utilizó esas clases en sus muestreos. La leyenda del IFEM, por lo tanto,

corresponde a las clases que determina la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, serie III, de INEGI (2009).

Se obtuvieron 19 comunidades vegetales primarias (Tabla 4.1). Esta clasificación también considera los estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos.

Tabla 4.1. Clases en leyenda. (PROBOSQUE-INYDES, 2011)

| CLAVE | DESCRIPCIÓN |
|--------------|-------------------------------|
| BA | BOSQUE DE OYAMEL |
| BB | BOSQUE DE CEDRO |
| BC | BOSQUE CULTIVADO |
| BG | BOSQUE DE GALERÍA |
| BJ | BOSQUE DE TASCATE |
| BM | BOSQUE MESOFILO DE MONTAÑA |
| BP | BOSQUE DE PINO |
| BPQ | BOSQUE DE PINO ENCINO |
| BQ | BOSQUE DE ENCINO |
| BQP | BOSQUE DE ENCINO PINO |
| MC | MATORRAL CRASICAULE |
| MK | MEZQUITAL |
| MDR | MATORRAL DESERTICO ROSETOFILO |
| P | PASTIZAL |
| SBC | SELVA BAJA CADUCIFOLIA |
| VH | VEGETACION HIDROFILO |
| VP | PALMAR INDUCIDO |
| VT | TULAR |
| VW | PRADERA DE ALTA MONTAÑA |

Al finalizar la fase de elaboración de la cartografía del IFEM con dicha leyenda, por decisiones operativo-administrativas se acordó integrar una nueva clase correspondiente a Degradación. Esta categoría fue elaborada por el personal de PROBOSQUE quienes, por el mismo método de visualización e interpretación, determinaron los polígonos correspondientes a esta última clase.

4.6.1 Revisión bibliográfica

Esta fase fue muy relevante porque, a través de la consulta de literatura, fue que se orientó la estructura de los procedimientos de la interpretación. Comprendió desde cuestiones de conceptualización, estrategias y fases de la interpretación hasta la búsqueda de datos espaciales de apoyo para mejorar el análisis sobre el SIG.

La revisión bibliográfica fue una labor de gabinete que se realizó mientras se ejecutaban los muestreos en campo. Gracias a esta fase fue que se adquirieron conocimientos en cuanto a las características geográficas de la vegetación en el Estado de México, además de investigar la ubicación de determinadas comunidades en toda la entidad para obtener un reconocimiento previo de la distribución de la vegetación en el Estado de México.

Esta fase también sirvió de entrenamiento y familiarización del analista para observar el comportamiento de la vegetación en la entidad y su identificación en las imágenes de satélite, lo que le proporcionó las bases para su posterior reconocimiento y análisis.

4.6.2 Caracterización de comunidades vegetales y criterios para su identificación

A partir de la obtención de 19 clases de vegetación primaria que existen en el Estado de México, se elaboró una conceptualización que las describe. A través de búsquedas bibliográficas se obtuvieron las descripciones de cada una de estas categorías de vegetación.

Se recopilaron únicamente los datos de relevancia que ayudarían a su reconocimiento en la imagen de satélite y que pudieran ser analizadas con capas de información temática sobre el SIG; por ejemplo, la ubicación en intervalo de isolíneas topográficas, climatológicas, entre otros factores geográficos. La investigación también abordó localización de comunidades vegetales y su distribución en la entidad.

La consulta se realizó básicamente con cuatro fuentes: la Metodología para la actualización de la cartografía del suelo y vegetación, serie III, del Departamento de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, (2005); la Guía para la Interpretación de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III, INEGI, (2009); el Atlas General del Estado de México, Volumen II (1995), del Gobierno del

Estado de México; La Vegetación de México, Rzedowski (1978) y Las comunidades vegetales de México, González (2004).

Su caracterización se sintetiza en la siguiente tabla 4.2:

Tabla 4.2. Caracterización de comunidades vegetales (Elaborado a partir de diversas fuentes bibliográficas).

| | ALTITUD | PRECIPITACIÓN | CLIMA | TEMPERATURA |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| BOSQUE DE OYAMEL (BA) | De 2000 a 3400 msnm | | Semifrío y húmedo, subisotérmico (sin estaciones fría y caliente bien diferenciadas). Nevadas moderadas, escasas o ausentes, insolación intensa | Temp media anual entre 7 y 15°C incluso hasta 20°C |
| BOSQUE DE CEDRO (BB) | Varían entre 2700 y 3200 msnm | | Templado y semifrío, húmedo; actualmente se restringen a pequeños manchones a lo largo de las zonas húmedas hasta zonas de clima seco. Abarca desde clima húmedo hasta clima seco, compartiendo hábitat con la vegetación de zonas áridas | |
| BOSQUE CULTIVADO (BC) | | | | |
| BOSQUE DE GALERÍA (BG) | | | | |
| BOSQUE DE TÁSCATE (BJ) | Más comúnmente se ubican en altitudes mayores a los 1500 m | | Se ubican en regiones subcálidas templadas y semifrías, varían desde el frío de las altas montañas (E), hasta el templado y subhúmedo (Cw y Cs) y el semiárido (BS), muy frecuentemente en las regiones limítrofes entre estos últimos tipos (Clasificación de Köppen) | |
| BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (BM) | Entre los 800 y 2400 msnm | La precipitación media anual probablemente nunca es inferior a 1000 mm, comúnmente pasa de los 1500 mm y en algunas zonas excede los 3000 mm | Se caracteriza por estar en sitios de excesiva insolación y lluvias densas donde se forman las neblinas casi todo el año | La temperatura media anual varía de 12° a 23° C |
| BOSQUE DE PINO (BP) | En el Estado de México está prácticamente confinada a sitios de alta montaña, por lo común entre 2400 y 3600 m. En muchas partes de México, los cerros menos elevados llevan los pinares en sus cumbres y laderas superiores | | Existen principalmente en climas templados a fríos y húmedos; sin embargo, se pueden encontrar también en climas muy cálidos tanto húmedos como semiáridos | La tolerancia de temperatura media anual varía de los 6°C a los 28° C |
| BOSQUE DE PINO-ENCINO (BPQ) | La transición del bosque de encino al de pino está determinada por el gradiente altitudinal. Estas mezclas son muy frecuentes y ocupan muchas condiciones de distribución. Esta composición de pino-encino, se localiza en la | No tolera escasa precipitación | | No tolera alta oscilación térmica |
| BOSQUE DE ENCINO-PINO (BQP) | Se desarrollan en áreas de mayor importancia forestal en los límites altitudinales inferiores de los bosques de pino-encino | | | |

| | ALTITUD | PRECIPITACIÓN | CLIMA | TEMPERATURA |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BOSQUE DE INONO (BQ) | Se ubican en su mayoría desde los 1200 y 2800 m, pero incluso pueden llegar a sobrepasar este rango desde cero y hasta 3100 msnm de altitud | Se presentan más entre las isoyetas de 600 a 1200 mm | | Las temperaturas medias anuales son frecuentemente de 12° a 20° C pero llegan a abarcar de los 10° a los 26° C |
| PRADERA DE ALTA MONTAÑA (VW) | Generalmente se ubican sobre los 3500 msnm, incluso hasta los 4300 msnm. A mayor altitud siempre del límite arbóreo y cercano a las nieves perpetuas | La precipitación promedio anual varía entre 600 y 800 mm y aunque un considerable porcentaje de ella cae en forma de nieve, no permanece por largos periodos sobre el suelo | | La temperatura media anual varía de los 3° a los 5° C con una oscilación diurna suficientemente amplia para que se presenten heladas en todos los meses del año. Las temperaturas mínimas extremas no descienden de los -10° C, si acaso muy ligeramente |
| MATORRAL CRASICAULE (MC) | | La precipitación media anual varía de 300 a 600 mm | Se desarrollan principalmente en zonas áridas y semiáridas. La temperatura varía de 16°C a 22° C promedio anual | |
| MEZQUITAL (MK) | | | | |
| MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO (MDR) | | | Se les encuentra en zonas áridas con poca precipitación y altas temperaturas. | |
| PASTIZAL (P) | son más comunes en topografías planas o ligeramente onduladas aunque llegan a observarse también en declives pronunciados. Se desarrollan más sobre suelos derivados de roca volcánica y pendientes ligeras. Se desarrolla en suelos medianamente profundos de mesetas, fondos de valles y laderas poco inclinadas, casi siempre de naturaleza ígnea, en altitudes entre 1300 y 2500 msnm | La precipitación media anual es de 300 a 600 mm, con 6 a 9 meses secos y la humedad atmosférica se mantiene baja durante la mayor parte del año | los pastizales naturales se desarrollan principalmente en regiones semiáridas y de clima fresco | Las temperaturas medias anuales varían de 12° a 20° C. Las fluctuaciones estacionales diurnas son relativamente pronunciadas; todos los años hay heladas |
| SELVA BAJA CADUCIFOLIA (SBC) | Su altitud abarca del nivel del mar hasta 1700 y rara vez hasta 1900 msnm | Las precipitaciones anuales van de 600 mm hasta 1200 mm | Los climas que lo caracterizan son principalmente los cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. El más común es Aw, aunque también el BS y Cw | El promedio de temperaturas anuales es mayor a 20° C pero puede llegar a 29° C |
| VEGETACIÓN HIDRÓFILO (VH) | Van desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm de altitud | | Se desarrollan en todo tipo de clima | |
| PALMAR INDUCIDO (VP) | | | | |
| TULAR (VT) | Se desarrollan en lagunas y lagos de agua dulce o salada y de escasa profundidad | | | |

| | ESPECIES | ALTURA DEL ARBOLADO | OTROS FACTORES |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BOSQUE DE OYAMEL (BA) | Abies, denominados comúnmente oyamel, pinabete y abeta; así como Pinar y Quercus, conocidos como pino y endino | Hasta 30 m | No cubren grandes superficies de terreno. Algunos bosques son muy densos. Se distribuyen en el Eje Neovolcánico, particularmente en la zona sureste. Se halla en la parte sureste, cerca de la zona de selva baja caducifolia; también al norte de la entidad y en la Sierra de las Cruces |
| BOSQUE DE CEDRO (BB) | Se mezcla con los géneros Abies, Pinar y Quercus. Se compone por un gran número de especies, además de bejuco, lianas y epifitas | En el Estado de México se promedia en 20 m | A menudo se ubican en cañadas y sobre suelos profundos, junto con los Quercus, Pinar y Abies, forma asociaciones en los volcanes Itzacuahuatl, Popocatepetl y Sierra de las Cruces |
| BOSQUE CULTIVADO (BC) | Las más comunes son el pino, el eucalipto, el cedro, la cassarina, el pinal, el álamo, el Fresno y el arce, entre otros. | | Son plantaciones, bosques artificiales o reforestaciones de distintas especies arboladas, ubicadas principalmente en las zonas donde hubo una perturbación por actividad humana |
| BOSQUE DE GALERIA (BG) | Las especies más frecuentes son ahuehuete, sauces, fresnos y álamos | | Se ubican a orillas de los ríos y arroyos donde el estrato arbóreo supera el 50% de cobertura. No siempre es posible cartografiado, pero si es visible y supera la entidad mínima cartografiable se toma el polígono correspondiente |
| BOSQUE DE TÁSCATE (BI) | El género del arbolado es Antennaria, pero se puede encontrar también Quercus y Pinar | El arbolado tiene una altura promedio de 8 a 15 m; físicamente este tipo de vegetación es siempre verde y puede variar desde matorrales de 30 cm hasta bosques de 13 m, aunque las alturas más frecuentes oscilan entre 2 y 6 m | Tienen estrecho contacto con los bosques de encino, pino-encino, selva baja caducifolia y matorrales de zonas áridas. Prosperan sobre una gran variedad de suelos, incluyendo los alcalinos, así como los de contenido moderadamente elevado en sales solubles y de yeso y con drenaje deficiente; sin embargo, también se les observa en suelos poco profundos y más bien pedregosos de laderas y cerros. Posiblemente representan faes de sucesión secundaria, cuyo clima corresponde al pinal o encinar. Por lo general, se encuentran abiertos como consecuencia de actividades forestales, pecuarias y agrícolas |
| BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA (BM) | Suelen ser muy densos. Se compone de muchas especies entre ellas el pino, encino, liquidámbar, lechillo y jaborcillo, entre otros | Se mezclan comúnmente con elementos arbóreos de alturas de 10 a 25 m o mayores | Localizada principalmente en las montañas, en laderas que estén protegidas de los fuertes vientos, barrancas y sitios resguardados que presenten condiciones favorables de humedad y neblinas frecuentes; ocupa zonas más húmedas que los bosques de pino y encino pero generalmente más cálidos que las del Bosque de Abies. Es común observar que los bosques de Abies sustituyen a los mesófilos de montaña en las partes de mayor altitud. Suelen utilizarse para agricultura de temporal permanente, de café o caña de azúcar. Estos bosques se forman con especies afines a zonas templadas y tropicales, como en las laderas occidentales del Itzacuahuatl, la Sierra de las Cruces, Mil Cumbres, Nanchitla y los montes de Ocuilán |
| BOSQUE DE PINO (BP) | | Sus alturas van de 15 a 30 m promedio | Se presentan principalmente sobre rocas ígneas, aunque también se les encuentra sobre gneis, esquistas, magas, areniscas, lutitas y calizas. Los suelos en que se desarrollan son clasificados como regosoles, litosoles y ferralsols. Presentan basalto del Terciario y Cuaternario. Su estrato inferior es relativamente pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas; esta condición se relaciona frecuentemente con incendios y tala inmoderada. Es común encontrarlo en las partes bajas de la Sierra Nevada, en el Nevado de Toluca y la Sierra de las Cruces. También se puede ver en la parte sureste, cerca de la zona de selva baja caducifolia y también al norte de la entidad. Las áreas continuas de mayor extensión se presentan en las serranías que circundan al Valle de México el Nevado de Toluca y al límite con el estado de Michoacán, en los municipios de El Oro y San Felipe del Progreso. En las estribaciones del Popocatepetl se encuentran pequeñas porciones |
| BOSQUE DE PINO-ENCINO (BPQ) | | | Se considera fase de transición en el desarrollo de bosques de pino o encino puros; se ubican en partes altas de los sistemas montañosos del país. Está constituido por pinos y encinos pero predomina el pino sobre el encino; es decir, predominan las coníferas sobre las encinares. Se observa sobre todo tipo de roca así como en suelos profundos de terrenos aluviales glacia; no tolera, en apariencia, deficiencias de drenaje. Se desarrolla en suelos de reacción ácida moderada (Ph 5.5 a 6.5), con abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial. Ocupa zonas extensas en el norte de la entidad así como en valles y laderas de las principales geomorfias. |
| BOSQUE DE ENCINO-PINO (BQP) | Esta comunidad se conforma de encinos y pinos, aunque predominan los encinares | Muestran mayor porte y altura que aquéllos donde domina el pino sobre el encino. | Domina las rocas ígneas de basalto y riolita de tiempo reciente. Además del uso forestal, en muchas áreas se presenta una alternancia con el uso agrícola. |

| | ESPECIES | ALTURA DEL ARBOLADO | OTROS FACTORES |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BOQUE DE ENCINO (BO) | | La conforman más de 200 especies de árboles. Su arbolado puede alcanzar de 4 a 30m de altura | Aparentemente no tienen deficiencias de drenaje aunque puede crecer a orillas de arroyos en tierras permanentemente húmedas. La roca en que se presente es basalto del Terciario y Cuaternario, aunque también en rocas metamórficas y algunas sedimentarias. La mayoría presenta una densa población arbolada, observándose un dosel cerrado (de 10 a 30% del cielo está obstruido por las doselas), aunque también se observan dosales abiertos. |
| PRADERA DE ALTA MONTAÑA (PW) | Colimagrata totonaco y Festuca totonaco, que es la más extendida entre las 3000 y 4000 msnm; la de Festuca lida y Anenano bryoides, propia de algunas pastajes entre 4000 y 4900 msnm; la última, constituye un sector más bajo y abierto con abundancia de plantas asociadas de Anenano | | La insolación y el viento son intensos, por lo cual existe alta evaporación. El suelo deriva de rocas volcánicas, principalmente de arenas (cenizas) es de textura generalmente ligera, reacción algo ácida, contenido elevado de materia orgánica y permanente húmedo durante la mayor parte del año en las capas profundas. No hay heladas; pero en las noches se congela con frecuencia la capa superficial. El Popocatepetl y el Iztaccíhuatl son de las pocas montañas de México que tienen en sus partes altas manifiestos de este tipo de vegetación. En la región del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl, se distinguen tres asociaciones del zacatalo alto; la Michilenbergia quadridentata, que ocupa algunas cimas cónicas de bosques entre 3700 y 3800 msnm de altura. Los zacatales son aprovechados para la ganadería y se les quemó en la época seca del año para promover el brote de tallos tiernos. Existe, además, actividad de tipo ecoturístico. |
| MATORRAL ORIOCALCALE (MO) | Existe predominancia de cardóceas; algunas asociaciones son las nopaleras, chitalas y cardonales, entre otras. En la región centro de México predomina el género de Opuntia; otras géneros son Ahuehué, Agave, Juncos, Cereus, entre otros que son resistentes. | Las alturas de sus matorrales alcanzan de 2 a 4m, su densidad es muy variable y puede encontrarse presencia de numerosas herbáceas. | Se desarrollan en suelos coneros de laderas de cerros de naturaleza volcánica, aunque también desciende a los suelos aluviales contiguos. Se presenta de manera poco frecuente en suelos aluviales, existiendo la posibilidad de ser ácidos o suelos profundos. |
| MEZQUITAL (MH) | Se le nombre así predominantemente porque predominan los mezquites del género Prosopis pero también se pueden mezclar con huizaches. | Estos árboles y arbustos espinosos en condiciones de humedad llegan a medir de 5 a 30m de altura aunque en pocas ocasiones pueden alcanzar hasta los 50m y en raras épocas. | Se ubican donde los suelos son profundos y en alturas cercanas a acantilados; su desarrollo se asocia a la presencia de un manto freático profundo. Mantienen el dominio total en suelos aluviales de tiempo reciente. Se desarrollan en climas áridos. |
| MATORRAL DESÉRTICO ROSOTÓFILO (MDR) | Las especies que lo caracterizan son Agave lechuguilla, Yucca comansana, Yucca baccata, entre otros. | | Se ubica principalmente sobre remotes de laderas de cerros de origen sedimentario, en partes altas de abanicos aluviales o sobre conglomerados de cal todas las zonas áridas y semiáridas. |
| PASTIZAL (P) | Lo constituyen comunidades herbáceas en las que predominan las gramíneas (pastos y zacates) y las gramíneas; pueden ser de origen natural, inducido o subsidiado, aunque también por perturbación de sobrepastores. | Estos pastizales son generalmente de altura media, de 20 a 70 cm, aunque a causa del intenso pastoreo se mantienen casi siempre más abajo. La coloración amarillenta pálida es característica durante la mayor parte del año y la comunidad sólo reverdece en la época más húmeda. | Su principal área de distribución se localiza en la zona de transición entre los matorrales verdiflora y la zona de bosques; en sus límites con los bosques de arceño forma una comunidad denominada Bosque Bajo y Abierto, por la existencia de los primeros árboles de los encinares de las partes elevadas propiamente dichos. Representa una zona de transición entre los bosques y los matorrales verdiflora. Los suelos propios de estos pastizales son, en general, de reacción calcárea a la neutralidad (pH 6 a 8), son neutros que varía de migajón arillado a migajón arenoso y coloración roja a café, frecuentemente con un horizonte de concentración cálcica o ferruginosa más o menos continuo. Por lo común, son suelos fértiles y medianamente ricos en materia orgánica. Se asocian con facilidad cuando se encuentran en declives y crevas de suficiente protección por parte de la vegetación. La cobertura varía notoriamente de un lugar a otro y puede tener que ser con la utilización del pastizal, pero rara vez cubre el 80% y frecuentemente es menor de 50%. Se les asocian en zonas áridas con poca precipitación y altas temperaturas; también en suelos intermedios originados por rocas ígneas o sedimentarias. |
| SEDA BAJA CADUCLIVA (SC) | Algunos géneros que lo caracterizan son Euphorbia, Ipomoea, Juncos y Cereus, entre otros. | Presenta corta altura de su composición arbórea (de 1 a 30 m) y en raras ocasiones hasta 35 m) | Se ubica principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Se presenta principalmente en ecosistemas exclusivos básicos, principalmente basaltos y rocas ácidas del Terciario y Cuaternario. Pierden sus hojas pequeñas en la época seca del año. El estrato herbáceo es escaso y sólo se abrepa después de la época de lluvias. Se ubica en los ambientes áridos de la región fisiográfica del Bajío, al sur del estado. El clima favorable para esta comunidad se localiza en la parte suroeste, en los municipios de Toluquilla, Amatepec y Tlalvaya, donde hay retazos de seda baja. La mayor parte de esta vegetación está siendo por actividades agropecuarias, se localizan en la parte sur y suroeste de la entidad, bordeando las sierras de Nanchitza y La Golera. |
| VEGETACION HIDROFILA (VH) | | | Este tipo de vegetación está relacionada con el agua; se desarrollan sobre humedales o áreas inundables. Estas comunidades son muy impactadas por el hombre, ya que se desecan tierras para abrirles a la agricultura y ganadería, se construyen diques y canales, así como instalaciones acuáticas que les afectan de una manera permanente. |
| PAJARR (INDUCIDO) (VI) | Los géneros que lo conforman son Brahea y Sabal, utilizados para artesanías de artesanías. | | Se desarrolla como resultado de procesos que afectan las selvas, de la actividad ganadera o de la presencia de fuego en el proceso de roca tumba y quema. |
| TULAR (VT) | Lo conforman plantas de raíz, bulbo y rizomas de Phragmites communis y Arundo donax, utilizados en artesanías y juegos piribóxicos. | Lo constituyen plantas acuáticas arraigadas en el fondo; las altas que alcanzan son muy bajas pues van desde 2.5 cm y hasta 30 cm. | |

ESTRATOS DE VEGETACIÓN SECUNDARIA

Cada una de estas categorías de comunidades primarias pueden estar acompañadas de una categoría secundaria, la cual refiere un estrato arbóreo, arbustivo o herbáceo. Esta capa de vegetación secundaria se define de acuerdo con su altura.

Arbóreo (A), altura > 4 metros

Arbustivo (a), altura < 4 metros

Herbáceo (h), altura < 2 metros

Arbustivo y herbáceo, se entiende el dominio de la forma biológica en el tipo de vegetación. La altura arbusto máxima hasta 4 metros, no tiene límite inferior, igual en el herbáceo. Por ejemplo puede un arbusto de 1.5 metros donde domina la forma y no es herbáceo por la característica celulósica de los tallos.

DEGRADACIÓN (DEG)

La degradación del suelo es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. Es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el ser humano. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, entre otros. (FAO, 1976). La degradación implica también una disminución de su capacidad para soportar vida, no sólo la vegetal, que es la más aparente, sino también la microflora y la fauna (Sotomayor, 2004).

La distribución de vegetación en la entidad, no se localizó bibliográficamente para todas las comunidades, sin embargo, ésta fue referida por la Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie III de INEGI.

4.6.3 Reconocimiento de factores para la visualización e interpretación de imágenes

Para realizar la interpretación de elementos a partir de imágenes de satélite es necesario tener presente ciertos factores de las mismas imágenes que pueden indicar criterios al determinar objetos (Gutiérrez, 2005). Existen niveles de complejidad para el análisis de estos factores (tamaño, forma, textura, entre otros) dependiendo de la técnica cartográfica que se realice y los objetivos del estudio.

El esquema siguiente (Figura 4.2) muestra los principales factores para considerarse en las diversas técnicas de interpretación, su nivel de jerarquía y grado de complejidad que sugiere Chuvieco (2002) y que está basado en la European Commission (1993). Para el cumplimiento de los objetivos y bajo las características de recursos que consideró el IFEM, cada uno de estos factores fue valorado en diferentes niveles sobre las imágenes del Estado de México y su comportamiento específico en los distintos paisajes de la entidad.

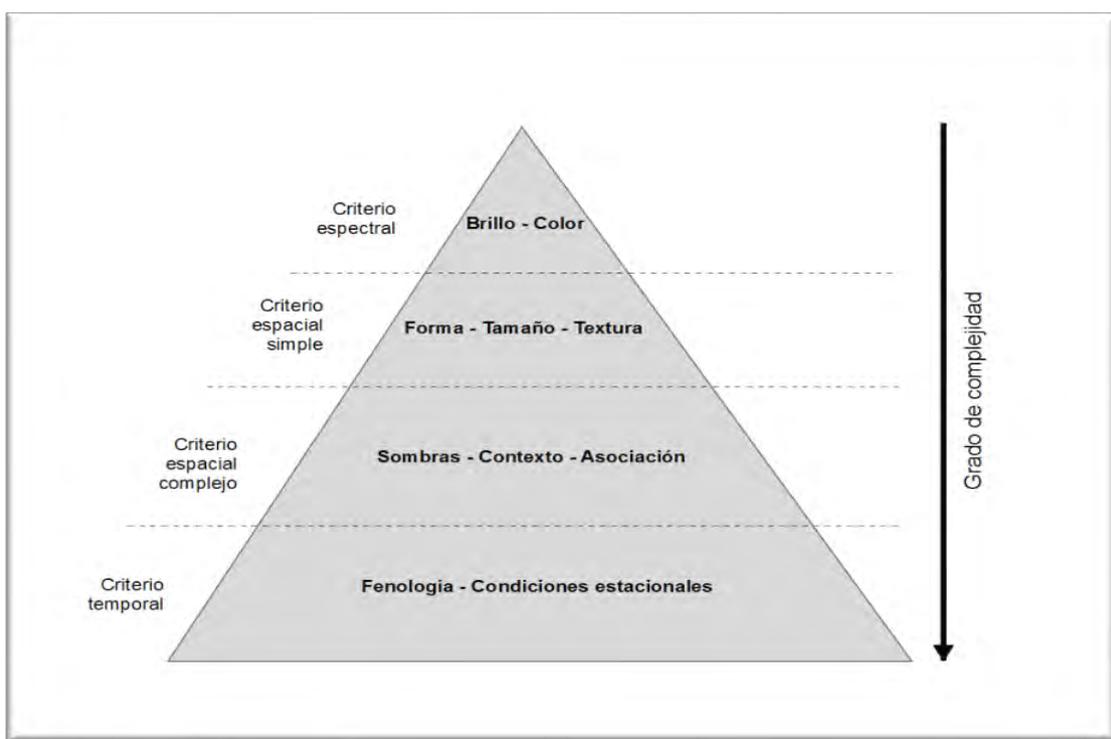


Figura 4.2. Factores y grado de complejidad propuestos por Chuvieco (2002).

Brillo: Se refiere a la intensidad de energía recibida por el sensor; va de niveles claros a oscuros. Este factor se evaluó en gabinete antes y después de finalizar los muestreos en campo y obtener los resultados de los 533 conglomerados. En la revisión de las imágenes se identificaron las tonalidades con mayor intensidad de brillo encubiertas con cultivos, algunos pastizales y escasas zonas intermedias entre vegetación densa, en este último caso, se deduce que se debió principalmente a la posición solar ya que en su mayoría coinciden en topografías abruptas del lado sur y este de los parteaguas; al revisar nuevamente este factor con los resultados de campo se manifestó coincidencia en que en las zonas de vegetación densa no se identificaron características homogéneas, puesto que se encontraron en comunidades primarias como Bosques de pino, encino, pino-encino y en comunidades con estratos tanto arbóreos como arbustivos.

Color: El color es de las propiedades básicas. El ojo humano es mayormente sensible a las ondas cromáticas que a variaciones luminosas. Incluso es el factor que destaca a primera vista antes que cualquiera otra propiedad (Barret y Curtis, 1999; citado por Chuvieco 2002).

Para el IFEM, la visualización de las imágenes de satélite Spot 5 multiespectrales, se realizó sobre el Sistema de Información Geográfica con una combinación de bandas RGB 123 (Tabla 4.2), la cual resaltó la vegetación en tonalidades rojizas y, a su vez, corresponde a la siguiente configuración (Spot Image, 2009):

Tabla 4.2. Combinación de bandas. (Elaboración propia en base a Spot Image, 2009)

| MONITOR | BANDAS SPOT 5 | µm |
|----------------|-----------------------------|-------------|
| Red | Banda 1: Verde | 0,50 - 0,59 |
| Green | Banda 2: Rojo | 0,61 - 0,68 |
| Blue | Banda 3: Infrarrojo cercano | 0,78 - 0,89 |

Otros colores que se pueden observar son rosas, cafés, grises, verdes, azules y blancos. Se aprecian elementos como suelo desnudo, pastizales y algunos cultivos con tonos rosas; los cafés y grisáceos también se observan en estas categorías pero además en vegetación con estratos tanto arbóreos como arbustivos, incluso en comunidades primarias. Estos tonos, sin embargo, son también rasgos que caracterizan la topografía. Algunos tonos verdes caracterizan cultivos. Colores azules y blancos se encuentran en cuerpos de agua y suelos erosionados.

Forma y tamaño: Estos factores permiten identificar objetos debido a patrones ya conocidos como son elementos geomorfológicos y cuerpos de zonas urbanas, entre otros. En el caso de la identificación de cubierta vegetal los elementos más destacados a partir de sus formas y tamaños son los cultivos, vegetación en zonas montañosas, en cuencas, flujos de drenaje y vegetación de galería.

Textura: Se refiere a la característica visual de un objeto que va de ser liso a rugoso, dependiendo de su tamaño. Estos contrastes se observan en las imágenes del Estado de México; las texturas lisas se presentan en elementos como lomeríos sin vegetación, zonas agrícolas, suelos desnudos, pastizales y en algunas laderas con escasa vegetación. Las texturas gruesas o rugosas varían en niveles por cubiertas de abundante vegetación.

Sombras: Esta particularidad depende del ángulo solar al momento de haber tomado la imagen, de la topografía del lugar y de la presencia de nubes, principalmente. En las imágenes del IFEM existe escasa presencia de nubes (aproximadamente de 1%) por lo que las sombras producidas por éstas no representaron un obstáculo importante. Las sombras que más se aprecian en las imágenes pertenecen a barrancas o a laderas montañosas boscosas; también en las regiones de selvas sobre escarpes y vertientes inclinadas, lugares donde la interpretación se torna confusa.

Contexto y Asociación: Estos factores se refieren a la situación o localización espacial de cubiertas de interés respecto a elementos vecinos de la imagen (Chuvieco, 2002). Un objeto puede tener características similares en color, brillo y textura respecto a otro, pero además pertenecer a distintas clases; un ejemplo son los parques urbanos que tienen especies iguales a comunidades forestales; pero por su localización, se le asocia dentro de la zona urbana en la escala en la que se definió este proyecto. En las imágenes del Estado de México, se observan pequeñas tonalidades opacas dispersas que indican pastos, dentro de zonas muy densas de vegetación; tomando en cuenta este contexto, se infiere que estas clases no corresponden a pastizales sino que se convierten en deforestación.

Fenología: Para los objetivos del IFEM se considera que las características de la cobertura vegetal corresponden al periodo invernal.

4.7 Análisis visual e interpretación

Una vez concluidos los procesos anteriores en los que el analista e intérprete ya se hubo familiarizado y también adquirió los conocimientos necesarios de la distribución de vegetación en la entidad, así como de los factores para su identificación sobre las imágenes de satélite, se procedió entonces a realizar el estudio espacial sobre el software. Este proceso comprendió el análisis de la información y su interpretación al mismo tiempo que se fue digitalizando.

En esta fase, los levantamientos en campo ya habían concluido, por lo que se contó con el archivo vectorial puntual de resultados de los 533 conglomerados. Al obtener el universo completo de la población que fue levantada en campo se visualizó el comportamiento de la imagen respecto a los tipos de vegetación que indicaban una misma comunidad. Cabe

mencionar que la visualización no fue siempre homogénea y que fue particularmente complejo discriminar las comunidades que se diferenciaban únicamente por vegetación secundaria.

Sobre el software ArcGis 9.3 se sobrepusieron todos los insumos tanto vectoriales como raster, así como los básicos y de apoyo que ya se describieron en el capítulo 4.2 “Insumos”. Todos fueron reproyectados a la proyección Universal Transversa de Mercator WGS84, Zona 14, misma proyección y datum que se trabajó en los levantamientos de campo (PROBOSQUE, 2010b).

Considerando que la escala del archivo vectorial resultante debía ser de 1: 50 000, se determinó que la Unidad Mínima Cartografiable fuera de 1 ha; esta medida a esa escala, es mayor al *objeto mínimo observable* (anchura de cauce de ríos y vialidades, algunos manchones de arbolado aislado, entre otros elementos) en las imágenes utilizadas, tal como lo recomienda Robin (1998), citado por Chuvieco (2002), (Figura 4.3). Cabe mencionar que al final de la digitalización del archivo vectorial, se verificaron los pocos polígonos que no alcanzaron la Unidad Mínima Cartografiable para verificarlos y eliminarlos.

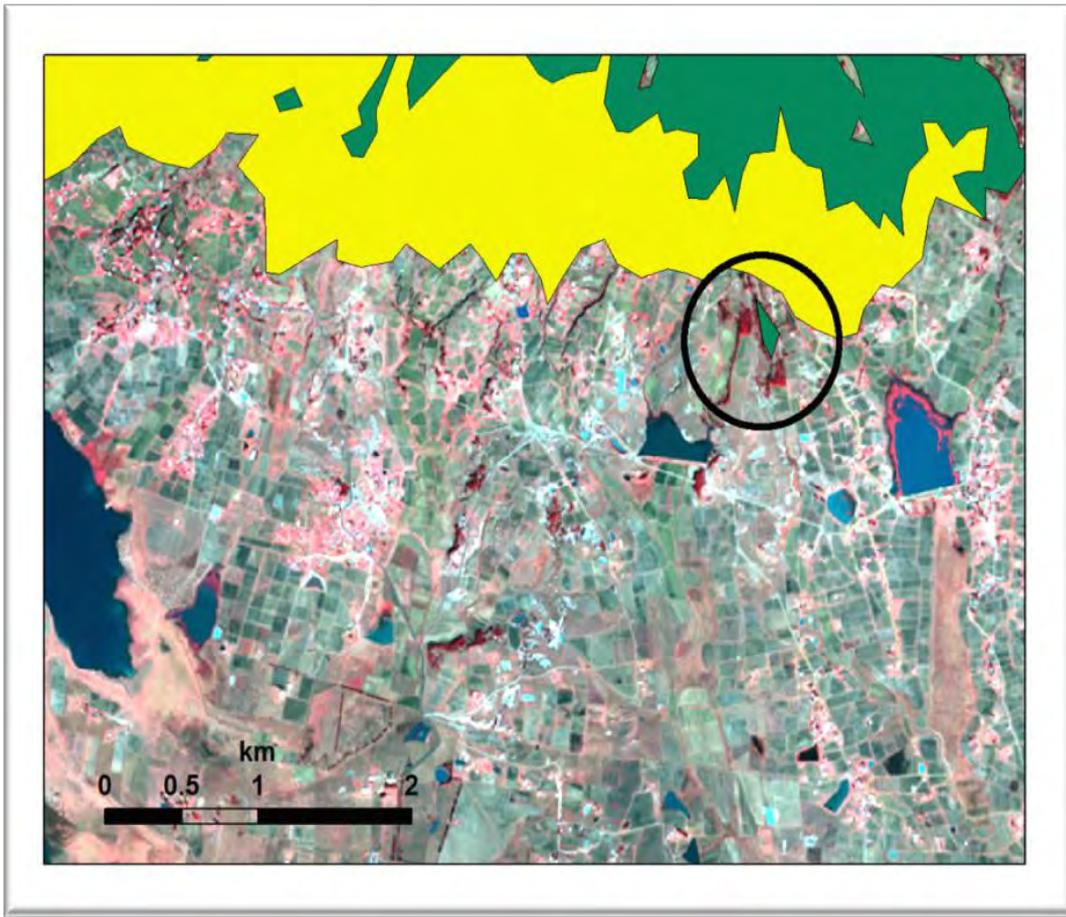


Figura 4.3. Se observa el polígono de color verde con una superficie de 2ha el cual sí fue digitalizado, mientras los dos manchones de vegetación en tono rojizo, no fueron incluidos puesto que su superficie es menor a la unidad mínima cartografiada de 1ha. (Elaborado sobre la base de procesamiento en el SIG).

Para obtener criterios que apoyaran la delimitación de fronteras en zonas de gran complejidad se elaboraron shapes con base en cortes con las características geográficas que conforman el hábitat de cada una de las comunidades vegetales primarias localizadas en la entidad.

Estos cortes se basaron en dos situaciones:

- La descripción de características geográficas que delimitan la ubicación de cada comunidad vegetal obtenidas en las búsquedas bibliográficas (capítulo 4.5.3 “Caracterización de comunidades vegetales y criterios para su identificación”).
- La disponibilidad de shapes que se obtuvieron con estos temas (capítulo 4.2 “Insumos”).

La Figura 17 muestra los cortes pertenecientes a las características del Bosque de Pino; se sobreponen también los conglomerados que en campo fueron identificados con esta comunidad forestal.

En esta fase se advirtió que no todos los conglomerados se encontraron donde se conjuntan todas las características geográficas que se describieron en las consultas bibliográficas; sin embargo, el comportamiento de la mayoría de ellos sí se ubicó en las zonas que mayor características geográficas reunían (en la figura 4.4 se distingue dónde se sobrepone mayor número de achurados).

Debido a estas observaciones, este criterio fue considerado para apoyar el trazo de fronteras entre comunidades y resultó muy útil.

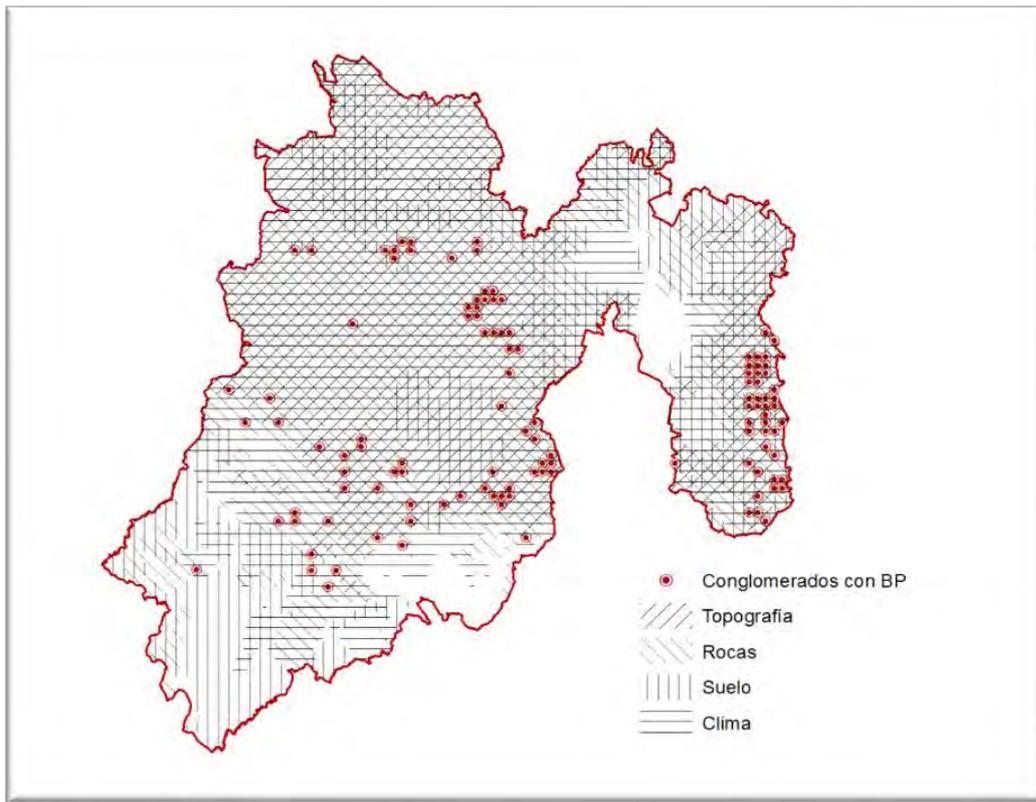


Figura 4.4. Cortes con achurados de las características geográficas del Bosque de Pino recopiladas en las búsquedas bibliográficas. Están sobrepuestos también los conglomerados que en campo identificaron esta misma comunidad forestal (Elaboración propia para el análisis).

Otra herramienta técnica que se utilizó para el apoyo de la visualización en zonas complejas fue la consulta de imágenes de Google Earth, utilizando la función Go To Google Earth de la

extensión XToolPro para ArcGIS. Esta herramienta abre una ventana de Google Earth y enfoca directamente el marco de la zona que se está visualizando en Arc Map, esto ayudó a comparar la vegetación que se identificaba en la imagen de satélite Spot con la imagen de la plataforma Google Earth en zonas de difícil interpretación. De este modo se aprovecharon las imágenes disponibles de esta plataforma que presentan en su mayoría una buena resolución espacial, pero considerando también sus desventajas como el no poder manipular la combinación de bandas ni utilizar filtros o realces de ningún tipo, entre otras.

El último criterio utilizado para definir fronteras en zonas muy complejas fue la carta de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, serie III, escala 1:250 000. Se utilizó como complemento para definir fronteras respecto a las circunstancias que cada poligonal visualizaba alrededor de una zona compleja. Para ello se consideró también la diferencia de escalas, por lo que el trazo de los límites donde se utilizó con esta información se ajustaron de acuerdo con los elementos geográficos que las imágenes y las otras herramientas mostraron como parteaguas, cotas de shapes temáticos (topografía, clima, entre otros), evidentes fronteras entre vegetación y suelo desnudo u otros tipos de uso, entre otros elementos, donde el análisis y la lógica del intérprete formada en los estudios previos fue de gran relevancia.

La base de datos se fue llenando conforme se digitalizó cada polígono para obtener por cada entidad poligonal el nombre y clave de la vegetación con su respectivo estrato primario o secundario. Los polígonos que presentaron serias dudas respecto a la clasificación se marcaron para su posterior identificación al finalizar toda la entidad, con el objeto de tener mayores elementos para asignarle una clave de vegetación. De este modo fue que la edición se realizó de lo general a lo particular.

4.8 Descripción de conflictos en situaciones particulares

La región sur y suroeste del estado fue complicada debido a la presencia de la selva baja caducifolia y sus estratos secundarios. La orografía de las sierras en la depresión del Balsas ocasionó sombras en las imágenes, en las laderas orientadas hacia el norte y poniente, debido a la ubicación del sol durante la toma. A esa complejidad contribuyó el hecho de no presentar vegetación muy densa, cuyas texturas son lisas y poco apreciables. En esta clase se consideró mucho la información de USV de INEGI; sin embargo, se digitalizó tratando de seguir en la

medida de lo posible las cuencas y subcuencas observadas, ya que las condiciones de drenaje en las sierras determinan la ecología del lugar.

En este punto es donde la información no concordó mucho con la descrita por INEGI, pues la delimitación de sus polígonos no siempre coincidió con las formas lógicas de las entidades descritas; tampoco en cuanto a los resultados de los muestreos en campo, puesto que sólo coincidieron menos del 40% de los conglomerados que arrojaron muestreos de selva baja caducifolia. Otro obstáculo importante fue el periodo de la época invernal en que fueron tomadas las imágenes de satélite, estación en la que la selva baja caducifolia pierde su follaje y se torna con colores cafés y grisáceos (Trejo y Hernández, 1996).

No obstante, para la interpretación de esas clases fueron de mucha utilidad las imágenes de Google Earth cuyas fechas varían por cada corte; las más antiguas son del año 2003 pero la mayoría tenía fechas cercanas al año 2010. Otro apoyo de utilidad fueron las ortofotos escala 1:20 000 en las que la legibilidad sin duda fue mucho mejor para delimitar estas comunidades, incluso para diferenciar los claros provocados por pastizales en medio de las selvas, así como los límites con los encinares, tan abundantes también en la misma región del Balsas. En la utilización de las ortofotos se consideró siempre su desfase temporal fechadas en el año 2000.

La identificación de los pastizales también fue complejo, ya que ningún conglomerado de los 533 muestreó estas comunidades. Otra consideración es que el INEGI ubicó en el Estado de México pastizales halófilos e inducidos pero en este proyecto ambas clasificaciones fueron consideradas como una sola nombrándola únicamente "pastizal".

Los criterios para definir los pastizales fueron basados casi en su totalidad en el contenido del shape de USV de INEGI, puesto que las características geográficas de esta comunidad son muy diversas ya que se observan en zonas de cultivos, pequeños poblados, zonas de aparente suelo desnudo en formaciones geomorfológicas como mesetas, fondos de valles, laderas, entre otros, además de confundirse fácilmente con comunidades que presentan vegetaciones secundarias principalmente herbáceas y arbustivas. En estos casos cabe volver a mencionar que se tomó en cuenta el ajuste escalar correspondiente así como los límites de elementos geográficos visibles.

Las comunidades pertenecientes a matorrales, en comparación al resto de vegetación, fueron las más claras para identificar. Sus características geográficas fueron coincidentes con el shape

de zonas potenciales de distribución. Las tonalidades cafés y grisáceas, pero sobre todo las texturas finas debido a la dispersión de las especies que conforman los matorrales, facilitaron su identificación. Otro factor que favoreció la identificación de esta comunidad es su preferencia de ubicación en aluviones y escorrentías.

El análisis e interpretación de los bosques varió mucho dependiendo del tipo. Los bosques de pino, encino, pino-encino y encino-pino presentan rangos de características geográficas muy amplios. Los shapes de zonas potenciales de distribución de estas comunidades abarcaron grandes extensiones (más del 50% de la entidad), por lo que los archivos elaborados anteriormente en estas comunidades no fueron de mucha utilidad. Sin embargo, algunas características cualitativas consultadas en la bibliografía fueron un gran aporte para identificar su ubicación conforme a las geoformas y fisonomías regionales, así como su distribución respecto a otras comunidades (por ejemplo, el bosque de pino-encino generalmente es una zona de transición), entre otras descripciones. Otro factor favorable para su identificación es que presentan texturas y tonos muy homogéneos y resaltantes; a partir de estos factores fue posible detectarlos con mejores apreciaciones.

En otras comunidades de bosques los shapes de zonas potenciales fueron más valiosos puesto que los intervalos de sus características geográficas cuantitativas eran más reducidas.

La vegetación hidrófila, se localizó al sur de la entidad en los municipios de Zumpahuacán e Ixtapan de la Sal y en el noroeste en Soyaniquilpan y Aculco. Esta vegetación se analizó con base en las tonalidades cafés oscuras y texturas muy lisas, alrededor de algún río. La escala 1:50 000 no permite apreciar muchos polígonos de esta vegetación, sin embargo, se digitalizaron nueve entidades de esta clase.

Se observan en las imágenes grandes manchones de suelos humedecidos y vegetación de poca altura a los alrededores de los lagos y lagunas de Lerma y de Chignahuapan; éstos fueron clasificados como vegetación de tular ya que así lo sustentaron las consultas en internet, Google Earth y el shape de USV de INEGI.

Los estratos de vegetación secundaria son muy complejos de identificar. En estas situaciones, su clasificación se apoyó complementando todos los criterios mencionados anteriormente; es decir, los cortes de características geográficas, la delimitación de subcuencas, la relación del

polígono con los conglomerados más cercanos, las imágenes de Google Earth, las ortofotos, la carta de USV Serie III de INEGI y las diferencias visuales entre las mismas imágenes de satélite.

4.9 Procesos y productos finales cartográficos

Una vez que se terminó la visualización e interpretación de comunidades vegetales para toda la entidad se procedió a la etapa de correcciones por parte de PROBOSQUE, misma que comprendió tres fases. La primera, fue la consulta a los especialistas. Durante la edición del archivo vectorial existieron polígonos con dudas en cuanto a su interpretación y/o delimitación; estas incertidumbres fueron consultadas y corregidas por los expertos de PROBOSQUE, quienes revisaron los polígonos sin clasificar para asignarles la categoría correspondiente conforme a criterios y experiencias profesionales en su calidad de especialistas. La segunda fase fue corregir digitalmente los polígonos de toda la entidad.

Por cuestiones operativas y administrativas se decidió agregar una nueva clase que refiriera la degradación; ésta fue la tercera y última fase en esta etapa.

A continuación se describen los procesos técnicos para ejecutar cada fase por parte de los especialistas del área de Cartografía de PROBOSQUE:

Fase 1: Se imprimieron imágenes a color sobre papel en medidas aproximadas de 120 x 90 cm con el archivo de vegetación y sus etiquetas con las clases asignadas, así como las imágenes de satélite Spot. La escala de impresión fue por cada carta 1:50 000.

Fase 2: Los especialistas fueron trazando las correcciones que consideraron a la capa de vegetación, así como los polígonos que por dudas quedaron en blanco.

Fase 3: Se dividieron dichas impresiones entre los especialistas y cada uno a su vez fue trazando poligonales correspondientes a la degradación.

Las modificaciones hechas en cada carta se digitalizaron en el SIG. Este proceso fue elaborado por parte de la empresa INYDES.

Finalmente se eliminaron los polígonos menores de 1 ha, correspondientes a la unidad mínima cartografiable.

4.9.1 Archivo vectorial formato shape

El producto final principal fue el archivo vectorial de entidad poligonal de comunidades de vegetación. Su nombre de salida fue vg50em10, cuya sintaxis facilita la comprensión del contenido:

vg: Vegetación.

50: Escala 1:50 000.

em: Estado de México.

10: Año 2010.

Se elaboraron los procesos necesarios para que las características de su geometría fueran consistentes entre sí topológicamente, por lo que fue posible obtener resultados certeros en funciones propias de un SIG. La escala corresponde a las dimensiones de 1:50 000.

La base de datos fue enriquecida con el nombre completo de la comunidad vegetal (ya que al digitalizarla sólo se llenó el campo de la clave para agilizar el proceso), además de la superficie en hectáreas por cada polígono. También se le asignó una nueva columna correspondiente al Grupo al que pertenece cada comunidad vegetal; las asignaturas fueron:

- Coníferas.
- Coníferas/Latifoliadas.
- Latifoliadas.
- Otras Comunidades.
- Pastizales.

Finalmente, fueron capturados sus metadatos donde se indican las características principales de su edición. Esto permite a cualquier usuario consultar la información principal de su generación desde un software SIG.

El siguiente mapa (Figura 4.5) muestra el archivo final vg50em10:

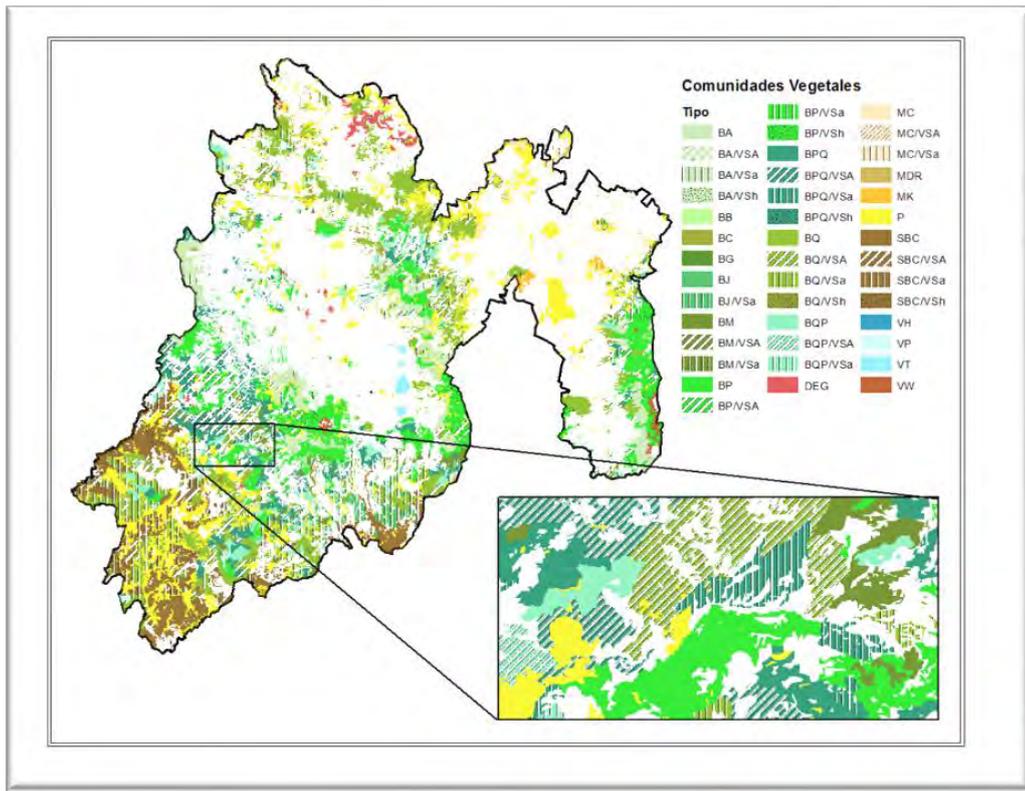


Figura 4.5. Archivo vectorial final de comunidades de vegetación (Elaboración propia en base al mapa publicado en el IFEM 2010).

4.9.2 Juego de cartas digitales e impresas

Otro producto entregable en este proyecto fue una colección de 44 cartas de vegetación del Estado de México en formato digital y un juego impreso elaborado a partir del archivo vectorial ya mencionado.

Las cartas son *documentos gráficos que sirven para representar a escala y con finalidad métrica en un plano, la configuración de una determinada área de la superficie terrestre, mediante trazos y símbolos convencionales acompañados de los nombres de los detalles representados* (INEGI, 2010). Las cartas de vegetación del Estado de México 2010 impresas responden a estos objetivos así como también para proporcionar apoyo para la identificación de las formaciones vegetales en campo y en gabinete sin necesidad de un software para visualizarlas.

El cubrimiento de la entidad a escala 1:50 000 resultó en 44 cartas con base en el índice de cartas de INEGI. Fue necesario integrar los logotipos, espacios, letras, colores, medidas y otros

elementos, señalados por la administración estatal en turno. Estos lineamientos se realizaron conforme el Manual de Identidad de PROBOSQUE.

El diseño para las hojas de la Carta de Vegetación se muestra en la Figura 4.6, tal como lo especifica INEGI, (2010).

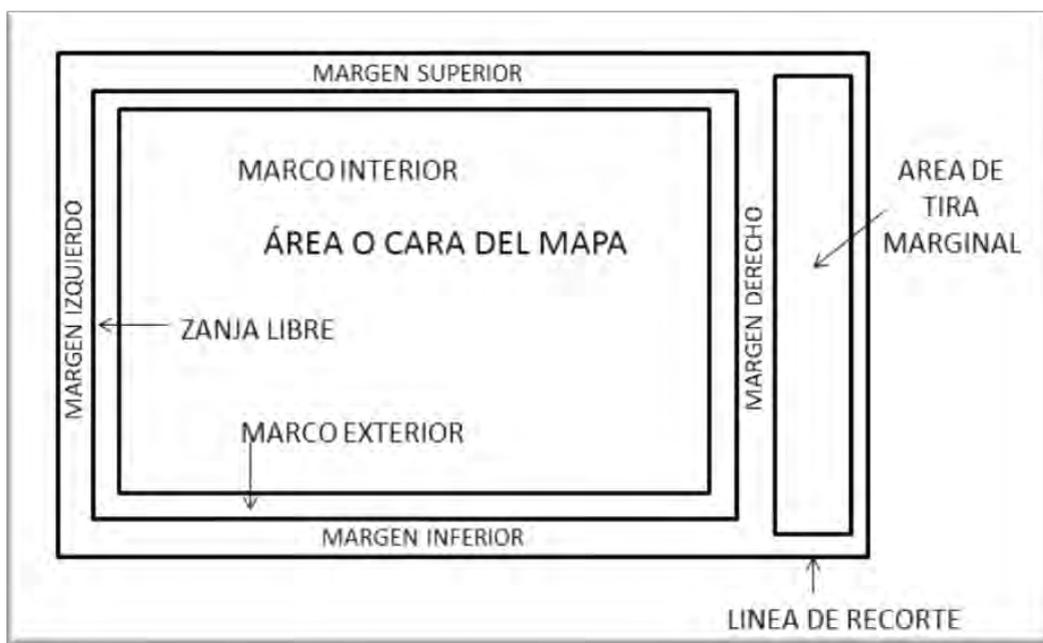


Figura 4.6. Diseño de las hojas de la Carta de Vegetación. (Basada en la propuesta de diseño de INEGI, 2010).

El diseño de las hojas contiene los siguientes elementos:

- Área de tira marginal: Rosa de los vientos, simbología base, clases de vegetación, escala numérica, escala gráfica, ubicación con índice de cartas de toda la entidad, parámetros de proyección, breve descripción metodológica y clave de la carta de vegetación como identificación.
- Margen superior: Logotipo de Compromiso.
- Margen inferior: Logotipos del Gobierno del Estado de México, de SEDAGRO y PROBOSQUE.
- Marco exterior y zanja libre: Grid de coordenadas geográficas y UTM.
- Cara del mapa: Capas de información principales y secundarias.

Capas principales:

- . Clases de vegetación y degradación.
- . 533 Conglomerados de muestreos en campo.

- . Fondo con imágenes de satélite Spot 2010, con las que se hizo la interpretación.
- . Límite estatal.

Capas secundarias:

- . Límites municipales.
- . Área Natural Protegida.
- . Localidad.
- . Acueducto, Canal.
- . Río Perenne.
- . Río intermitente.
- . Cuerpo de agua.
- . Mina.
- . Curva de nivel.
- . Vialidades.
 - . Brecha.
 - . Terracería.
 - . Revestida.
 - . Pavimentada.

Las capas secundarias fueron obtenidas de la cartografía temática de apoyo proporcionadas por IGCEM (véase capítulo 4.3). A continuación se muestra en la Figura 4.7, una de las hojas del juego de 44 que conforman la Carta de Vegetación.

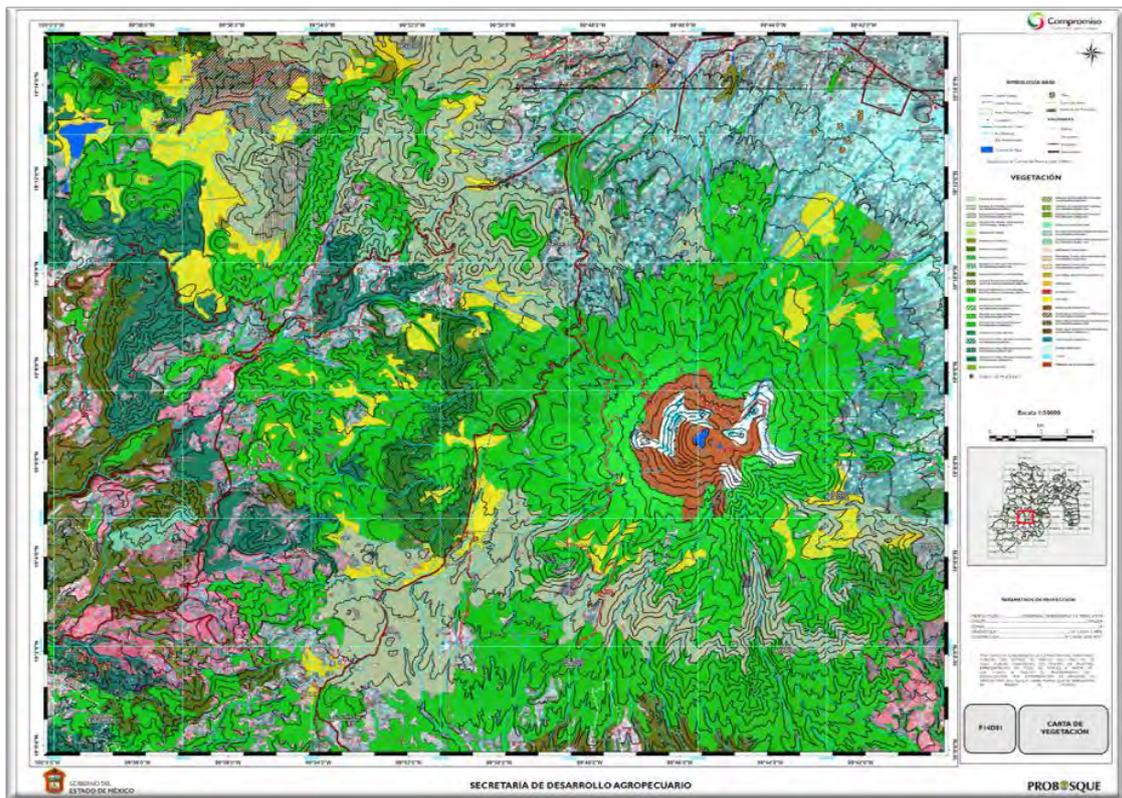


Figura 4.7. Carta de Vegetación F14D81, escala 1:50 000 (IFEM, 2010).

4.9.3 Mapas municipales de comunidades vegetales

Para el documento digital e impreso se elaboraron mapas por cada municipio que representara las comunidades vegetales localizadas. No figuraron los 125 municipios de la entidad al año 2010 sino que se descartaron los que no contenían polígonos de comunidades vegetales o bien, cuya superficie temática fue muy escasa. De este modo, se incluyeron en total 92 mapas municipales.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

La finalidad del Inventario Forestal del Estado de México fue obtener la ubicación y distribución de las comunidades vegetales en existencia en la entidad, así como también el cálculo de las superficies que cubren a una escala más precisa que la que se maneja a nivel nacional.

La terminación del proyecto ofreció los productos esperados inicialmente de forma satisfactoria, así como el cumplimiento de sus objetivos generales y particulares. Los resultados se sintetizan en la publicación del Informe que lleva el nombre de “Inventario Forestal 2010”, publicado en la página web de PROBOSQUE (http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/publicaciones/inventario_forestal/index.htm), mismo documento en el que se observa el crédito a mi labor profesional.

Este documento contiene en sus capítulos la descripción de la totalidad del Inventario, incluye la Metodología, el Marco Nacional, el Marco Estatal, los Principales Programas Forestales de Administración Estatal, los Resultados obtenidos y como Anexo los Mapas Municipales de vegetación y degradación.

Dentro de los resultados alcanzados en el ámbito cartográfico se encuentran los siguientes:

- **Carta de Comunidades Vegetales escala 1:50 000 en archivo vectorial formato shape para su visualización y manejo en un SIG.**
- **Tablas de superficies en hectáreas por comunidad vegetal, por municipio y por región administrativa PROBOSQUE (Figura 5.1).**

REGIÓN I TOLUCA

| MUNICIPIO | SUPERFICIE TOTAL ha | TOTAL FORESTAL ha | OTROS USOS ha | BA | BAVSA | BAVSA | BAVSA | BB | BC | BC | B | BVSA | BM | BVSA | BVSA | BP | BVSA | BVSA | BVSA | BQ | |
|---------------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------|--------------|--------------|-------|----|------------|-----|---|------|----|------|------------|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ALMOLOYA DE JUÁREZ | 47,555 | 6,048 | 41,507 | 1,585 | | 186 | | | | 61 | | | | | | 1,045 | 4 | 122 | | 360 | |
| ALMOLOYA DEL RÍO | 946 | 386 | 560 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ATIZAPÁN | 846 | 56 | 790 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CALMAYÁ | 10,421 | 1,920 | 8,501 | | | | | | | | | | | | | 1,449 | | 43 | | | |
| CAPULHUAC | 2,150 | 313 | 1,837 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CHAPULTEPEC | 1,152 | 123 | 1,029 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HUICQUILICÁN | 14,169 | 8,209 | 5,960 | 2,146 | | 412 | | | | 1 | | | | | | 33 | 42 | 125 | | | |
| JOQUICONGO | 4,504 | 1,683 | 2,801 | | | | | | | | | | | | | 13 | 770 | 19 | | 509 | |
| LERMA | 23,117 | 10,512 | 12,605 | 3,008 | 143 | | | | | 48 | | | | | | 1,168 | | 190 | | | |
| PETEPEC | 6,799 | 217 | 6,582 | | | | | | | | | | | | | | | 22 | | | |
| PEXICALTZINGO | 1,163 | 233 | 930 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OCCOYACAC | 13,826 | 8,730 | 5,096 | 1,860 | 684 | 93 | | | | 22 | | | | | | 2,650 | | | | 896 | |
| OTZOLOTEPEC | 12,948 | 3,975 | 6,993 | 2,641 | 450 | | | | | | | | | | | 796 | | 27 | | | |
| RAYÓN | 2,294 | | 2,294 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAN ANTONIO LA ISLA | 2,332 | 38 | 2,304 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAN MATEO ATENCO | 1,902 | 23 | 1,879 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TEPEOYA | 19,116 | 5,817 | 13,299 | 1,514 | 2 | | | | | | | | | | | 1,305 | | | | 549 | |
| TENANGO DEL VALLE | 20,783 | 8,317 | 12,466 | 433 | | | | | | | | | | | | 193 | 3,131 | 641 | 336 | 475 | |
| TEXCALIACAC | 2,543 | 1,338 | 1,205 | | | | | | | | | | | | | 339 | | | | 252 | |
| TRIANGÜSTENCO | 13,182 | 4,969 | 8,193 | 771 | 22 | | | | | | | | | | | 1,225 | | | 338 | 557 | |
| TOLUCA | 42,854 | 8,038 | 34,816 | 70 | | | | | | 187 | | | | | | 4,126 | | 420 | | | |
| XALATLACO | 11,043 | 6,700 | 4,343 | 997 | | | | | | | | | | | | 3,362 | 213 | 21 | | 678 | |
| XONACATLÁN | 3,325 | 888 | 2,437 | 280 | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | |
| ZINACANTEPEC | 31,282 | 14,517 | 16,765 | 5,643 | 39 | 224 | | | | 161 | | | | | | 4,449 | 75 | 611 | 2,075 | 103 | |
| TOTAL | 299,674 | 94,880 | 193,494 | 21,148 | 1,340 | 1,915 | | | 495 | | | | | | 193 | 13 | 26,839 | 1017 | 1917 | 3987 | 2795 |

REGIÓN VI COATEPEC HARINAS

| MUNICIPIO | SUPERFICIE TOTAL ha | TOTAL FORESTAL ha | OTROS USOS ha | BA | BAVSA | BAVSA | BAVSA | BB | BC | BC | B | BVSA | BM | BVSA | BVSA | BP | BVSA | BVSA | BVSA | BQ |
|------------------------|---------------------|-------------------|---------------|-------------|------------|-------|-------|----|------------|------------|--------------|---------------|--------------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|-----------|---------------|
| ALMOLOYA DE ALQUISIBAS | 17,154 | 10,379 | 6,777 | 368 | | | | | | | | 780 | 355 | | | 136 | 432 | | | 2,220 |
| COATEPEC HARINAS | 28,451 | 16,550 | 11,901 | 1,748 | | | | | | | | 632 | 760 | | | 3,967 | 582 | 57 | | 1,663 |
| OXAPAN DE LA SAL | 11,897 | 6,341 | 5,556 | | | | | | | | 1,231 | 2,542 | | | | 8 | | 143 | | |
| MAINALCO | 21,799 | 14,587 | 7,212 | | | | | | | 232 | | 2,145 | 124 | | 64 | 282 | | 505 | 17 | |
| OQUIJÁN | 43,434 | 33,165 | 10,269 | 3,178 | 150 | | | | 45 | | | 2,922 | 593 | | 5 | 9,596 | 2,772 | 121 | | 2,553 |
| SALTILCO | 54,115 | 46,465 | 9,650 | | | | | | 243 | | | 948 | 944 | | | 3,192 | | 277 | | 4,312 |
| TENANGO | 16,400 | 7,453 | 8,977 | | | | | | | | | 881 | | | 609 | 5 | | | | 1,381 |
| TEXCALIYÁN | 14,752 | 7,624 | 7,128 | | | | | | | | | | 88 | | | 1,694 | 1,608 | | | 1,515 |
| TONATICO | 9,069 | 5,590 | 3,479 | | | | | | 18 | | | 1,607 | | | | | | | | |
| VILLA GUERRERO | 22,895 | 13,227 | 9,668 | 1,219 | | | | | | | | 60 | 374 | | | 1,433 | | 406 | | 1,034 |
| ZACUALPÁN | 30,106 | 19,649 | 10,457 | | | | | | | | | 1,322 | 1,380 | | | 191 | 17 | | 309 | 400 |
| ZUMPAHUACÁN | 19,934 | 15,990 | 3,944 | | | | | | | | 12 | 4,689 | | | | | | | | |
| TOTAL | 292,038 | 197,020 | 95,018 | 6513 | 150 | | | | 308 | 250 | 1,243 | 15,106 | 4,947 | 593 | 871 | 26,530 | 5,394 | 1,838 | 17 | 15,078 |

REGIÓN VII VALLE DE BRAVO

| MUNICIPIO | SUPERFICIE TOTAL ha | TOTAL FORESTAL ha | OTROS USOS ha | BA | BAVSA | BAVSA | BAVSA | BB | BC | BC | B | BVSA | BM | BVSA | BVSA | BP | BVSA | BVSA | BVSA | BQ |
|------------------|---------------------|-------------------|---------------|--------------|--------------|-----------|-------|----|------------|----|---|------|--------------|------------|---------------|--------------|--------------|-------|---------------|-------|
| AMANALCO | 21,996 | 14,294 | 7,702 | 3,009 | 1,071 | 60 | | | | 70 | | | | | | 2,118 | 731 | | | 2,551 |
| DONATO GUERRA | 18,136 | 10,769 | 7,367 | 1,050 | | | | | | | | | | | | 2,234 | 737 | | | 1,010 |
| OXAPAN DEL ORO | 8,422 | 6,280 | 2,142 | | | | | | | | | | | | | | | | | 312 |
| OTZOLOPÁN | 15,738 | 13,441 | 2,297 | | | | | | | | | | 399 | | | 34 | | | | 755 |
| SANTO TOMÁS | 11,707 | 8,591 | 3,116 | | | | | | | | | 71 | | | | 243 | | | | 281 |
| VALLE DE BRAVO | 42,122 | 27,706 | 14,416 | 8 | | | | | | | | 738 | | 332 | 4,256 | 4,196 | 71 | | | 2,342 |
| VILLA DE ALLENDE | 31,144 | 13,179 | 17,962 | 294 | | | | | 203 | | | 316 | | | | 7,126 | 463 | 10 | | 1,752 |
| VILLA VICTORIA | 42,380 | 7,084 | 35,196 | 51 | | | | | 320 | | | | | | | 1,348 | 1,374 | 1,311 | | 457 |
| ZACAZOQUÁN | 4,641 | 4,705 | 1,876 | | | | | | | | | | | | | 12 | | | | 578 |
| TOTAL | 198,323 | 106,229 | 92,044 | 4,510 | 1,071 | 60 | | | 593 | | | | 1,536 | 232 | 17,359 | 7,501 | 1,392 | | 10,038 | |

Figura 5.1. Tablas de superficies publicadas en el Informe final. (PROBOSQUE-INYDES, 2011).

- Colección digital e impresa de la Carta de Vegetación en 44 hojas (Figura 5.2).

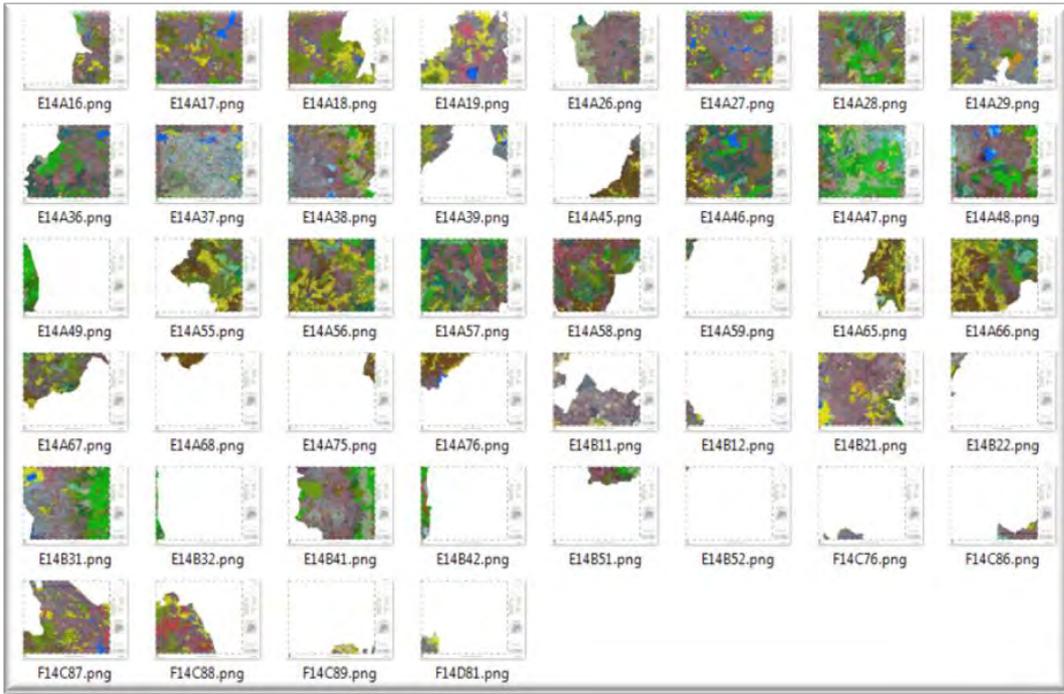


Figura 5.2. Colección de 44 hojas que conforman la Carta de Vegetación. (PROBOSQUE-INYDES, 2011).

- 91 mapas municipales de vegetación donde sí existieron estos polígonos. Gráfica de superficies en hectáreas por cada tipo de comunidad (Figura 5.3).

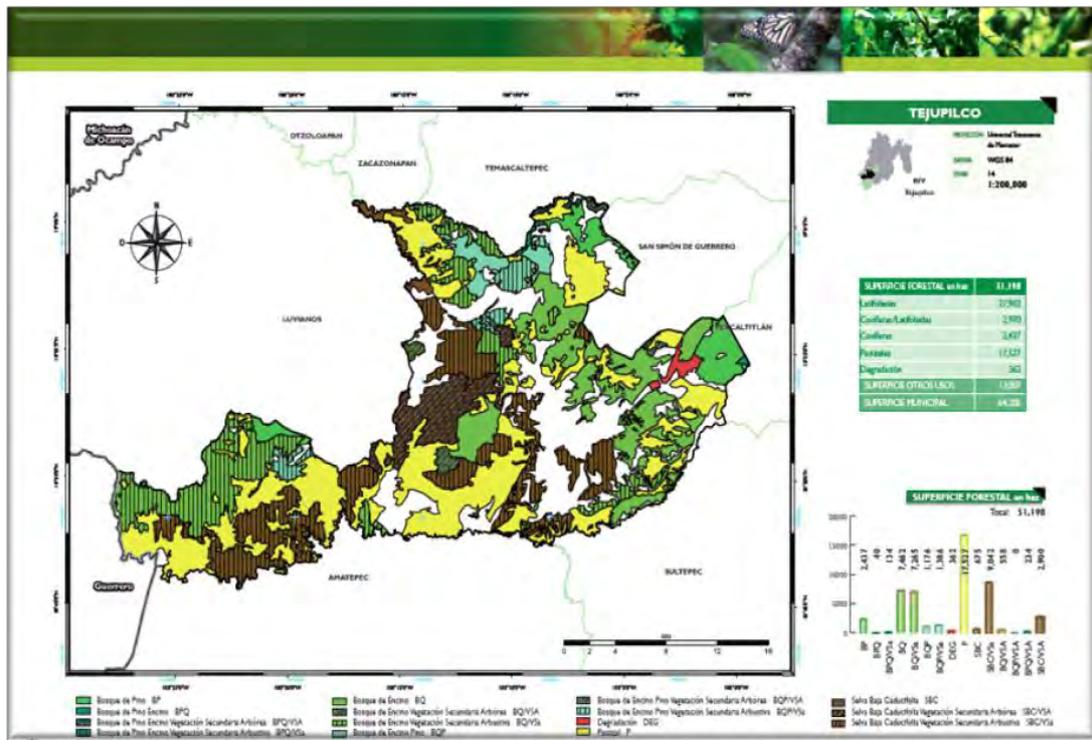


Figura 5.3. Mapa de vegetación del municipio de Tejupilco. (PROBOSQUE-INYDES, 2011).

Se pretende que con estos resultados, la toma de decisiones y orientación de políticas ambientales estatales, tengan como referencia este documento, así como también se aliente a las otras entidades a actualizar sus propios inventarios forestales. La versión impresa del Inventario se muestra en la Figura 5.4.



Figura 5.4. Carátula del Inventario Forestal 2010. (PROBOSQUE-INYDES, 2011).

CONCLUSIONES

Conclusiones del Informe Académico:

- Para comprender los objetivos y las normas metodológicas del Inventario Forestal Estatal, se describió el contexto nacional e internacional en el que se basó la ejecución del proyecto.

- Se describió la fase inicial y fundamental del Inventario Forestal que fue el levantamiento de los muestreos dasométricos. Estos muestreos representan el insumo básico de un Inventario, sobre los cuales es posible cuantificar los recursos a través de diversas prácticas estadísticas. Del mismo modo, los resultados de la categoría de vegetación que se identificó en campo fueron la base para el análisis cartográfico.

- Se comprendió el propósito y la importancia del archivo vectorial de vegetación como producto cartográfico principal, a partir del cual es posible que otros usuarios realicen el análisis espacial que se requiera, así como también la edición de mapas de características específicas.

- Se describió el proceso de aplicación de normas de presentación de metadatos y nomenclatura de archivos espaciales de IDEMEX (Infraestructura de Datos Espaciales de México) para la entrega del shapefile de comunidades forestales, a partir de los cuales, es posible conocer las precisiones que interesan a los usuarios de dicha cartografía.

- Se demostró que las expectativas del proyecto fueron cubiertas óptimamente por una egresada de la Licenciatura en Geografía impartida en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México, lo cual fue posible gracias a la formación que brinda esta carrera y a la selección de materias optativas orientadas a la especialidad en cartografía.

Este aprendizaje, aunado a mi experiencia profesional encaminada a la labor cartográfica, me facilitaron las herramientas para la ejecución del proyecto, así como también la indispensable cooperación del resto del equipo de trabajo, tanto los profesionales por parte de la empresa, como de los especialistas de PROBOSQUE, cuyos perfiles se orientaron a la ingeniería forestal, a la biología, y a la cartografía.

Aportaciones y apreciaciones personales:

- De forma posterior a la elaboración de la malla de los 533 conglomerados, participé en la elección de la propuesta metodológica de visualización e interpretación como técnica para cumplir los objetivos cartográficos en tiempo y con los recursos disponibles. Esta técnica me fue enseñada en algunas materias de la carrera de Geografía así como también las bases que Chuvieco (2002) y otros autores indican para su ejecución.

En esta labor fue de gran satisfacción la experiencia del trabajo multidisciplinario donde participé con profesionistas de otras disciplinas como ingenieros forestales, biólogos y cartógrafos. Esta función es de gran relevancia porque pude apreciar sus opiniones como profesionales especializados para determinar criterios en una metodología que cumpliera con los objetivos del proyecto. Del mismo modo, las competencias que he adquirido a lo largo de mi carrera profesional, me permitieron aportar conocimientos y soluciones en el desarrollo del proyecto.

- También apoyé a otras figuras del equipo de coordinación en la elaboración de rutas de trabajo para brigadistas en campo. Elaboré la programación en conjunto con la coordinadora de las brigadas, a la cual consulté la situación organizativa y de aptitudes de cada brigada.

De esta experiencia puedo resaltar que es de gran importancia el conocimiento del profesional en geografía, ya que debe realizarse un análisis climatológico y de pronósticos meteorológicos, de estacionalidad (si hay o no especialistas que identifiquen las colectas en gabinete de la vegetación caducifolia), de accesibilidad, geomorfológico (para identificar barreras geográficas), social y cultural, así como la misma metodología del tipo de vegetación para realizar los levantamientos. Una vez identificados estos elementos, la selección de rutas debe hacerse lo más equilibrado posible para no sobrecargar los conglomerados más pesados en determinadas unas, dejando otras apreciablemente más sencillas.

La elaboración de este análisis es de gran relevancia para mantener el sentimiento de ecuanimidad y profesionalismo en el personal de campo. Sin embargo, no siempre es posible lograr una justa distribución en una partida de rutas, por lo que en esos casos es necesario tratar de compensarlas en las partidas siguientes.

- Elaboré el análisis cartográfico y los productos solicitados. Este trabajo me demandó tiempo completo y jornadas laborales exhaustivas, que sin embargo, me redituaron en grandes satisfacciones profesionales incomparables.

Aunque demostré capacidad para realizar el análisis y la habilidad técnica que requieren los productos, fue indispensable contar con el apoyo y las opiniones del equipo de trabajo y de los especialistas sobre los procesos metodológicos en su ejecución; así como también, en las correcciones que hicieron al finalizar el análisis.

- Preparé los productos cartográficos de salida para su publicación oficial. De esta experiencia aprendí los procedimientos formales a seguir para la publicación de cualquier documento oficial. Por primera vez conocí el documento del Manual de Identidad de una institución y la importancia de la intervención de los diseñadores profesionales quienes se encargan de validar estas disposiciones.

- Mantuve la comunicación con el equipo de trabajo de la empresa y con los especialistas de PROBOSQUE y efectué las correcciones que indicaron al trabajo final.

- Se pretende también que en años posteriores esta cartografía pueda ser robustecida y actualizada, ya sea con la misma metodología, con la introducción de nuevos conglomerados de muestreo y/o complementarlo con otro tipo de técnicas de tratamiento de imágenes satelitales, dependiendo de la disponibilidad de recursos.

ANEXO 1. "Currículum vitae"

ESTUDIOS:

- Licenciatura en Geografía concluida en la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Diplomado en "Sistemas de Información Geográfica y Modelado Espacial aplicado al estudio y manejo de los Recursos Naturales". Impartido en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

EXPERIECIA PROFESIONAL:

- Analista de Sistemas en oficinas de PEMEX, AIPRA por empresa consultora en sistemas (STIAN). Seguimiento a proyecto de explotación del Paleocanal de Chicontepec. Servicios cartográficos para diversas áreas del Activo. De esta experiencia profesional, desarrollé habilidad para elaborar mapas que satisficieran las necesidades inmediatas de diversas áreas y temas, así como la velocidad óptima para dar respuesta en tiempo inmediato. Desarrollé también el pensamiento geográfico en el entorno de los recursos energéticos en el país y su situación geopolítica.
- Especialista en SIGs en el proyecto "Georreferenciación de RETC de la República Mexicana" para SEMARNAT. Manejo de proyecciones y coordenadas para georreferenciar gran cantidad de puntos ubicados en direcciones específicas.
- Especialista en SIGs en la consultoría Sistemas Geográficos de México. Proyectos enfocados a los Atlas de Riegos Naturales.
- INEGI. Eventos varios como el Censo de Población y Vivienda 2010, Encuesta Origen-Destino 2007, Conteo de Población y Vivienda 2005, Censos Económicos 2004, Censo General de Población y Vivienda 2000. Manejo de productos de INEGI, así como la cartografía básica. Comprensión de metodologías que maneja para eventos a nivel nacional.
- Técnico cartógrafo en la empresa Mapdata. Actualización de cartografía urbana y rural. Manejo de Sistemas de Información Geográfica.
- Servicio social en SEDESOL, en la Dirección de Gestión de Riesgos, en el Proyecto "Atlas de riesgos naturales", Actividades realizadas: Revisión y evaluación de los Atlas de riesgos Municipales enviados por diversas consultorías, Municipios o Universidades analizando y comparando cada tema con la matriz indicada en la Guía Metodológica de SEDESOL.

BIBLIOGRAFÍA

Barret, E. C. y Curtis, L. F. 1999. *Introduction to Environmental Remote Sensing*, 4ª edición, Cheltenham, Sranley Thornes Publishers Ltd.

Bechtold, W. and Patterson P., Editors. 2005. *The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program-National Sampling Design and Estimation Procedures*. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report SRS-80. USA.

Canada's National Forest Inventory (NFI). s.f. Recuperado el 20 de febrero de 2012. <https://nfi.nfis.org/sitemap.php?lang=en>

Chuvieco, S. E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. 586 pp. España.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. *Informe Preliminar del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009*. SEMARNAT-CONAFOR. México. 207 pp.

----- . 2012a. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos, Informe 2004-2009*. SEMARNAT-CONAFOR. México. 212 pp.

----- . 2012b. *Manual y procedimientos para el re-muestreo 2012*. SEMARNAT-CONAFOR. México. 138 pp.

COMPRANET. 2010. Recuperado el 20 de enero de 2010. www.compranet.gob.mx

COMPRANET. 2013. Recuperado el 15 de abril de 2013. www.compranet.gob.mx

Couturier, S., A. Vega, J-F, Mas, V. Tapia, E. López. 2008. *Evaluación de confiabilidad del mapa del Inventario Forestal Nacional 2000: diseños de muestreo y caracterización difusa de paisajes*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía Num. 67:20-38. UNAM. México.

Diario Oficial de la Federación. 25 de febrero de 2003. *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. México.

Diario Oficial de la Federación. 16 de abril de 2008. *Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*. México.

Declaración de Santiago 1995. s.f. Recuperado el 18 de febrero de 2012. http://www.rinya.maff.go.jp/mpci/rep-pub/1995/santiago_e.html#3

Dourojeanni, A., A. Jouravlev y G. Chávez. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 83 pp.

Fernández - Coppel, I. A. 2001. *El satélite Landsat. Analisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat*. Universidad de Valladolid.

Flores, R. 2010. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. *Taller de Inducción al Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. CONAFOR. México.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1976. *A framework for land evaluation. Soil resources development and conservation service land and water development division*. FAO Soils bulletin 32. FAO AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Roma.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1981. *Los recursos forestales de la América tropical*. FAO-PNUMA. Roma. 586 pp.

Food and Agriculture Organization (FAO). 1996. *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. FAO Forestry Paper No. 130. Rome.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. FAO. Roma. 346 pp.

Forest Inventory and Analysis National Program (FIA). 2012. Recuperado el 20 de febrero de 2012. <http://www.fia.fs.fed.us/>

García, E. 1965. *Distribución de la precipitación en la República Mexicana*. Publicaciones del Instituto de Geografía, v. 1, UNAM. México. 171-191 pp.

Geilfus F., P. Bailón. 1994. *El árbol al servicio del agricultor. Principios y técnicas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 657 pp.

González, M, J. 2004. *Las comunidades vegetales de México*. SEMARNAT-INE. México. 81 pp.

Gutiérrez, P., J. E. *Topografía para las tropas*. 2005. Chile. 189 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2005. *Metodología para la actualización de la cartografía del suelo y vegetación, series III y posteriores*. Departamento de uso de suelo y vegetación, INEGI. 138 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. *Infraestructura de Datos Espaciales de México (IDEMex)*. México. 15 pp.

..... 2009. *Guía para la Interpretación de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Serie III*. INEGI. 74 pp.

..... 2010. *Lectura e interpretación de la carta topográfica esc. 1:50 000*. México.

Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral (IGECEM). 1995 *Atlas General del Estado de México. Volumen II*. IGECEM. Gobierno del Estado de México. 235 pp.

Janssen, L. F. et al. 2001. *Principles of Remote Sensing An introductory textbook. ITC Educational Textbook Series 2. The Netherlands*.

Levin, R I y D S Rubin. 1996. *Estadística para Administradores*. Prentice-Hall Hispanoamericana. México.

Magaña, O. S. 2010. *Usos de la información geoespacial en la Comisión Nacional Forestal, Seminario internacional "Información geoespacial y toma de decisiones: actualidad y retos"*. SEMARNAT-CONAFOR-CentroGeo. México.

Murria, R. Spiegel. 1991. *Estadística*. McGraw-Hill. 556 pp.

Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (OEIDRUS). *Inventario Forestal y de Suelos del Estado de Querétaro*. OEIDRUS. Querétaro, México. 110 pp.

Palacio, J. L. et al. 2000. *La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía Num. 43:183-203. UNAM. México.

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE). 1991. *Memoria: Segundo Estudio Dasonómico del Estado de México*. PROBOSQUE. Metepec.

-----, 2010a. *Partida 1: Elaboración del inventario y de las condiciones de los Recursos Forestales en el Estado de México*. 2010.

-----, 2010b. *Manual de campo del Inventario Forestal del Estado de México 2010*. Metepec. 114 pp.

PROBOSQUE. 2011. Atribuciones. Recuperado el 21 de febrero de 2012. <http://www.edomex.gob.mx/probosque>

----- y Consultores para la Investigación Aplicada y el Desarrollo S.A de C.V. (INYDES). 2011. *Inventario Forestal del Estado de México 2010*. Metepec. 222 pp.

Rajoo, A, O. Niskanen y N. Jaakkola (Comp). 2011. *El campo en Finlandia*. Revista Estudios Agrarios. Num. 48:133-145. SRA-PROCURADIRÍA AGRARIA. México.

Ramírez, C., R. Rodas. 2002. *Manual de Campo-Inventario Forestal Nacional de Guatemala*. FAO-INAB-CONAP-UVG-MAGA. Guatemala. 39 pp.

Red de Monitoreo de Políticas Públicas. 2006. *Indicadores forestales: superficie forestal*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. Nota informativa No. 5, Mayo.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 pp.

Robin, M. 1998. *La Télédétection*. Nathan. París.

Rodríguez, C. R. 1990. *Segundo Estudio Dasonómico (SEDEMEX)*. Estado de México.

Romahn, C. F., H. Ramírez y J. L. Treviño. 1994. *Dendrometría*. 2da Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 136 pp.

Romero, R. 2002. *Finlandia y el Instituto de investigación forestal finlandés-Metsäntutkimuslaitos*. Revista Estudios Geográficos. 63:334-339. CSIC. España.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994a. *Inventario Nacional Forestal de Gran Visión 1991 – 1992*. México.

-----, 1994b. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992 – 1994*. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2001. *Programa Estratégico Forestal para México 2025*. México.

-----, 2004. *Documento estratégico rector del Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. SEMARNAT-CONAFOR-INEGI, INE-INIFAP. Guadalajara, México. 26 pp.

----- y Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2008. *Programa Institucional 2007-2012*. México.

Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO), Protectora de Bosques del Estado De México (PROBOSQUE). 2006. *Programa de desarrollo forestal sustentable del Estado de México 2005-2025*. SEDAGRO-PEROBOSQUE. Metepec, Estado de México. 100 pp.

Serra, W. et al. 2002. *Fotointerpretación Fotogrametría y Teledetección*. Córdoba, Argentina.

Sotomayor, A. 2004. *Modelos agroforestales y desarrollo rural sustentable*. Instituto forestal. Santiago de Chile.

Spot Image. 2009. Resolución y métodos espectrales. Recuperado el 27 de febrero de 2013 http://www2.astrium-geo.com/files/pmedia/public/r1996_9_resolucion_modos_espectrales__esp_sept2010.pdf

Takaki, T. F. 2005. *El Inventario Nacional Forestal en Convención Nacional de Geografía 2005*. INEGI. México.

The Montréal Process. Forest, Our Key to a Healthy Environment and a Healthy Economy. s.f. Recuperado el 17 de febrero de 2012. <http://www.montrealprocess.org/>

The Swiss National Forest Inventory. 2013. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Recuperado el 17 de enero de 2013. <http://www.lfi.ch/lfi/lfi-en.php>

Trejo, I. y Hernández, J. 1996. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía. Num Especial 5. Instituto de Geografía, UNAM. México. 11 a 18pp.

Vida, B. J. 2001. Definiciones. Recuperado el 3 de noviembre de 2013 <http://www.definiciones.com.es/definicion.php?termino=30>