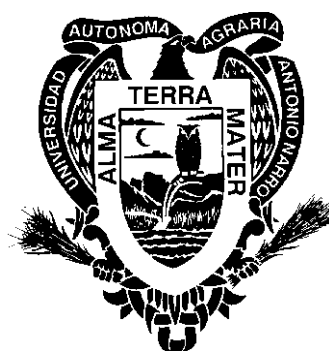


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO ”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Análisis de la productividad de un bosque de coníferas en el sureste de Coahuila, utilizando Sistemas de Información Geográfica(SIG).

POR:

DORIAN DE JESÚS PIMIENTA DE LA TORRE

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
MARZO DE 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ ANTONIO NARRO ”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis de la productividad de un bosque de coníferas en el sureste de Coahuila, utilizando Sistemas de Información Geográfica(SIG).

POR:

DORIAN DE JESÚS PIMIENTA DE LA TORRE

TESIS

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

Presidente del Jurado

Asesor

M.C. Luis Morales Quiñónez

Dr. Eduardo J. Treviño Garza

Asesor

Asesor

M.C. José Armando Nájera Castro

Dr. Oscar Aguirre Calderón

M.C. Arnoldo Oyervides García
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2003.

DEDICATORIA

Con todo el amor, respeto y cariño a mis padres Manuel del Carmen y Josefa Eloisa por todo el sacrificio y apoyo para poder concluir con mi formación profesional.

Con mucho amor y cariño a mi hermana Floralva del Carmen.

A mi pequeña sobrina Dámaris Abril.

Con todo el amor y cariño a mi tía Josefa De la Torre + por todo su amor y apoyo durante toda mi carrera.

A mi cuñado José María por el apoyo, confianza y amistad brindada.

A toda mi familia por el apoyo incondicional que siempre me brindan.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme brindado la vida y permitirme alcanzar mis sueños.

A mi “ALMA TERRA MATER” Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por alojarme y brindarme la oportunidad de continuar con mi superación profesional.

Al sistema de Investigación Alfonso Reyes, por la beca de investigación otorgada a través del proyecto SIREYES 20000606002: “Desarrollo de Sistemas de Manejo Sustentables de Recursos Renovables en el Noreste de México”.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón, director del proyecto SIREYES, por su apoyo incondicional en la realización de la tesis, pero sobre todo por la gran amistad brindada.

Al M.C. Luis Morales Quiñóniz por haber dirigido la tesis, por sus consejos, la confianza, apoyo y la amistad brindada durante toda la carrera.

Al Dr. Eduardo J. Treviño Garza por ser el asesor externo, haber dirigido la tesis, por su apoyo, sus consejos y sugerencias recibidos para la elaboración y

culminación de la tesis y sobre todo por la confianza depositada en mí y por su gran amistad.

Al M.C. José Armando Nájera Castro por haber aceptado formar parte de el comité de tesis, así como su apoyo y amistad incondicional durante la carrera y sugerencias en el presente trabajo.

A la fundación Alexander Von Humboldt, por la donación del equipo empleado en este trabajo.

Al Sr. Arnoldo Elizondo Cárdenas por darnos la oportunidad de trabajar en su propiedad.

Al Ing. José Jesús García Velásquez por sus consejos acertados y el apoyo brindado en la realización de la tesis pero sobre todo por su gran amistad.

Al M.C. José Dueñes Alanis por todo el apoyo brindado y por su gran amistad incondicional.

A la M.C. Xanat Antonio Nemiga por su amistad, apoyo y consejos en la realización de esta tesis.

Al Ing. Francisco J. Vázquez Moyeda por el sus atenciones, sugerencias y apoyo brindado.

Al Ing. Luis Sánchez Montesinos por la gran amistad, apoyo y consejos brindados en la elaboración de este trabajo.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su apoyo, consejos durante toda la carrera y puntos de vista en la elaboración de la tesis, pero sobre todo por su gran amistad.

A todos los maestros del Departamento Forestal por los conocimientos transmitidos durante mi formación profesional y la gran amistad brindada.

A la Ing. Georgina Muños Cabrera por la amistad brindada.

A mi amigo Eliud por su paciencia y dedicación en la elaboración de la tesis.

A mi amigo Emmanuel por su gran amistad brindada y apoyo en la realización de la tesis.

A mis compañeros y amigos de la generación LXCIV.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii

ÍNDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis.....	3
Objetivos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Productividad.....	4
Calidad de sitio.....	5
Métodos indirectos para evaluar la calidad de sitio.....	6
Altura de los árboles.....	6
Índice de sitio.....	7
Factores físicos del ambiente.....	8
Suelo y topografía	9
Factores múltiples y combinados.....	10
Sistemas de Información Geográfica.....	10
Los datos geográficos y su representación espacial.....	12
Formato vectorial	12
Formato raster.....	12
Base de datos.....	13
Aplicación de los SIG en la administración de los recursos naturales	13
Percepción remota.....	14
Percepción remota y los SIG.....	14
Ortofotos digitales.....	15
Usos de las ortofotos digitales.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17

Localización del área de estudio.....	17
Características del área de estudio.....	17
Topografía.....	17
Geología.....	19
Hidrología.....	19
Edafología	19
Clima	20
Vegetación.....	24
Metodología	24
Ortofoto digital.....	24
Rodalización en la ortofoto digital.....	26
Clave de fotointerpretación de cobertura.....	26
Mapa de exposiciones.....	27
Parámetros dasométricos.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Ortofoto digital.....	30
Rodalización	31
Coberturas.....	34
Productividad	42
Volumen	45
V. CONCLUSIONES.....	49
VI. LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Componentes de un SIG.....	11
2. Localización del área de estudio.....	18
3. Geología.....	21
4. Hidrología.....	22
5. Edafología.....	23
6. Claves de interpretación de la cobertura.....	27
7. Ortofoto digital del área correspondiente al predio “El Pilar”	30
8. Límites y número de rodales interpretados en la ortofoto.....	32
9-17 Porcentajes de área basal.....	34
18. Porcentajes de coberturas por rodales.....	41
19. Mapa de Productividad.....	43
20. Mapa de exposiciones y puntos de muestreo.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición florística.....	33
2. Coberturas de área basal.....	40
3. Volumen por hectárea y en porcentaje.....	46
4. Volumen por hectárea y en porcentaje.....	47
5. Existencias reales por rodal.....	48

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el predio “El Pilar”, Municipio de San Antonio de las Alazanas al sureste de Coahuila, con la el finalidad de establecer criterios objetivos para determinar las características estructurales de los bosques de coníferas, considerando variables susceptibles a ser analizadas mediante los Sistemas de Información Geográfica en la planeación del manejo forestal.

Para la obtención de la ortofoto digital se empleó el programa Integrated Land and Water Information System (ILWIS) el cual fue ejecutado desde una computadora personal. Obtenida la ortofoto digital fue exportada al programa ArcView, en ella se procedió a realizar la fotointerpretación visual en pantalla obteniéndose 13 rodales.

Se realizó un análisis de la cobertura seleccionando patrones sobre las zonas de los rodales en cuadros de 10,000 m² y usando técnicas de fotointerpretación, se estimó para el rodal I y II una cobertura del 100%; para el III y V 90%; para el rodal VI un 80%; 70% de cobertura para el rodal IV; los rodales con el 60% corresponden al VII-1 y VII-2; 50% para el rodal VIII; el IX-1 y IX-2 con el 40% de cobertura; el rodal X el 30% y para el XI un 20% de cobertura, comparándolos posteriormente con el área basal.

Con los datos dasométricos, se generó una base de datos geográficos con las variables estructurales del bosque como el volumen y área basal por hectárea, la altura total y diámetro normal promedio, la densidad de individuos hectárea, para cada especie y rodal, con su respectivo índice de sitio.

I INTRODUCCIÓN

Un aspecto básico en la ordenación de los bosques de coníferas es la clasificación de la productividad de los terrenos forestales, esta es una herramienta dasonómica para realizar de manera exitosa las técnicas de manejo, contando con conocimientos más profundos de las características de los bosques y las condiciones donde se desarrollan.

La necesidad de conjuntar herramientas de trabajo que respondan a la necesidad de buscar mejores alternativas de manejo forestal, en donde se aproveche mejor la capacidad productiva de los terrenos forestales, hace indispensable conocer la productividad y poner en practica alternativas para llegar a determinar el potencial de los suelos forestales (Arteaga, 1988).

El reconocimiento de la capacidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramienta de análisis adquiere cotidianamente mayor importancia en México, el uso de los SIG en el campo del manejo de los recursos naturales es de gran utilidad para los manejadores del bosque, ya que permiten la integración de varios tipos de datos geográficos y de atributos.

La evaluación de la productividad es una herramienta que nos indica que áreas tienen mayor o menor capacidad productiva, ya que proporcionan al silvicultor, mejores condiciones para planear , dirigir y ejecutar los aprovechamientos forestales. En la Sierra de Arteaga, el estudio del potencial productivo de los bosques de coníferas es limitado y constituye un elemento clave en el manejo de los mismos, por ello el presente trabajo tiene como objetivo el análisis de la productividad, utilizando como una herramienta tecnológica, los Sistemas de Información Geográfica.

Hipótesis

Hipótesis nula: El análisis geográfico utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas tecnológicas posibilitan la obtención de criterios objetivos para la planeación del manejo forestal.

Objetivos

El presente trabajo plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Establecer criterios para determinar las características estructurales de un bosque de coníferas en el sureste de Coahuila, considerando variables que pueden ser analizados mediante los SIG en la planeación del manejo forestal.

Objetivos específicos

- a) Elaborar ortofotos digitales.
- b) Actualizar la información del predio “El Pilar” mediante la rodalización.
- c) Elaboración de un mapa de exposiciones.
- d) Integrar una base de datos geográficos.
- e) Definir la productividad del predio utilizando como herramienta un SIG.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Productividad

Miller (1992), menciona que la productividad es la tasa o intensidad a la que los productores de un ecosistema capturan y almacenan una cantidad dada de energía química en forma de biomasa, en un intervalo de tiempo dado.

La productividad de los terrenos forestales está definida en gran parte, por la calidad del sitio, estimada mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produce en un periodo de tiempo determinado. Dentro de un cierto microclima, la calidad del sitio determina el tipo y magnitud de los problemas y las oportunidades para el manejo de un rodal. La calidad del terreno es una cuestión esencial para el manejo de los rodales encaminados a la producción de varias combinaciones de productos forestales (Daniel *et al.*1982).

Productividad es un concepto biológico y no puede expresarse matemáticamente, por ello se ha optado por representar la calidad de sitio a través de un valor o índice denominado índice de sitio e índice de productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de la calidad de sitio (Prodan *et al.*1997).

Calidad de sitio

La calidad de sitio se define como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de las plantas. Es la respuesta, en el desarrollo de una especie, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar (Prodan *et al.* 1997).

Daniel *et al.* (1982) y Spurr y Barnes (1982), coinciden que la calidad del sitio es la suma de muchos factores ambientales tales como la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, la exposición, el microclima, las especies que viven sobre él y otros más.

En la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León, Gonzáles (1997) determino la calidad de sitio, así como el crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. utilizando una edad base de 14 años, con las alturas estimadas por edad y calidad de sitio, encontró para la calidad I (5.3m), la II (4.8m), la III (4.3m), la IV (3.8m) y para la V (3.3m), estas correlacionadas con factores fisiográficos como la altura sobre el nivel del mar, la altura dominante y con el grosor de la materia orgánica; respecto a la exposición se correlaciono con el grosor de la materia orgánica; el volumen con altura dominante, diámetro e incremento de corteza; altura dominante con diámetro; diámetro con volumen e incremento de corteza y la cobertura de piedra con el grosor de la materia orgánica.

Para estimar la calidad de sitio es necesario evaluar alguna característica del bosque que exprese la suma total de todos aquellos factores que afectan la capacidad productiva del ecosistema forestal (Spurr y Barnes, 1982).

Método indirectos para evaluar la calidad de sitio

Spurr y Barnes (1982), indica que una estimación indirecta es cuando se utiliza uno a más de los siguientes métodos:

- a) Vegetación del bosque: como los índices de sitio y especies indicadoras.
- b) Factores físicos del ambiente: el clima, suelo y la topografía.
- c) Factores múltiples o combinados.

Altura de los árboles

La altura de los árboles de crecimiento libre de una especie determinada que tiene una edad más o menos equivalente, está más estrechamente relacionada con la capacidad del área para producir madera que cualquier otra variable. La altura de los árboles de crecimiento libre está menos influenciada por la densidad del lugar que otras medidas de las dimensiones de los árboles y puede ser utilizada así, como un índice de la calidad de estación del lugar (Spurr y Barnes, 1982).

Índice de sitio

Daniel *et al.* (1982), señalan que el índice del sitio es la altura que alcanza un árbol bajo las condiciones del propio bosque en 100 años, para la mayoría de las especies longevas del occidente de Estados Unidos, o de 25 a 50 años, para las especies del Este y Sur de aquel país y los rodales jóvenes que se manejan con turnos muy cortos.

La altura de los árboles dominantes o codominantes que son más ampliamente aceptadas, es el promedio de 100 árboles por hectárea de los más altos, por lo tanto también se puede estimar a partir de los 8,12 ó 60 árboles de mayor diámetro, incluso llega a considerarse el árbol con mayor diámetro de la hectárea, Spurr y Barnes(1982).

de la Fuente (1985) en un trabajo para la determinación de la calidad de estación para *Pinus rudis* Endl. en la región "La cumbre", Oaxaca, mediante la técnica del índice de sitio, relacionando la edad con la altura dominante utilizando 360 árboles muestra en rodales puros y coetáneos encontró a una edad base de 50 años, tres calidades de estación, calificadas como rica, mediana y pobre en los cuales los desarrollos en altura para esta edad son de 22.27 m., 20.23 m. y 18.12 m. respectivamente.

Factores físicos del ambiente

Los factores del medio más útiles para propósitos de determinación de índices de sitios, son aquellos que se encuentran en bajo abastecimiento con respecto a lo demandado por los árboles forestales, de tal manera que los pequeños cambios en el abastecimiento del factor darán como resultado cambios medibles en el crecimiento de los árboles (Spurr y Barnes, 1982).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramienta de planeación y análisis en los recursos forestales es cada día más importante.

García (1998) evaluando la diversidad del paisaje, utilizando un Sistema de Información Geográfica, para la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México, encontró que los índices de diversidad espacial del paisaje son diferentes en cada clase y demostró que existe una relación entre la diversidad espacial del paisaje respecto a la altitud y exposición, siendo las clases con altitudes inferiores las más diversas espacialmente y a medida que asciende en la altitud está disminuye.

Por otra parte, Colín (2000) en un trabajo para la identificación de factores ambientales que determinan la distribución del *Pinus durangensis* Mtz. en la región Tarahumara de Chihuahua, utilizando un sistema de información geográfica encontró una asociación con el rango altitudinal de 2000 a 2600, pendientes de 0 a 5% asociado con el tipo de suelo regosol eútrico con una textura media y fase

física lítica, un rango de temperatura media anual de 8 a 12 °C , precipitación anual de 600 a 1200mm y asociado con el bosque de pino.

Así mismo López (2001) y Cruz (2001), en un estudio para evaluar los factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus arizonica* Engelm. y de *Pinus engelmannii* Carr. en la región Tarahumara, Chihuahua, utilizando sistemas de información geográfica, encontraron que los factores que más se asocian es la altitud, la pendiente, el suelo, la precipitación, la temperatura y asociación con diversos tipos de vegetación.

Según Trinidad y Ortiz (1988), en un estudio sobre estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México, encontraron 5 variables meteorológicas que influyen en el incremento corriente anual en volumen expresado en porcentaje, como la precipitación máxima anual, número de horas, insolación, humedad relativa media anual, temperatura promedio de máxima y temperatura promedio de mínima.

Suelo y la topografía

Dependiendo de la naturaleza específica de los sitios, hay muchos factores individuales y topográficos que pueden servir como índices útiles de la productividad forestal y pueden ser correlacionados con el índice de sitio de las especies forestales deseadas. Específicamente los estudios de la relación suelo-sitio involucran mediciones o estimaciones de muchas variables del suelo y del sitio, denominadas variables independientes: profundidad del suelo, textura y tipo de drenaje, posición de las pendientes y aspecto. El crecimiento potencial de los

árboles es afectado principalmente por la cantidad de suelo ocupado por las raíces de los de éstos y por la disponibilidad de humedad y nutrientes en este espacio limitado (Spurr y Barnes,1982).

Factores múltiples o combinados

Entre los factores que más se toman en cuenta, lo mejor es estimar la productividad del sitio, para la comprensión de su potencial en las tierras forestales en explotación. Éstos factores integran la geografía, la geología, la climatología, la ciencia del suelo, la geografía vegetal, la sociología, el análisis de polen y la historia forestal para clasificar y cartografiar los sitios forestales (Spurr y Barnes,1982).

Por ejemplo, Ramírez (1998) trabajando con un sistema de información geográfica para la identificación de los determinantes de la vegetación y usos del suelo en la Sierra de Zapalinamé, evaluando factores como la geología, el suelo, las fases físicas, la altitud, la fisiografía, la exposición y la pendiente, encontró que son los mismos para cada tipo de vegetación y uso del suelo, pero con diferentes clases y fases de suelo y diversos rangos de exposiciones, pendiente y altitud y siendo estos factores ambientales que determinan la presencia y abundancia de los diferentes tipos de vegetación.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

El NGCIA (National Center for Geographic Information and Análisis), define a los Sistema de Información Geográfica (SIG), como sistemas de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Bosque,1992).

Sanabria (2000), menciona que un SIG es un poderoso sistema de mapeo que corre sobre computadoras de escritorio, donde se maneja información cartográfica digital georreferenciada, la cual esta asociada a una base de datos tan simple o tan compleja de acuerdo a las necesidades del usuario. Esta definición provee la combinación de componentes y funciones de un SIG.

Los componentes necesarios para ejecutar las tareas de un SIG son las siguientes: Fig.1

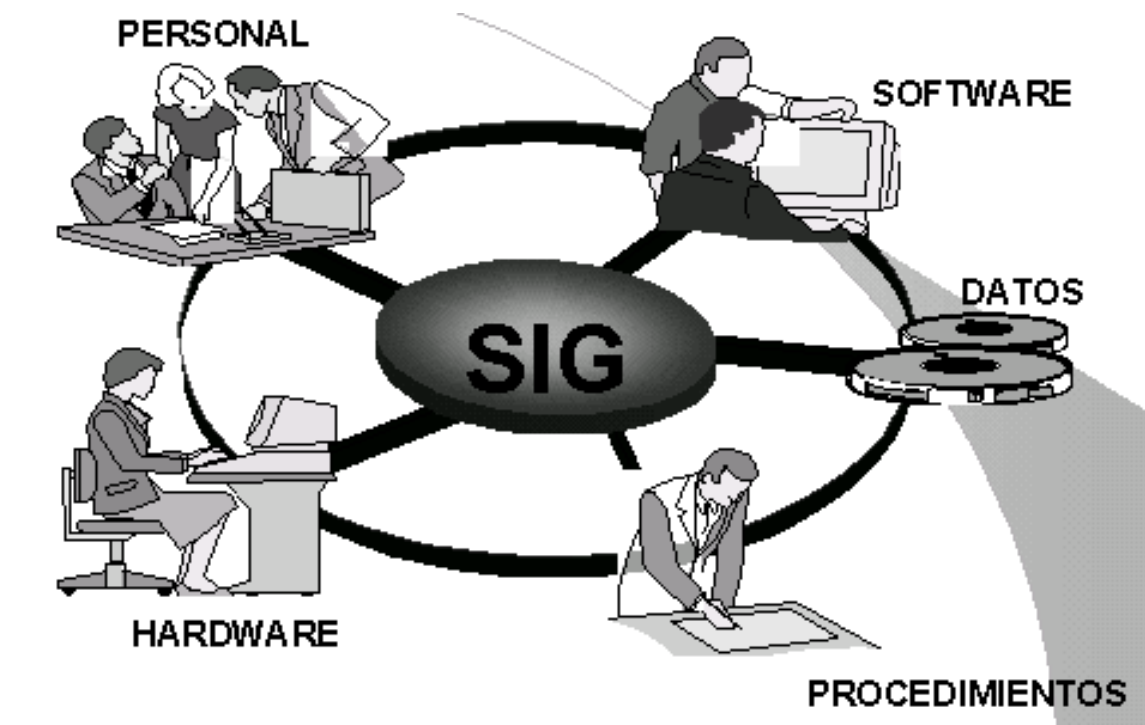


Figura 1. Componentes de un SIG.

Los datos geográficos y su representación espacial

Los componentes de los datos geográficos es el espacial y el temático, el primero se compone de la geometría (posición absoluta de cada objeto respecto a unos ejes de coordenadas (X e Y) y el temático, que describe las relaciones las relaciones entre objetos (Zarate, 1997). En un SIG se pueden representar características geográficas en dos formatos, el vectorial y el raster (Sanabria,2000).

Formato vectorial

El modelo vectorial de datos representa características similares a la manera como se hacen los mapas, como son puntos, líneas y polígonos o áreas. El formato vectorial es el mas conveniente para representar objetos cartográficos con coordenadas exactas de precisión. Las líneas y puntos son representados por sus coordenadas explícitas x, y; las áreas son representadas como polígonos cuyos bordes son las líneas (Sanabria,2000).

Formato raster

Representan digitalmente la información espacial de un modo diferente y, en cierto modo, complementario al anterior. Ahora lo que se codifica en el ordenador es el contenido de los objetos geográficos, en lugar de sus límites exteriores. Para

ello, el procedimiento consiste en superponer al mapa a representar, una rejilla formada de unidades regulares, normalmente cuadrados o rectángulos, con lo cual el espacio geográfico queda particionado en forma sencilla y regular, y por ello fácil de representar (Bosque *et al.* 1994).

Base de datos

Una base de datos geográfica es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una o varias aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre sus dos principales componentes: datos espaciales, tienen características geográficas de los objetos descritos (ubicación, dimensión, forma) y los datos no espaciales, los cuales tienen características cuantitativas asociadas al objeto que se desea describir; estos se almacenan en tablas (ESRI, 1991).

Aplicación de los SIG en la administración de recursos naturales

En el campo del manejo de los recursos naturales es cada día más usual la implementación de SIG, con el fin de tener a disposición la información necesaria para la toma de decisiones (Treviño, 1999), ya que son una herramienta el cual se puede utilizar para realizar trabajos de muy variada naturaleza, y en las ciencias forestales, su uso debería ser mas intensivo Colín (2000).

Según Meza (1995), los Sistemas de Información Geográfica son herramientas para crear y actualizar mapas con una gran facilidad y velocidad, sobreponer e

interpretar de cómo era el bosque antes y como está en la actualidad. Las aplicaciones de los SIG en la administración de los recursos naturales han tenido una amplia variedad de aplicaciones en el área de los recursos naturales, entre los que se pueden citar:

- Manejo de los recursos naturales: análisis de los procesos de deforestación, cambio y uso del suelo, manejo de cuencas hidrológicas, planeación y ordenamiento territorial.
- Inventario de los recursos: inventario forestal, inventario de recursos múltiples, inventarios regionales y la evaluación de los recursos.
- Manejo de la fauna silvestre: manejo de la hábitat de fauna silvestre.
- Protección: incendios forestales, estudios de impacto ambiental.
- Aprovechamientos forestales y
- Ecología del paisaje.

Percepción Remota

La percepción remota (remote sensing), es un conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancia, sin el contacto material con los mismos. La percepción remota no engloba sólo los procesos que permiten obtener una imagen desde el aire o el espacio, si no también su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación (Soria *et al.* 1998).

Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica

La percepción Remota (PR) y SIG, son usadas para coleccionar, analizar y reportar los recursos del planeta, siendo ellas complementarias. En la actualidad, la necesidad de contar con información espacial es enorme, para el análisis y toma de decisiones los administradores de los recursos naturales requieren del conocimiento de donde están las comunidades vegetales o animales que serán aprovechadas comercialmente o deberán ser protegidas, etc. Soria *et al.* (1998).

Treviño (1999) en un estudio de estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*, en los municipios de Galeana y Aramberri, Nuevo León, México, encontró que los valores espectrales más bajos en todas las longitudes de onda corresponde a la clase de bosque cerrado, y en la clasificación, la distribución espacial de los bosques cerrados y densos se distribuyen básicamente en las laderas con exposición sur y suroeste, ocupando ambos un 40% de la superficie estudiada.

Ortofotos digitales

Las ortofotos combinan las características de la imagen de una fotografía aérea de cualquier escala con las cualidades geométricas de un mapa. Son imágenes de las que se han eliminado las deformaciones causadas por la óptica de la cámara y por el desplazamiento aparente de los objetos del terreno en el momento de la toma fotográfica (INEGI, 2001).

Uso de las ortofotos digitales

Se pueden usar para una gran variedad de propósitos, que van desde la generación de mapas intermedios hasta su uso como referencia de campo para investigaciones y análisis de las ciencias de la tierra, como son recursos naturales (erosión, agua, bosques), en agricultura de riego, de temporal; en infraestructura, tal como aeropuertos, presas, carreteras; en urbanismo vial, urbanismo industrial, urbanismo recreativo, urbanismo habitacional. La Ortofoto en su modalidad digital es útil como cubierta en los SIG, así mismo son una herramienta muy útil en la actualización de gráficos a línea y mapas topográficos (INEGI, 2001).

De acuerdo con Welch and Jordan (1996), las ortofotografías se han usado por su gran valor como mapas base y pueden ser usadas para la identificación de puntos de control en el terreno, actualizar cartografía existente sobre uso del suelo y vegetación y vías de comunicación así como para evaluar cambios en el paisaje ocasionados por fenómenos naturales o por actividades humanas.

Muñoz y Treviño (2000), utilizaron las ortofotos para la actualización de la cartografía de un ejido forestal con la finalidad de evaluar los combustibles forestales presentes en cada tipo de vegetación, las ortofotos fueron el resultado del proceso digital de cuatro fotografías aéreas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

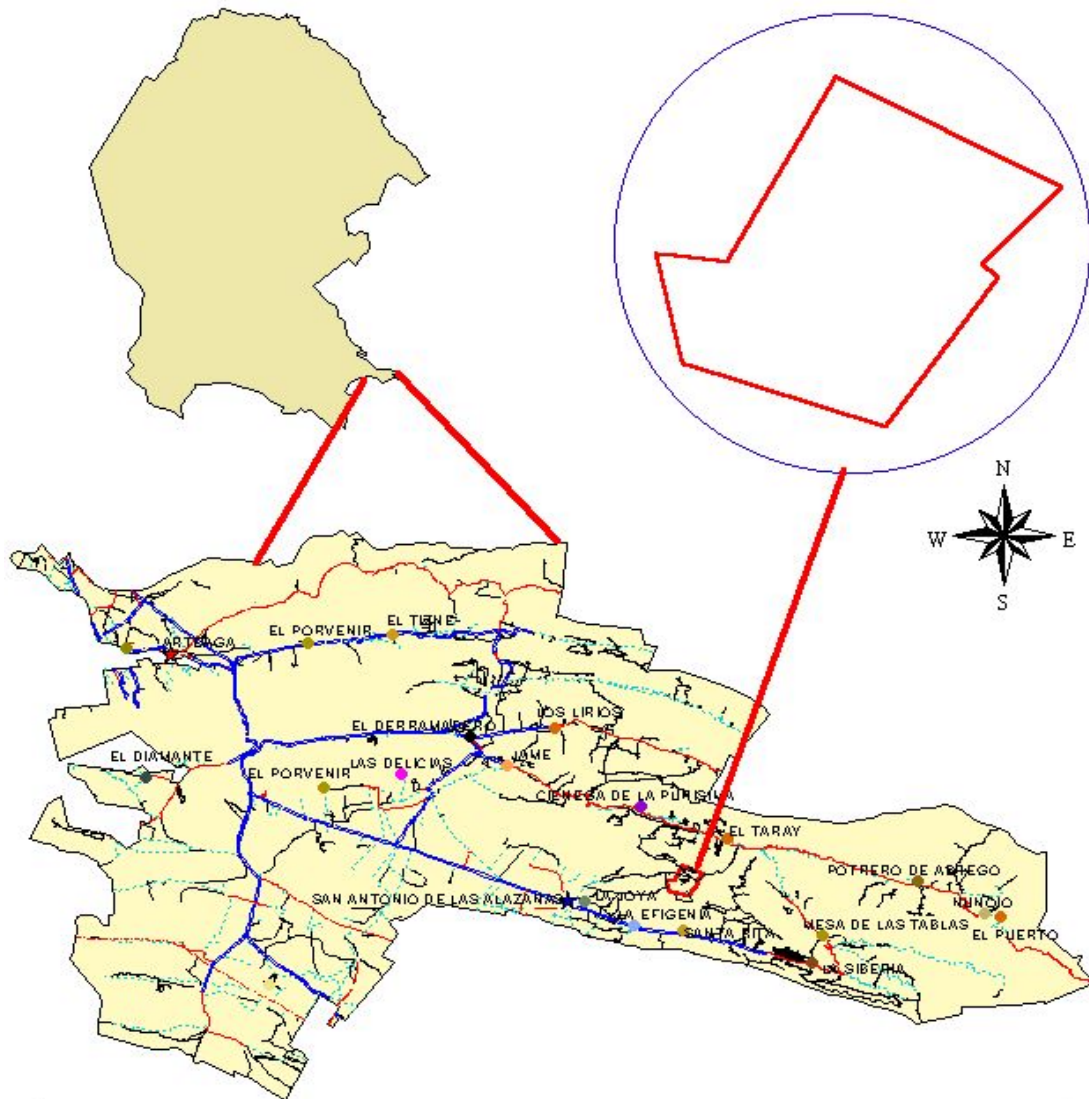
Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el predio “El Pilar” ubicado en la Sierra de las Alazanas, Municipio de Arteaga, Coahuila. El área se ubica entre los paralelos $25^{\circ} 15' 12''$ y $25^{\circ} 16' 55''$ de latitud norte y los meridianos $100^{\circ} 29' 12''$ y $100^{\circ} 30' 46''$ de longitud oeste (CETENAL, 1975) (Fig. 2).

Caracterización del área de estudio

Topografía

El predio está enclavado en la unidad orogénica llamada Sierra Madre Oriental, específicamente en la sierra San Antonio que se distingue por la presencia de laderas con lomeríos intermontanos. El predio presenta una topografía poco accidentada con pendientes moderadas muy variables, en cuencas con formaciones de lomeríos que van en promedio de 30%, bajadas suaves de 30 a 38% y en las partes altas en pocos lugares se pueden encontrar pendientes fuertes iguales y mayores al 100%, los rangos altitudinales también son variables y van de los 2,900 a los 3,400 msnm (CETENAL, 1975).



LOCALIDADES	SIMBOLOGIA	
★ Arteaga	★ Sn Antonio de las Alazanas	▭ Predio el Pilar
● Cienega de la Purisima	● Sta Rita	▭ Coahuila
● Las Delicias	● Sta Rosa	▭ Arteaga
● El Derramadero	● La Siberia	
● El Diamante	● El Taray	
● La Efigenia	● El Tizne	
● Jamé		
● La Joya		
● Los Lirios		
● Mesa de las tablas		
● Nuncio		
● El Porvenir		
● Potrero de Abrego		
● El Puerto		
	VIAS DE COMUNICACIÓN	
	▬ Brecha	
	▬ Carret.Pavim.1C,L,E	
	▬ Carret.Pavim.2C,L,E	
	▬ Carret.Terrac.1C.N/A,N/A	
	▬ Vereda	

Geología

El área de estudio se caracteriza por presentar en su mayoría una geología de origen mesozoico, rocas calizas sedimentarias, con características de rocas marinas calcáreas y con un 90% o más de óxido de calcio (CETENAL, 1976) (Fig.3).

Hidrología

El predio se ubica dentro de dos regiones hidrológicas, la RH37 A-b denominada el Salado y la RH24 B-h denominada Bravo-Conchos (SPP,1981).

El predio comprende pequeñas cuencas abiertas las cuales cuentan con escurrimientos superficiales, de origen intermitentes y temporales ocasionados por las lluvias torrenciales, teniendo su fluidez hacia un cauce principal, enviando su

flujo de agua al poniente del cañón (cañón de las Alazanas), posteriormente es entubada y dirigida a los lugares de almacenamiento de ahí para utilizarse en labores agrícolas y domésticas (SPP, 1981; Vázquez, 1996) (Fig. 4).

Edafología

El tipo de suelo que predomina en el área de estudio es litosol, los cuales son suelos someros con menos de 10 cm de espesor, asociados con rendzina, este tipo de suelo es de alta fertilidad encontrándose sobre material calcáreo, son permeables, buenos para la agricultura y con un 0.58% de carbono orgánico y presentan un color marrón o marrón oscuro; luvisol crómico, estos suelos tienen un capa de suelo blando y de color oscuro, pobres en materia orgánica e impermeables; son suelos que tienen una mayor fertilidad, son profundos y de color rojizo; rendzina asociado con fluvisol calcárico, suelos fértiles calcáreos en la superficie, son de fácil manejo, permeables y son suelos ligeros. Estos suelos presentes en el área de estudio tienen diferentes clases texturales como la media en suelos como (litosol, rendzina y fluvisol) y la fina en (luvisol), estos suelos presentan fase física lítica profunda, tiene un lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad (CETENAL, 1977; Silva, 1978) (Fig. 5).

Clima

El clima que presenta es de tipo Cx'b(e')g, que de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por E. García (1986), corresponde a un clima

templado, subhúmedo, con lluvias escasas todo el año, verano fresco largo, muy extremoso. De acuerdo con la estación meteorológica de San Antonio de la Alazanas, ubicada a 9 kilómetros del predio en una altitud de 2100 msnm la temperatura media anual es de 12.7°C, mayo el mes más cálido con una temperatura media de 15.8°C; la presencia de heladas ocurre en cualquier época del año, pero son más frecuentes de octubre a marzo, con temperaturas extremas de hasta -8°C ; los meses libres de heladas son junio, julio y agosto; la precipitación total media anual es de 470.6 mm, distribuida en todo el año, los meses más lluviosos son julio y agosto y los más escasos se presentan en invierno (Mendoza, 1983).

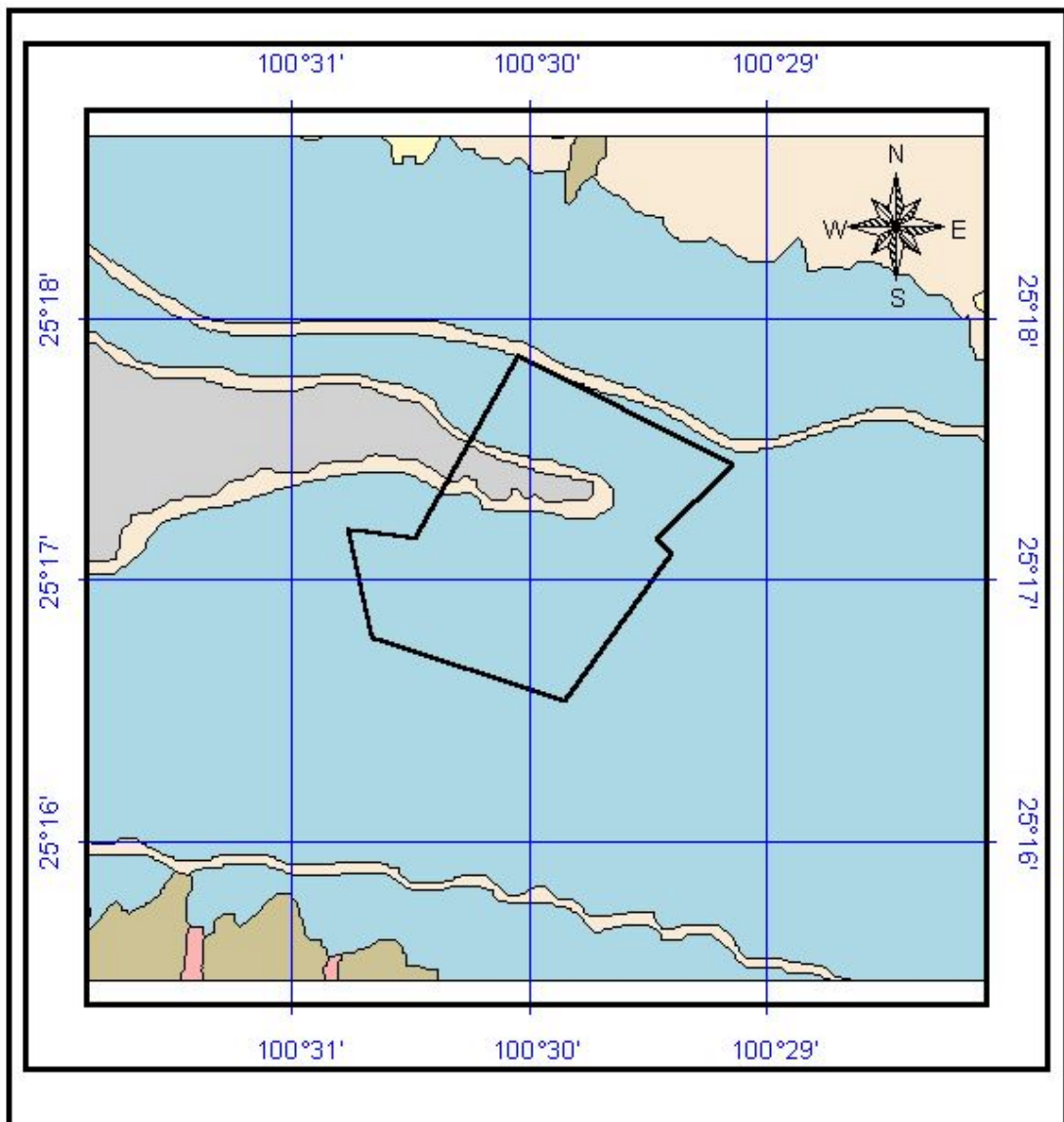


Figura 3. Mapa de geología. (Elaboración propia basada en datos del INEGI, proporcionada por el Instituto Coahuilense de Ecología).

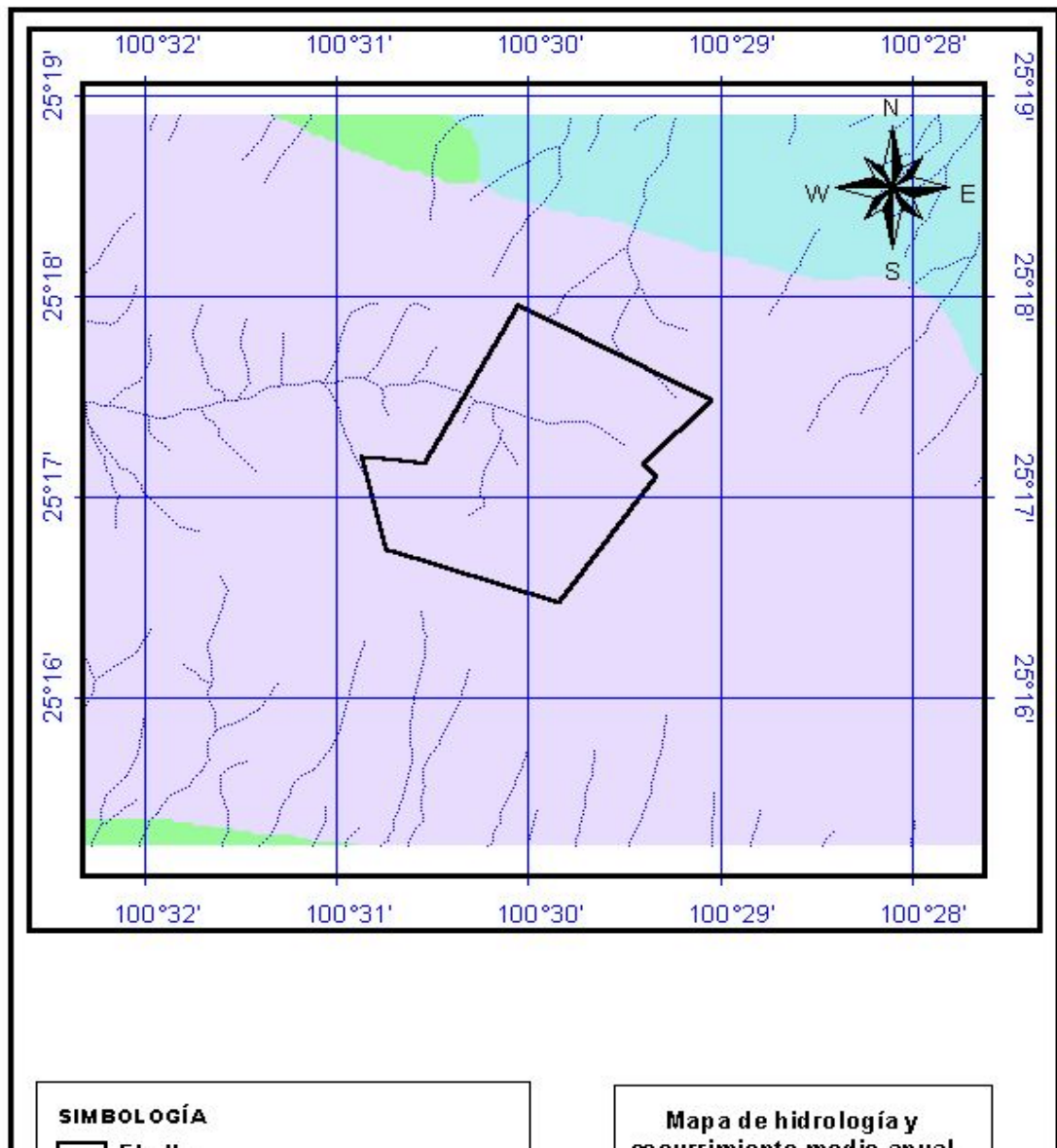


Figura 4. Mapa de hidrología. (Elaboración propia basada en datos del INEGI, proporcionada por el Instituto Coahuilense de Ecología).

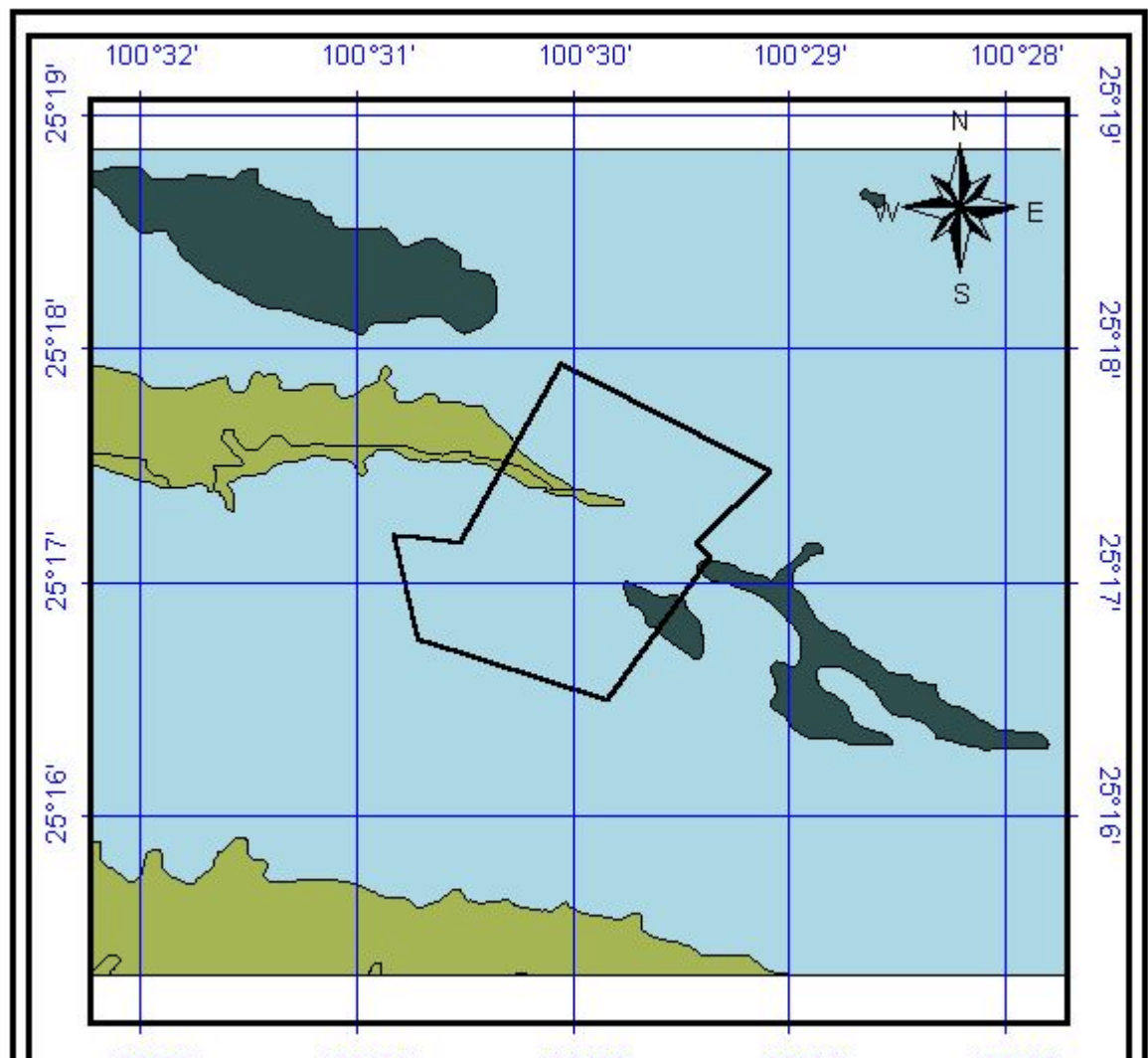


Figura 5. Mapa de edafología. (Elaboración propia basada en datos del INEGI, proporcionada por el Instituto Coahuilense de Ecología).

Vegetación

En el predio el estrato arbóreo está compuesto principalmente por coníferas como son: *Abies vejarii*, *Pinus rudis* Endl., *Pinus ayacahuite*, *Pseudotsuga flahaulti*, asociados con matorral y teniendo dominancia el *Abies vejarii*.

También se encuentran rodales de *Populus tremuloides*, mezclados con pino-oyamel y otras especies, esto se presenta en forma de asociaciones de transición, ocurriendo en las partes más bajas del predio. El pastizal inducido también se hace presente en el área de estudio (DETENAL, 1979; Vázquez, 1996).

Metodología

Ortofoto digital

Primeramente se elaboró una ortofoto digital, utilizando el programa Integrated Land and Water Information System (ILWIS) y ejecutado desde una computadora personal, este programa nos ayuda a eliminar los errores más comunes en las fotografías aéreas.

El procedimiento empleado consistió en digitalizar la fotografía aérea del área de estudio a escala 1:75,000 del año 1999, a una resolución de 300 píxeles, misma que fue guardada en formato digital para posteriormente ser importado al programa ILWIS e iniciar con los procesos de corrección geométrica.

Para corregir los errores de las fotografías aéreas, se obtuvieron 10 puntos de control distribuidos en las áreas de superposición en la parte izquierda, en el centro y a la derecha, estos se usaron para controlar la ortofoto y se extrajeron de un mapa topográfico, pudiéndose distinguir tanto en la fuente como en la fotografía.

Una vez obtenidos los puntos de control, las fotografías aéreas fueron georreferenciadas por la opción *Georef ortho photo*, incluido en el programa ILWIS; este método utiliza la información de las coordenadas tanto en longitud (x) y latitud (y) de los puntos de control, además de (z) el cual es un modelo digital de elevación (MDE) que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno y elimina los desplazamientos por relieve, además de

conocer la distancia focal de la lente de la cámara con que fueron obtenidas las fotografías.

Posteriormente con el submenú *create coordinate system*, se especificaron los parámetros geográficos de proyección en UTM, Datum: North American 1927 (NAD 27), Datum Área: México, Elipsoid: Clarke1866, Zona: 14, para georeferenciarla y fue necesario llevar a cabo la corrección geométrica de la foto a través del proceso de remuestreo (resample), este toma en cuenta el desplazamiento que presenten la fotografía ocasionada por el relieve.

Rodalización en la ortofoto digital

Una vez corregida la ortofoto digital, se exportó al SIG ArcView que es un sistema de información del tipo vectorial, se procedió a rodalizar en pantalla el área de estudio, tomando en cuenta características de textura, estructura y homogeneidad detectadas en la ortofoto digital auxiliadas con la interpretación de las fotografías aéreas y utilizando un estereoscopio. Por otra parte, los puntos georeferenciados que se obtuvieron de las visitas a campo fueron capturados en Excel y exportados en formato DBF al programa ArcView, donde se sobrepusieron a la ortofoto digital con el objetivo de ver donde se proyectaron los puntos y hacer el análisis correspondiente.

Clave de interpretación de cobertura

En la fase de interpretación visual para obtener la cobertura de la vegetación en la ortofoto digital, se realizó un análisis preliminar seleccionando patrones de cobertura sobre las zonas de los rodales en cuadros de 10,000 m², y con base a técnicas de fotointerpretación se estimó la cobertura tomando en cuenta la tonalidad y la textura, definiendo de forma objetiva los criterios (Fig. 6).










Imagen	Valor	% C-FI
	1	20
	2	30
	3	40
	4	50
	5	60
	6	70
	7	80
	8	90
	9	100

Figura 6. Claves de interpretación de la cobertura donde:

% C-FI = Porcentaje de la clave de fotointerpretación.

Mapa de exposiciones

Para la elaboración del este mapa se empleo un Modelo Digital del Terreno(MDT), del área de estudio a escala 1:50,000.

Primero, el MDT fue ejecutado en el programa IDRISI 3.2 que es un sistema de información de tipo raster, donde se ejecuto el modulo de operadores de contexto superficie el cual calcula la pendiente a partir del MDT y asigna a cada píxel un valor de pendiente en relación con el valor de elevación del mismo píxel, para posteriormente obtener un mapa de exposiciones en grados.

Luego se hizo una reclasificación obteniendo 8 clases de exposiciones y en grados y los rangos fueron:

- ✓ 1 Norte (0 – 22.5, 337.5 – 360)
- ✓ 2 Noreste (22.5 – 67.5)
- ✓ 3 Este (67.5 – 112.5)
- ✓ 4 Sureste (112.5 – 157.5)
- ✓ 5 Sur (157.5 – 202.5)
- ✓ 6 Suroeste (202.5 – 247.5)
- ✓ 7 Oeste (247.5 – 292.5)
- ✓ 8 Noroeste (292.5 – 337.5)

- Terminado el mapa de exposiciones esta se transformo a formato vectorial y se exporto al programa ArcView, para hacer los análisis correspondientes.

Parámetros dasométricos

A partir de la información de campo se creó una base de datos para todos los rodales. Los procedimientos de cálculo para obtener los parámetros dasométricos se describen en seguida.

Para el cálculo del área basal se empleó la fórmula:

$$AB = \frac{\pi d^2}{4} = 0.7854 * (d)^2$$

Donde:

AB= Área basal en m²

D= Diámetro normal en metros

Para el cálculo de volumen se utilizaron las tablas de volúmenes ya elaboradas por INIFAP (S.F), para las especies *Pinus rudis* y *Abies vejarii*, y para *Pseudotsuga flahaulti* se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Modelo: Vol} = \text{Exp}(-9.87472826 + 1.87766305 \text{ Log (DN)} + 1.00933229 \text{ Log (HT)})$$

Donde:

DN = Diámetro normal en centímetros

HT = Altura total

Log = Logaritmo natural

Para *Pinus ayacahuite* al no haber una tabla de volumen se utilizó la ecuación de volumen aparente con un coeficiente mórfico de 0.5 :

$$VA = .7854 * (DN)^2 * HT * 0.5$$

Donde:

VA = Volumen aparente

DN = Diámetro normal en metros

HT = Altura total

0.5 = Coeficiente mórfico

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ortofoto digital

En el proceso de las fotografías aéreas se obtuvo como resultado una ortofoto digital, en la cual se realizó los análisis correspondientes (Fig. 7).



Figura 7. Ortofoto digital del área correspondiente al predio "El Pilar".

Rodalización

Como producto de la fotointerpretación de las fotografías aéreas se obtuvo 13 rodales (Fig.8).

El predio esta compuesto principalmente por 4 especies arbóreas dominantes: *Abies vejarii*, *Pinus rudis*, *Pinus ayacahuite* y *Pseudotsuga flahaulti* en diferentes combinaciones, como especie dominante encontramos *Abies vejarii* en 9 rodales el II, III, V, VI, VII-2, VIII, IX-2, X y XI; en el rodal IV y VII-1 *Pinus ayacahuite*; el rodal I *Pinus rudis* y para *Pseudotsuga flahaulti*, el rodal IX-1.

La primer especie asociada es *Pseudotsuga flahaulti*, presente en 4 rodales el I, V, VII-2 y el XI; *Pinus ayacahuite* en el rodal II, III, VI y VIII; *Pinus rudis* presente en los rodalas IX-1, IX-2 y X, y para el caso de *Abies vejarii* en el rodal XI.

La especie que se asocia en tercer grado y que muestra dominancia es *Pinus ayacahuite*, que se encuentra en 6 rodales, el I, VII-2, IX-1, IX-2, X y XI, siguiéndoles *Pseudotsuga flahaulti* que se encuentra en 4 rodales, el III, VI, VII-1 y VIII y en menor rango *Pinus rudis* presente en el rodal II, III y V.

Las especies asociadas en cuarto grado es *Pinus rudis*, encontrándose en 5 rodales el III, VII-1, VII-2, VIII y el IX; *Pseudotsuga flahaulti* se presenta en 4 rodales el II, IV, IX-2 y el X ; *Abies vejarii* en 2 rodales el I y IX-1; en el rodal V *Pinus ayacahuite* y *Populus tremuloides* se presenta en el rodal VI. (Cuadro 1).

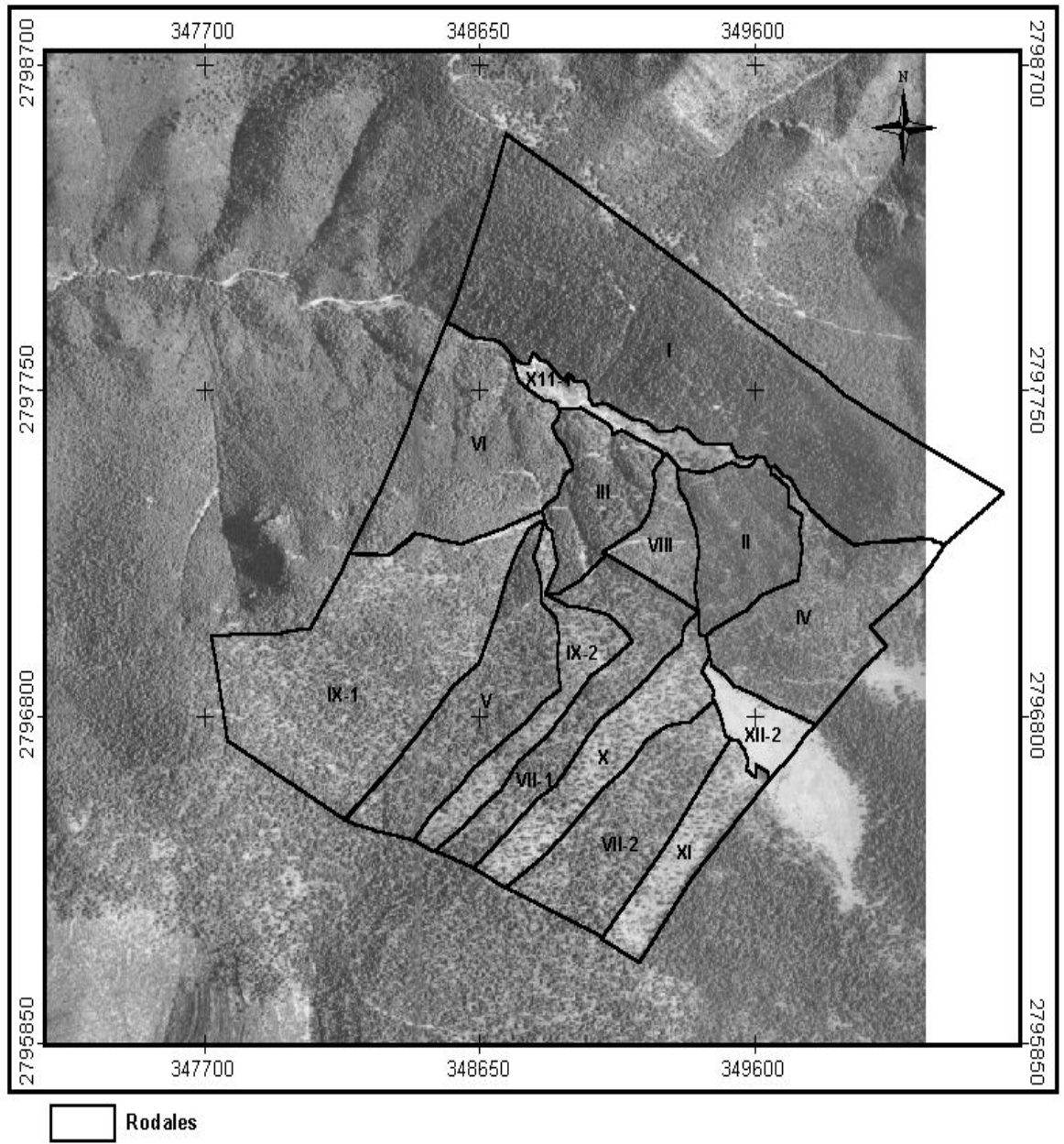


Figura 8. Límites y número de rodales interpretados en la ortofoto.

Cuadro 1. Composición florística.

Composición Florística					
Rodales	Has	Sp-1	Sp-2	Sp-3	Sp-4
I	78.27	Piru	Psfl	Piay	Abve
II	14.58	Abve	Piay	Piru	Psfl
III	13.04	Abve	Piay	Psfl	Piru
IV	24.67	Piay	Abve	Piru	Psfl
V	21.35	Abve	Psfl	Piru	Piay
VI	29.04	Abve	Piay	Psfl	Populus
VII-1	5.47	Piay	Abve	Psfl	Piru
VII-2	20.21	Abve	Psfl	Piay	Piru
VIII	6.73	Abve	Piay	Psfl	Piru
IX	49.13	Psfl	Piru	Piay	Abve
IX-2	11.5	Abve	Piru	Piay	Psfl
X	14.76	Abve	Piru	Piay	Psfl
XI	10.35	Abve	Psfl	Piay	Piru
XII-1	5.93	Pastizal			
XII-2	5.47	Pastizal			

Donde:

Piru = *Pinus rudis*

Piay = *Pinus ayacahuite*

Abve = *Abies vejarii*

Psfl = *Pseudotsuga flahaulti*

Ssp-1= Especie dominante

Ssp-2,...4= Ssp y grado de asociación

Coberturas

De los rodales analizados se obtuvo una clave de fotointerpretación, la cual refleja las coberturas del área de estudio, el cual se presenta con el área basal m^2 por hectárea y su valor relativo. Cuadro 2 y el la figura 18 se muestra el mapa de coberturas con su valor relativo por rodal y los puntos de muestreo.

Los rodales I y II se tiene una cobertura del 100%, en donde *Pinus rudis* ocupa 13.2 m^2 de área basal, 5.97 m^2 para *Pseudotsuga flahaulti*, 5.635 m^2 para *Pinus ayacahuite* y *Abies vejarii* con 2.221 m^2 de área basal por hectárea. Para el rodal I y en el rodal II *Abies vejarii* ocupa 10.29 m^2 , *Pinus ayacahuite* 6.079 m^2 , *Pinus rudis* con 0.524 m^2 y *Pseudotsuga flahaulti* con 0.428 m^2 de AB/ha. La Figura 9 muestra el porcentaje para cada rodal y especie correspondiente.

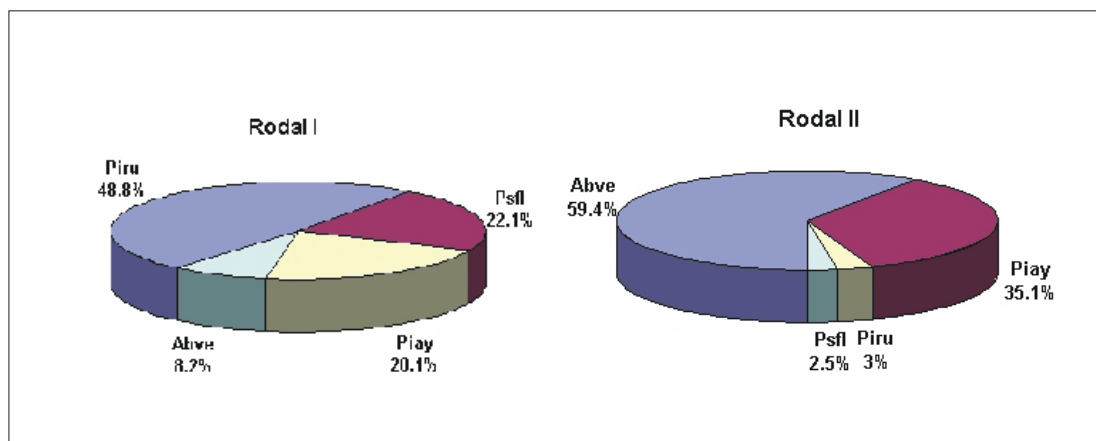


Figura 9. Porcentaje de área basal.

La clave de fotointerpretación para estos rodales fue del 100%, respecto al área basal del rodal II, la cobertura de AB es menor debido a que *Abies vejarii* es la especie dominante y presenta un diámetro promedio de 25.8 cm. menor que *Pinus ayacahuite* pero con una densidad mayor que este.

Para los rodales III y V tienen una cobertura del 90%, ocupando 9.494 m² de área basal *Pinus ayacahuite*, 6.942 m² para *Abies vejarii*, 2.549 m² para *Pseudotsuga flahaulti* y para *Pinus rudis*, 1.075 m² de AB/ha; en el rodal V, *Pseudotsuga flahaulti* ocupa 6.588 m², 5.076 m² para *Abies vejarii*, *Pinus rudis* 4.652 m² y *Pinus ayacahuite* con 3.87 m² /ha. El porcentaje se representa en la figura 10.

En el caso de estos dos rodales presentan una cobertura de área basal similar y la diferencia son los individuos ya que para el rodal III, se tiene 300 individuos/ha y 200 para el rodal V, pero con un diámetro mayor que el III.

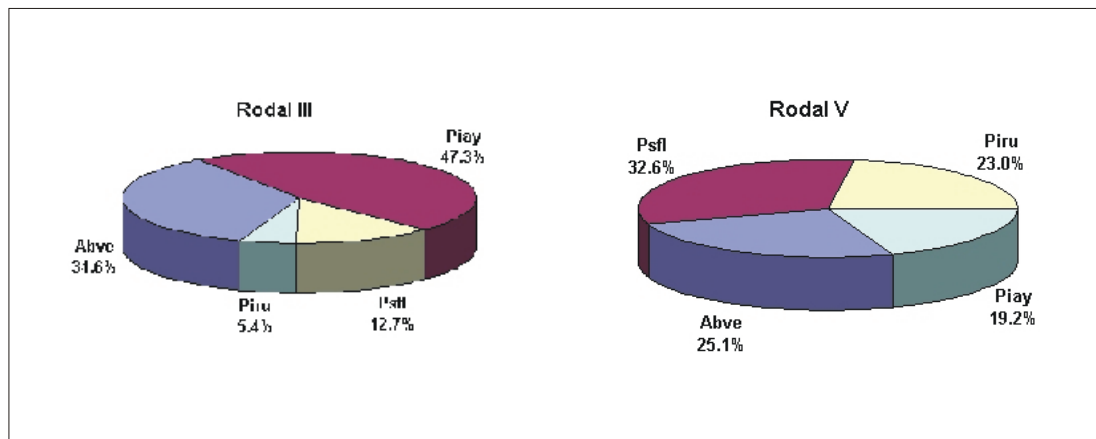


Figura 10. Porcentaje de área basal.

El rodal VI presentó 80% de cobertura, donde *Pinus ayacahuite* ocupa un área basal por hectárea de 20.8 m², seguido por *Abies vejarii* con 3.663 m² y *Pseudotsuga flahaulti* con 0.241 m². La figura 11 nos muestra el porcentaje del rodal y por especie.

En este rodal se tiene una densidad de 360 individuos por hectárea, pero con un diámetro promedio de 24.5 cm. lo cual refleja que la cobertura en AB/ha sea menor.

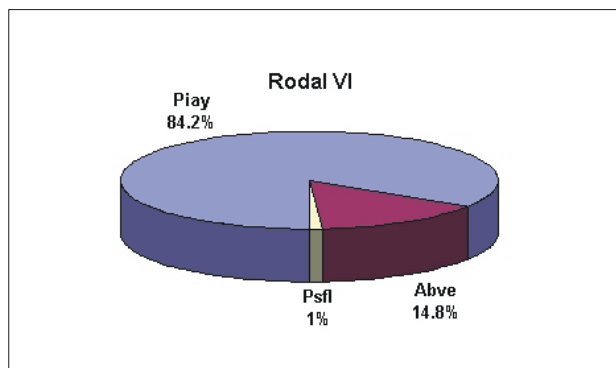


Figura 11. Porcentaje de área basal.

El 70% de cobertura corresponde al rodal IV, donde *Pinus ayacahuite* ocupa 13.78 m² de AB/ha, *Abies vejarii* con 1.936 m² y *Pseudotsuga flahaulti* con 0.928 m² de AB/ha. (Fig. 12).

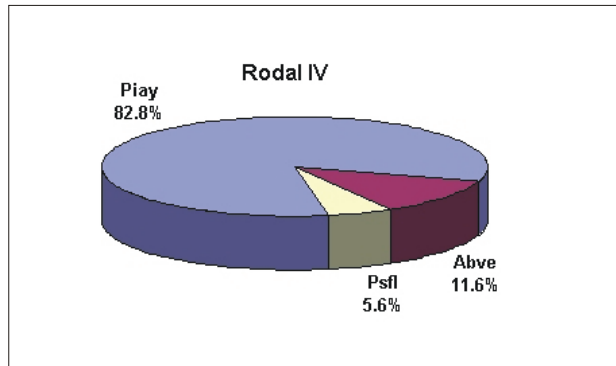


Figura 12. Porcentaje de área basal.

En el caso de los rodales VII-1 y VII-2, presentan una cobertura del 60%, en donde 11.81 m²/ha corresponde a *Pinus ayacahuite*; 1.659 m² para *Abies vejarii* y para *Pseudotsuga flahaulti* 0.795 m² de AB/ha para el rodal VII-1; para el VII-2 *Abies vejarii* con 3.723 m² y *Pseudotsuga flahaulti* representado por 0.619 m² de AB/ha respectivamente. En la figura 13 se representa el porcentaje para cada especie.

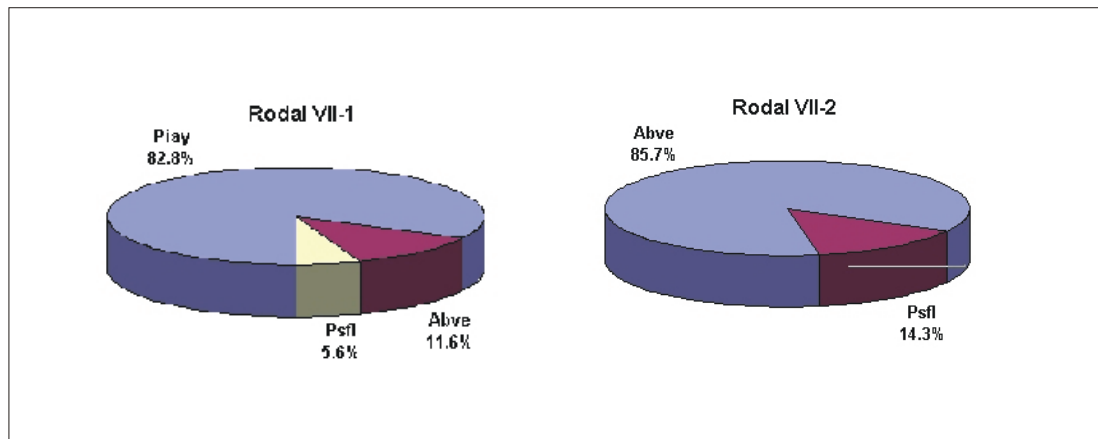


Figura 13. Porcentaje de área basal.

La cobertura de AB/ha para estos rodales es marcada porque *Pinus ayacahuite* se dispara con 11.81 m²/ha y en el rodal VII-2 esta especie no se presento, pero en densidad para ambos rodales es casi similar.

En el rodal VIII la cobertura es del 50%, donde *Pinus ayacahuite* ocupa 5.275 m² de AB/ha, seguido de *Abies vejarii* con 3.856 m², *Pseudotsuga flahaulti* con 1.416 m² y para *Pinus rudis* 0.597 m² de AB/ha (Fig. 14).

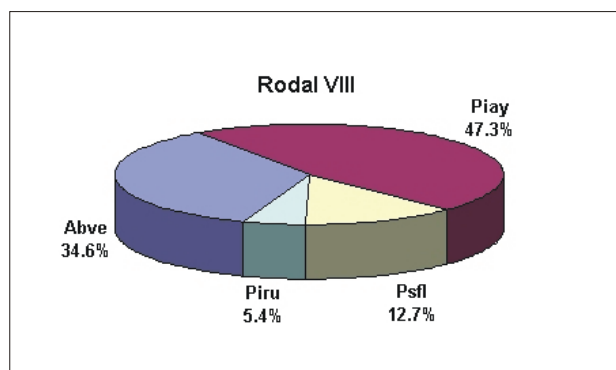


Figura 14. Porcentaje de área basal.

El 40% de la cobertura está representada en los rodales IX-1 y IX-2, donde 6.554 m² de AB/ha es para *Pinus rudis*, seguido por *Pseudotsuga flahaulti* con 6.265 m², 5.38 m² correspondiente a *Pinus ayacahuite* y *Abies vejarii* con 0.907 m² de AB/ha, para el rodal IX-1 y para el rodal IX-2, con 4.08 m² corresponde a *Abies vejarii*, 1.711 m² para *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* con 1.257 m² de AB/ha. El porcentaje se representa en la Fig. 15.

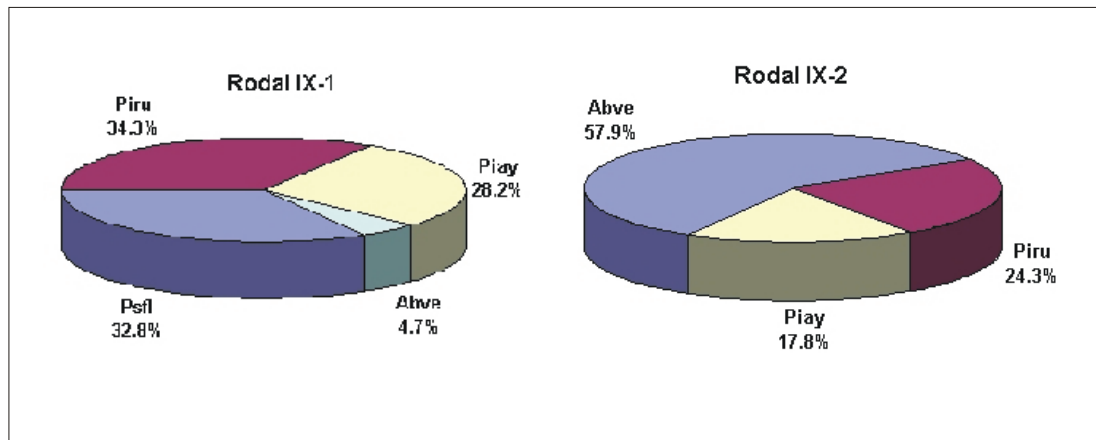


Figura 15. Porcentaje de área basal.

El rodal IX-2 presentó una cobertura de AB/ha menor que el IX-1, debido a que no se presentó *Pseudotsuga flahaultii* y también por el diámetro normal promedio que es menor.

Para el rodal X la cobertura es del 30%, ocupando 5.306 m² *Abies vejarii*, 1.51 m² para *Pinus rudis* y *Pinus ayacahuite* con 0.693 m² de AB/ha (Fig. 16).

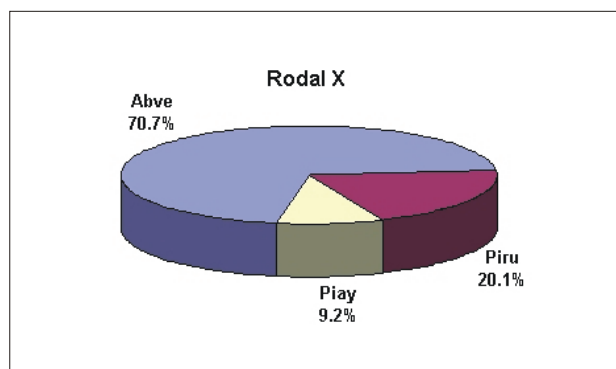


Figura 16. Porcentaje de área basal.

Y para el rodal XI el cual ocupa el 20% de cobertura esta representado por *Abies vejarii* con 1.241 m² y *Pseudotsuga flahaulti* con 0.206 m² de AB/ha respectivamente. En la figura 17 su porcentaje.

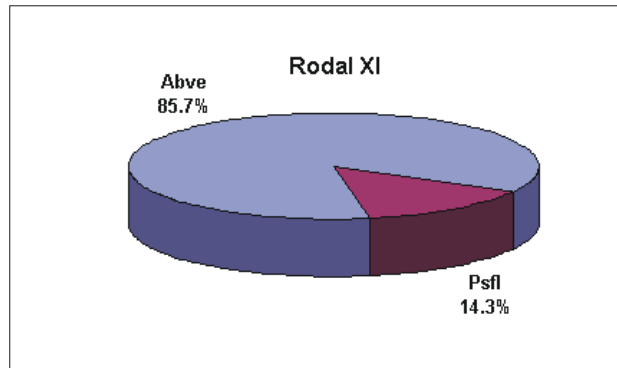


Figura 17. Porcentaje de área basal.

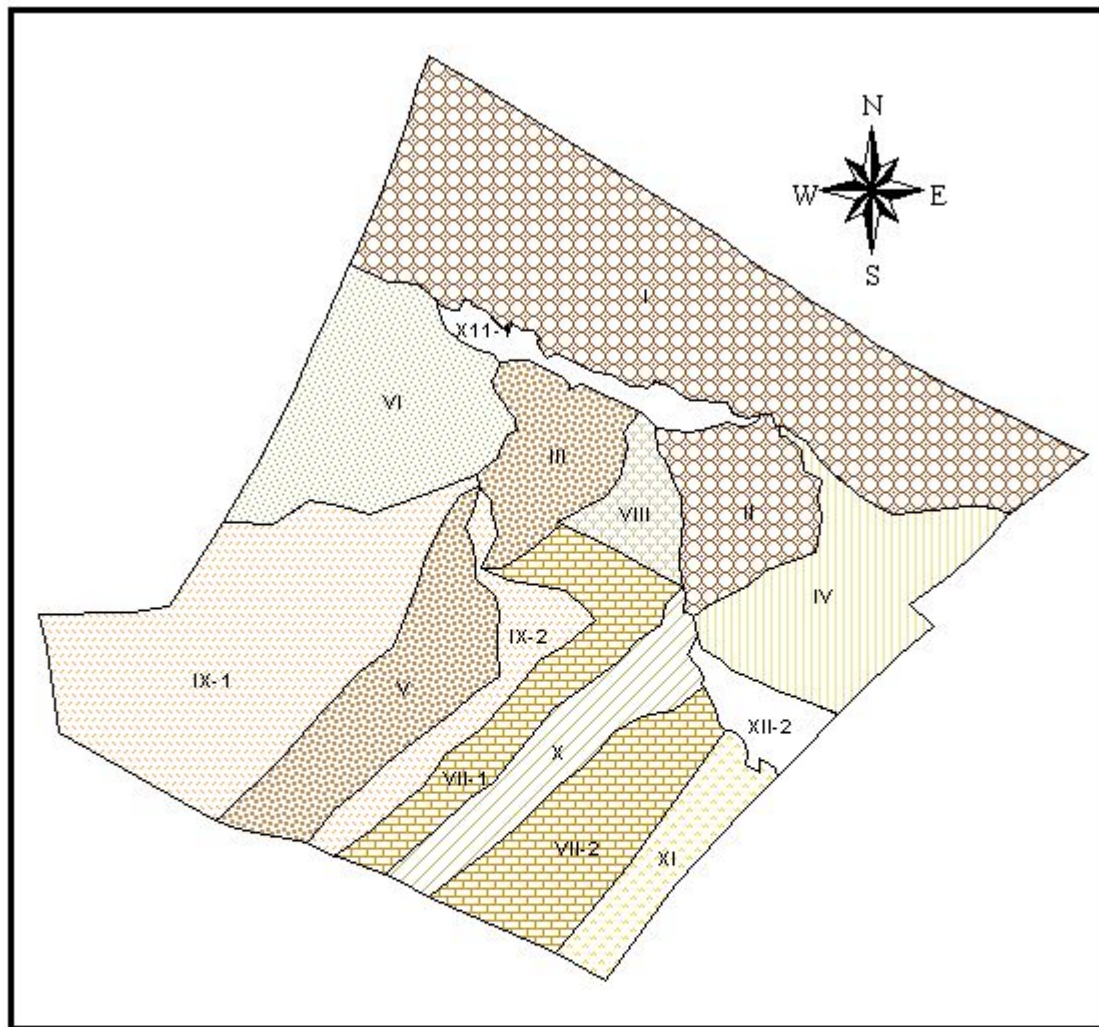
En los rodales IX-2, X y XI se obtuvo una cobertura menor porque se han realizado aprovechamientos y aplicado tratamientos con diferentes intensidades de corta, esto explica el porque no muestra una cobertura similar a las demás.

Para los rodales en los que no se levantó información (IV, VIII y IX), se extrapoló conforme el grado de cobertura de fotointerpretación de los rodales que tienen la misma cobertura así como su composición florística que presenta.

Cuadro 2. Coberturas de área basal.

Rodal	Sp	AB/ha	% C-FI	Rodal	Sp	AB/ha	% C-FI
I	Piru	13.2	100	VII-1	Piay	11.81	60
	Psfl	5.97			Abve	1.659	
	Piay	5.635			Psfl	0.795	
	Abve	2.221		VII-2	Abve	3.723	60
II	Abve	10.29	100		Psfl	0.619	
	Piay	6.079		VIII	Abve	3.856	50
	Piru	0.524			Piay	5.275	
	Psfl	0.428			Psfl	1.416	
III	Abve	6.942	90		Piru	0.597	
	Piay	9.494		IX-1	Psfl	6.265	40
	Psfl	2.549			Piru	6.554	
	Piru	1.075			Piay	5.38	
IV	Piay	13.78	70		Abve	0.907	
	Abve	1.936		IX-2	Abve	4.08	40
	Psfl	0.928			Piru	1.711	
V	Abve	5.076	90		Piay	1.257	
	Psfl	6.588		X	Abve	5.306	30
	Piru	4.652			Piru	1.51	
	Piay	3.87			Piay	0.693	
VI	Piay	20.8	80	XI	Abve	1.241	20
	Abve	3.663			Psfl	0.206	
	Psfl	0.241					

Con la cobertura obtenida mediante la clave de fotointerpretación, se elaboró un mapa donde se muestra el porcentaje de cobertura. Fig. 18 porcentaje de coberturas por rodales.



SIMBOLOGIA

Coberturas por rodal











	0 % XII-1 y XII-2		60% VII-1 y VII-2
	20 % XI		70% IV
	30% X		80% VI
	40% IX-1 y IX-2		90% III y V
	50% VIII		100% I y II

Figura 18. Porcentajes de coberturas por rodales. (Elaboración propia basados en datos de campo y fotointerpretación).

Productividad

Considerando los resultados obtenidos de Morales (2003), en la cual realizó una caracterización dasométrica y de productividad del mismo del mismo predio “El Pilar”. Se elaboró un mapa de índice de sitio (IS) para cada especie y rodal interpretado. (Fig. 19).

Como se menciona en la discusión el rodal VI *Abies vejarii* presenta un índice de sitio alto (I), debido en gran medida a que la especie se presenta en gran parte en una exposición norte. Se realizó un análisis espacial considerando las 8 exposiciones, encontrando que *Abies vejarii* se distribuye a mayor rango en exposiciones norte y noroeste, en los rodales II, III, V, VI y IX-2 y los puntos de muestreo 1, 4, 6, 7, 10, 13, 14 y 16. Con este resultado se puede afirmar con mayor certeza que *Abies vejarii* tiene un IS alto por las condiciones ambientales, como suelos con mayor humedad y menor intensidad lumínica. En el caso de *Pinus ayacahuite* mostró las mismas condiciones encontrándose en exposiciones norte y noreste pero con IS medio (II) (Fig.20).

Pseudotsuga flahaulti presentó un IS alto en el rodal I, con puntos de muestreo 17 y 18 y una exposición Suroeste lo cual indica que esta especie tiene menores requerimientos de humedad y mayores en intensidad luminosa. Y para *Pinus rudis* con un IS medio en los rodales I y IX-1, con puntos de muestreo 11, 12, 17 y 18, se encontró una distribución en exposiciones como la suroeste y la noreste, demostrando que se desarrollan mejor en suelos con menor humedad (Fig.20).

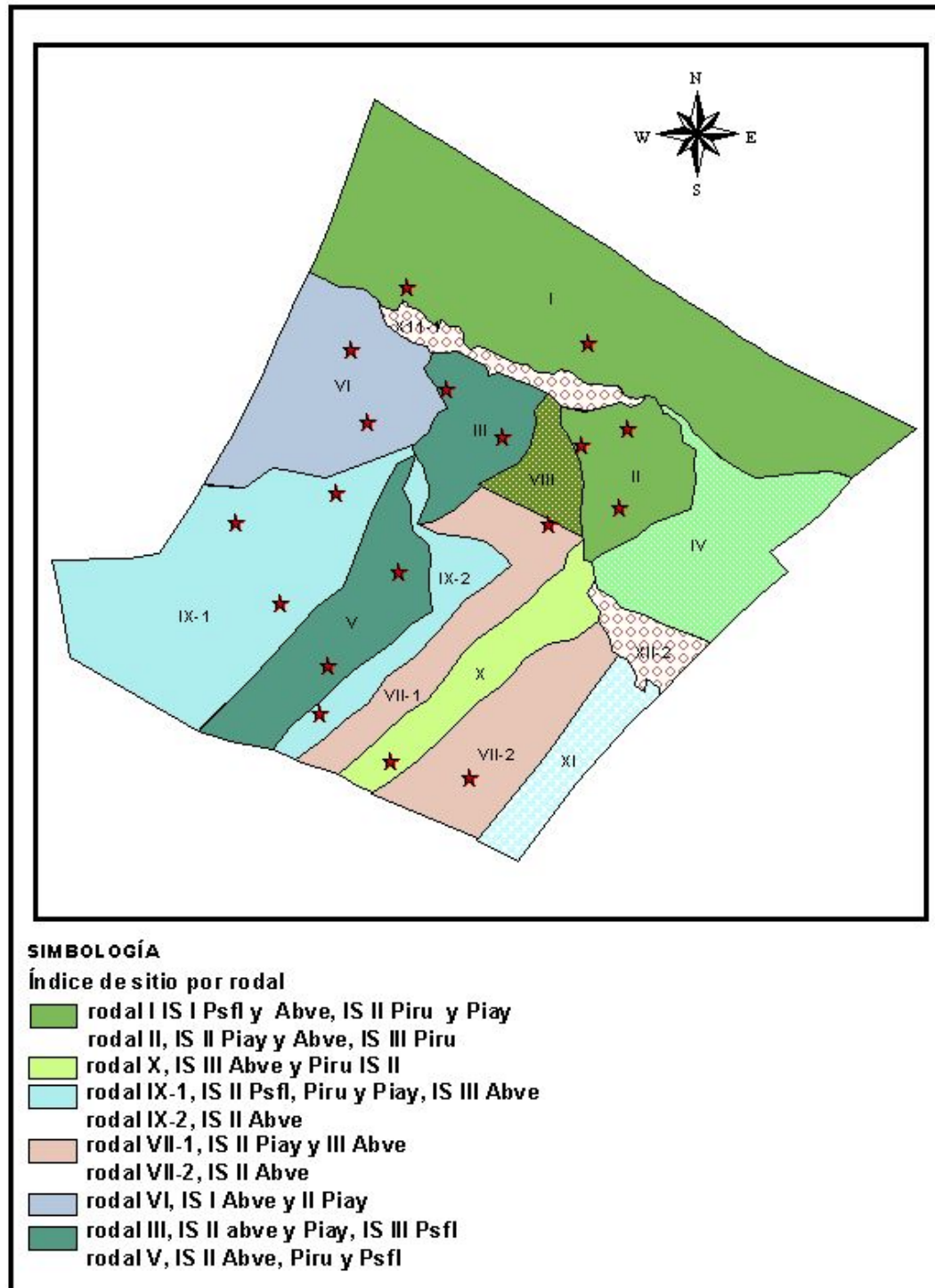


Figura 19. Mapa de índice de sitio por rodal. (Elaboración propia con datos de Morales(2003)).

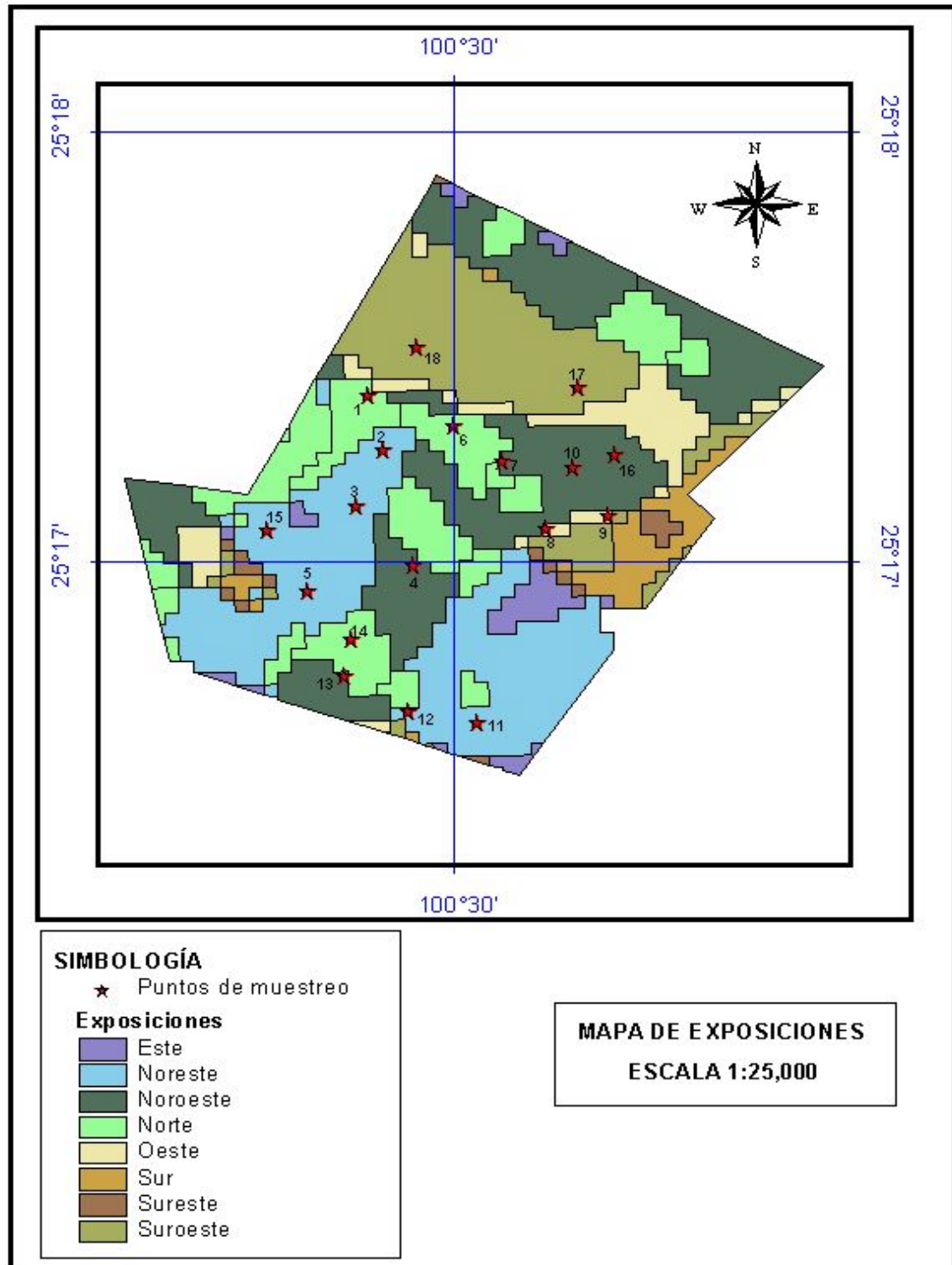


Figura 21. Mapa de exposiciones y puntos de muestreo. (Elaboración propia basada en datos del INEGI, proporcionada por el Instituto Coahuilense de Ecología).

Volumen

Se estimó el volumen por hectárea y por especie para cada rodal así como su valor en por ciento; también los promedios de individuos por hectáreas, el diámetro normal (cm) y la altura total (m).

El rodal que presenta mayor volumen es el I, el cual arroja un valor alto de 229.0669 m³ por hectárea con una densidad de 360 individuos/ha y un diámetro normal promedio de 26.5 a 32.5 para las cuatro especies.

Para el rodal V y VI presentan un volumen similar pero con diferencias en la densidad ya que para el rodal V se tiene una densidad de 200 individuos/ha y para el rodal VI 360 individuos/ha, siendo la especie dominante para los dos rodales *Abies vejarii*.

El rodal IV presenta 119.379 m³ con 162 individuos/ha y el VII-1 un volumen de 102.6846 m³ con una densidad de 140 individuos/ha y donde la especie dominante es *Pinus ayacahuite* para ambos rodales.

Los rodales II, III y IX-1 presentan valores similares en densidad y volumen, en la cual la especie dominante para los dos primeros rodales es *Abies vejarii* y para el tercer rodal es *Pseudotsuga flahaulti* (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Volumen por hectárea y en porcentaje.

Rodal	Sp	Ind/ha	Dn/sp cm	AIT/sp m	Vol/ha m ³	% Vol/ha
I	Piru	140	32.5	17.1	119.8661	52.3
	Psfl	90	28.5	17.4	46.1212	20.1
	Piay	90	26.5	14.6	44.13	19.3
	Abve	30	30.2	17.7	18.9496	8.3
Total		350			229.0669	
II	Abve	166	25.8	15.7	83.8754	62.4
	Piay	113	24.1	13.5	44.127	32.8
	Piru	13	22	10.5	3.90213	2.9
	Psfl	13	20	12	2.4907	1.9
Total		305			134.3952	
III	Abve	130	30.4	15.2	49.0332	36.3
	Piay	130	29	11.3	60.7912	45.1
	Psfl	30	30.8	13.7	16.8565	12.5
	Piru	10	37	14	8.212	6.1
Total		300			134.8929	
IV	Piay	116			101.2716	84.8
	Abve	23			17.9312	15
	Psfl	23			0.1759	0.1
Total		162			119.3787	
V	Abve	60	32.2	15.5	37.4404	22.6
	Psfl	50	33.3	14.6	54.4274	32.8
	Piru	50	39.2	17.2	42.1445	25.4
	Piay	40	29.1	13.8	31.7299	19.1
Total		200			165.7422	
VI	Piay	260	24.5	12.5	132.7332	82
	Abve	90	18.6	15.8	28.3761	17.5
	Psfl	10	19.4	7	0.7915	0.5
Total		360			161.9008	

Cuadro 4. Volumen por hectárea y en porcentaje.

Rodal	Sp	Ind/ha	Dn/sp cm	AIT/sp m	Vol/ha m ³	% Vol/ha
VII-1	Piay	100	38.6	14.6	86.8042	84.5
	Abve	20	32.5	15	15.3696	15
	Psfl	20	22.5	14	0.5108	0.5
Total		140			102.6846	
VII-2	Abve	80	24	13.2	19.6132	90.9
	Psfl	20	14	6.5	1.9606	9.1
Total		100			21.5738	
VIII	Abve	72			27.2406	36.3
	Piay	72			33.7729	45.1
	Psfl	17			9.3647	12.5
	Piru	6			4.5628	6.1
Total		167			74.941	
IX-1	Psfl	160	22.8	12.9	39.248	28.6
	Piru	73	31.4	15.7	53.6835	39.1
	Piay	60	30.4	12.9	38.1287	27.8
	Abve	13	29.2	14.5	6.2018	4.5
Total		306			137.262	
IX-2	Abve	80	24.7	14.5	32.4254	57.8
	Piru	20	33	17	16.7576	29.9
	Piay	40	20	11	6.9116	12.3
Total		140			56.0946	
X	Abve	80	25.6	15.6	45.0718	68.7
	Piru	20	31	17	14.9688	22.8
	Piay	20	21	16	5.5418	8.5
Total		120			65.5824	
XI	Abve	27			6.5377	90.9
	Psfl	7			0.6535	9.1
Total		34			7.1912	

Considerando la superficie de los rodales se estimo el volumen así como las existencias reales de cada rodal (Cuadro 5).

Cuadro 5. Existencias reales por rodal.

Rodal	Superficie Ha	Sp	Volumen (m ³ /rodal)	Rodal	Superficie Ha	Sp	Volumen (m ³ /rodal)
I	78.27	Piru	9381.92	VII-1	5.47	Piay	474.819
		Psfl	3609.906			Abve	84.0717
		Piay	3454.055			Psfl	2.7941
		Abve	1483.185			Total	561.6848
Total			17929.07	VII-2	20.21	Abve	396.3828
II	14.58	Abve	1222.903	VIII	6.73	Piay	227.2916
		Piay	643.3717			Psfl	63.0244
		Piru	56.8799			Piru	30.7076
		Psfl	36.3144			Total	504.3529
Total			1959.469	IX-1	49.13	Psfl	1928.254
III	13.04	Abve	473.352			Piru	2637.47
		Piay	792.7172			Piay	1873.263
		Psfl	219.8088			Abve	304.6944
		Piru	108.3885	Total	6743.682		
Total			1594.267	IX-2	11.5	Abve	372.8921
IV	24.67	Piay	2498.37			Piru	192.7124
		Abve	442.3627			Piay	141.45
		Psfl	4.3395			Total	707.0545
		Total			2945.073	X	14.76
V	21.35	Abve	799.3525	Piru	220.9395		
		Psfl	1162.025	Piay	81.797		
		Piru	899.7851	Total	967.9963		
		Piay	677.4334	Total	3538.596		
VI	29.04	Piay	3854.572	XI	10.35	Abve	67.6652
		Abve	824.0419			Psfl	6.7637
		Psfl	22.9852			Total	74.4289
		Total					4701.599

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

- La ortofoto digital es una herramienta de gran utilidad en el manejo de los recursos naturales, ya que a diferencia de las fotografías aéreas, la ortofoto nos permite ubicar de manera exacta la información y realizar los análisis correspondientes.
- El uso de la ortofoto digital permite apreciar con más detalle la información desplegada en pantalla de la computadora, esta permite tener más criterios para realizar la rodalización y estimación de la cobertura. Los resultados obtenidos no requieren de restitución y pueden ser usadas directamente como parte de la base de datos geográficos.
- Con la obtención del mapa de exposiciones se demuestra que los SIG nos facilita el estudio y mejor conocimiento de los recursos ya que es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

- En la integración de todos los parámetros del bosque en la base de datos geográficos permite cuantificar las existencias reales del predio y ubicarlos espacialmente.

VII. LITERATURA CITADA

Arteaga M., B. 1988. Factores del sitio que influyen en la productividad de *Pinus patula* Schl. et cham. en la región Chignahuapan-Zacatlan, Puebla. Agrociencia. No. 72. 121-131pp.

Bosque S., J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. E. RIALP, S.A. España. 441 p.

Bosque, S. J., F.J. Escobar, E. García y M.J. Salado. 1994. Sistemas de Información Geográfica: Práctica con PC Arc-Info e Idrisi. RA-MA Editorial. España. 480 p.

CETENAL. 1975. Carta Topográfica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1976. Carta Geológica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SPP. México.

CETENAL. 1977. Carta Edafológica G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SPP. México.

Colín O.,S. 2000. Identificación de factores ambientales que determinan la distribución del *Pinus durangensis* Mtz. en la región Tarahumara de Chihuahua, utilizando un sistema de información geográfica. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 84 p.

Cruz Jarquin., S. D. 2001. Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus engelmannii* Carr. en Sierra Tarahumara, Chihuahua, utilizando sistemas de información geográfica. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 57 p.

Daniel, T. W., J. H. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Ed. McGraw-Hill. México. 493 p.

DETENAL. 1979. Carta Uso de Suelo G14C35. San Antonio de las Alazanas, Escala 1:50,000. SSP. México.

de la Fuente E., A. 1985. Determinación de la calidad de estación para *Pinus rudis* Endl. en la región "La cumbre", Oaxaca. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 60 p.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1991. Introduction to Arc/Info.

García V., J. J. 1998. Evaluación de la diversidad del paisaje, utilizando un Sistema de Información Geográfica, para la Sierra de Zapalinamé, Coahuila. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 75 p.

González L., H. D. 1997. Calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. México. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 92 p.

INEGI. 2001. Normas técnicas para la elaboración de ortofotos digitales. <http://www.inegi.gob.mx/territorio/espanol/normatividad/ortofotos/ntecnicas.html#m1>

López V., E. 2001. Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus arizonica* Engelm. en la región Tarahumara, Chihuahua, utilizando sistemas de información geográfica. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 66 p.

Mendoza H., J. M. 1983. Diagnostico climático para la zona de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 616 p.

Meza S., R. 1995. Los sistemas de información geográfica en la administración de los recursos naturales: recomendaciones de las experiencias del INIFAP. Ciencia Forestal. 20 (17): 93-109

Morales, M. E. 2003. Caracterización dasométrica y de productividad de los bosques del predio El Pilar, Municipio de Arteaga, Coahuila, México. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

Miller, T. G, Jr. 1992. Ecología y medio ambiente. Ed. Iberoamericana. 867 p.

Muñoz R., C. A y E. J. Treviño G. (2000). Evaluación de combustibles forestales a través de índices de vegetación y ortofotos, aplicación en computadora personal.

Prodan, M., R. Peters., F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. IICA editor. San José, Costa Rica. 586 p.

Ramírez M., J. C. 1998. Un sistema de información geográfica para la identificación de los determinantes de la vegetación y usos del suelo en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 82 p.

Sanabria C., M del R.(2000). Los sistemas de información geográfica en el conocimiento, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. SIGSA. Seminario-taller, los sistemas de información geográfica en los recursos naturales renovables. Noviembre 23 y 24 de 2000. México.

Silva M., C. 1978. Unidades de suelo (interpretadas para su uso en ingeniería civil y aprovechadas por el campesino en usos agropecuarios). Ed. Continental. México. 62 p.

Soria, R. J., C. A. Ortiz S., F. Islas G. y V. Volke H. 1998. Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales, experiencias en México. 1ª ed. Publicación especial 7. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo(S.M.C.S.). Chapingo, México. 93p.

Spurr S., H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT Editor. México. 690 p.

SPP. 1981. Carta Hidrográfica de aguas superficiales G14-7. Monterrey, escala 1:250,000. SPP. México.

Treviño G., E. J. 1999. Estratificación de la información en el procesamiento de digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 44: 54-63.

Trinidad H., A. y C.,A. Ortiz S. 1988. Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género *Pinus* en México. Agrociencia No.72. 129-143pp.

Vázquez M., F. J. 1996. Programa de manejo forestal de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila, México. (com. Pers).

Welch, R., A. and Jordan, T. R. 1996. Digital ortophoto production in the desktop environment. GIM Magazine. Vol. 10. No. 7.

Zarate L., A. 1997. Introducción al uso y manejo de los sistemas de información geográfica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila. México. 146p.

