

# INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



VARIABILIDAD DE LAS RESPUESTAS ESPECTRALES  
DE ACUERDO A LOS CAMBIOS FENOLOGICOS  
DE LA VEGETACION DEL ANTICLINORIO DE  
ARTEAGA, COAHUILA Y NUEVO LEON, MEXICO

## TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

MARIA DEL CONSUELO HORI OCHOA

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1998

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**VARIABILIDAD DE LAS RESPUESTAS ESPECTRALES  
DE ACUERDO A LOS CAMBIOS FENOLOGICOS  
DE LA VEGETACION DEL ANTICLINORIO DE  
ARTEAGA, COAHUILA Y NUEVO LEON, MEXICO**

## **T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**PRESENTA  
MARIA DEL CONSUELO HORI OCHOA**

**MONTERREY, N. L.**

**DICIEMBRE DE 1998**

**INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**VARIABILIDAD DE LAS RESPUESTAS ESPECTRALES DE ACUERDO  
A LOS CAMBIOS FENOLOGICOS DE LA VEGETACION DEL  
ANTICLINORIO DE ARTEAGA, COAHUILA Y NUEVO LEON, MEXICO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**MARIA DEL CONSUELO HORI OCHOA**

**MONTERREY, N.L.**

**DICIEMBRE DE 1998**

## AGRADECIMIENTOS

A Carlos, por las experiencias que compartimos durante mis estudios de maestría y que fueron parte de mi aprendizaje.

A mis padres, por que siempre han estado a mi lado, apoyando mis planes, compartiendo mis logros y motivándome a superarme día a día.

A mis hermanos, por el cariño y la confianza que siempre han depositado en mí.

A mi asesor, el Dr. Fabián Lozano García por el apoyo y la asesoría que me brindó durante todo el proceso de realización de este proyecto.

A mis sinodales, el Dr. Ernesto Enkerlin Hoeflich, la Dra. Rosa María López Franco, el Biólogo Gerónimo Cano Cano y el Biólogo Vicente Valdez Tamez por sus valiosos comentarios, los cuales enriquecieron este documento.

Al M.C. Rubén Marroquín por compartir conmigo sus conocimientos sobre vegetación y por la ayuda que me brindó durante la realización del trabajo en campo.

A Nora Cuevas, Claudia Lara, Claudia Macías, Eréndira Murillo y Gabriela Ortiz por su valiosa amistad y apoyo siempre incondicional.

A mis compañeros del Laboratorio de Sistemas de Información Georreferenciada, Jorge Brenner, Bertha Navarro, Julie Noriega, Nora Reyna, Santiago Salazar y Patricia Vela por su ayuda, consejos y optimismo.

A todas las personas y/o Instituciones que hicieron posible la culminación de mis estudios de maestría.

# INDICE GENERAL

Lista de figuras .....	III
Lista de tablas .....	IV
RESUMEN .....	V
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	
1.1 La Sierra de Arteaga .....	
1.2 Fenologías .....	1
1.3 Sensores Remotos .....	2
1.3.1 Tipos de sensores remotos .....	2
1.3.2 Resolución de los sensores remotos .....	2
1.3.3 Imágenes multiespectrales Landsat-TM y SPOT .....	3
1.4 Fenología y sensores remotos .....	4
1.4.1 Características de la vegetación en el espectro electromagnético ...	5
1.5 Antecedentes .....	5
1.5.1 Estudios sobre vegetación .....	7
1.5.2 Estudios sobre vegetación empleando sensores remotos .....	7
1.5.2.1 Estudios a nivel regional .....	8
1.5.3 Descripción de las comunidades vegetales .....	10
1.6 Objetivo .....	10
1.6.1 Objetivos específicos .....	17
.....	17
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....	
2.1 Descripción del área de estudio .....	19
2.1.1 Fisiografía .....	19
2.1.2 Geología .....	19
2.1.3 Climatología .....	21
2.1.4 Hidrología .....	21
2.1.5 Vegetación .....	21
2.2 Imágenes multiespectrales .....	22
2.2.1 Características de las imágenes multiespectrales .....	22
2.3 Trabajo de campo .....	26
2.4 Procesamiento de datos espectrales .....	27
2.4.1 Corrección geométrica de las imágenes .....	30
2.4.1.1 Establecimiento de puntos de control .....	30
2.4.1.2 Cálculo de las funciones de transformación .....	30
2.4.1.3 Métodos de remuestreo .....	31
2.5 Clasificación de las imágenes .....	32
2.5.1 Método supervisado .....	32
2.5.2 Método no supervisado .....	32
2.5.3 Análisis de las estadísticas de entrenamiento .....	33
2.5.4 Asignación de clases .....	34
2.5.5 Recodificación de la clasificación .....	36
2.5.6 Evaluación de la clasificación .....	36
2.6 Generación de imágenes multitemporales .....	37
2.7 Conversión de números digitales a valores de radianza .....	38
2.8 Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) .....	42
2.9 Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de la precisión .....	42
2.9.1 Análisis de Varianza (ANOVA) .....	43
2.9.2 Mínima Diferencia Significativa (MDS) .....	44

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
3.1 Trabajo de campo .....	45
3.2 Conversión a valores de radianza .....	47
3.3 Clasificación de las imágenes individuales .....	52
3.4 Clasificación de las imágenes multitemporales .....	60
3.5 Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de la precisión .....	68
3.6 Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI) .....	71
3.7 Relación Cobertura-Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación .....	75
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES .....	88
CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES .....	89
REFERENCIAS .....	90
APENDICE A .....	94
APENDICE B .....	125
VITA .....	136

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Respuesta espectral característica de la vegetación vigorosa	6
Figura 2.	Límites del área de estudio	20
Figura 3.	Imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993	23
Figura 4.	Imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	24
Figura 5.	Imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994	25
Figura 6.	Puntos de muestreo	28
Figura 7.	Zonas utilizadas para la clasificación no supervisada de las imágenes individuales	35
Figura 8.	Diferencia en las condiciones de la vegetación en dos fechas diferentes en una misma zona	39
Figura 9.	Zonas utilizadas para la clasificación no supervisada de las imágenes multitemporales	41
Figura 10.	Valores de Radianza de un cuerpo de agua	48
Figura 11.	Valores de Radianza de suelos desnudos	48
Figura 12.	Valores de Radianza de Bosque de pino	49
Figura 13.	Valores de Radianza de Bosque de encino	49
Figura 14.	Valores de Radianza de Matorral submontano	50
Figura 15.	Valores de Radianza de Matorral desértico rosetófilo	50
Figura 16.	Valores de Radianza de Bosque de pino piñonero	51
Figura 17.	Valores de Radianza de Matorral submontano	51
Figura 18.	Clasificación de la imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993	54
Figura 19.	Clasificación de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	56
Figura 20.	Clasificación de la imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994	58
Figura 21.	Clasificación de la imagen multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de la imagen Landsat de abril y la imagen SPOT	62
Figura 22.	Clasificación de la imagen multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de las imágenes Landsat-TM de abril de 1993 y enero de 1994	64
Figura 23.	Comparación de la precisión entre clasificaciones	67
Figura 24.	Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación de la imagen Landsat del 9 de abril de 1993	72
Figura 25.	Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	73
Figura 26.	Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación de la imagen Landsat del 6 de enero de 1994	74
Figura 27.	Relación de cobertura-NDVI en la imagen del 9 de abril de 1993	76
Figura 28.	Relación de cobertura-NDVI en la imagen del 17 de octubre de 1993	76
Figura 29.	Relación de cobertura-NDVI en la imagen del 6 de enero de 1994	77
Figura 30.	Efecto multicapa de la presencia de hojas en la respuesta de la vegetación	78
Figura 31.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Agua Blanca"	82
Figura 32.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Allende"	82
Figura 33.	Diagrama ombrotérmico de la estación "La Boca"	83
Figura 34.	Diagrama ombrotérmico de la estación "La Cruz"	83
Figura 35.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Rayones"	84
Figura 36.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Laguna de Sánchez"	84
Figura 37.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Monterrey-CNA"	85
Figura 38.	Diagrama ombrotérmico de la estación "La Huasteca"	85
Figura 39.	Diagrama ombrotérmico de la estación "San José Boquillas"	86
Figura 40.	Diagrama ombrotérmico de la estación "Santa Catarina"	86
Figura 41.	Diagrama ombrotérmico de la estación "El Pajonal"	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Datos técnicos de la imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993	26
Tabla 2.	Datos técnicos de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	26
Tabla 3.	Datos técnicos de la imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994	27
Tabla 4.	Análisis de Separabilidad	40
Tabla 5.	Valores de cobertura de diferentes comunidades vegetales del área de estudio	46
Tabla 6.	Reporte del análisis de precisión de la imagen Landsat del 9 de abril de 1993	55
Tabla 7.	Reporte del análisis de precisión de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	57
Tabla 8.	Reporte del análisis de precisión de la imagen Landsat del 6 de enero de 1994	59
Tabla 9.	Reporte del análisis de precisión de la imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat del 9 de abril y SPOT del 17 de octubre de 1993	63
Tabla 10.	Reporte del análisis de precisión de la imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat del 9 de abril de 1993 y del 6 de enero de 1994	65
Tabla 11.	Porcentaje de precisión de las clasificaciones	66
Tabla 12.	Resultado del análisis estadístico de la evaluación de la precisión de las clasificaciones	71



## RESUMEN

La Sierra de Arteaga constituye una zona de gran importancia a nivel regional debido a su riqueza en especies y endemismos. En ella se presentan diferentes tipos de vegetación, dependiendo del clima, la altura y la fisiografía de la región, encontrándose con mayor frecuencia los bosques de encino, pino, pino piñonero, pino-encino, oyamel-ayarín, el matorral submontano, y el matorral desético rosetófilo, el chaparral y algunos pastizales.

El área de estudio se considera como una comunidad siempre verde, condición que imponen los pinos, aunque la presencia de otros árboles, sobre todo del género *Quercus*, con frecuencia hace que el bosque pueda ser más o menos caducifolio, en función del grado de abundancia de la biomasa de éstos elementos de hoja decidua.

Para llevar a cabo la identificación de especies de árboles se utilizan las correlaciones fenológicas. Los cambios en la apariencia de la vegetación en las diferentes estaciones del año permite la discriminación de comunidades vegetales que no son distinguibles en una sola época. Esta identificación puede hacerse a través de imágenes de satélite obtenidas en primavera, después del brote de las hojas, comparándolas con imágenes obtenidas durante el otoño, cuando los árboles han cambiado de color.

De acuerdo a los cambios fenológicos se llevó a cabo el análisis de la variabilidad de las respuestas espectrales en la cobertura vegetal, a través de la comparación de imágenes de satélite de distintas épocas del año (Landsat-TM del 9 de abril de 1993 y del 6 de enero de 1994, y SPOT multiespectral del 17 de octubre de 1993).

Primero se llevó a cabo la identificación de la vegetación de la zona a través de la observación y verificación en campo de las distintas comunidades vegetales que pueden apreciarse en las imágenes de satélite. Esto con la finalidad de identificar las plantas dominantes y así poder determinar el tipo de vegetación al que están asociadas. Los puntos de verificación se georreferenciaron mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS).

Posteriormente, se clasificaron las imágenes de satélite, en forma individual y teniendo como base la información de campo. De forma complementaria al proceso de clasificación se estimó el porcentaje de la precisión de los datos obtenidos.

Una vez clasificadas las imágenes de forma individual, se procedió a la generación de imágenes multitemporales resultantes de la combinación de bandas de las imágenes de satélite individuales. Las bandas seleccionadas de la imagen Landsat-TM de abril y SPOT se combinaron para formar la primera imagen

multitemporal. Esta nueva imagen fue clasificada y evaluada. También se combinaron las bandas de las imágenes Landsat-TM de abril y de enero, dando lugar a la segunda imagen multiespectral, la cual también fue clasificada y evaluada.

Mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite se logra una clasificación más precisa de las comunidades vegetales que a través del análisis de las imágenes individuales. Esto se debe a que los análisis multitemporales permiten incorporar la información del comportamiento fenológico de la vegetación al proceso de clasificación, lo que permite lograr el mapeo más acertado de la vegetación de la Sierra de Arteaga.

Con la finalidad de evaluar los cambios fenológicos de la vegetación de la zona de estudio se determinó el Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI), el cual presenta una estrecha relación con los valores de cobertura de la vegetación, pues muestra el comportamiento estacional de las diferentes comunidades vegetales. Esto se puede apreciar en los distintos valores de NDVI que presenta la vegetación a lo largo del año, conforme se va modificando su apariencia.

Otro parámetro utilizado como indicador de cambios fenológicos en la vegetación del área de estudio es el valor de radianza de las comunidades vegetales, el cual varía de una comunidad a otra dependiendo de la época del año, así como de la composición florística de cada una.

## **CAPITULO I. Introducción**

### **1.1 La Sierra de Arteaga**

La Sierra Madre Oriental del Noreste de México constituye uno de los paisajes de mayor importancia a nivel regional, no sólo por su riqueza en especies y endemismos, sino además porque contribuye con importantes servicios ecológicos al área. Sus grandes masas forestales regulan el clima, sirven como cuenca de captación, protegen contra la erosión al suelo, evitan azolves, amortiguan avenidas de agua y brindan zonas de esparcimiento (ITESM, 1997).

El Noreste de México también se ha caracterizado por su gran progreso, principalmente en el área industrial. Esto ha dado como resultado un dinámico cambio de uso de suelo el cual, aunado al aprovechamiento irracional de los recursos forestales, ha modificado notablemente los ciclos hidrológicos, el reabastecimiento de los mantos acuíferos, los habitats naturales de la flora y fauna silvestre y un incremento de la pérdida de suelo por erosión.

Por éstas razones, el área de estudio forma parte de un estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial que tiene como meta principal la planeación del uso del suelo, así como ofrecer alternativas dentro de un marco de desarrollo sustentable, para que los recursos de la región permitan alcanzar niveles adecuados de subsistencia a las poblaciones del lugar, sin detrimento de sus recursos naturales ni de su calidad de vida.

Para desarrollar un programa de manejo de recursos naturales, que pretenda un aprovechamiento racional, se requiere del conocimiento de la cobertura vegetal, ya que ésta es un indicador de las condiciones ambientales del área de estudio.

Dependiendo principalmente del clima, la fisiografía de la región, la altitud y la exposición, en la zona de estudio, se presentan diferentes comunidades vegetales, encontrándose con mayor frecuencia los bosques de encino, pino piñonero, pino-encino, oyamel-ayarín, el matorral submontano, el matorral desértico rosetófilo, el chaparral, y algunos pastizales.

La Sierra Madre Oriental, en su porción Noreste, recibe el nombre geológico de Anticlinorio de Arteaga, aunque entre los habitantes de la región es conocida bajo el nombre de Sierra de Arteaga, mismo con el que se le designará a lo largo del trabajo.

## 1.2 Fenología

La fenología es la ciencia que estudia los eventos biológicos periódicos y su relación con cambios climáticos estacionales. El término “fenología” parece haber sido aplicado por primera vez en 1853 por el botánico belga Charles Morren a una rama de la ciencia que estudia los fenómenos periódicos en las plantas y animales del mundo en la medida que éstos dependen del clima en cualquier localidad (Dethier, 1974).

El clima es un factor determinante de la distribución de la vegetación. Tal función se debe a que este elemento no solamente actúa en forma directa sobre las plantas, sino que también tiene influencia en los procesos de la formación del suelo y en la fisiografía, afecta la distribución de microorganismos y de los animales, e interfiere en los mecanismos de competencia (Rzedowski, 1988).

El estudio del comportamiento fenológico de las comunidades vegetales es importante para estimar la productividad biológica, entender las interacciones Tierra-Atmósfera y para llevar a cabo la administración de los recursos vegetales.

## 1.3 Sensores Remotos

Los sensores remotos ofrecen una tecnología a través de la cual se puede obtener información de un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de los datos adquiridos sin estar en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand and Kiefer, 1994).

Estos sensores remotos se encuentran instalados en plataformas aéreas o espaciales. Las plataformas espaciales se ubican a diferentes alturas, ya sea a partir de una órbita polar (200 km) o de una órbita ecuatorial (36,000 km), y sus sensores miden la energía electromagnética reflejada, emitida o dispersada de la superficie de la Tierra (Harris, 1987).

Estos instrumentos operan en longitudes de onda que van desde el visible (0.4  $\mu\text{m}$ ) hasta las microondas (25 cm). La información es colectada en un formato bi-dimensional, ya sea como una imagen fotográfica, o como un arreglo de datos digitales (imagen de satélite).

### 1.3.1 Tipos de sensores remotos

De acuerdo a la forma de recibir la energía procedente de los distintos objetos, los sensores remotos se clasifican en: 1) sensores pasivos, los cuales dependen de la radiación solar para captar la energía reflejada o emitida por fuentes naturales

(p. ej. barredores multiespectrales), y 2) sensores activos, los cuales proveen su propia fuente de energía para iluminar rasgos de interés y medir la radiación que regresa a ellos (p. ej. el radar). Estos últimos son más versátiles ya que no dependen, como los primeros, de las condiciones exteriores del sistema Sensor-Tierra.

### 1.3.2 Resolución de los sensores

La resolución de un sensor es la habilidad que tiene para registrar información a detalle. El concepto de resolución según Chuvieco (1990) implica:

1. *Resolución espacial.* Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina pixel.

2. *Resolución espectral.* Indica el número y amplitud de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, esto es, registrar simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro. Un sensor será idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas.

Cada entidad del paisaje tiene una respuesta espectral que puede ser únicamente aislada por partición y recombinación de porciones del espectro electromagnético (Lieth, 1974).

3. *Resolución radiométrica.* Se refiere a la sensibilidad del sensor, o sea, a su capacidad para detectar variaciones en la radianza espectral que recibe. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica tanto mejor podrá interpretarse la imagen. Representa el rango dinámico, o valor que puede tomar un pixel. También llamada profundidad del pixel (ERDAS, 1997).

4. *Resolución temporal.* Se refiere a la periodicidad con la que se adquieren imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor.

Las respuestas espectrales varían de acuerdo a las distintas épocas del año por lo que estudios sobre vegetación pueden ser mejorados si conocemos las características espectrales de los objetos a través del tiempo. Debido a lo anterior, el concepto temporal adquiere gran importancia en los estudios relacionados con la fenología.

### 1.3.3 Imágenes multiespectrales Landsat-TM y SPOT

El lanzamiento del satélite Landsat-1 (originalmente ERTS-1) en 1972, marcó una nueva etapa en nuestra capacidad de obtener datos de la superficie de la Tierra en cualquier época del año e incrementó el uso de los “barredores” multiespectrales (MSS), los cuales, antes de ésta fecha sólo eran usados durante los vuelos. Landsat-1 fue seguido por Landsat-2 en 1975, Landsat-3 en 1978, Landsat-4 en 1982 y Landsat-5 en 1985.

Dos de las imágenes que se utilizaron en este trabajo corresponden al satélite Landsat-5, el cual porta un sensor remoto llamado “Mapeador Temático” (TM), que ha mejorado las características espectrales, radiométricas y geométricas de las imágenes tomadas con respecto a las de sus precursores.

Espectralmente, el Mapeador Temático incluye la adquisición de datos a través de siete bandas, las cuales corresponden a distintas porciones del espectro electromagnético, tres en la porción del visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo térmico. Radiométricamente, TM lleva a cabo la conversión de señales análogas a digitales en un rango de 256 números digitales (8 bits). Geométricamente, TM posee una resolución espacial de 28.5 por 28.5 m (tamaño de pixel), a excepción de la banda térmica, la cual tiene una resolución de 120 por 120 m. El área cubierta por la imagen Landsat-TM es de 185 por 185 Km.

En general, tres tipos de información sobre vegetación pueden ser obtenidos en la región espectral ubicada entre 0.4 y 2.6  $\mu\text{m}$ : los cambios en la pigmentación de las hojas son detectables en las bandas visibles (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), diferencias estructurales en las hojas pueden ser observadas indirectamente en el infrarrojo cercano (0.8 a 1.0  $\mu\text{m}$ ) y el contenido de humedad en la vegetación puede ser observado en una longitud de onda entre 1.6 y 2.6  $\mu\text{m}$  (infrarrojo medio) (Morain, 1974).

El sensor de los satélites SPOT (*Systeme Pour l'Observation de la Terre*) consiste en dos sistemas de imágenes idénticos *high resolution visible* (HRV). Cada HRV está diseñado para operar de dos maneras: 1) de modo “pancromático” (blanco y negro), con una resolución de 10 metros, sobre un rango de 0.51 a 0.73  $\mu\text{m}$ , o 2) de modo multiespectral (color infrarrojo), con una resolución de 20 metros y sobre un rango de 0.50 a 0.59  $\mu\text{m}$  (verde), 0.61 a 0.68  $\mu\text{m}$  (rojo) y 0.79 a 0.89  $\mu\text{m}$  (infrarrojo cercano) (Lillesand and Kiefer, 1994). La imagen del satélite SPOT utilizada en este estudio es la multiespectral.

Al igual que los satélites Landsat, los satélites SPOT tienen una órbita circular, polar y sincrónica al sol.

## **1.4 Fenología y sensores remotos**

La fenología, a través de la percepción remota, es el estudio de las variaciones temporales con base en las propiedades espectrales de las plantas. El estudio de las características espectrales de los rasgos de la superficie de la Tierra debe incluir consideraciones de las variaciones fenológicas, ya que éstas no permanecen estáticas, sino que cambian de acuerdo a la localización geográfica y a la etapa del ciclo biológico en el que se encuentran.

Las correlaciones fenológicas son usadas para la identificación de comunidades vegetales mediante el uso de imágenes de satélite. Los cambios en la apariencia de éstas comunidades vegetales en el transcurso de las diferentes estaciones del año permiten la discriminación de comunidades que no son distinguibles en una sola época (Lillesand and Kiefer, 1994).

El ejemplo más obvio es la discriminación de comunidades perennifolias de las caducifolias. Esta identificación puede hacerse a través de imágenes obtenidas en primavera, después del brote de las hojas, comparándolas con imágenes obtenidas durante el otoño, cuando las hojas de los árboles han cambiado de color

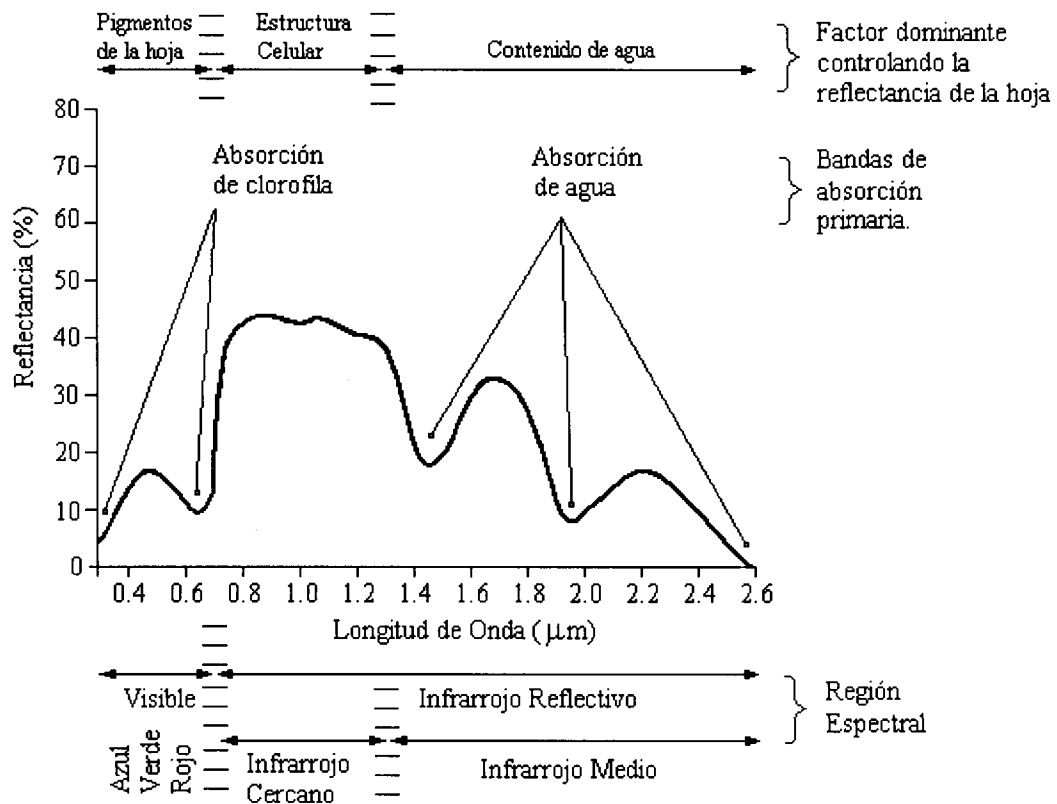
Este criterio es aplicable al área de estudio pues contiene una gran concentración de especies perennifolias (pinos y otras coníferas) y caducifolias (principalmente encinos), pudiéndose apreciar los distintos cambios en la vegetación a lo largo del año. Estas variaciones en la vegetación se traducen en respuestas espectrales diferentes, las cuales pueden ser utilizadas para la discriminación de las especies antes mencionadas.

### **1.4.1 Características de la vegetación en el espectro electromagnético**

La caracterización espectral de las masas vegetales presenta notables dificultades debido a los múltiples factores que influyen en la energía detectada por el sensor. En primer lugar se encuentra la reflectividad propia de la hoja, la cual está en función de su estado fenológico, forma y contenido de humedad. Además hay que considerar las características morfológicas de la planta: altura, perfil y grado de cobertura del suelo, lo que también genera cambios en el comportamiento reflectivo de la vegetación.

Otros factores a considerar son la ubicación geográfica de las comunidades, como la pendiente, la orientación, o la asociación con otras comunidades vegetales.

A pesar de las variaciones que puedan inducir estos factores, la vegetación vigorosa presenta un comportamiento espectral típico el cual muestra una reducida reflectividad en las bandas visibles, siendo más notable en la porción verde del espectro. Por el contrario, en el infrarrojo cercano presenta una elevada reflectividad, la cual se reduce conforme se avanza hacia la porción del infrarrojo medio (Figura 1).



**Figura 1. Respuesta espectral característica de la vegetación vigorosa (Swain y Davis, 1978)**

Las características espectrales mencionadas se relacionan con la acción de los pigmentos fotosintéticos y del agua que almacenan las hojas. La baja reflectividad que se presenta en la porción visible se debe a la absorción de los pigmentos de la hoja, principalmente clorofila, xantofilas y carotenos. La reflectancia más baja se da en las bandas azul y roja de la región visible del espectro. El efecto absorbente es menor en la banda verde, fenómeno que genera el color con el que percibimos la vegetación "vigorosa" en plena foliación (Chuvieco, 1990).



Cuando se aproxima la época de senescencia, la clorofila ejerce una menor influencia, lo que permite que los carotenos y xantofilas dominen, dándole un color amarillento a la vegetación. Esto también se aprecia en una mayor reflectividad en la banda roja del espectro visible. Algunas especies producen otro pigmento, la antocianina, el cual le da a las hojas una coloración rojiza, la cual también es un buen reflector de la porción roja del espectro (Lillesand and Kiefer, 1994).

La elevada reflectividad que se presenta en el infrarrojo cercano se debe a la estructura celular de la hoja sana, en plena madurez. Debido a que la estructura de las hojas es diferente de acuerdo a las especies, ésta banda puede ser utilizada para discriminar especies, o agrupaciones vegetales (Chuvieco, 1990).

La reflectividad de la vegetación en el infrarrojo medio se reduce notablemente debido a que la absorción de agua ocurre en esta porción del espectro, siendo de gran interés su observación debido a que permite conocer el estado de vigor de la hoja, en función de su contenido de humedad (Lillesand and Kiefer, 1994).

De lo anterior podemos afirmar que cuanto mayor sea el contraste entre las bandas visibles, especialmente el rojo, y el infrarrojo cercano, mayor será el vigor de la vegetación. Cualquier fuente de estrés en la vegetación se reflejará en un comportamiento espectral diferente al expuesto. La hoja senescente o enferma tiende a perder actividad clorofílica, lo que puede apreciarse en una menor absorción en las bandas azul y roja del espectro visible, mostrando la hoja una coloración amarillenta. Por lo que respecta al infrarrojo cercano, aquí se aprecia una reducción de la reflectividad como consecuencia de un deterioro en la estructura celular de la hoja.

## **1.5 Antecedentes**

### **1.5.1 Estudios sobre vegetación**

Entre los primeros trabajos realizados en el Noroeste del país figuran los de I. M. Johnston (1924) y de Shreve (1924, 1926). Shreve (1934, 1936, 1937a, 1937b, 1939, 1942a, 1942b) quienes se dedicaron a investigar los aspectos ecológicos de la vegetación del norte de México, principalmente referente a las zonas áridas y semiáridas.

En los estados de Nuevo León y Coahuila, Muller (1937, 1939, 1947) concentró su actividad, haciendo énfasis en la sucesión de comunidades vegetales en las zonas áridas.

Un estudio muy completo sobre la vegetación de las diferentes zonas de la República Mexicana, en especial las zonas áridas del noreste del país, es el de Miranda (1964), en colaboración con Hernández X. Además, en compañía de

Sharp (1950) publicó un trabajo de interés fitogeográfico y ecológico sobre ciertas áreas muy húmedas de las Sierras Madre Oriental, de Oaxaca y de Chiapas.

En su tesis doctoral, Rojas-Mendoza (1965) realizó un trabajo sintético sobre la vegetación y flora del Estado de Nuevo León, siguiendo los lineamientos de Rzedowski (1961), Miranda y Hernández, X. (1963) y Dansereau; además hace algunas modificaciones para designar las comunidades vegetales.

A partir de una investigación acerca de los cañones orientales de la Sierra de Anáhuac, al sur de Monterrey, Nuevo León, Marroquín (1968) preparó un estudio ecológico-dasonómico de las zonas áridas de la Altiplanicie de México.

En su tesis de licenciatura, Marroquín Flores (1985) describe la distribución del género *Quercus* al noreste del estado, la cual se establece básicamente sobre las exposiciones este de las laderas; cuando se presenta en las exposiciones oeste, presenta un límite altitudinal superior.

Los tipos de vegetación de Nuevo León, así como sus especies más representativas se indican en una guía botánico-ecológica elaborada por Alanís, G., Cano G., y Robalo, M. (1996).

### **1.5.2 Estudios sobre vegetación empleando sensores remotos**

Las imágenes de satélite han sido usadas por muchos años para identificar la gran variedad de cambios que han ocurrido en la cubierta vegetal de la superficie de la Tierra (Blasco y Achard, 1990). La sucesión de eventos asociados con el desarrollo temporal de las plantas, como la época de siembra y cosecha, ha sido de gran interés para los agricultores desde la antigüedad.

Desde el lanzamiento de los satélites ERTS-1 se han desarrollado una gran cantidad de metodologías para evaluar los cambios fenológicos. Uno de los primeros experimentos en el área de los sensores remotos estuvo orientado al sector agrícola a través del programa LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment), el cual se llevó a cabo en conjunto con la NASA, NOAA y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). El objetivo del programa fue desarrollar un método para la producción de trigo a nivel mundial. Este programa fue ideado en 1960, pero no fue iniciado hasta 1974 (Harris, 1987).

Dethier (1974) desarrolló una técnica para la identificación de cambios fenológicos a gran escala, denominados “ola verde” (desarrollo de la vegetación) y “ola café” (senescencia de la vegetación), para comunidades arbóreas y tipos de cultivos específicos. Las “olas cafés” (1972-1973) y la “ola verde” (1973) fueron detectadas en 24 sitios localizados en cuatro corredores Norte-Sur a lo largo de

los Estados Unidos a través del análisis de las imágenes ERTS-1 y los barredores multiespectrales.

Los satélites Landsat son los que se emplean con mayor frecuencia para la generación de mapas de vegetación a nivel regional debido a su nivel de detalle. Para obtener la cobertura vegetal de un continente resulta una metodología muy costosa y que requiere demasiado tiempo. Por esta razón, observaciones a nivel global se efectúan usando satélites NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), con resoluciones de 1.1, 4 y 15 km, con lo que se obtienen excelentes resultados en el monitoreo de la vegetación.

Al respecto Justice *et al.* (1985) presentaron el primer análisis a nivel global de los cambios fenológicos de la vegetación mediante el uso de éstos satélites meteorológicos NOAA/AVHRR. La base para el análisis de la fenología de la vegetación fue el cálculo de los índices de la diferencia normalizada de la vegetación (NDVI) para un periodo de tiempo que abarca del mes de abril de 1982 a enero de 1983. Se monitorearon bosques en Brasil, productividad de pastizales en Africa, bosques tropicales en la India y zonas agrícolas de China.

Mediante el uso de los satélites NOAA/AVHRR, Tucker *et al.* (1985) monitorearon los cambios fenológicos de la cubierta vegetal del continente africano para un periodo de 19 meses y encontraron correspondencia entre las variaciones temporales en la densidad de la vegetación y los patrones de lluvias asociados al movimiento de la zona de convergencia intertropical.

La identificación de comunidades vegetales homogéneas es otra aplicación de los sensores remotos en agricultura y planeación del uso de suelo. En las regiones semi-áridas éstas prácticas dan como resultado la transformación de la vegetación natural en zonas erosionadas, proceso de degradación conocido como desertificación, el cual ha sido evaluado a través de imágenes Landsat MSS (Palmer, 1990) y NOAA/AVHRR (Tucker, *et al.*, 1991).

Las relaciones de las condiciones en la vegetación y el incremento en los niveles del CO<sub>2</sub> atmosférico y otros gases, han adquirido una gran importancia hoy en día debido a que están relacionados con el incremento de la temperatura a nivel global (Woodwell, *et al.*, 1983). Un cambio en la temperatura de la Tierra puede tener un impacto importante en los patrones de precipitación, en la distribución de los bosques y en los ciclos agrícolas, por lo que la evaluación adecuada de éstos fenómenos se puede lograr mediante la información de la vegetación a gran escala (Lozano-García, 1995). Estas evaluaciones se han llevado a cabo mediante el uso de satélites NOAA/AVHRR.

### **1.5.2.1 Estudios a nivel regional**

Mediante el uso de fotografías aéreas, Valdez Tamez (1981), realizó la cartografía de los tipos de vegetación del municipio de Santiago, N.L.

Para obtener un nivel detallado de diferenciación en una región montañosa, Treviño Garza (1992) investiga las posibilidades de uso y aplicación de imágenes de satélite SPOT a la cartografía de la zona de Iturbide, N.L., así mismo utiliza imágenes Landsat para detectar cambios en el uso del suelo.

La Dirección de Ecología del Municipio de San Pedro Garza García, N. L. realizó un "Ordenamiento Ecológico del Territorio Municipal de San Pedro Garza García por medio de Imágenes de Satélite" donde se analizó el cambio de uso de suelo a partir de imágenes de 1973, 1980, 1986, 1991 y 1993 (Enkerlin-Hoeflich, *et al.*, 1994).

También en 1994, el Centro de Calidad Ambiental del ITESM realizó un "Estudio de la cobertura, uso actual y creación de una base de datos sobre los recursos naturales para el Parque Nacional "Cumbres de Monterrey", donde la evaluación de la cobertura vegetal y el uso de suelo se realiza a partir de imágenes de satélite.

En su trabajo de tesis "Modelos Ecológicos de Distribución de Cobertura Vegetal" González Murguía (1995) desarrolla una metodología para mapear los diferentes tipos de cobertura vegetal en las regiones montañosas del norte de la Sierra Madre Oriental mediante el uso de una imagen de satélite Landsat-TM de abril de 1993 y de un Sistema de Información Geográfica.

En 1996, García Aranda elabora la cartografía de los diferentes tipos de comunidades vegetales presentes en el cerro "El Potosí", Galeana, N.L. y cuantificó la superficie que ocupan a través del análisis de imágenes Landsat.

En una publicación titulada "Carta de Transformación de la Cubierto Vegetal escala 1:50 000 de la porción central del Estado de Nuevo León", INEGI (1998) destaca el deterioro de la vegetación en los últimos veinte años (1975-1995) mediante un análisis de fotointerpretación comparativa.

### **1.5.3 Descripción de las comunidades vegetales**

Las comunidades vegetales presentes en el área de estudio, según INEGI (1975) en su mayor parte, son las siguientes:

a). **Bosque de pino-oyamel-ayarín (Bpoa).** Este bosque, en donde dominan los géneros *Pinus* (Pino), *Abies* (Oyamel) y *Pseudotsuga* (Ayarín), presenta una distribución altitudinal que va desde los 2,400 hasta los 3,200 msnm, con una cobertura máxima sobre los 3,000 msnm. Estos bosques son una variante de los bosques templados, que se localizan en cañadas protegidas con climas fríos y húmedos, siendo una de sus características el gran atractivo escénico que presentan debido a las formas piramidales del follaje de los árboles, los cuales presentan alturas que van de los 15 a los 25 m.

En México, el bosque de *Abies* no interrumpe sus actividades de fotosíntesis, absorción y transpiración; si acaso sufre una disminución durante los periodos más fríos y más secos del año, a diferencia de lo que sucede con especies localizadas más al norte, donde toda la vida vegetal se mantiene latente durante varios meses debido a las bajas temperaturas y la nieve. Siempre o casi siempre hay verdor en los niveles inferiores de la comunidad y el periodo de floración corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero (Rzedowski, 1988).

Las especies de *Pseudotsuga* ocupan hábitats análogos a los de *Abies* y frecuentemente conviven con representantes de este género. También se encuentran otros elementos con menos frecuencia como *Populus tremuloides* (alamillo), *Cupressus arizonica* (cedro) y *Picea engelmanni* var. *mexicana* (ciprés).

En las exposiciones suroeste, esta comunidad se encuentra en contacto con chaparrales y matorral de coníferas, y en las exposiciones noreste con bosques de pino piñonero y bosques de pino-encino.

b). **Bosque de pino-encino (Bpq).** Comunidades constituidas por bosques de especies de hojas aciculares (pinos) y especies de hojas anchas (encinos), donde el pino domina sobre el encino. Este bosque es el más abundante y se encuentra ampliamente distribuido a lo largo de la Sierra Madre Oriental, a una altitud comprendida entre 1,500 a 2,800 msnm (Rojas Mendoza, 1965). La presencia de este tipo de bosque, a pesar de la amplia gama de condiciones climáticas de la región, obedece más al factor térmico que a la humedad, distribuyéndose sobre zonas templadas y subhúmedas. Los árboles, en general, no presentan grandes tallas en diámetro o en altura, siendo éstas de 10 a 30 cm, y de 10 a 14 m respectivamente.

En México, la convivencia de pinos y encinos no implica una condición de transición, ya que las comunidades mixtas son en ciertas regiones de tan vasta distribución como las puras. Por otra parte los pinos y encinos discrepan notablemente entre sí en cuanto a la fisonomía de la planta entera y del follaje se refiere, por lo general difieren también en su fenología y en la manera como influyen en la estructura del resto de la comunidad. De ahí se deduce que de las proporciones de cobertura que en un determinado lugar guarden entre sí los

componentes de un bosque mixto de *Pinus* y *Quercus*, dependerá mucho su aspecto general, así como la composición y estructura de los estratos inferiores y de las sinusias asociadas (Rzedowski, 1988).

La estructura de los bosques mixtos de pinos y encinos frecuentemente revela la existencia de un estrato superior de los primeros y otro más bajo de los segundos. En general, es raro encontrar árboles maduros de *Pinus* en niveles inferiores de la comunidad, hecho que parece estar en relación con sus fuertes exigencias de luz directa (Rzedowski, 1988).

En el estrato superior se encuentra *Pinus teocote* (pino chino), *Pinus pseudostrobus* (pino real), *Pinus greggii*, *Quercus laeta*, *Quercus coccolobifolia*, *Quercus mexicana*, *Quercus laceyi*, *Quercus rysophylla* (encino de asta), *Quercus sartorii*, *Arbutus xalapensis* (madroño) y *Prunus serotina* (capulín). En el estrato medio, *Rhus toxicodendron*, *Rhus radicans*, *Crataegus greggiana*, *Carya myristicaeformis* (nogalillo), *Juglans mollis* (nogal encarcelado), *Quercus affinis* (INEGI, 1998, Transcuve).

Este tipo de vegetación se encuentra en contacto en exposiciones noreste con bosques de ayarín-pino-oyamel, bosques de pino piñonero, bosques de encino-pino y bosques de encino; en exposiciones suroeste, con chaparrales (INEGI, 1998).

c). **Bosque de encino-pino (Bqp).** La composición florística de esta comunidad incluye especies del género *Quercus* y del género *Pinus*, siendo el género *Quercus* dominante. Se localizan sobre laderas de pendientes moderadas, en suelos someros y ricos en material húmico. Debido al tipo de roca que se presenta en esta zona de la Sierra Madre Oriental (calizas), los encinares constituyen el elemento predominante (Rzedowski, 1988). Dependiendo de la cantidad de individuos de hoja decidua, la comunidad presentará características subcaducifolias o caducifolias.

En la mayor parte de los casos esta comunidad puede considerarse como una variante favorecida por disturbios de los bosques de pino-encino, sin embargo, existen regiones en donde su establecimiento se debe a la interacción de factores naturales, lo que origina mezclas de encino con pino (INEGI, 1998, Transcuve).

Los elementos dominantes de esta comunidad son: en un estrato arbóreo de 10 a 15 metros, *Quercus rysophylla* (encino de asta), *Quercus laeta*, *Pinus pseudostrobus* y *Arbutus xalapensis*; y en un estrato arbustivo de 3 metros, *Rhus radicans*, *Colubrina greggii*, *Quercus sp.*, *Agave sp.* (INEGI, 1998, Transcuve).

Estos bosques limitan, en sus porciones inferiores, con bosques de encino y, con menos frecuencia, con matorral submontano. Hacia las partes altas limita con bosques de pino-encino y chaparrales (INEGI, 1998, Transcuve).

d). **Bosque de pino (Bp)**. Vegetación arbórea cuya distribución altitudinal va desde los 900 y 1,000 msnm hasta los 3,400 msnm, con una cobertura máxima entre los 2,200 y los 2,300 msnm. Esta distribución puede ocurrir en lugares templados y húmedos, tratándose de una comunidad con árboles hasta 22 m de alto. Los bosques de pino se encuentran comúnmente asociados con algunas especies de encinos *Quercus* spp. y madroño *Arbutus xalapensis*, de manera que son raras las agrupaciones puras (Alanís, et al., 1996).

Dentro de las mismas zonas de clima templado y semihúmedo, los pinares no constituyen el único tipo de vegetación prevaleciente, pues compiten ahí con los bosques de *Quercus* y a veces con los de *Abies*, así como con algunas otras comunidades vegetales. La similitud de las exigencias ecológicas de los pinares y de los encinares da como resultado que los dos tipos de bosques ocupen nichos muy similares y que se desarrollen con frecuencia uno al lado del otro, formando intrincados mosaicos y complejas interrelaciones sucesionales y que a menudo se presenten en forma de bosques mixtos, lo cual dificulta su interpretación y cartografía precisa (Rzedowski, 1988).

Aún en ese caso se trata de una comunidad siempre verde, pues tal condición la imponen los pinos, aunque la presencia de otros árboles, sobre todo del género *Quercus*, con frecuencia hace que el bosque pueda ser más o menos caducifolio, en función del grado de abundancia de la biomasa de éstos elementos de hoja decidua (Rzedowski, 1988).

También podemos encontrar que el sotobosque de casi todos los pinares ofrece cambios fenológicos notables a lo largo del año, en función de las condiciones climáticas. Tal sotobosque está formado mayormente por plantas herbáceas, que en parte desaparecen por completo de la superficie del suelo en la época desfavorable, y las especies que persisten suelen cambiar de color, de tal manera que a fines del periodo seco las tonalidades amarillas prevalecen en los niveles inferiores (Rzedowski, 1988).

e). **Bosque de pino piñonero (Bpc)**. Los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides*), se extienden desde los 2,000 a 2,500 m en cañones abiertos, y de los 1,850 a 2,300 m en lugares protegidos o cañones estrechos, con valores anuales de precipitación de 400 a 600 mm y de temperatura de 10 a 14°C (Valdez Tamez, 1981).

Este tipo de vegetación se encuentra en colindancia con los matorrales de la zona árida, por lo que es común encontrar elementos típicos del desierto dentro de esta

comunidad, la cual presenta espacios abiertos de árboles bajos, con copas redondeadas y troncos con diámetros de 30 a 40 cm a la altura del pecho.

Una de las características principales de esta comunidad, es la homogeneidad, sobre todo en el estrato superior, formado principalmente por una sola especie: *Pinus cembroides*, que constituye un bosque de 8 a 10 metros de altura. Presenta un estrato medio formado en su mayor parte por *Arctostaphylos pungens* (manzanita), *Rhus virens* (lantrisco), *Lindleyella mespiloides* (palo estaca), *Quercus microphylla* (encino chaparro) (Valdez Tamez, 1981).

En condiciones naturales el bosque de pino piñonero estaría acompañado en su estrato superior por *Juniperus monosperma* y *Juniperus flaccida*, pero debido al intenso uso al que estas especies han estado sujetas, no alcanzan un estrato arbóreo, por lo que existen únicamente en estrato arbustivo (Valdez Tamez, 1981).

Estas comunidades vegetales se encuentran limitando en exposiciones suroeste con chaparrales y en exposiciones noreste con Bosques de *Pseudotsuga-Pinus-Abies* y con Bosques de *Pinus-Quercus* (Valdez Tamez, 1981).

f). **Bosque de encino (Bq).** La distribución de este bosque depende de la orientación geográfica y el factor térmico, mostrando una clara preferencia por las exposiciones este y noreste. Este tipo de vegetación presenta una distribución altitudinal que va desde 600 hasta 2,200 msnm, con una cobertura máxima entre 900 y 1,500 msnm, formando parte de la comunidad forestal templada más extensa sobre la Sierra Madre Oriental. Esta comunidad está compuesta por árboles y arbustos que van de 12 a 15 m de altura.

Muchas especies mexicanas de *Quercus* son caducifolias y por extensión así se comporta gran parte de los bosques en que estas plantas son predominantes. Sin embargo, el periodo de carencia de follaje de la mayor parte de las especies de hoja decidua es breve, con frecuencia menor de un mes y además no siempre coincidente entre una y otras, de modo que un bosque en que la dominancia se reparte entre varias especies de encinos puede conservar siempre una parte de verdor. El mismo efecto se obtiene cuando participan en la vegetación encinos perennifolios, pinos u otros árboles (Rzedowski, 1988).

El bosque de encinos del noroeste del Estado de Nuevo León llega a tener un aspecto subcaducifolio hasta el mes de enero, época en que el desprendimiento de hojas se acentúa y por lo general llega a traslaparse con el de la floración-brotación en los meses de febrero y marzo. La mayoría de los individuos de las especies en esta zona son subcaducifolios cuando se inicia normalmente la brotación-floración, variando con los años, los individuos y el grado de pérdida del follaje (Marroquín, 1985).



Conformando un estrato arbóreo, se encuentran las siguientes especies: *Quercus rysophylla* (encino de asta), *Quercus canby* (encino molinillo), *Quercus laceyi* (encino memelito), *Quercus polymorpha* (encino manzano), *Quercus laeta*, *Arbutus xalapensis* (madroño), *Juglans mollis* (nogal encarcelado), *Prunus serotina* (capulín). Como elementos aislados del sotobosque, de una altura promedio de 4 metros, encontramos: *Rhus radicans*, *Rhus toxicodendron*, *Sapindus sp.*, *Croton fruticosus* (INEGI, 1998, Transcuve).

Este tipo de vegetación se encuentra en contacto hacia las partes bajas con bosques de galería, selva baja subperennifolia y matorral submontano, y en las partes altas con chaparrales y bosque de pino-encino (INEGI, 1998, Transcuve).

g). **Chaparral.** Agrupaciones densas de encinos bajos acompañados generalmente de especies arbustivas. Se encuentran en zonas de contacto de agrupaciones de climas áridos y climas templados no áridos (pinares, encinares), extendiéndose su rango de distribución altitudinal desde los 800 hasta los 3,500 msnm (INEGI, 1981). Se trata de comunidades más o menos caducifolias, aunque a menudo pierden la hoja por un periodo menor de 30 días (Rzedowski, 1988).

Este tipo de vegetación presenta tres estratos: superior de 1 a 3 metros, medio de 0.10 a 0.80 metros y el inferior de menos de 10 centímetros. Como especies dominantes podemos mencionar para el estrato superior *Quercus cordifolia*, *Quercus intricata*, *Quercus emory* (encinos chaparras), *Arctostaphylos pungens* (manzanita), *Dasyllirion berlandieri*, *Dasyllirion texanum* (sotoles), *Lindleyella mespiloides*, *Cowania plicata* (alejandría), *Ceanothus coeruleus*, *Rhus virens* (lantrisco). En el estrato medio, *Rhus virens* (lantrisco), *Arctostaphylos pungens* (manzanita), *Chrysactinia mexicana*, *Cyperus flavus*, *Gymnosperma glutinosum*, *Dasyllirion berlandieri* (sotol), y en el estrato inferior: *Arenaria ludens*, *Nama parvifolium*, *Arenaria lycopodioides*, *Erioneuron sp.* (INEGI, 1998, Transcuve).

h). **Matorral submontano (MSM).** Comunidad formada principalmente por elementos arbustivos y subarbóreos, los cuales se encuentran generalmente entre los límites de los matorrales desérticos y los bosques de encino-pino, principalmente en las partes bajas de ambas vertientes de la Sierra Madre Oriental, en su porción septentrional (INEGI, 1981). Las especies dominantes son arbustos o árboles de 4 a 6 m de alto, con hojas pequeñas, caducifolias y subespinosas, supeditadas a la disponibilidad de agua en el suelo (Alanís, *et al.*, 1996).

El matorral submontano se presenta en las cotas altitudinales de los 400 a 2,100 metros de altitud, excepcionalmente, sobre todo en exposiciones suroeste secas alcanza altitudes de 2,500 metros (INEGI, 1998, Transcuve).

En cuanto a la estructura de la comunidad, existen tres estratos, uno superior de 2 a 6 metros de alto dominado por *Helietta parvifolia* (barreta), *Fraxinus greggii* (barreta lisa), *Acacia amentacea* (chaparro prieto), *Pithecellobium pallens* (tenaza), *Neopringlea integrifolia* (corvagallina), *Casimiroa pringlei* (chapote amarillo), *Cordia boissieri* (anacahuíta) y *Celtis pallida* (granjeno). Un estrato medio de 1 a 2 metros con *Helietta parvifolia* (barreta), *Diospyros texana* (chapote), *Neopringlea integrifolia* (corvagallina), *Zantoxylum fagara* (colima), *Pithecellobium pallens* (tenaza), *Decatropis bicolor* (colorín), *Acacia berlandieri* (guajillo), y por último un tercer estrato inferior de menos de 0.80 metros con las siguientes especies: *Chiococca alba*, *Chrysactinia pinnata*, *Croton torreyanus*, *Digitaria sanguinalis*, *Lantana camara*, *Lantana citrosa*, *Lasciasis divaricata*, *Paspalum notatum*, *Capsicum frutescens*, *Antigonon leptopus*, *Notholaena sinuata* (INEGI, 1998, Transcuve).

i). **Matorral desértico rosetófilo (MDR)**. Tipo de vegetación dominado por especies con hojas en roseta, que se desarrolla preferentemente sobre suelos someros de cerros de origen sedimentario. Se distribuye ampliamente en zonas áridas y semiáridas. Su distribución irregular obedece al patrón de humedad disponible en el suelo.

Los elementos más característicos son especies de *Agave*, *Hechtia* y *Dasyllirion*, que forman un estrato subarborescente espinoso y perennifolio a menudo bastante denso, debido a la reproducción vegetativa de muchos de sus componentes (Rzedowski, 1988).

Esta agrupación vegetal se encuentra en contacto, en las partes bajas, con pastizales inducidos y matorral submontano, y en las regiones de mayor altitud, con chaparrales y bosques de pino piñonero (INEGI, 1998, Transcuve).

j). **Matorral desértico micrófilo (MDM)**. Comunidad caracterizada por elementos arbustivos de hojas pequeñas, que se encuentra generalmente en terrenos planos o en abanicos aluviales de lomas o cerros. Ampliamente distribuidos en zonas áridas y semiáridas.

Dentro de este tipo de matorral se encuentran agrupaciones de palmas del desierto o palma ixtlera como elementos sobresalientes, las cuales forman algunos "bosquetes" en lugares planos y abanicos aluviales de lomas o cerros en el Altiplano. Las especies que forman este tipo de agrupación son la palma china *Yucca filifera* y la palma samandoca *Yucca carnerosana* (Alanís et al., 1996). Dentro del área de estudio también es común encontrar *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Flourensia cernua* (hojasen).

El aspecto de estos matorrales durante la época desfavorable del año varía mucho de una comunidad a otra. Los que están exclusivamente constituidos por elementos de hoja decidua ofrecen una apariencia gris-negrizca muy desolada

durante el periodo de sequía, pero cuando entran en su composición cactáceas grandes u otros elementos perennifolios, como *Yucca*, *Agave*, *Dasyllirion*, su verdor influye notablemente en el semblante de la comunidad, que aparece mucho más alegre. Los matorrales de *Larrea* son esencialmente siempre verdes, aunque el color del follaje del arbusto dominante se torna amarillento-café e incluso llega a perderse parcialmente si la sequía es muy acentuada y persistente. Los matorrales en que interviene *Prosopis* y algunas otras leguminosas de comportamiento fenológico similar, mantienen su verdor durante casi todo el tiempo, incluso en periodos desfavorables (Rzedowski, 1988).

k). **Pastizales.** Esta comunidad se caracteriza porque sobresalen herbáceas gramínoideas con hojas delgadas y alargadas, pudiendo encontrarse asociada con otros tipos de vegetación y cubriendo muy vastas extensiones de zonas situadas entre las agrupaciones vegetales de zonas áridas y las de zonas templadas subhúmedas. Se encuentran en zonas con condiciones edáficas especiales, tales como suelos salinos o con existencia de yeso, así como en zonas inundables. La coloración amarillenta pálida es característica durante la mayor parte del año y la comunidad sólo reverdece en la época más húmeda.

Pastizal natural: es aquel que se encuentra establecido en una región como producto natural de los efectos del clima, suelo y biota (condiciones ecológicas) de una región (INEGI, 1981).

Pastizal inducido: es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original que lo dominaba. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmontes de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia (INEGI, 1981).

## 1.6 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es evaluar la variabilidad de las respuestas espectrales en la cobertura vegetal de la Sierra de Arteaga, de acuerdo a los cambios fenológicos, a través de la comparación de imágenes de satélite de distintas épocas del año, con la finalidad de lograr el mapeo más adecuado de la vegetación del área de estudio.

### 1.6.1 Objetivos específicos

- Verificación en campo de las distintas comunidades vegetales que pueden apreciarse en las imágenes de satélite.

- Obtención del valor de cobertura de las comunidades vegetales representativas del área de estudio.
- Realizar la clasificación de la imagen SPOT multiespectral con fecha del 17 de octubre de 1993.
- Llevar a cabo la clasificación de las imágenes Landsat-TM, con fechas del 9 de abril de 1993 y del 6 de enero de 1994.
- Clasificación de las imágenes multitemporales resultantes de la combinación de las bandas seleccionadas de las imágenes Landsat-TM y SPOT.
- Comparación de los valores digitales para cada tipo de vegetación, obtenidos en campo, con sus respectivos valores de radianza.
- Evaluar la relación Cobertura – Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI).

## **CAPITULO II. Metodología**

### **2.1 Descripción del área de estudio**

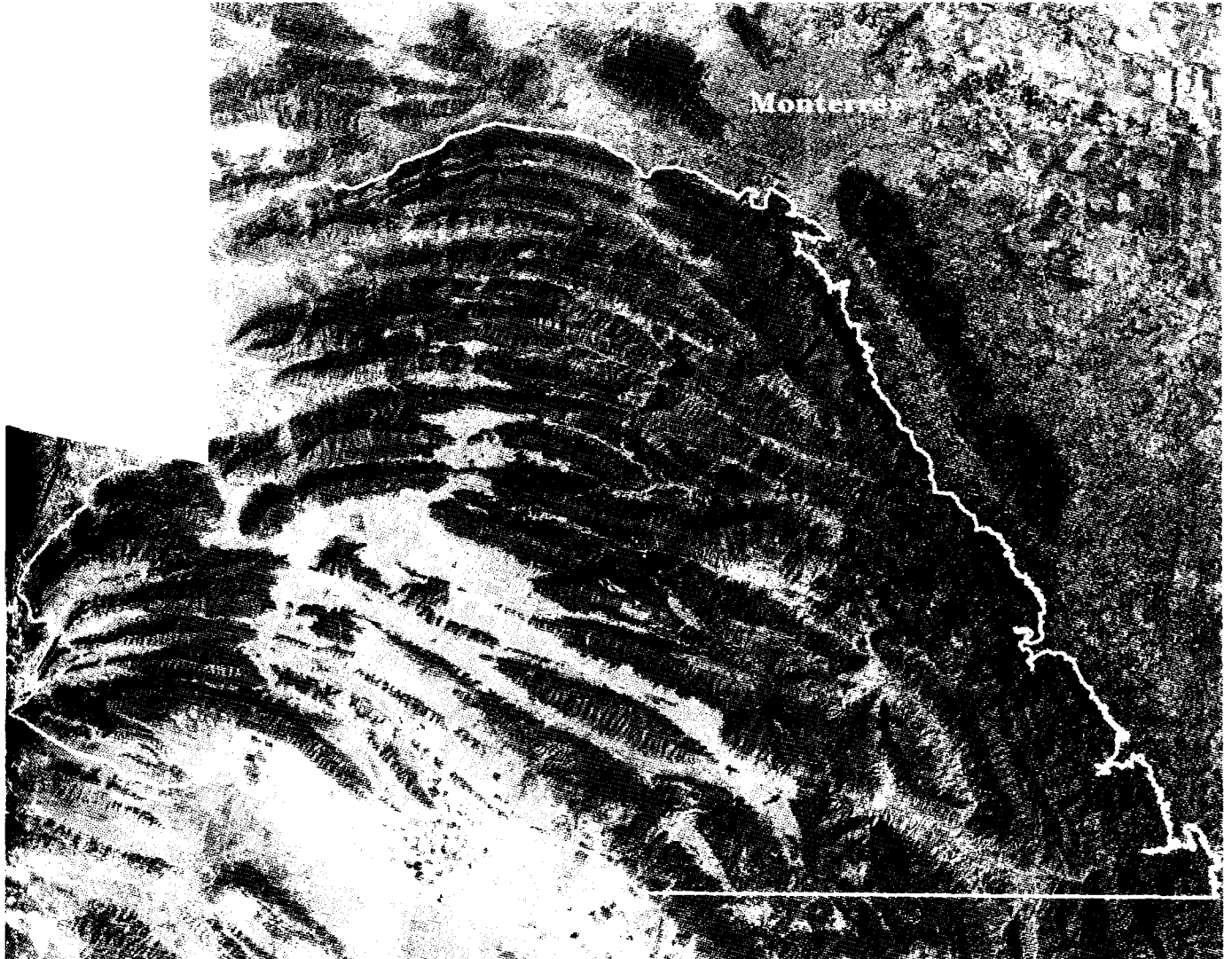
La Sierra de Arteaga se encuentra ubicada geográficamente entre los paralelos 25°45' y 25°00' de latitud Norte, y entre los meridianos 101°00' y 99°40' de longitud Oeste, formando parte del Anticlinorio de Arteaga en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental, que abarca parte del territorio de los Estados de Coahuila y Nuevo León (Figura 2).

#### **2.1.1 Fisiografía**

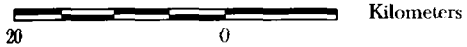
Con el nombre de Sierra Madre Oriental se designa a la cadena montañosa de origen estructural, formada por una serie de plegamientos alargados, con una orientación NNO-SSE, que se extienden desde el SO de Monterrey, Nuevo León, hasta Teziutlán, Puebla. Al Oeste de Monterrey, la Sierra Madre Oriental sufre una flexión E-O y llega al Sur de Torreón; a esta Sierra Traslversa se le denomina Subprovincia Sierra Torreón-Monterrey. El Anticlinorio de Arteaga se localiza en la parte oriental de esta Subprovincia, entendiéndose por Anticlinorio una sucesión estructural de pliegues que, juntos, integran un anticlinal general (López Ramos, 1979).

Los plegamientos en la porción de la Sierra Madre Oriental fueron fuertes, lo que generó anticlinales estrechos y elevados, con echados muy inclinados, verticales y recumbentes. También se presentan pliegues de dos o varios anticlinales, así como pliegues secundarios en forma de zig-zag o pliegues múltiples en un solo anticlinal. En estos pliegues se presentan pendientes sumamente variables, encontrándose valores de 0 a 1% en la porción norte (Zona Metropolitana de Monterrey) hasta valores de más de 170% en ciertas partes de la Sierra en donde los sedimentos marinos se encuentran en posición vertical. La compleja orogenia de la Sierra y el prolongado periodo de erosión han creado una gran variedad de condiciones de orientación de laderas, las cuales reciben diferentes intensidades de iluminación solar a lo largo del día (ITESM, 1994).

Las condiciones de elevación, las cuales van desde los 600 msnm en la Zona Metropolitana de Monterrey, hasta los 3 400 msnm en las partes más altas de la Sierra Madre Oriental, así como las pendientes y la orientación, tienen efectos muy importantes en la distribución de la vegetación del área de estudio.



Scale



Composicion de color:  
TM 4 - rojo  
TM 5 - verde  
TM 3 - azul

Figura 2. Limites del area de estudio

Imagen compuesta a partir de dos imagenes Landsat-TM,  
con fechas 8 de marzo y 9 de abril de 1993

### 2.1.2 Geología

La Sierra Torreón-Monterrey, también conocida como “Sistema Orogénico Transverso”, es la continuación al Oeste de la Sierra Madre Oriental a partir del S-O de Monterrey y se formó en el Terciario como consecuencia de los empujes de la orogenia Laramídica que, provenientes de Sur, formaron una cadena montañosa, con la porción residente al Norte de la península de Coahuila que estuvo emergida gran parte del Triásico-Jurásico y Cretácico Inferior (López Ramos, 1979).

La Sierra Madre Oriental está formada, en gran parte, por sedimentos del Mesozoico. Los sedimentos acumulados en el fondo de los mares primitivos se convirtieron en rocas calizas, lutitas y areniscas. Las capas, relativamente horizontales, fueron alteradas por enormes fuerzas geológicas que provocaron grandes rupturas y plegamientos así como movimientos ascensionales que elevaron el fondo marino por encima del nivel superficial del agua. De manera que los depósitos más recientes están constituidos por conglomerados y suelos aluviales, que pertenecen al Cuaternario (Alanís, *et al.*, 1996).

### 2.1.3 Climatología

La Sierra Madre Oriental presenta una distribución climática muy compleja, en donde se pueden encontrar diversos tipos de climas. De acuerdo a Köppen (1948), modificada por E. García (1967), los principales tipos de climas que se presentan en el área de estudio son: árido o muy seco (Bw), semiárido o seco (Bs), semicálido (A)C y el templado subhúmedo C(W), incluso en los picos de las sierras puede presentarse el clima alpino (ET<sub>H</sub>). En general, se trata de una zona árida con escasez de lluvias donde la precipitación media anual varía entre 400 mm en las zonas más secas y 900 mm en las zonas menos secas.

Lo anterior se debe principalmente a la marcada diferencia de altitudes en la sierra. Las diferencias de temperaturas ocasionadas por la existencia de cadenas montañosas, producen un efecto de condensación, que a su vez, genera lluvias que se concentran en la vertiente Este de la sierra. En la vertiente Oeste se desarrolla un fenómeno conocido como “sombra orográfica”, que da lugar a llanos o bolsones con clima seco o semiseco en las zonas de transición de la sierra al altiplano, así como a algunas porciones aisladas en las cumbres con climas templado y semicálido (INEGI, 1986).

### 2.1.4 Hidrología

En general, las corrientes superficiales que nacen en la Sierra Madre Oriental corren hacia el Este y descargan sus aguas en el Golfo de México, ya sea como

afluentes del Río Bravo o de los Ríos San Fernando y Soto La Marina, todos ellos en Tamaulipas.

Los principales ríos que forman la red hidrográfica del área de estudio son: Río Salado, Río Sabinas, Río Ramos, Río San Juan, Río Pílon, Río Pesquería y Santa Catarina.

### **2.1.5 Vegetación**

A continuación se describen los tipos de vegetación y el uso del suelo del área de estudio, basados en su mayor parte en la clasificación de INEGI (1975):

Tipos de vegetación:

- a). Bosque de pino-ayarín-oyamel (Bpoa)
- b). Bosque de pino-encino (Bpq)
- c). Bosque de encino-pino (Bqp)
- d). Bosque de pino (Bp)
- e). Bosque de pino piñonero (Bpc)
- f). Bosque de encino (Bq)
- g). Chaparral
- h). Matorral submontano (MSM)
- i). Matorral desértico rosetófilo (MDR)
- j). Matorral desértico micrófilo (MDM)
- k). Pastizal

Usos del suelo:

- l). Zonas agrícolas
- m). Suelos desnudos o sin vegetación aparente

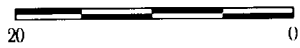
## **2.2 Imágenes multiespectrales**

Para efectuar la evaluación fenológica del área de estudio se utilizaron tres imágenes de satélite: una imagen Landsat-TM con fecha del 9 de abril de 1993 (Figura 3), una imagen SPOT del 17 de octubre de 1993 (Figura 4), y otra imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994 (Figura 5).





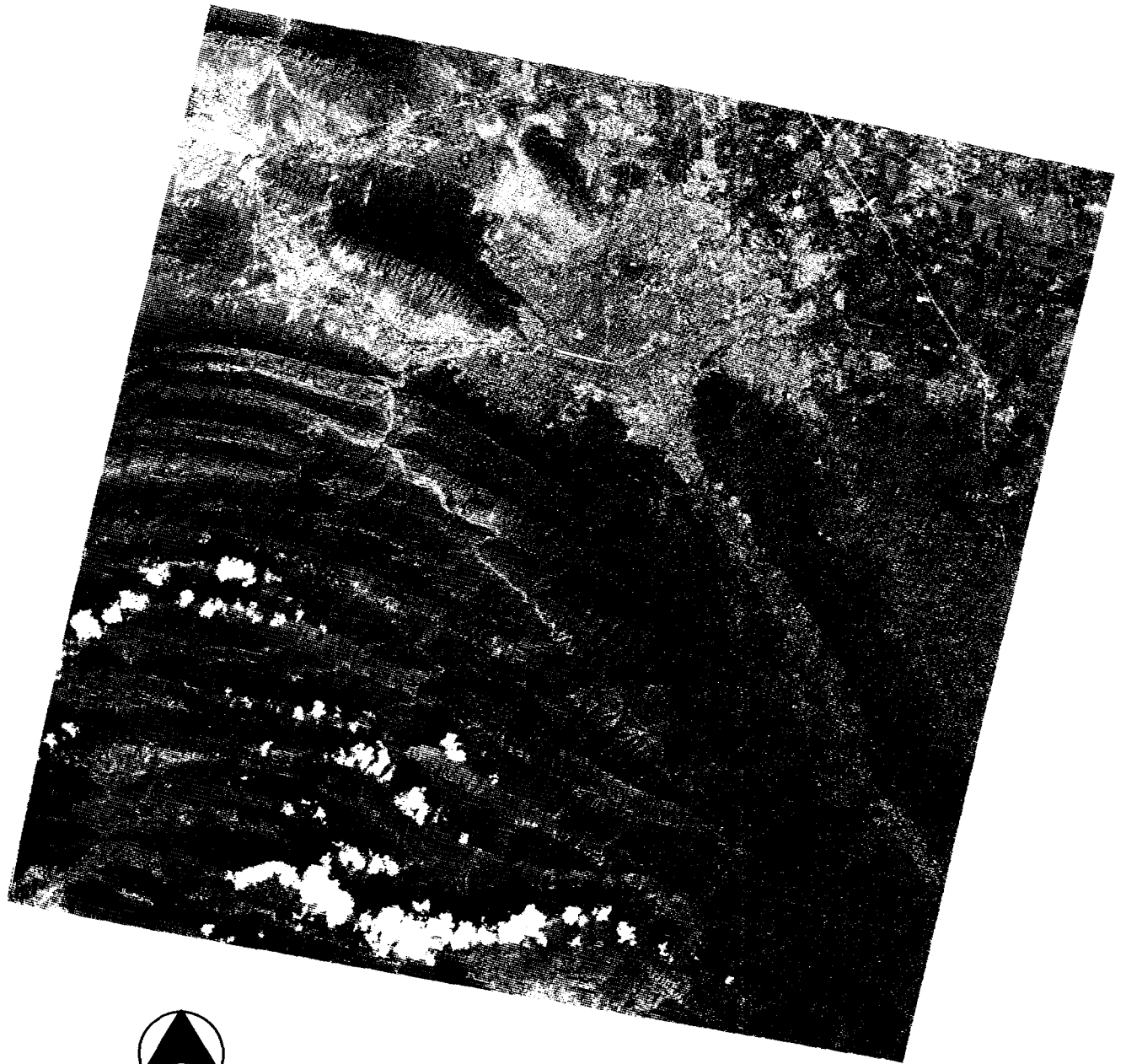
Scale



Kilometers

Composicion de color:  
TM 4 - rojo  
TM 5 - verde  
TM 3 - azul

Figura 3. Imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993



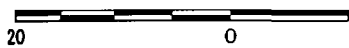
Scale



Figura 4. Imagen SPOT multiespectral del 17 de octubre de 1993



Scale



Kilometers

Composicion de color:  
TM 4 - rojo  
TM 5 - verde  
TM 3 - azul

Figura 5. Imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994

## 2.2.1 Características de las imágenes multiespectrales

**Tabla 1. Datos técnicos de la imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993**

Fecha de la toma de la imagen	9 de abril de 1993
Satélite	Landsat 5
Instrumento	Mapeador Temático
Tipo de producto	Orientado a la órbita
Tipo de procesamiento geodésico	Remuestreo sistemático (Convolución cúbica)
Proyección	UTM
Zona	14
Elipsoide	Clarke 1866
Tamaño de pixel	25 X 25 m
Coordenadas de las esquinas	
Superior izquierda	101° 39' 22.7151" W, 26° 56' 19.3233" N
Superior derecha	99° 24' 20.8586" W, 26° 57' 47.2953" N
Inferior derecha	99° 23' 57.4459" W, 25° 03' 20.7905" N
Inferior izquierda	101° 36' 49.6655" W, 25° 01' 59.9169" N
Bandas presentes	1,2,3,4,5,6,7

**Tabla 2. Datos técnicos de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993**

Fecha de la toma de la imagen	17 de octubre de 1993
Satélite	SPOT
Instrumento	HRV (High Resolution Visible)
Tipo de producto	Orientado a la órbita
Tipo de procesamiento geodésico	Remuestreo sistemático (vecino más cercano)
Proyección	UTM
Zona	14
Elipsoide	Clarke 1866
Tamaño de pixel	20 X 20 m
Coordenadas de las esquinas	
Superior izquierda	100° 43' 15.58" W, 25° 52' 35.32" N
Inferior derecha	99° 34' 24.01" W, 25° 10' 50.26" N
Bandas presentes	1,2,3

**Tabla 3. Datos técnicos de la imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994**

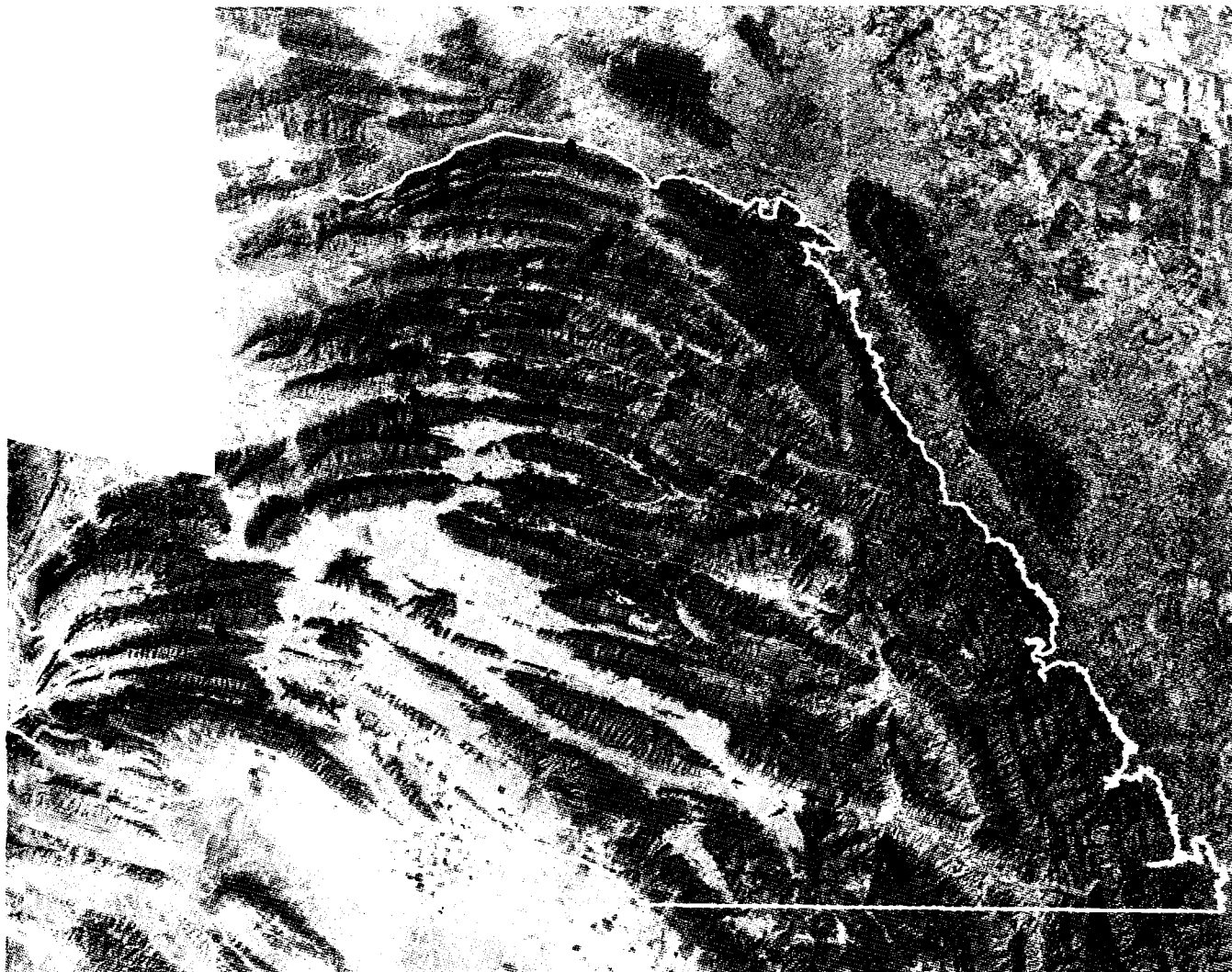
Fecha de la toma de la imagen	6 de enero de 1994
Satélite	Landsat 5
Instrumento	Mapeador Temático
Tipo de producto	Orientado a la órbita
Tipo de procesamiento geodésico	Remuestreo sistemático (Vecino más cercano)
Proyección	UTM
Zona	14
Elipsoide	Clarke 1866
Tamaño de pixel	28.5 X 28.5 m
Coordenadas de las esquinas	
Superior izquierda	100° 59' 56.6532" W, 25° 44' 45.5232" N
Superior derecha	100° 00' 55.6250" W, 25° 36' 09.5794" N
Inferior derecha	100° 10' 34.1430" W, 24° 42' 41.5193" N
Inferior izquierda	101° 09' 09.6522" W, 24° 51' 14.9870" N
Bandas presentes	1,2,3,4,5,6,7

### 2.3 Trabajo de campo

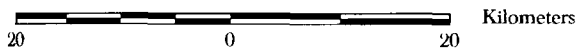
Se efectuaron salidas de campo entre agosto y diciembre de 1997 con el objeto de llevar a cabo la identificación de la vegetación de la zona de estudio a través de la observación y verificación de las distintas comunidades que pueden apreciarse en las imágenes de satélite. Se identificaron las plantas dominantes y se determinó el tipo de vegetación al que se encuentran asociadas. Esta información también nos proporcionará los elementos para clasificar correctamente las imágenes de satélite pues se pueden generar estadísticas supervisadas de los sitios donde se tiene identificada una comunidad vegetal. Los puntos de verificación se georreferenciaron mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS, Magellan ProMARK X). Para la caracterización de los tipos de vegetación se tomó como referencia, en su mayor parte, la terminología empleada por INEGI (1975).

Posteriormente se determinaron sitios de estudio en base de un muestreo selectivo para obtener el valor de cobertura vegetal de las comunidades vegetales más representativas de la Sierra de Arteaga, así como el valor de importancia ecológico de las especies pertenecientes a cada comunidad (Figura 6). Esto con la finalidad de establecer una relación entre el valor de cobertura de la vegetación y el vigor que muestra a través de las distintas épocas del año.

Se empleó el método del cuadrante (Brower and Zar, 1977), para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las especies dentro del área muestreada y, con base en estos datos, destacar la importancia relativa de cada una de las especies. Los cuadrantes de 900 m<sup>2</sup>, cada uno, se subdividieron en cuatro



Scale



Composicion de color:  
TM 4 - rojo  
TM 5 - verde  
TM 3 - azul

Figura 6. Puntos de Muestreo  
Imagen compuesta a partir de dos imagenes Landsat-TM,  
con fechas 8 de marzo y 9 de abril de 1993

cuadrantes de 15 X 15 m. Dentro de cada uno de éstos cuadrantes se contaron, midieron e identificaron todos los individuos presentes. El criterio que se utilizó para determinar un área de muestreo de 900 m<sup>2</sup> está basado en que los pixeles de las imágenes Landsat representan en el terreno un área de 30 X 30 metros.

Los parámetros que se obtuvieron mediante el muestreo por el método del cuadrante son:

- a). *Densidad*: número de individuos de una especie por unidad de área.
- b). *Densidad relativa*: número de individuos de una especie como una proporción del número total de individuos de todas las especies del área.
- c). *Frecuencia*: número de cuadrantes en los que se encuentra una especie.
- d). *Frecuencia relativa*: es la frecuencia de una especie dada referida a la frecuencia total de todas las especies.
- e). *Cobertura*: superficie cubierta por los individuos de la especie, a partir de una proyección vertical de las partes aéreas de las plantas.

Para obtener el valor de la proyección vertical de las partes aéreas de las plantas se empleó una fórmula descrita por Muller-Dombois y Ellenberg, (1974), en la cual se mide el diámetro de la copa del árbol o arbusto. Tomando en cuenta que las copas de los árboles no son círculos perfectos, es necesario hacer una segunda medición del diámetro de la copa más o menos perpendicular al primer diámetro. De esta forma se obtiene el valor de la cobertura de la copa del árbol (*crown cover*):

$$cc = (D_1 + D_2 / 4)^2 \pi$$

- f). *Cobertura relativa*: es la cobertura de una especie referida a la cobertura de todas las especies.

El valor de importancia de cada especie dentro de la comunidad se obtiene sumando sus valores relativos de densidad, cobertura y frecuencia. El valor de importancia ecológico varía en un rango de 0 a 300 (Brower and Zar, 1977).

## **2.4 Procesamiento de datos espectrales**

Para llevar a cabo el procesamiento de datos digitales se utilizó el paquete de análisis de imágenes ERDAS Imagine® v8.3, el cual corre bajo el ambiente UNIX y se encuentra instalado en estaciones de trabajo SUN microstation Ultra 10.

### **2.4.1 Corrección geométrica de las imágenes**

El concepto de corrección geométrica de las imágenes incluye cualquier cambio en la posición que ocupan los píxeles de la imagen. Debido a que se trata de un formato digital, esta transformación puede basarse en funciones numéricas que permiten modificar muy flexiblemente la geometría de la imagen.

La transformación puede emplearse tanto para corregir cartográficamente una imagen, es decir, transformar coordenadas de la imagen en coordenadas cartográficas, como para sobreponer dos o más imágenes entre sí con objeto de realizar estudios multitemporales.

La corrección geométrica es una georreferenciación que se lleva a cabo a través de la localización de puntos de referencia, como son los rasgos del terreno, comunes a la imagen y a la cartografía básica a la cual se pretende ajustar la imagen (o a otra imagen de referencia) y al cálculo posterior de las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen y las del mapa de referencia.

#### **2.4.1.1 Establecimiento de puntos de control**

El número idóneo de puntos de control depende del tamaño y la complejidad tanto geométrica como topográfica de la imagen. Si las deformaciones que presenta son importantes, conviene aplicar funciones de transformación complejas, con polinomios de segundo o tercer grado. Cuanto mayor sea el grado de la ecuación de ajuste, se requiere también un mayor número de puntos de control.

Respecto a la distribución, conviene que los puntos de control se distribuyan uniformemente sobre todo el territorio abarcado en la imagen, lo que evitará errores debidos a una ponderación excesiva del algún sector del área de estudio.

Debido a que el área de estudio presenta grandes contrastes topográficos se ubicaron alrededor de 250 puntos de control para georreferenciar cada una de las imágenes de satélite.



### 2.4.1.2 Cálculo de las funciones de transformación

Ecuaciones polinomiales son utilizadas para convertir las coordenadas de los archivos digitales a coordenadas de mapa rectificadas. El orden de transformación es el grado de la ecuación polinomial usada para dicha transformación.

Una transformación lineal es una transformación de primer orden, la cual puede expresarse como:

$$\begin{aligned}x_0 &= b_1 + b_2x_i + b_3y_i \\y_0 &= a_1 + a_2x_i + a_3y_i\end{aligned}$$

donde:

$x_i, y_i$  son las coordenadas de entrada  
 $x_0, y_0$  son las coordenadas de salida

Una transformación de primer orden puede cambiar la escala y el origen de la imagen, así como modificar la relación entre sus ejes y rotarla. Estas alteraciones son suficientes para corregir imágenes pequeñas, siempre que no se presenten contrastes altimétricos importantes. En caso de precisar una modificación más rigurosa, puede acudir a funciones de segundo o tercer grado, tratándose de modificaciones geométricas no lineales.

La calidad de la corrección geométrica puede valorarse comparando, para cada punto de control, las coordenadas estimadas por la regresión con las reales. El indicador más utilizado en estos casos es el error cuadrático medio (RMS):

$$\text{RMS}_{\text{error}}^2 = (x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2$$

donde:

$x_i, y_i$  son las coordenadas de entrada  
 $x_r, y_r$  son las coordenadas transformadas

Un alto RMS indica que ese punto no se ajusta convenientemente a la transformación imagen/mapa. El promedio de los RMS para todos los puntos de control representa la evaluación de la calidad general del ajuste.

La georreferenciación de las imágenes de satélite se llevó a cabo mediante transformaciones de tercer orden con un error cuadrático medio de 1 pixel, eliminándose aquellos puntos de control con un RMS por encima de ese valor.

### 2.4.1.3 Métodos de remuestreo

El siguiente paso en el proceso de rectificación es la generación de un nuevo formato matricial, esto es, a partir de las funciones de ajuste se calcula la posición correcta de cada pixel, lo cual no origina una nueva imagen puesto que solo se ha efectuado una transformación de coordenadas y no de números digitales.

La transferencia de dichos números digitales a la imagen corregida puede hacerse mediante tres métodos: 1). el vecino más cercano, 2). interpolación bilineal, y 3). convolución cúbica.

Para el remuestreo de las tres imágenes de satélite se empleó el método del vecino más cercano (*nearest neighbor*), el cual sitúa en cada celda de la imagen corregida el número digital (ND) del pixel más cercano en la imagen original y supone la menor transformación de los ND originales.

## 2.5 Clasificación de las imágenes

La clasificación multispectral es el proceso donde se lleva a cabo la asignación de los pixeles a un número determinado de clases individuales basado en sus valores de archivo.

Para llevar a cabo el proceso de clasificación, primero el sistema de cómputo debe ser “entrenado” para que pueda reconocer patrones en los datos. El entrenamiento es el proceso mediante el cual se definen los criterios a través de los cuales esos patrones serán reconocidos. Existen dos métodos básicos para obtener las muestras de entrenamiento: el método supervisado y el método no supervisado.

### 2.5.1 Método Supervisado

Parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido ya sea por experiencia previa o por trabajos de campo. Este conocimiento de la zona permite al analista delimitar sobre la imagen áreas representativas de los tipos de cobertura de interés. Estas áreas se denominan campos de entrenamiento (*training fields*) y sirven para “entrenar” a la máquina para que reconozca dichos tipos de cobertura.

Una vez seleccionadas las áreas de entrenamiento, se calculan las estadísticas elementales de cada categoría: media, rango, desviación estándar, matriz de varianza-covarianza, entre otras, a partir de los números digitales de todos los pixeles incluidos en los campos de entrenamiento asignados a esa clase. Se asume que las áreas de entrenamiento son una representación fiel de las distintas

categorías, y que, por lo tanto, los cálculos efectuados a partir de sus números digitales definen convenientemente a esas clases.

### 2.5.2 Método no supervisado

En este método un conjunto sistemático o aleatorio de elementos es seleccionado del área de estudio. Esta muestra es analizada para encontrar grupos de elementos que sean similares espectralmente y no implica ningún conocimiento previo del área de estudio.

A este método generalmente se le denomina de agrupamientos (*cluster*), debido a que se asume que los números digitales de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados. Estos grupos equivalen a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo, por lo que deben definir clases espectrales de interés.

La delimitación de cada grupo espectral se inicia indicando dos criterios: uno que mida la similitud entre píxeles y otro que marque las condiciones del proceso de agrupamiento (Chuvienco, 1990). Para medir la similitud de los píxeles se utiliza el criterio de la distancia euclidiana y, en cuanto al proceso de agrupamiento, el algoritmo empleado para la clasificación se denomina ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*), y procede a partir de las siguientes fases:

1. Se señalan una serie de centros de clase, en base a un número designado por el analista.
2. Se asignan todos los píxeles de la imagen al centro de clase más próximo, es decir, se utiliza la mínima distancia espectral para asignar un píxel a un grupo.
3. Se calculan de nuevo los centros de clase, teniendo en cuenta los valores de todos los píxeles que hayan sido incorporados en la fase anterior.
4. Se vuelven a asignar todos los píxeles al centro de clase más cercano.
5. Se vuelvan a calcular los centros de clase, tomando en cuenta las nuevas incorporaciones.

El proceso de repite iterativamente hasta que el centro de clase no se desplace significativamente, lo que indica un buen ajuste a los grupos presentes en la imagen (Chuvienco, 1990).

Un problema que presenta este método es el volumen de cálculo que necesita, por lo que, para darle mayor velocidad de ejecución suele extraerse una muestra sistemática de la imagen, a la cual se le aplica el algoritmo, motivo por el cual no se clasifica la imagen completa, pero si se clasifican los grupos más representativos presentes en ella.

Este método también analiza los píxeles incluidos en cada grupo para obtener sus medidas estadísticas elementales.

Para obtener las estadísticas de entrenamiento del área de estudio se utilizó un método híbrido, el cual combina aspectos de los métodos descritos y permite utilizar las ventajas de ambos. De esta forma se seleccionaron las áreas de entrenamiento de tal manera que los tipos de cobertura de interés quedaran incluidos en las estadísticas y, al mismo tiempo, a través del método no supervisado, se agruparon los elementos espectralmente similares, sin importar su posición espacial, lo que hizo que la variabilidad espectral de los tipos de cobertura de esta zona tan heterogénea fueran identificables.

Para la clasificación no supervisada se extrajeron varias muestras (Figura 7) a las cuales se les aplicó el algoritmo ISODATA de la siguiente manera:

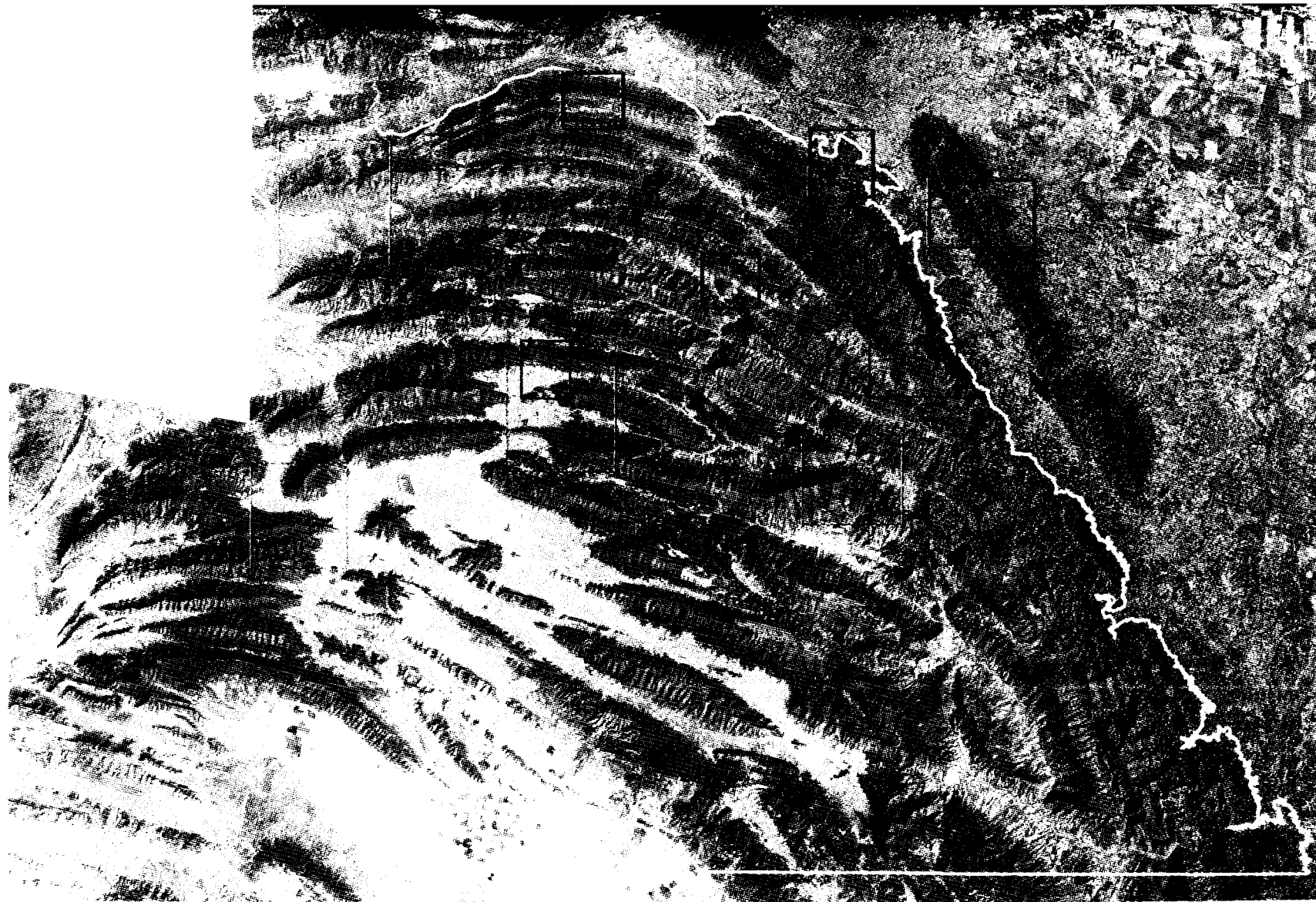
Número máximo de clases (N)	25
Umbral de convergencia (T)	0.95
Número máximo de iteraciones (M)	20

### 2.5.3 Análisis de las estadísticas de entrenamiento

Una vez seleccionadas las categorías es preciso evaluar la viabilidad de que puedan ser clasificadas correctamente. Existen varios métodos, tanto gráficos como numéricos, para evaluar las estadísticas de entrenamiento. Entre los gráficos se encuentra una prueba conocida como "elipses". En este método se calculan elipses de concentración con las medias y desviaciones estándar almacenadas en el archivo de las respuestas espectrales (*signature file*). La media y la desviación estándar de cada respuesta espectral son utilizadas para representar una elipse en la gráfica de características espaciales (ERDAS, 1997). Esta evaluación es muy útil pues nos permite conocer el traslape entre las clases. Cuando las clases presentan un traslape muy grande, las respuestas espectrales son muy similares, por lo que dichas clases no son separables.

Un criterio cuantitativo que nos permite evaluar numéricamente la posibilidad de discriminar las distintas categorías es el denominado *separabilidad estadística*, siendo la separabilidad una medida estadística de distancia entre los vectores medios de cada par de respuestas espectrales computadas. Esta medida se aplica a cada par de bandas que intervienen en la clasificación.

La fórmula utilizada para calcular la separabilidad fue la de *divergencia transformada*, la cual es una medida multivariada de la distancia estadística, la cual estima adecuadamente la probabilidad de una correcta clasificación entre



Imágenes Landsat-TM del 9 de abril de 1993 y 6 de enero de 1994

— Imagen SPOT del 17 de octubre de 1993



Figura 7. Zonas utilizadas para la clasificación no supervisada de las imágenes individuales

pares de clases. Los pares de clases con un alto valor de divergencia transformada poseen una precisión de clasificación alta, aunque la relación no es estrictamente lineal.

Esta distancia puede ser utilizada para establecer que tan distintas son las clases unas de otras, así como para seleccionar el conjunto de bandas que proporciona la mejor separación entre clases. Posteriormente se calcula un valor promedio de divergencia, para deducir la combinación idónea de bandas que ofrece la mejor separabilidad global.

#### **2.5.4 Asignación de clases**

Una vez terminada la selección y análisis de las categorías que intervendrán en la clasificación, se inicia la asignación de los píxeles de la imagen a una de las clases previamente seleccionadas. Esta asignación se realiza en función de los números digitales y para cada una de las bandas que intervienen en el proceso.

Los criterios más comunes para llevar a cabo la asignación de píxeles a las distintas clases son:

1. *Paralelepípedos*, el cual permite señalar al usuario umbrales de dispersión asociados a cada clase.
2. *Distancia mínima*, en el cual el píxel se asigna a la clase más cercana.
3. *Máxima verosimilitud*, en donde el píxel se asigna a aquella clase con la que posee mayor probabilidad de pertenencia.

Este último clasificador es el más complejo y el que demanda un mayor volumen de cálculo, sin embargo, es el más empleado por su robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos, por lo que fue el que se utilizó para llevar a cabo la asignación de píxeles.

#### **2.5.5 Recodificación de la clasificación**

Una vez clasificadas las imágenes, se procedió a su recodificación con la finalidad de unir a todas las clases espectrales que presentaran el mismo tipo de cobertura y así poder obtener una clasificación final con solo 15 clases informacionales:

Bosque de pino-ayarín-oyamel (Bpoa)  
 Bosque de pino-encino (Bpq)  
 Bosque de encino-pino (Bqp)  
 Bosque de pino (Bp)  
 Bosque de pino piñonero (Bpc)  
 Bosque de encino (Bq)  
 Chaparral  
 Matorral submontano (MSM)  
 Matorral desértico rosetófilo (MDR)  
 Matorral desértico micrófilo (MDM)  
 Pastizal  
 Zonas agrícolas  
 Suelos desnudos o sin vegetación aparente  
 Agua  
 Sombras

### 2.5.6 Evaluación de la clasificación

De forma complementaria al proceso de clasificación es necesario señalar la precisión de los datos obtenidos. El método que se siguió para la evaluación de la clasificación se divide en dos pasos:

1. *Selección de píxeles de referencia al azar*: lo que disminuye o elimina la posibilidad de sesgo. El método consiste en el despliegue de píxeles de referencia, seleccionados al azar, sobre las imágenes que fueron clasificadas. El número de píxeles es un factor muy importante para determinar la precisión de la clasificación. Se ha demostrado que son necesarios más de 250 píxeles de referencia para estimar la precisión media de una clase con más/menos 5% (Congalton, 1991; en ERDAS Field Guide, 1997). Para obtener la precisión del proceso de clasificación, se determina para cada píxel de referencia el tipo de cobertura que representa, mediante el uso de datos geográficos que se asume son verdaderos, y se comparan con la clasificación que se está evaluando.

Los píxeles de referencia fueron seleccionados mediante la técnica de azar equalizado (*equalized random*), en la cual cada clase tiene el mismo número de puntos al azar. Para cada clase se seleccionaron 20 puntos al azar.

2. *Reportes de error*: para comparar la imagen clasificada con los datos de referencia, se crea un arreglo de celdas. Este arreglo es solo una lista con los valores de las clases de la imagen clasificada y los valores de las clases correspondientes a los píxeles de referencia, los cuales son dados por el usuario.

A partir del arreglo de celdas se obtienen dos tipos de reportes: la matriz de error, la cual compara los puntos de referencia con los puntos clasificados en una matriz

del tipo  $c \times c$ , donde  $c$  es el número de clases (incluyendo la clase 0); y el reporte de precisión, que calcula las estadísticas de los porcentajes de precisión, basados en los resultados de la matriz de error (ERDAS Field Guide, 1997).

## 2.6 Generación de imágenes multitemporales

Los cambios en la reflectancia de la vegetación de acuerdo a la época del año brindan el criterio de identificación de las especies caducifolias de las perennifolias. Este cambio fenológico de vegetación en pleno vigor a vegetación senescente se muestra en la Figura 8, donde se aprecia claramente la variación en la reflectancia en ambos casos.

Se combinaron las imágenes de abril con la de enero y la de abril con la de octubre, respectivamente, para generar una imagen multitemporal que refleje más adecuadamente la composición vegetal de la Sierra de Arteaga debido a la aporte de información que presentan las bandas en una determinada época del año.

Para la generación de la imagen multitemporal primero se redujo la dimensionalidad de los datos a través de la selección de la mejor combinación de bandas, para lo cual se llevó a cabo un análisis de separabilidad, calculándose el mejor promedio y el mejor mínimo. A partir de estos datos se obtuvo la combinación idónea de bandas que ofrece la mejor separabilidad global (Tabla 4).

Se debe mencionar que la mejor banda espectral para cualquier combinación de bandas de la 1-7 es la primera banda del infrarrojo medio (1.55-1.75  $\mu\text{m}$ ). La siguiente mejor banda es la del infrarrojo cercano (0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ), seguida por la banda roja del visible (0.6-0.7  $\mu\text{m}$ ) y, finalmente, por la banda térmica (0.8-15.0  $\mu\text{m}$ ). La mejor combinación de 4 bandas incluye a una de cada una de las cuatro regiones del espectro electromagnético (visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo térmico) (Anuta, *et al.*, 1984).

Para la imagen de abril la mejor combinación fue la de las bandas 2,4,5 y 6. Para la imagen de enero se encontraron tres combinaciones de bandas: la 1,4,5 y 6, la 2,4,5 y 6, y la 3,4,5 y 6, de las cuales se utilizaron las bandas 1,3,4,5 y 6. Para la generación de la imagen multitemporal a partir de la imagen Landsat de abril y la imagen SPOT, se usaron las tres bandas del satélite SPOT.

Una vez generadas las imágenes multitemporales, se procedió a su clasificación y posterior evaluación de la precisión, para lo cual se siguieron las metodologías descritas en el inciso 2.5, incluyendo la extracción de muestras para su clasificación no supervisada (Figura 9).



Imagen Landsat-TM  
Abril 9, 1993

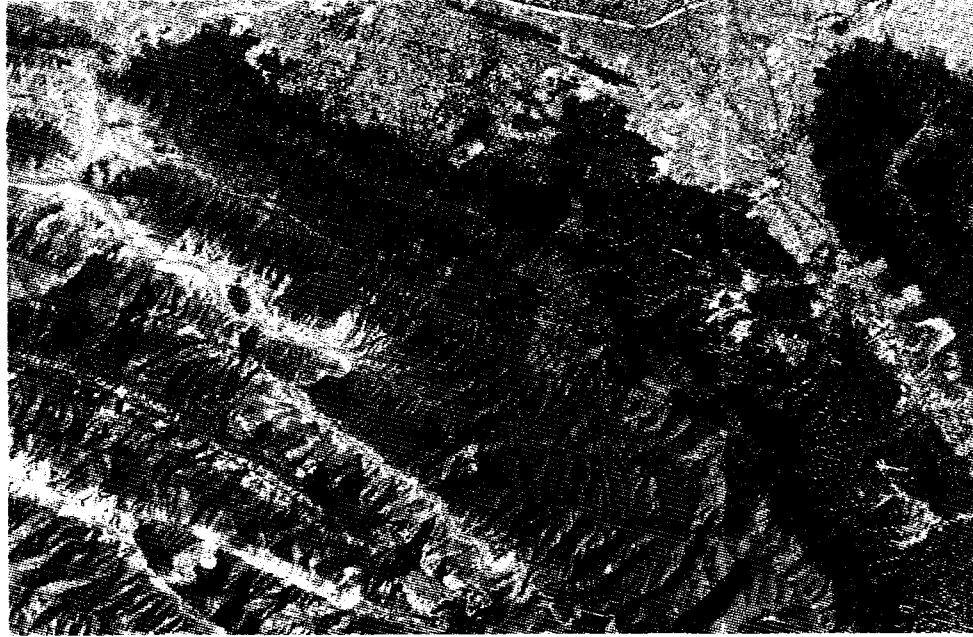
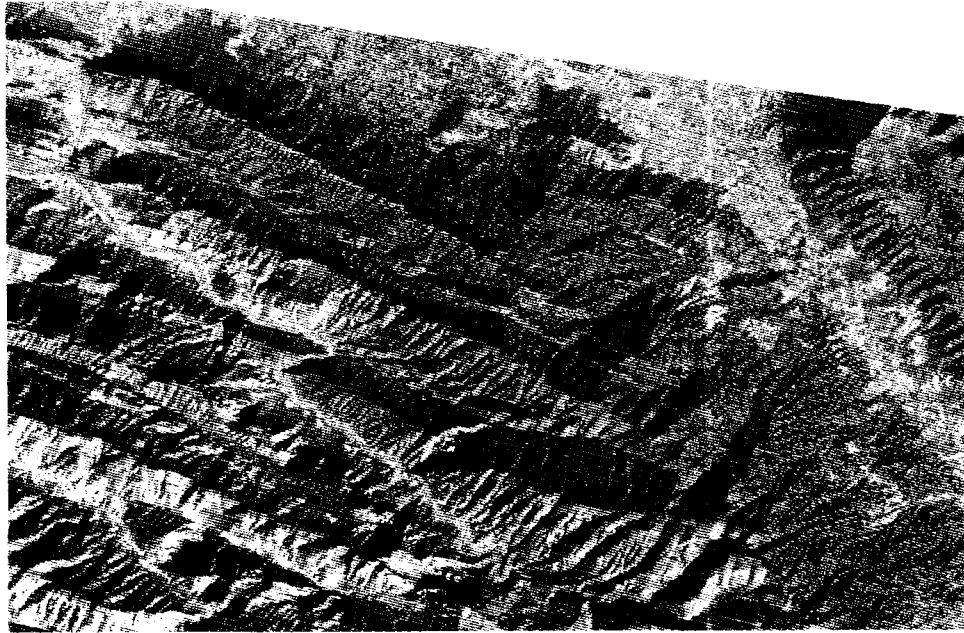


Imagen Landsat  
Enero 6, 1994



Scale



Kilometers

Composicion de color:  
TM 4 - rojo  
TM 5 - verde  
TM 3 - azul

Figura 8. Diferencia en las condiciones de la vegetacion en dos fechas diferentes en una misma zona

Tabla 4. Análisis de Separabilidad

## Imagen Landsat del 9 de abril de 1993

Combinación de Bandas	Mejor Promedio	Mejor Mínimo
<b>2 4 5 6</b>	<b>1984</b>	<b>430</b>
3 4 5 6	1982	139
1 4 5 7	1974	334
1 5 6 7	1974	319
2 3 4 5	1974	269
3 4 5 7	1965	6
4 5 6 7	1964	292

## Imagen Landsat del 6 de enero de 1994

Combinación de Bandas	Mejor Promedio	Mejor Mínimo
<b>2 4 5 6</b>	<b>1967</b>	<b>257</b>
<b>3 4 5 6</b>	<b>1967</b>	<b>235</b>
<b>1 4 5 6</b>	<b>1965</b>	<b>331</b>
1 3 5 6	1958	272
1 4 6 7	1956	282
1 3 4 5	1955	213
3 4 6 7	1955	192
1 2 5 6	1953	246
3 5 6 7	1951	168
2 3 5 6	1948	206
4 5 6 7	1946	80
1 3 4 7	1939	280
3 4 5 7	1938	177
2 3 4 5	1937	205
1 2 4 7	1934	168
1 2 6 7	1933	205
1 2 5 7	1927	89
2 3 4 6	1917	198
2 3 6 7	1914	161
2 3 4 7	1910	141
2 3 5 7	1905	48

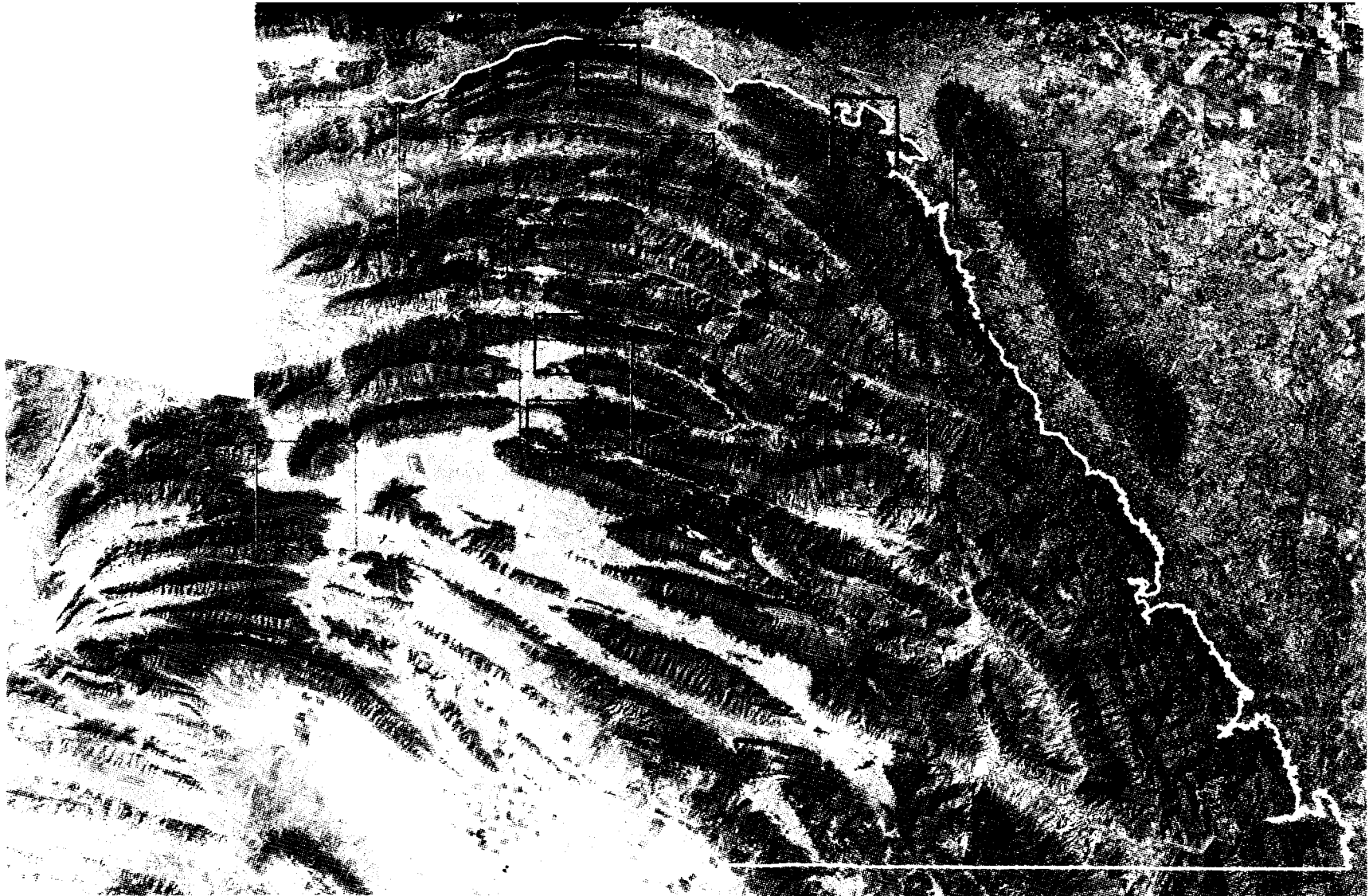


Imagen multitemporal generada a partir de las imagenes Landsat-TM

——— Imagen multitemporal generada a partir de las imagenes Landsat-TM de abril y SPOT de octubre

Figura 9. Zonas utilizadas para la clasificacion no supervisada de las imagenes multitemporales

## 2.7 Conversión de números digitales a valores de radianza

Para que pueda producirse una observación remota de la superficie terrestre es preciso que el sensor detecte un flujo energético proveniente de ésta. Ese flujo tiene una intensidad determinada, proveniente de o dirigida a una unidad de superficie y con una dirección concreta. Entre las unidades de medida que se emplean comúnmente en teledetección, se encuentra la radianza (L), cuya definición es la siguiente: "total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida" (Chuvieco, 1990).

Para efectuar la conversión de los números digitales de las imágenes Landsat-TM a valores de radianza, se empleó la siguiente ecuación:

$$L = \text{Ganancia} * \text{Número Digital} + \text{Sesgo}$$

Los valores de ganancia y sesgo para una banda en específico se encuentran en el archivo correspondiente a los datos técnicos de las imágenes. Las unidades en las que están dados estos valores son miliwatt sobre centímetro cuadrado sobre estereoradián, unidades en las cuales se obtiene el valor de radianza.

Para obtener los valores de radianza sobre micrómetro, se divide el valor obtenido de radianza por el ancho de banda del detector (Space Imaging EOSAT™: Digital Number (DN) to Radiance Conversion Procedures, 1998).

## 2.8 Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI)

Con objeto de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación se crean bandas artificiales, a partir de las originales, mediante la división de los números digitales almacenados en dos o más bandas de la misma imagen.

El empleo de los cocientes para discriminación de vegetación tiene su fundamento en el hecho que la respuesta espectral característica de la vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas visibles, especialmente la banda roja (0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), y las comprendidas en el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1  $\mu\text{m}$ ). Mientras los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben para realizar la función fotosintética en la región visible, en el infrarrojo cercano son bastante transparentes, por lo que la vegetación vigorosa presenta baja reflectividad en la banda roja del espectro y alta en el infrarrojo cercano.

La vegetación vigorosa presenta un contraste con la vegetación senescente, el cual es evidente en estas dos bandas, la banda roja del visible y la banda infrarroja cercana. Los suelos presentan una menor variación espectral a distintas longitudes de onda, mostrando una curva mucho más plana.

Por lo tanto, podemos mencionar que, cuanto mayor sea el contraste que se presenta entre la banda infrarroja y la roja, mayor vigor vegetal está reflejando y viceversa, cuanto menor sea el contraste en éstas bandas será indicio de una vegetación enferma o senescente.

El NDVI se expresa como:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}}$$

y se interpreta de la siguiente manera: cuanto mayor sea el resultado, mayor vigor vegetal presenta la zona observada. El resultado se presenta en un rango que va de 1 a -1.

Las nubes, el agua y la nieve presentan una mayor reflectancia en la región visible del espectro que en la región del infrarrojo cercano, por lo que los valores de NDVI para éstos elementos son negativos y se les asigna valores menores de cero. Roca y suelo desprovisto de vegetación tienen reflectancias aproximadamente iguales, de manera que sus NDVI correspondientes se acercan al cero. En áreas con vegetación, el NDVI varía de 0.1 a 0.6; los valores más altos corresponden a una mayor densidad y verdor del dosel de la vegetación (Giddings y Coria, 1984).

Para conocer el estado de la vegetación del área de estudio se obtuvieron los índices de la diferencia normalizada de la vegetación de las imágenes Landsat-TM del 9 de abril y del 6 de enero, así como el de la imagen SPOT del 17 de octubre.

## **2.9 Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de la precisión de las clasificaciones**

La evaluación estadística de las diferencias que existen entre las clasificaciones de las distintas imágenes de satélite se llevó a cabo mediante un análisis de varianza y una prueba de mínima diferencia significativa (MDS).

### **2.9.1 Análisis de Varianza (ANOVA)**

Un ANOVA es una técnica mediante la cual la variación total presente en un conjunto de datos se distribuye en varios componentes. Asociada con cada uno de estos componentes hay una fuente específica de variación, de modo que en el análisis es posible determinar la magnitud de las contribuciones de cada una de estas fuentes a la variación total (Daniel, 1987).

De acuerdo a la definición anterior, a través de un ANOVA se puede llevar a cabo la evaluación estadística de las diferencias significativas entre las imágenes que fueron clasificadas.

Los porcentajes de los resultados de la clasificación se encuentran distribuidos binomialmente (los pixeles están bien clasificados o no lo están), por lo que es necesario efectuar una transformación para lograr la normalidad de los datos. La transformación *arcseno* se utiliza cuando los datos son proporciones o porcentajes.

Una vez transformados los datos, se efectúa el ANOVA, seleccionándose un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , lo que implica que habrá un 95% de confianza de que la conclusión sea válida.

El análisis se lleva a cabo a través del uso del modelo de efectos fijos, el cual implica que se está interesado sólo en las poblaciones representadas por los datos de la muestra. Cualquier inferencia que pueda hacerse se aplica sólo a éstas poblaciones. El modelo es el siguiente:

$$X_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}$$

donde:

$X_{ij}$  = conjunto total de datos bajo estudio, es decir, porcentaje total de precisión de la clasificación.

$\mu$  = gran media

$\tau_j$  = efecto del tratamiento o clasificación

$e_{ij}$  = error que representa la desviación de la observación de la media de su grupo.

### 2.9.2 Mínima Diferencia Significativa (MDS)

Cuando el ANOVA prueba que existe diferencia entre las medias de las poblaciones surge la pregunta sobre qué parejas de medias son distintas. Existen diversos procedimientos para hacer comparaciones individuales. El procedimiento más utilizado es el de la mínima diferencia significativa, debido a Fisher.

Este procedimiento, que es una prueba *t* de *Student* que utiliza una varianza mancomunada del error, sólo es válido cuando se hacen comparaciones independientes. Una diferencia entre dos medias cualesquiera que exceda a una mínima diferencia significativa se considera como significativa en el nivel de significación utilizado al calcular la MDS (Daniel, 1987).

## CAPITULO III. Resultados y Discusión

### 3.1 Trabajo de Campo

Los parámetros obtenidos en los sitios muestreados (densidad, frecuencia, cobertura y valor de importancia ecológico) se encuentran en el apéndice A. La lista de especies asociadas a los puntos de verificación y muestreo se encuentran en el apéndice B.

En la Tabla 5, se presenta el valor de cobertura de cada uno de los 24 sitios muestreados, así como el valor de importancia ecológico, mediante el cual se encuentra designada la comunidad vegetal en dichos puntos.

Los puntos donde se llevaron a cabo los muestreos para obtener el valor de cobertura vegetal fueron seleccionados en las imágenes de satélite. Los lugares que mostraban una marcada diferencia en la reflectancia fueron seleccionados. Se trató de incluir a las comunidades vegetales más representativas de la zona de estudio y, al mismo tiempo, obtener información para efectuar la clasificación de las imágenes de satélite.

Por medio del método de muestreo se obtuvieron: 1). el valor de importancia ecológico de la vegetación, lo que proporcionó elementos para establecer el tipo de comunidad que se muestreó y para relacionarla al valor de radianza obtenido a partir de la información de la imagen de satélite. A través de esta relación se puede observar el comportamiento estacional de la vegetación de acuerdo a los cambios en dichos valores de radianza, y 2). el valor de cobertura de las comunidades vegetales más significativas dentro del área de estudio para compararla con los valores digitales de las imágenes, con la finalidad de evaluar los cambios estacionales que presenta la vegetación en relación con el valor de cobertura. El valor de cobertura se midió para un área de 900 m<sup>2</sup> (por ser el valor de un pixel) y se extrapolo a un valor por hectárea, unidad en la que es más común la representación de una superficie.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de campo. Se aprecian valores muy altos de cobertura de algunas comunidades, como es el caso del Bosque de *Chiococca pachiphylla* - *Quercus polymorpha*, en la localidad de La Estanzuela. Esta comunidad es muy densa, lo que se refleja en los altos valores de cobertura. Lo mismo sucede con el Bosque de *Quercus rysophylla* - *Pinus pseudostrobus*, en la localidad de Chipinque, donde también la vegetación que se presenta es muy densa.

Tabla 5. Valores de cobertura de diferentes comunidades vegetales del área de estudio

	Localidad	Easting	Northing	Altitud (m)	Exposición	Comunidad Vegetal	Cobertura (900 m <sup>2</sup> )	Cobertura (Ha)
1	La Laborcita	375,756	2,815,806	850	NE	B. de <i>Quercus polymorpha</i>	964	10 713
2	La Estanzuela	371,838	2,824,471	850	O	B. de <i>Chiococca pachiphylla-Quercus polymorpha</i>	2 888	32 089
3	La Virgen	370,036	2,827,332	960	NE	B. de <i>Carya sp.-Quercus canbyi</i>	1 340	14 899
4	Chipinque	366,663	2,831,386	1 140	NE	B. de <i>Quercus rysophylla-Pinus pseudostrobus</i>	2 153	23 925
5	Chipinque	366,224	2,831,893	1 350	S	B. de <i>Pinus teocote-Quercus canbyi</i>	1 249	13 888
6	Santa Catarina	345,919	2,840,675	1 050	N	MSM de <i>Acacia berlandieri-Dasyliroton texanum</i>	414	4 607
7	La Huasteca	351,403	2,833,337	860	NNW	MDR de <i>Agave lechuguilla-Heliopsis parvifolia</i>	321	3 568
8	El Manzano	379,674	2,806,689	1 550	SSE	B. de <i>Pinus teocote-Pinus pseudostrobus</i>	808	8 988
9	El Mirador	368,076	2,824,166	900	S	MSM de <i>Xanthoxylum fagara-Pithecellobium pallens</i>	605	6 732
10	Santa Catarina	345,834	2,841,429	885	N	MDM de <i>Porlieria angustifolia-Acacia berlandieri</i>	164	1 830
11	Arteaga	313,375	2,799,614	2 130	N	B. de <i>Juniperus monosperma-Pinus cembroides</i>	504	5 601
12	Arteaga	311,469	2,803,374	2 150	O	B. de <i>Pinus cembroides-Juniperus monosperma</i>	518	5 764
13	Arteaga	311,175	2,792,548	2 290	N	Chaparral de <i>Quercus cordifolia-Pinus cembroides</i>	222	2 467
14	Arteaga	310,886	2,793,331	2 270	S	B. de <i>Pinus cembroides-Quercus cordifolia</i>	343	3 815
15	Las Galeras	315,193	2,786,633	2 150	S	B. de <i>Pinus cembroides-Juniperus monosperma</i>	488	5 424
16	Arteaga	302,004	2,787,317	2 160	N	B. de <i>Pinus cembroides-Juniperus monosperma</i>	443	4 923
17	La Carbonera	330,268	2,816,608	2 030	N	B. de <i>Pinus cembroides-Quercus cordifolia</i>	567	6 303
18	La Carbonera	344,306	2,815,196	2 680	N	B. de <i>Pseudotsuga sp.-Quercus greggii-Pinus ayacahuite</i>	1 109	12 326
19	Los Lirios	336,536	2,808,078	2 150	N	B. de <i>Pinus cembroides-Cupressus sp.</i>	643	7 152
20	El Taray	350,868	2,802,209	2 450	S	B. de <i>Pinus cembroides-P. pseudostrobus-Q. cordifolia</i>	875	9 729
21	La Camotera	378,505	2,800,619	1 650	SE	B. de <i>Pinus pseudostrobus-Quercus laeta</i>	991	11 020
22	Los Condominios	365,685	2,804,435	1 925	N	B. de <i>Pinus teocote-Pinus pseudostrobus</i>	1 009	11 215
23	Sn Juan Bautista	366,716	2,810,630	1 470	N	MSM de <i>Leucaena greggii-Rhus virens</i>	408	4 539
24	La Ciénega	374,683	2,806,521	1 450	NW	B. de <i>Pinus pseudostrobus-Pinus teocote</i>	735	8 176



Posteriormente, en orden descendente de cobertura se encuentran las comunidades del género *Carya*, *Pinus* y *Quercus*, las cuales presentan un valor de cobertura acorde al dosel de la vegetación, el cual es abundante en éstas comunidades arbóreas. Las comunidades con un menor valor de cobertura son los matorrales desérticos micrófilos y los desérticos rosetófilos.

### 3.2 Conversión a valores de radianza

Antes de estimar los valores de radianza de las distintas comunidades vegetales se llevó a cabo la evaluación de las imágenes individuales con la finalidad de revisar que no presentaran distorsiones por efectos de la atmósfera. Para esto se determinaron los valores de radianza de un cuerpo de agua (Presa La Boca, Figura 10) y de un suelo desnudo en el municipio de Santa Catarina (Figura 11). Como puede apreciarse la reflectancia de estas dos zonas no varía significativamente de una época a otra, por lo que se puede afirmar que no existen distorsiones en las imágenes y que los valores de radianza obtenidos a partir de ellas son válidos.

Para correlacionar los cambios en las respuestas espectrales de la vegetación con los eventos de tipo fenológico, se compararon los valores de radianza de las imágenes Landsat del 9 de abril y del 6 de enero (Figuras 12 a 17) correspondientes a las comunidades vegetales más representativas del área de estudio.

Los valores de radianza para la comunidad de Bosque de pino (Figura 12) no muestran diferencia significativa en ambas fechas, de hecho son curvas muy similares. La diferencia que se aprecia en las gráficas se debe a la iluminación solar en el momento de la toma de la imagen. La cantidad de energía en la imagen de enero es menor que en la de abril. De esta gráfica podemos decir que el cambio en la respuesta espectral de la vegetación no es significativo, ya que se trata de una comunidad que presenta características perennifolias.

En los valores de radianza de la comunidad de Bosque de encino (Figura 13) se muestra un incremento notable en los valores de la imagen del 9 de abril, a diferencia de los valores que se presentan en la imagen del 6 de enero. Esta diferencia se debe a que en abril las hojas de los encinos han brotado, lo que genera un incremento en la reflectancia de esta comunidad con respecto a la reflectancia que presenta en enero, época en que las hojas de los encinos están secas. Con base en lo anterior se confirma en las imágenes el estado subcaducifolio que presentan éstas comunidades.

mW/(cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

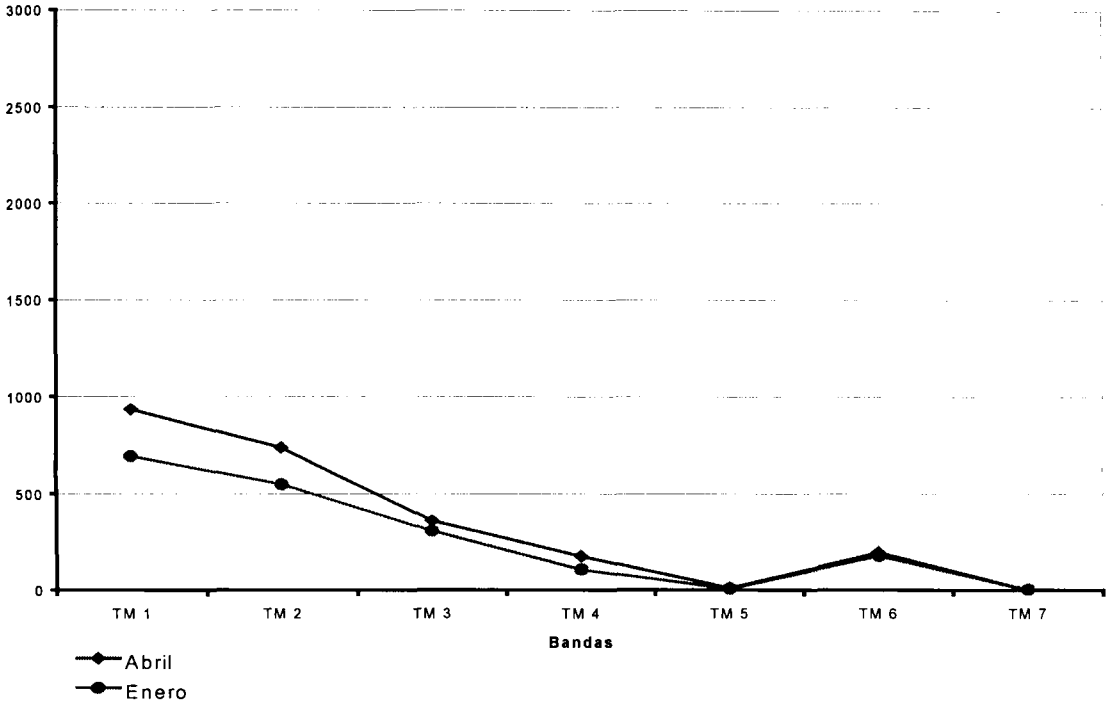


Figura 10. Valores de Radianza de un cuerpo de agua (Presa La Boca)

mW/(cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

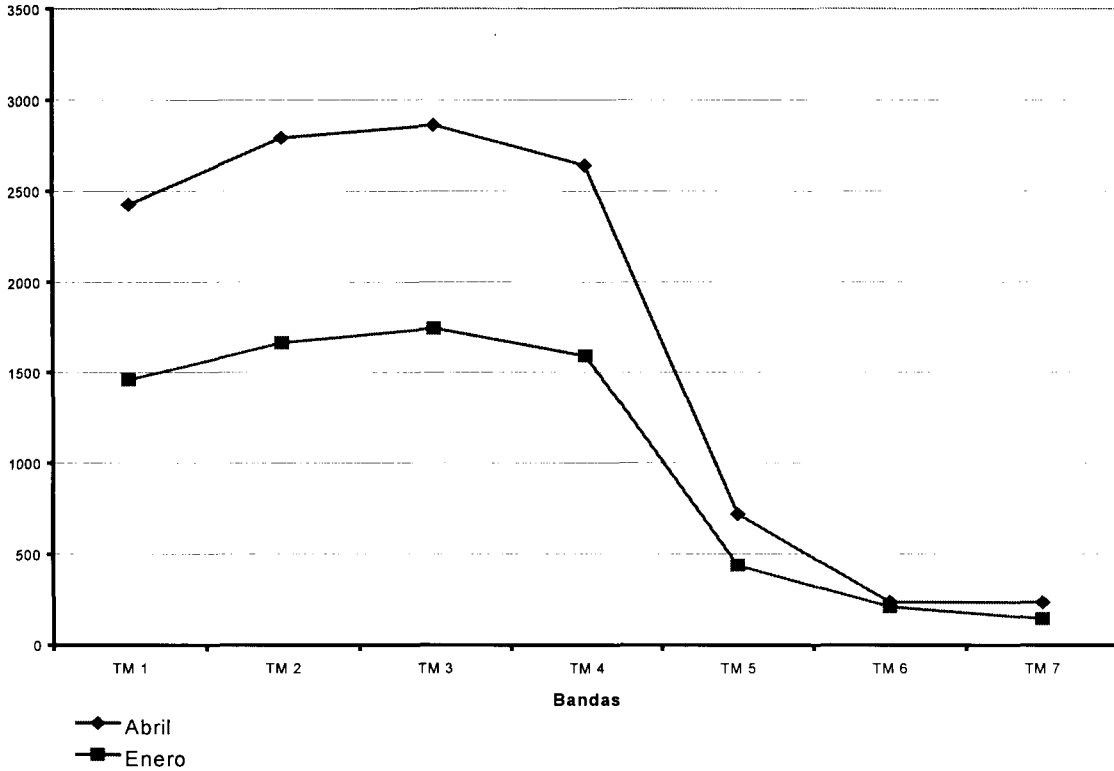


Figura 11. Valores de Radianza Suelos desnudos

mW/(cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

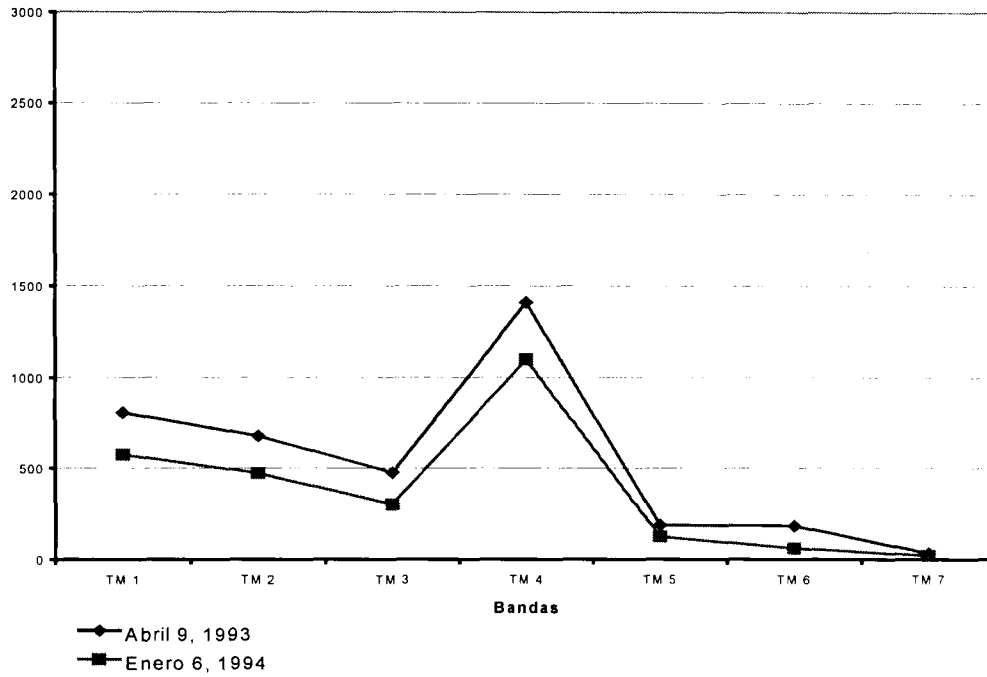


Figura 12. Valores de Radianza  
Bosque de Pino

mW/(cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

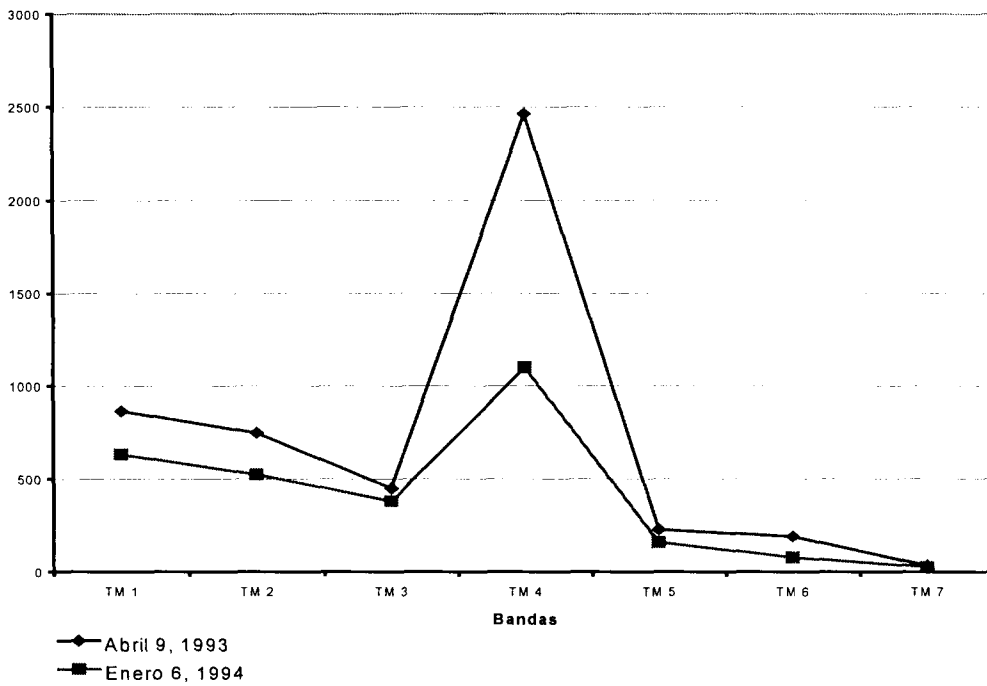


Figura 13. Valores de Radianza  
Bosque de Encino

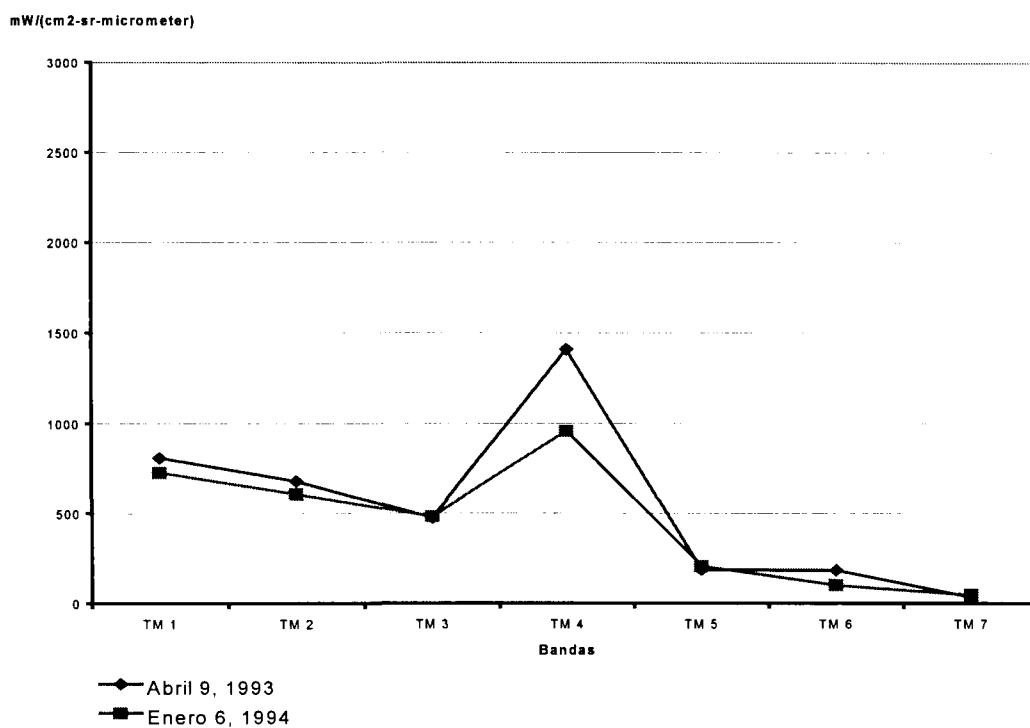


Figura 14. Valores de Radianza Matorral Submontano

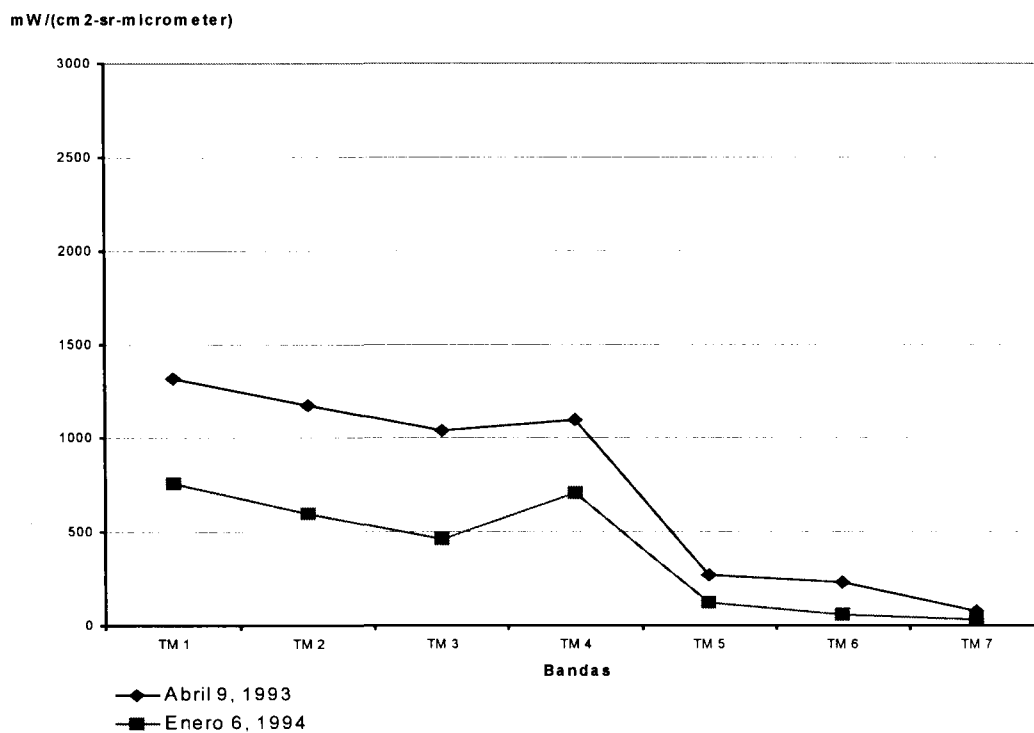


Figura 15. Valores de Radianza Matorral Desértico Rosetófilo

mW/(cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

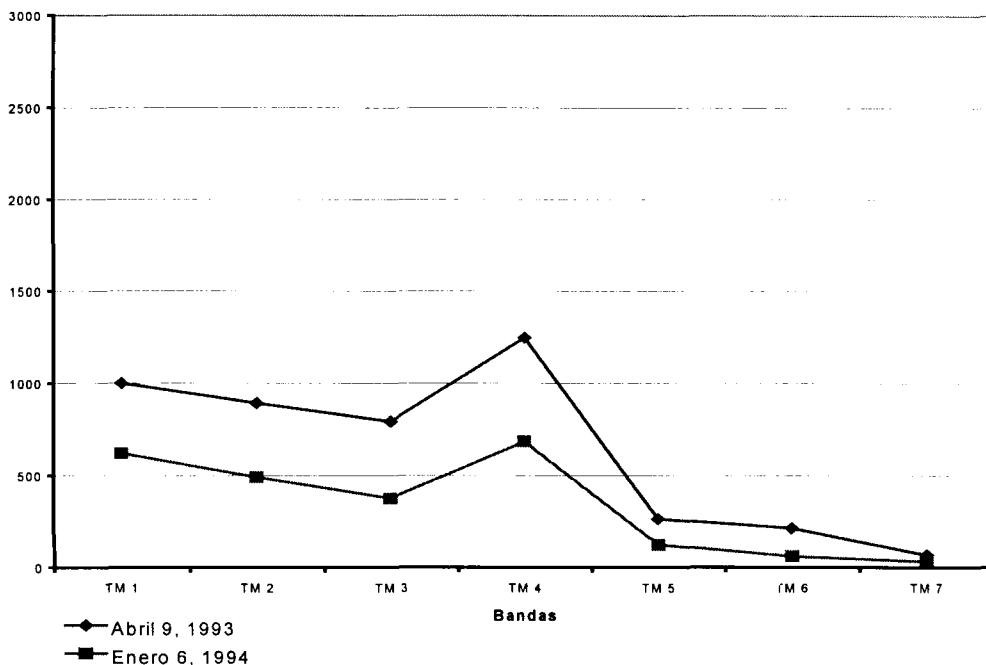


Figura 16. Valores de Radianza Bosque de Pino piñonero

mW/cm<sup>2</sup>-sr-micrometer)

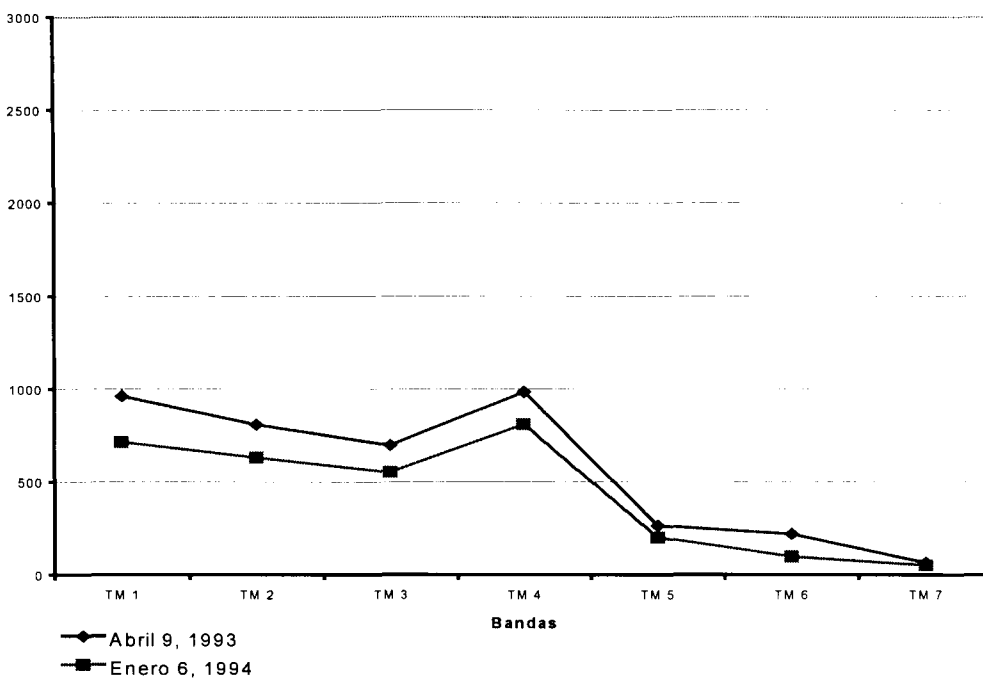


Figura 17. Valores de Radianza Matorral Submontano

En la imagen del 6 de enero se confunden los encinos con el matorral submontano, debido a que la reflectancia de ambas comunidades es la misma en ésta época del año, como puede apreciarse en las Figuras 14 y 17, que muestran los valores de radianza para el matorral submontano. En enero, esta comunidad vegetal tiene un valor de reflectancia de  $1,000 \text{ mW}/(\text{cm}^2\text{-sr-}\mu\text{m})$  aproximadamente, que es el mismo valor que presentan los encinos en esta época. Ahora bien, el valor de reflectancia del matorral submontano en enero es muy similar al que presenta en abril, lo que sugiere la presencia de especies perennifolias dominantes dentro de esta comunidad.

Lo mismo puede afirmarse para las comunidades de matorral desértico rosetófilo (Figura 15), las cuales no presentan una variación notable en sus respuestas espectrales en ambas imágenes. En ésta gráfica se observa una elevada reflectancia en las bandas visibles, la cual se debe a la cantidad de suelo desnudo que se presenta en este tipo de comunidades vegetales.

La comunidad de Bosque de pino piñonero (Figura 16) muestra una respuesta espectral muy similar a la del matorral submontano, ya que se trata de comunidades con características estructurales muy similares como son un desarrollo arbustivo denso, una altura similar y una distribución en zonas de transición entre climas semisecos templados y secos semicálidos. Esta similitud en las respuestas espectrales dificulta su clasificación. También se trata de una comunidad perennifolia pues su variación temporal no es significativa.

### 3.3 Clasificación de las imágenes individuales

Se clasificaron en forma individual las imágenes Landsat-TM del 9 de abril (Figura 18), SPOT del 17 de octubre (Figura 19) y Landsat-TM del 6 de enero (Figura 20). Los reportes del análisis de la precisión de éstas clasificaciones individuales se muestran en las Tablas 6, 7 y 8.

En estos reportes se muestra el número de píxeles que fueron seleccionados por el usuario para cada clase (totales de referencia), el número total de píxeles clasificados, el número correcto de píxeles clasificados por el usuario para cada clase, la precisión de la aplicación (precisión del productor) y la precisión del usuario.

Para interpretar los reportes del análisis de precisión se toma como ejemplo la Tabla 6, que corresponde a la imagen Landsat del 9 de abril de 1993. Para la clase de bosque de pino se tiene un total de 25 píxeles de referencia, seleccionados por el usuario, de los cuales sólo 17 fueron clasificados correctamente. Estos 17 píxeles representan el 68% de la precisión del productor y el 73.91% de la precisión del usuario con base en los 23 píxeles que fueron

seleccionados al azar sobre la clase de bosque de pino. De los 25 píxeles que selecciona el usuario, sólo 23 le asigna el productor a la clase.

En la clasificación de la imagen del 9 de abril de 1993 (Figura 18) se obtuvo un porcentaje de precisión del 84%. Se logró discriminar las comunidades de pino de las de encinos. También se identificaron el matorral submontano y el bosque de pino piñonero. Esta última comunidad se identificó a pesar de tener respuestas espectrales muy similares a las del matorral submontano.

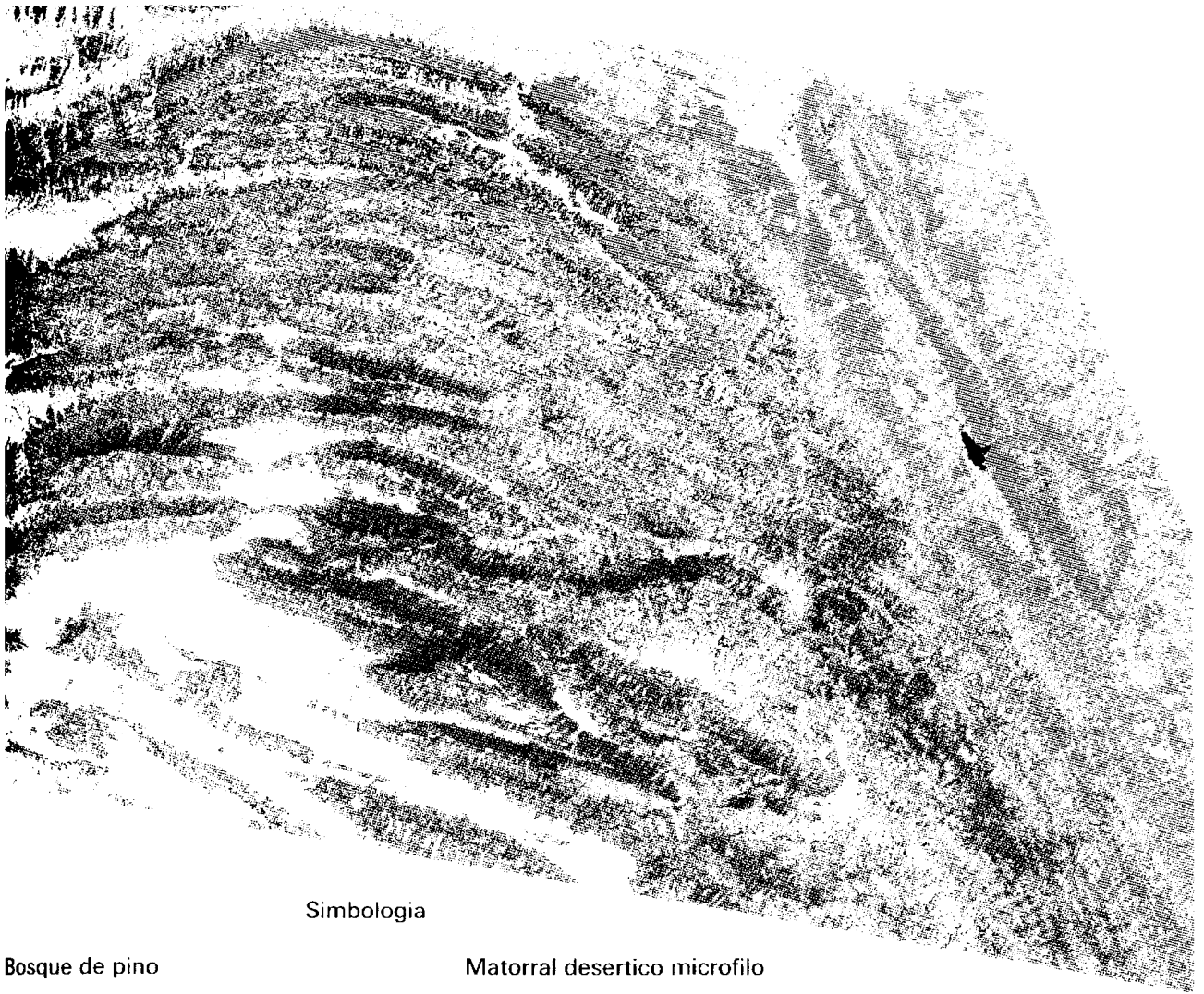
En la clasificación de la imagen Landsat de abril se presentan algunas confusiones en la identificación de asociaciones pino-encino y viceversa. Esto es debido a que a principios de la primavera (época de la imagen) algunas especies todavía mantienen una condición subcaducifolia, mientras que otras ya están en foliación. Como consecuencia tenemos respuestas espectrales muy semejantes a las de las especies perennifolias, las cuales mantienen el mismo aspecto a lo largo del año.

En las zonas agrícolas también encontramos confusión con los pastizales debido a que algunas zonas presentan cultivos que pueden tener un respuesta espectral muy similar a la de la vegetación propia de un pastizal.



La clasificación de la imagen SPOT 17 de octubre (Figura 19) presentó un porcentaje de precisión del 77%. Debido a la confusión que existe entre las asociaciones mixtas de pino y encino, no fue posible reconocer éstas asociaciones vegetales, lo que se debe a que el sensor SPOT carece de una banda en el infrarrojo medio que es la que detecta el contenido de humedad en las hojas. Esto dificulta la evaluación del estado de la hoja, si está senescente o no, por lo que a pesar de la época del año (octubre), cuando aún hay hojas en los árboles, no se pudo determinar su estado. Por tal motivo se tiene una respuesta espectral muy similar en éstas comunidades mixtas de pino y encino.

Si en la comunidad mixta de pino y encino predominan los pinos, ésta se clasificó como bosque de pino y si predominan los encinos, entonces la comunidad se clasificó como bosque de encino.

El bosque de pino piñonero tampoco se logró identificar en la imagen SPOT, confundiéndose con otros bosques de pino, en contraste con la imagen Landsat del 9 de abril, donde si logra discriminarse ésta comunidad. Esto probablemente se debe también a la falta de la banda infrarroja media del sensor.



Simbologia

- |                              |                                                                                     |                               |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Bosque de pino               |                                                                                     | Matorral desertico microfilo  |
| Bosque de encino             |  | Matorral desertico rosetofilo |
| Bosque de pino pinonero      |                                                                                     | Pastizal                      |
| Bosque de pino-oyamel-ayarin |                                                                                     | Zonas Agricolas               |
| Bosque de pino-encino        |                                                                                     | Suelos desnudos               |
| Bosque de encino-pino        |  | Agua                          |
| Chaparral                    |                                                                                     |                               |
| Matorral submontano          |                                                                                     |                               |



Scale

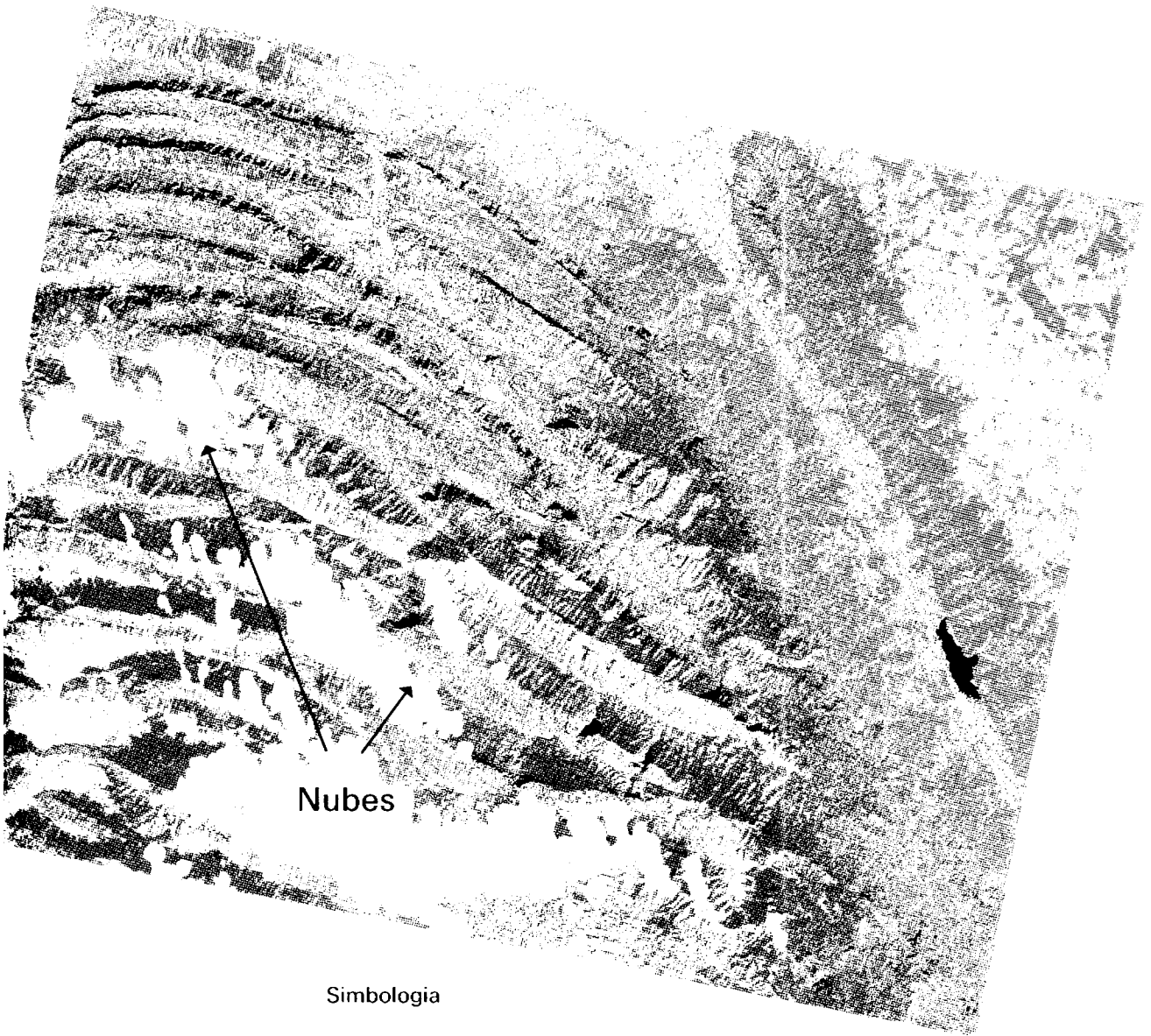


Figura 18. Clasificacion de la Imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993






Tabla 6. Reporte del análisis de precisión de la clasificación de la imagen Landsat del 9 de abril de 1993

Clase	Totales de Referencia	Totales Clasificados	Número Correcto	Precisión del Productor (%)	Precisión del Usuario (%)
No clasificado	20	20	20	---	---
Bosque de pino-oyamel-ayarín	22	24	20	90.91	83.33
Bosque de pino-encino	19	24	13	68.42	54.17
Bosque de encino-pino	13	13	9	69.23	69.23
Bosque de pino	25	23	17	68.00	73.91
Bosque de pino piñonero	23	24	20	86.96	83.33
Bosque de encino	24	22	18	75.00	81.82
Chaparral	30	24	23	76.67	95.83
Matorral submontano	19	22	17	89.47	77.27
Matorral desértico rosetófilo	21	24	19	90.48	79.17
Matorral desértico micrófilo	21	22	20	95.24	90.91
Pastizal	28	24	23	82.14	95.83
Zonas Agrícolas	22	22	21	95.45	95.45
Suelos desnudos	21	20	19	90.48	95.00
Agua	0	0	0	---	---
<b>Totales</b>	<b>308</b>	<b>308</b>	<b>259</b>		
<b>Precisión de la Clasificación Total = 84.09%</b>					



Simbologia

Bosque de pino		Matorral desertico microfilo	
Bosque de encino		Matorral desertico rosetofilo	
Bosque de pino pinonero		Pastizal	
Bosque de pino-oyamel-ayarin		Zonas Agricolas	
Bosque de pino-encino		Suelos desnudos	
Bosque de encino-pino		Agua	
Chaparral		Sombras	
Matorral submontano			

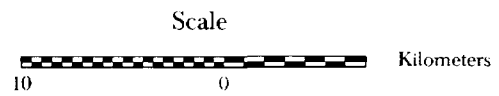
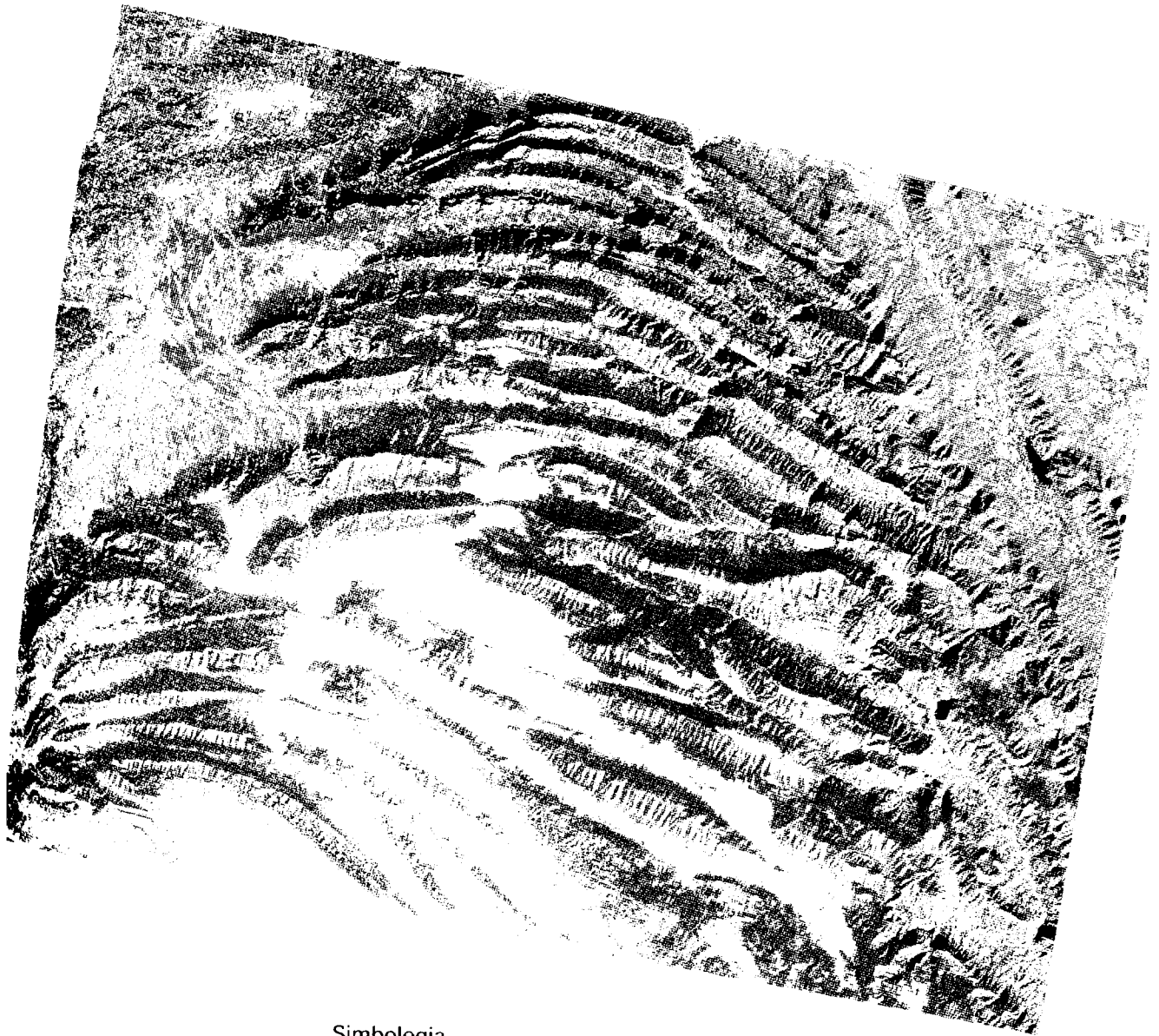













Figura 19. Clasificacion de la Imagen SPOT del 17 de octubre de 1993

Tabla 7. Reporte del análisis de precisión de la clasificación de la imagen SPOT del 17 de octubre de 1993

Clase	Totales de Referencia	Totales Clasificados	Número Correcto	Precisión del Productor (%)	Precisión del Usuario (%)
No clasificado	25	25	25	---	---
Bosque de pino-oyamel-ayarín	5	0	0	---	---
Bosque de pino-encino	8	0	0	---	---
Bosque de encino-pino	2	0	0	---	---
Bosque de pino	19	25	7	36.84	28.00
Bosque de pino piñonero	13	25	13	100.00	52.00
Bosque de encino	26	25	21	80.77	84.00
Chaparral	25	25	19	76.00	76.00
Matorral submontano	36	25	24	66.67	96.00
Matorral desértico rosetófilo	19	19	18	94.74	94.74
Matorral desértico micrófilo	11	25	11	100.00	44.00
Pastizal	25	25	20	80.00	80.00
Zonas Agrícolas	26	25	24	92.31	96.00
Suelos desnudos	28	24	24	85.71	100.00
Agua	5	5	5	100.00	100.00
<b>Totales</b>	<b>273</b>	<b>273</b>	<b>211</b>		
<b>Precisión de la Clasificación Total = 77.29%</b>					



Simbologia

- |                                                                                                                  |                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Bosque de pino               |  Matorral desertico rosetofilo |
|  Bosque de encino             | Pastizal                                                                                                          |
|  Bosque de pino pinonero      | Zonas Agricolas                                                                                                   |
|  Bosque de pino-oyamel-ayarin | Suelos desnudos                                                                                                   |
|  Bosque de pino-encino        |  Agua                          |
|  Bosque de encino-pino        |  Sombras                       |
|  Chaparral                    |                                                                                                                   |
|  Matorral submontano          |                                                                                                                   |

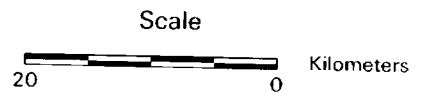


Figura 20. Clasificación de la Imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994

Tabla 8. Reporte del análisis de precisión de la clasificación de la imagen Landsat del 6 de enero de 1994

Clase	Totales de Referencia	Totales Clasificados	Número Correcto	Precisión del Productor (%)	Precisión del Usuario (%)
No clasificado	22	21	21	---	---
Bosque de pino-oyamel-ayarín	14	20	14	100.00	70.00
Bosque de pino-encino	4	0	0	---	---
Bosque de encino-pino	1	0	0	---	---
Bosque de pino	19	21	15	78.95	71.43
Bosque de pino piñonero	22	21	19	86.36	90.48
Bosque de encino	16	21	11	68.75	52.38
Chaparral	26	21	20	76.92	95.24
Matorral submontano	22	21	13	59.09	61.90
Matorral desértico rosetófilo	21	19	17	80.95	89.47
Matorral desértico micrófilo	16	16	16	100.00	100.00
Pastizal	25	21	20	80.00	95.24
Zonas Agrícolas	25	21	20	80.00	95.24
Suelos desnudos	10	20	10	100.00	50.00
Agua	0	0	0	---	---
Sombras	21	21	21	100.00	100.00
Totales	264	264	217		
<b>Precisión de la Clasificación Total = 82.20%</b>					

Los matorrales ubicados en zonas bajas se clasificaron bien y los matorrales que se encuentran en la zona de transición con los encinos presentaron un poco de confusión con los encinos, lo cual podría deberse a la similitud en las respuestas espectrales en esta época del año, ya que ambas comunidades albergan individuos de características caducifolias y, por lo tanto, de comportamiento fenológico muy similar.

Cabe mencionar que la imagen SPOT presenta nubes sobre la porción sureste del área de estudio, las cuales disminuyen información de la vegetación de la zona que cubren. Para evitar errores en la clasificación se eliminaron las zonas con nubes, así como las sombras de las nubes.

La clasificación de la imagen Landsat del 6 de enero (Figura 20) se obtuvo con un porcentaje de precisión del 82%. En esta imagen se lograron diferenciar las comunidades de pinos de las de encinos, con base a las diferentes respuestas espectrales que presentan estas comunidades vegetales en esta época del año, donde los encinos muestran un estado subcaducifolio. Sin embargo se presentaron confusiones entre el matorral submontano y los bosques de encino, lo que indica que en ambas comunidades se existen elementos de hoja decidua.

También hubo confusión entre los pastizales, zonas agrícolas y los suelos desnudos. Esto se debe a que en esta época del año los terrenos aún no han sido preparados para la siembra y los pastizales pueden encontrarse con vegetación muy escasa en esta época del año.

En cuanto a los bosques de pino piñonero, éstos se pudieron clasificar correctamente y sin mostrar confusión con el matorral submontano, lo mismo que las comunidades de matorral desértico. Esto se debe al comportamiento de la vegetación en esta época del año, donde los elementos caducifolios del matorral submontano muestran características que los hacen distinguibles de los elementos perennifolios del bosque de pino piñonero.

La imagen Landsat de enero tiene sombras debido a la posición del sol al momento de la toma de la imagen. Estas sombras se clasifican como tales debido a que ocasionan la pérdida de información en esas zonas.

### **3.4 Clasificación de las imágenes multitemporales**

Una vez que se identificaron las comunidades vegetales presentes en la zona de estudio en las imágenes individuales y se determinó que había comunidades caducifolias y comunidades perennifolias, se procedió a la combinación de bandas entre imágenes para generar imágenes multitemporales que nos proporcionaran una mayor cantidad de información para poder clasificar con mayor precisión éstas comunidades vegetales.

La primera combinación de bandas se dio entre las bandas 2,4,5, y 6 de la imagen Landsat de abril y las 3 bandas de la imagen SPOT (Figura 21). Esta combinación generó una imagen multitemporal de 7 bandas, la cual se clasificó, obteniéndose un porcentaje de precisión del 88% (Tabla 9), el cual supera al porcentaje de precisión obtenido en las imágenes individuales.

En esta imagen multitemporal, la información proporcionada por la imagen Landsat aportó elementos para una mejor discriminación de comunidades que no pudieron ser identificadas mediante el uso de la imagen SPOT individual. Se logró la identificación de comunidades de pino y encino, así como de sus asociaciones vegetales. También se logra diferenciar los matorrales submontanos, los matorrales desérticos micrófilo y rosetófilo. Las comunidades donde se presenta el pino piñonero también se clasificaron. Aún así el porcentaje de precisión quedó por debajo del porcentaje de la imagen multitemporal generada a partir de la combinación de las imágenes Landsat. Esto se debe a la ya mencionada falta de una banda en el infrarrojo medio en el sensor de SPOT.

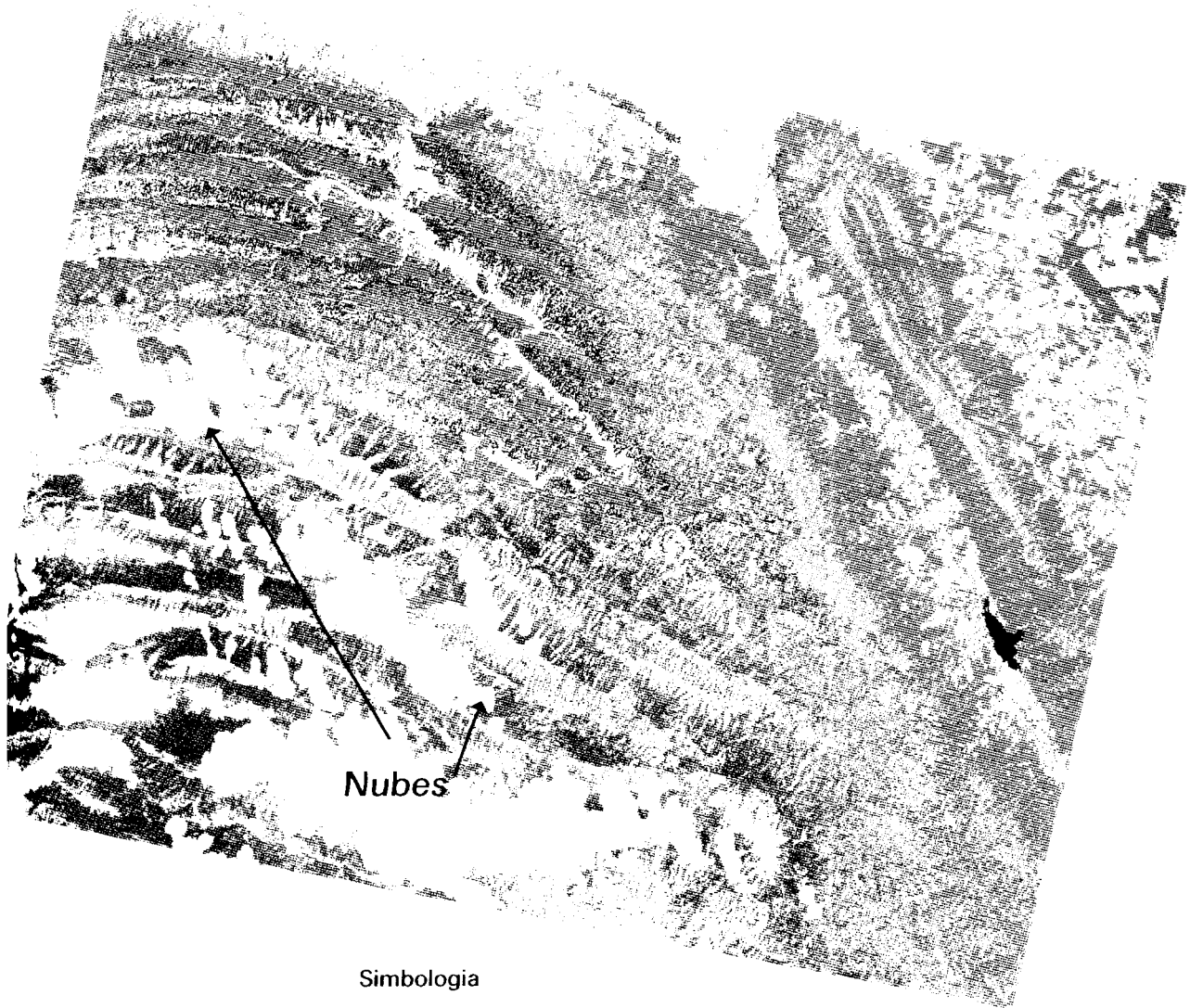
Cabe mencionar que al hacer la combinación de bandas se perdió información en el área donde se presentan las nubes en la imagen SPOT ya que para hacer la validación temporal hubo que restar esa información de las bandas proporcionadas por la imagen Landsat.

Entre las imágenes Landsat del 9 de abril y del 6 de enero se llevó a cabo la combinación de las bandas 2,4,5 y 6 de la imagen de abril y la 1,3,4,5 y 6 de la imagen de enero. De esta manera se generó una imagen de 9 bandas, con la cual se cubren todas las regiones del espectro (las tres bandas visibles, una infrarroja cercana, una infrarroja media y una infrarroja térmica), tratando de obtener la mayor cantidad de información posible.

La imagen multitemporal se clasificó (Figura 22), obteniéndose un porcentaje de precisión del 95% (Tabla 10), logrando identificar las comunidades de pinos y de encinos así como sus combinaciones con otros tipos de vegetación.

Esta clasificación nos brindó una representación muy interesante de las variaciones de tipo fenológico, y al mismo tiempo incrementó el porcentaje de precisión de la clasificación, con respecto a las imágenes individuales.

También se lograron discriminar las comunidades de encinos de las comunidades de matorral submontano, debido a la información adicional que se obtuvo a partir de la combinación de bandas de imágenes de dos épocas del año que mostraron claramente el comportamiento estacional de estas comunidades vegetales.



Simbologia

- |                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| ■ Bosque de pino               | ■ Matorral desertico microfilo  |
| ■ Bosque de encino             | ■ Matorral desertico rosetofilo |
| ■ Bosque de pino pinonero      | ■ Pastizal                      |
| ■ Bosque de pino-oyamel-ayarin | ■ Zonas agricolas               |
| ■ Bosque de pino-encino        | ■ Suelos desnudos               |
| ■ Bosque de encino-pino        | ■ Agua                          |
| ■ Chaparral                    |                                 |
| ■ Matorral submontano          |                                 |



Scale

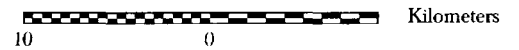


Figura 21. Clasificación de la Imagen Multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de la imagen Landsat de abril y la imagen SPOT
















Tabla 9. Reporte del análisis de precisión de la clasificación de la imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat del 9 de abril y SPOT del 17 de octubre de 1993.

Clase	Totales de Referencia	Totales Clasificados	Número Correcto	Precisión del Productor (%)	Precisión del Usuario (%)
No clasificado	20	20	20	---	---
Bosque de pino-oyamel-ayarín	18	20	18	100.00	90.00
Bosque de pino-encino	15	20	13	86.67	65.00
Bosque de encino-pino	15	20	13	86.67	65.00
Bosque de pino	29	20	18	62.07	90.00
Bosque de pino piñonero	15	20	15	100.00	75.00
Bosque de encino	31	20	19	61.29	95.00
Chaparral	19	20	16	84.21	80.00
Matorral submontano	20	20	19	95.00	95.00
Matorral desértico rosetófilo	19	20	19	100.00	95.00
Matorral desértico micrófilo	16	16	16	100.00	100.00
Pastizal	20	20	19	95.00	95.00
Zonas Agrícolas	19	20	19	100.00	95.00
Suelos desnudos	20	20	19	95.00	95.00
Agua	1	1	1	100.00	100.00
<b>Totales</b>	<b>277</b>	<b>277</b>	<b>244</b>		
<b>Precisión de la Clasificación Total = = 88.09%</b>					



Simbología

- |                                                                                     |                               |                                                                                     |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Bosque de pino                |  | Matorral desértico rosetofo |
|  | Bosque de encino              |  | Pastizal                    |
|  | Bosque de pino pinonero       |  | Zonas agrícolas             |
|  | Bosque de pino-hayarin-oyamel |  | Suelos desnudos             |
|  | Bosque de pino-encino         |  | Agua                        |
|  | Bosque de encino-pino         |                                                                                     |                             |
|  | Chaparral                     |                                                                                     |                             |
|  | Matorral submontano           |                                                                                     |                             |



Scale



Figura 22. Clasificación de la Imagen Multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de las imágenes Landsat-TM de abril de 1993 y enero de 1994

Tabla 10. Reporte del análisis de precisión de la clasificación de la imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat del 9 de abril de 1993 y del 6 de enero de 1994

Clase	Totales de Referencia	Totales Clasificados	Número Correcto	Precisión del Productor (%)	Precisión del Usuario (%)
No clasificado	20	20	20	---	---
Bosque de pino-oyamel-ayarín	20	20	20	100.00	100.00
Bosque de pino-encino	19	18	17	94.74	95.00
Bosque de encino-pino	17	18	16	94.12	88.89
Bosque de pino	18	20	19	88.89	95.00
Bosque de pino piñonero	19	19	19	100.00	100.00
Bosque de encino	20	20	19	90.00	95.00
Chaparral	21	20	19	90.48	95.00
Matorral submontano	22	20	18	81.82	90.00
Matorral desértico rosetófilo	18	19	18	100.00	94.74
Matorral desértico micrófilo	19	19	19	100.00	100.00
Pastizal	20	20	19	100.00	95.00
Zonas Agrícolas	20	20	19	100.00	95.00
Suelos desnudos	20	20	19	100.00	95.00
Agua	0	0	0	---	---
<b>Totales</b>	<b>273</b>	<b>273</b>	<b>261</b>		
<b>Precisión de la Clasificación Total = 95.60%</b>					

El bosque de pino piñonero también se clasificó correctamente, logrando separar ésta clase de las de matorral submontano. En cuanto a los matorrales desértico micrófilo y desértico rosetófilo, éstos tampoco presentaron dificultades de clasificación.

La imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat presenta un porcentaje de precisión excelente, comparado con el criterio de clasificación empleado por el U. S. Geological Survey, el cual admite un 85% de precisión mínima, tomando en cuenta que se trata de una zona muy compleja. Con base en este criterio, el porcentaje de precisión de la imagen multitemporal generada a partir de las imágenes Landsat del 6 de enero y SPOT del 17 de octubre, es también bueno.

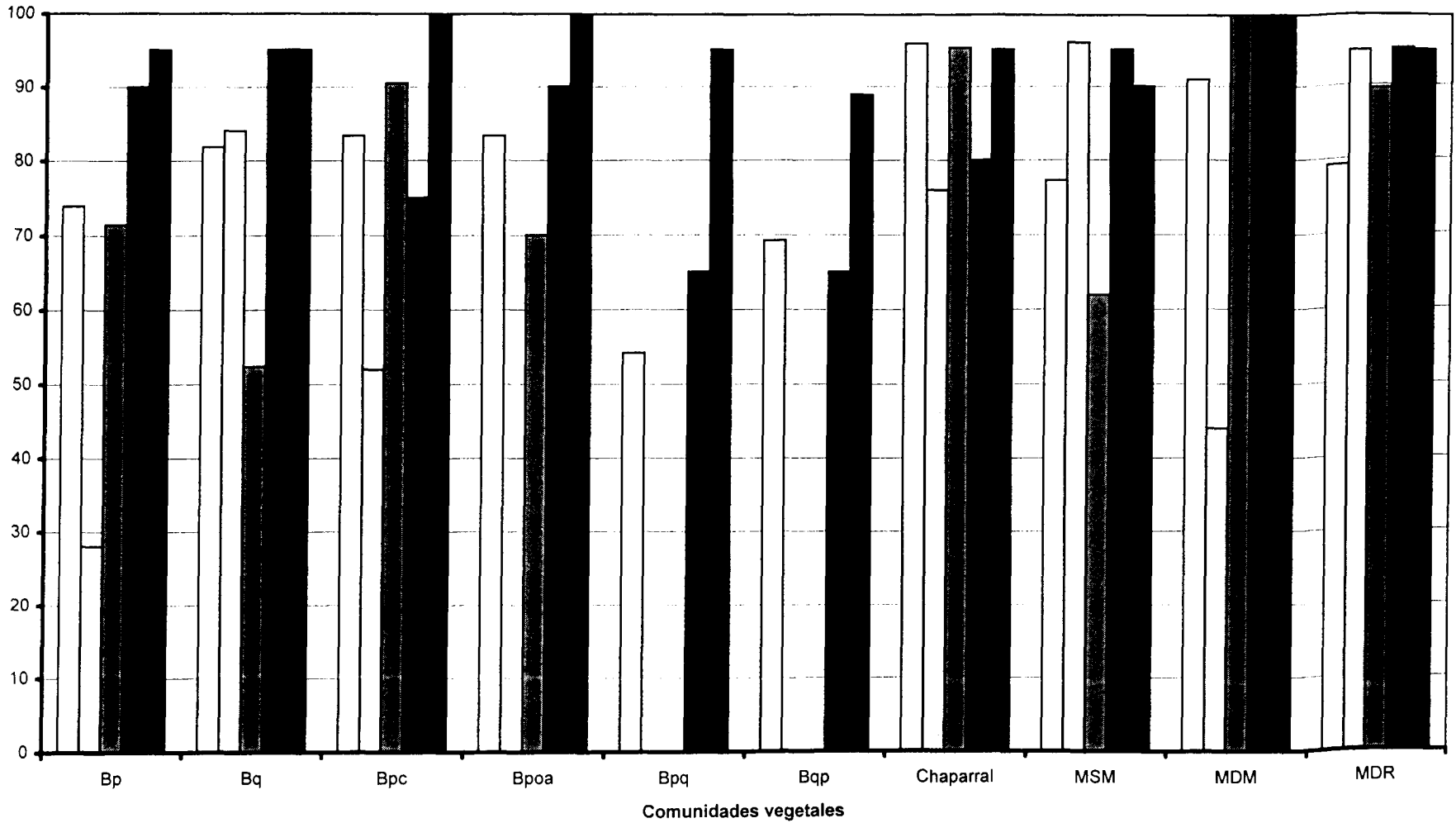
El porcentaje de precisión de todas las imágenes que fueron clasificadas se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11. Porcentaje de Precisión de las Clasificaciones**

<b>Imagen</b>	<b>%</b>
Imagen Landsat-TM del 9 de abril de 1993	84.09
Imagen SPOT del 17 de octubre de 1993	77.29
Imagen Landsat-TM del 6 de enero de 1994	82.20
Imagen multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de la imagen Landsat de abril y la imagen SPOT	<b>88.09</b>
Imagen multitemporal generada a partir de la combinación de bandas de las imágenes Landsat	<b>95.60</b>

En la Figura 23 se muestra la comparación de la precisión entre las clasificaciones que se llevaron a cabo. En esta comparación se puede observar que para las comunidades de Bosque de pino (Bp), Bosque de pino piñonero (Bpc), Bosque de pino-oyamel-ayarín (Boap), Bosque de pino-encino (Bpq) y Bosque de encino-pino (Bqp) la precisión más alta se obtuvo con la clasificación de la imagen generada a partir de la combinación de las dos imágenes Landsat-TM. La información que aportan las bandas de las imágenes de abril y de enero permite lograr la mejor discriminación de éstas comunidades vegetales.

Porcentaje de precisión



- Imagen Landsat abril 9
- Imagen SPOT octubre 17
- Imagen Landsat enero 6
- Imagen Landsat-SPOT
- Imagen Landsat-Landsat

Figura 23. Comparación de la precisión entre clasificaciones

Las comunidades de Bosque de encino (Bq) obtienen un porcentaje de precisión muy similar en la clasificación de ambas imágenes multitemporales. Esto se debe al comportamiento estacional de esta comunidad, lo que permite su identificación del resto de las comunidades vegetales que no presentan características caducifolias.

La comunidad de chaparral se logra clasificar con un porcentaje de precisión más alto en la imagen multitemporal generada a partir de la combinación de las dos imágenes Landsat-TM y los matorrales desértico micrófilo (MDM) y desértico rosetófilo (MDR) presentan los porcentajes más altos de precisión en las clasificaciones de las dos imágenes multitemporales.

El matorral submontano (MSM) se clasifica con una mayor precisión en las imágenes SPOT de octubre y la imagen multitemporal generada a partir de la imagen Landsat de abril y SPOT de octubre. Esto se debe a que, al mostrar un comportamiento asociado a los efectos climáticos, y siendo octubre un mes que presenta lluvias, la disponibilidad de agua en el suelo se traduce en un incremento en el vigor de la vegetación, el cual permite discriminar a este tipo de comunidad del resto.

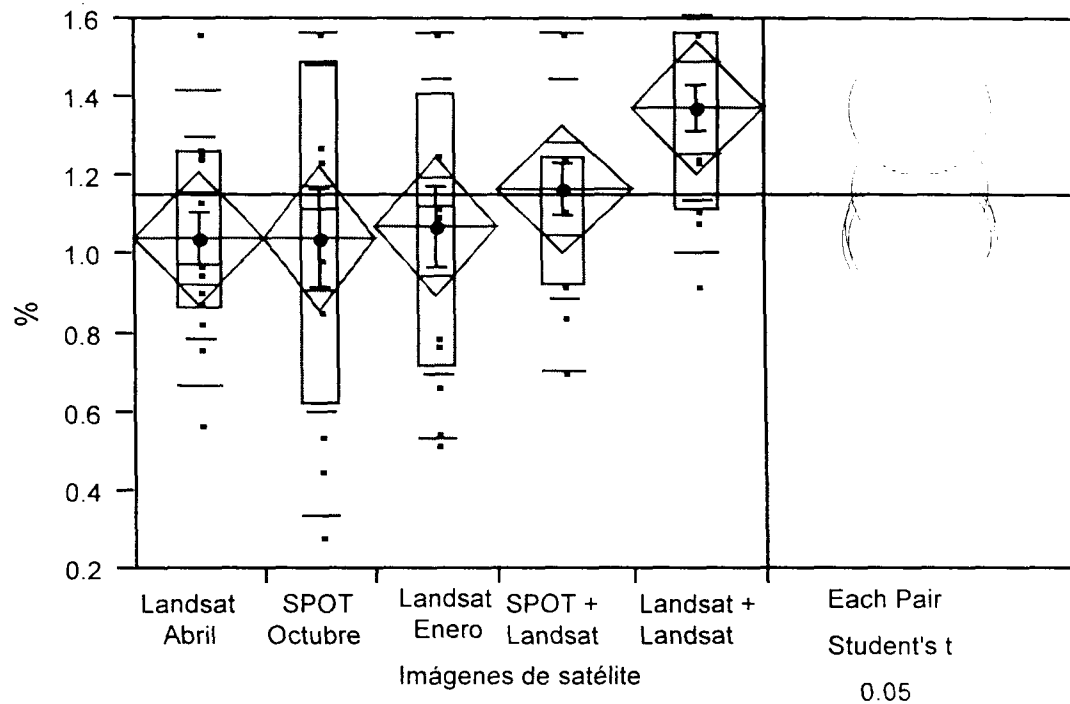
### **3.5 Análisis estadístico de los resultados de la evaluación de la precisión de las clasificaciones**

Para poder realizar un análisis de varianza, se asume lo siguiente:

1. El conjunto de datos observados constituyen muestras aleatorias independientes.
2. Cada uno de los datos observados está distribuido normalmente.
3. Los datos presentan varianzas iguales.

Como los datos no provienen de una distribución normal, ya que son porcentajes, se procede a realizar una transformación de tipo *arcseno*, la cual se utiliza cuando los datos son proporciones o porcentajes.

Una vez transformados los datos se procedió a efectuar el análisis de varianza, para lo cual se utilizó el paquete computacional de estadística JMP-IN®v3. Los resultados del análisis de varianza se muestran a continuación:



## Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error
Landsat Abril	14	1.04925	0.08734
SPOT Octubre	12	1.05045	0.09434
Landsat Enero	13	1.08057	0.09064
Landsat + SPOT	15	1.17746	0.08438
Landsat + Landsat	14	1.38045	0.08734

## Analysis of Variance

 $\alpha = 0.05$ 

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	4	1.0782461	0.269562	2.5241
Error	63	6.7281046	0.106795	Prob>F
C Total	67	7.8063508	0.116513	<b>0.0495</b>

Con un  $\alpha = 0.05$ , del valor de **0.0495** podemos decir que si hubiese igualdad de varianzas, entonces existe diferencia en las medias de las poblaciones.

Como estimamos que las varianzas son iguales, enseguida analizamos si existe normalidad en nuestras poblaciones:

## Tests that the Variances are Equal

Test	F Ratio	DF Num	DF Den	Prob>F
O'Brien[.5]	3.1963	4	63	0.0187
Brown-Forsythe	1.9225	4	63	0.1176
<b>Levene</b>	<b>2.5586</b>	<b>4</b>	<b>63</b>	<b>0.0471</b>
Bartlett	1.7159	4	?	0.1433

La prueba de Levene, con un valor de **0.0471**, nos indica que no son iguales las varianzas de las poblaciones por lo que se hace un ANOVA para varianzas diferentes:

## Welch Anova testing Means Equal, allowing Std's Not Equal

F Ratio	DF Num	DF Den	Prob>F
3.5438	4	30.412	<b>0.0173</b>

Un valor de **0.0173** indica que existen diferencias en las medias de las poblaciones, por lo que se procede a determinar cuales son éstas diferencias, a través de una prueba *t* de *Student*:

## Comparisons for each pair using Student's t

	t				
	1.99834				
Abs(Dif)-LSD	Arcsin5	Arcsin4	Arcsin3	Arcsin2	Arcsin1
Landsat + Landsat	-0.24683	-0.03969	0.048351	0.073086	0.084370
Landsat + SPOT	-0.03969	-0.23846	-0.15057	-0.12592	-0.11447
Landsat Enero	0.048351	-0.15057	-0.25615	-0.23132	-0.22021
SPOT Octubre	0.073086	-0.12592	-0.23132	-0.26661	-0.2557
Landsat Abril	0.084370	-0.11447	-0.22021	-0.2557	-0.24683

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Alpha=0.05

El resultado del análisis de varianza y posterior comparación de medias a través de la prueba de mínima diferencia significativa (MDS) se encuentra en la Tabla 12.



**Tabla 12 . Resultado del análisis estadístico de la evaluación de la precisión de las clasificaciones**

Imagen SPOT Octubre 17	Imagen Landsat Enero 6	Imagen Landsat Abril 9	Imagen multitemporal Landsat-SPOT	Imagen multitemporal Landsat-Landsat
77.29%	82.20%	84.09%	88.09%	95.60%

### 3.6 Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI)

Los valores del índice de la diferencia normalizada de la vegetación para las imágenes individuales se pueden apreciar en las Figuras 24, 25 y 26.

Con objeto de resaltar la densidad y el vigor de la cobertura vegetal del área de estudio se determinó el NDVI para cada una de las imágenes individuales. En este índice se obtienen valores que van desde -1 hasta +1, donde los valores más bajos representan suelos desnudos o zonas urbanas y los valores más altos, bosques o vegetación muy "vigorosa".

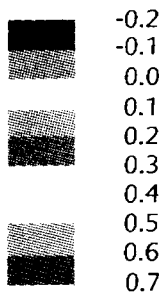
En la imagen de abril (Figura 24) se observan zonas que muestran un mayor vigor en la vegetación. Estas zonas presentan valores de NDVI de 0.7 (en color verde oscuro) y corresponden a una comunidad compuesta por encinos. Como ya se había mencionado, en ésta época los encinos se encuentran en una etapa de foliación, y lo que el sensor está detectando es: 1). las hojas nuevas que presentan una mayor cantidad de humedad, y 2). los encinos, que son especies latifoliadas, se manifiestan con una reflectancia mayor que los pinos, los cuales son especies aciculadas. Debido a esto se puede apreciar un mayor vigor en la comunidad de encinos.

En el resto del área de estudio es posible advertir algunos manchones de vegetación poco densa, lo cual se debe a que algunas especies apenas están en etapa de foliación. Estas zonas presentan valores de NDVI que van de 0.4 a 0.6 (en colores verde claro) en exposiciones noreste y de 0.2 a 0.3 (en color anaranjado-café) en exposiciones suroeste. Esta diferencia en los valores se debe a que las exposiciones suroeste son más secas.

Las zonas que tienen valores de NDVI entre 0.1 y -0.1 (en color anaranjado-amarillo) representan pastizales, zonas agrícolas y áreas con escasa vegetación, así como algunos suelos desnudos. El valor de -0.2 (en color azul) corresponde a un cuerpo de agua (Presa La Boca).



Simbologia



Scale

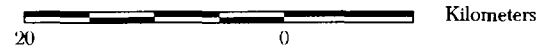
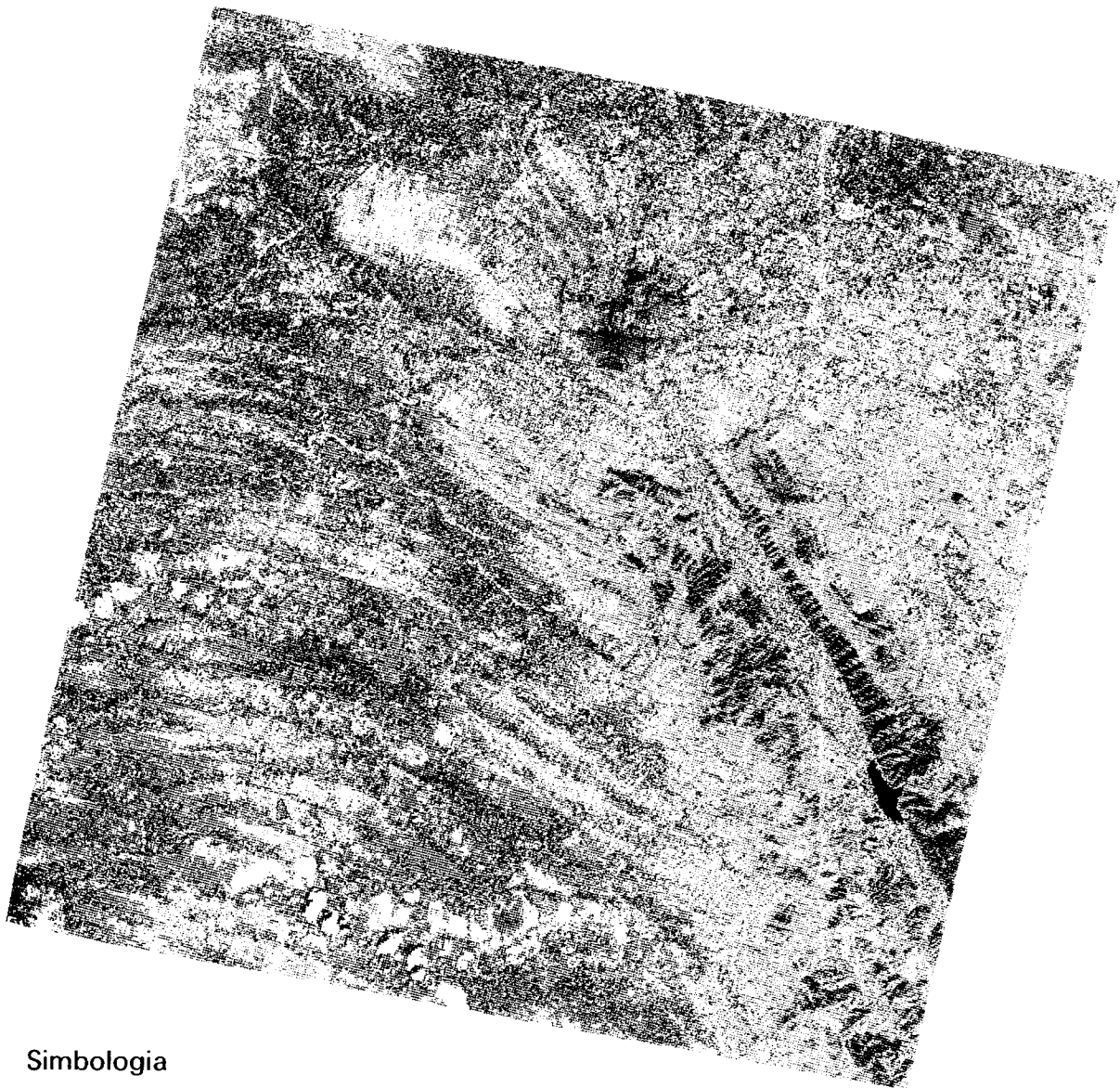
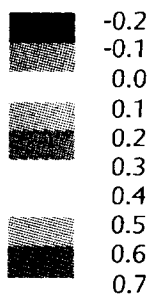


Figura 24. Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetacion de la Imagen Landsat del 9 de abril de 1993



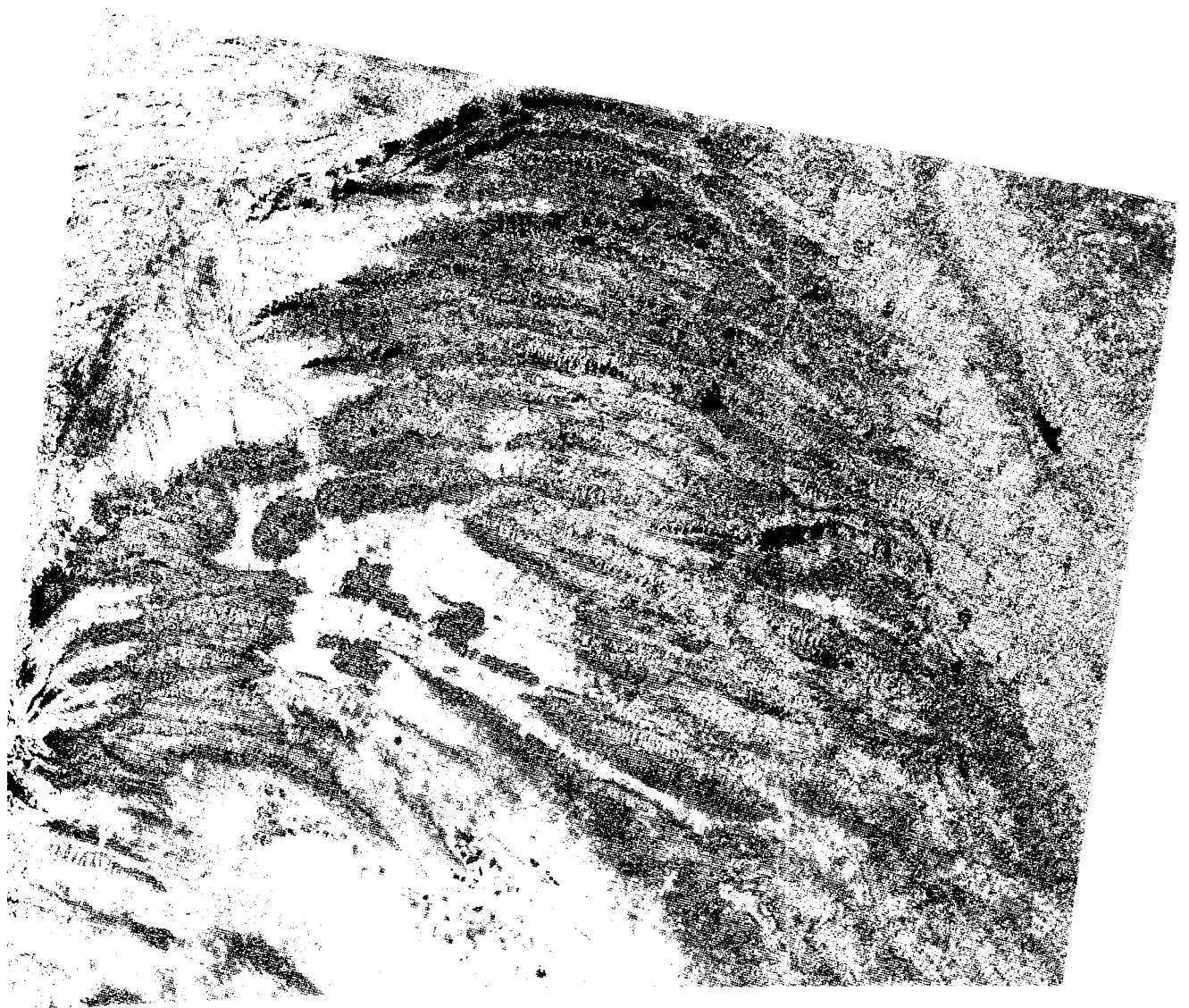
Simbologia



Scale



Figura 25. Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetacion de la Imagen SPOT del 17 de octubre de 1993



Simbologia

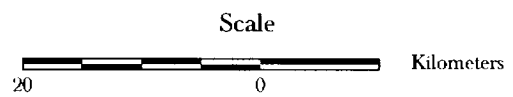
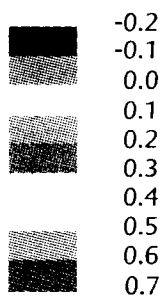


Figura 26. Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación de la Imagen Landsat del 6 de enero de 1994

En la imagen de octubre (Figura 25) podemos observar que la vegetación en general presenta un vigor mayor que en la imagen de abril, lo que se puede apreciar en el incremento de valores de NDVI de las comunidades vegetales (aumento en las zonas con tonalidades de verde y café). Esto se debe a que esta es una época de lluvias (Figuras 31 a 41) las cuales favorecen el desarrollo de la vegetación, lo cual se manifiesta en un mayor vigor. Además, las especies caducifolias no han tirado sus hojas todavía.

Los valores de NDVI iguales a 0.7 corresponden a comunidades compuestas por matorral submontano. El incremento de este valor se debe al desarrollo foliar que presentan éstas comunidades, las cuales responden a patrones de humedad en el suelo.

En esta imagen también se observan los valores de NDVI de las zonas cubiertas por las nubes. Estas zonas presentan valores de 0.1 (color amarillo), que son menores que los valores que se presentan en las zonas aledañas. Esto se debe a que las nubes reducen los valores de reflectancia, sobre todo en la región visible del espectro, lo que da como resultado una disminución en el valor del NDVI.

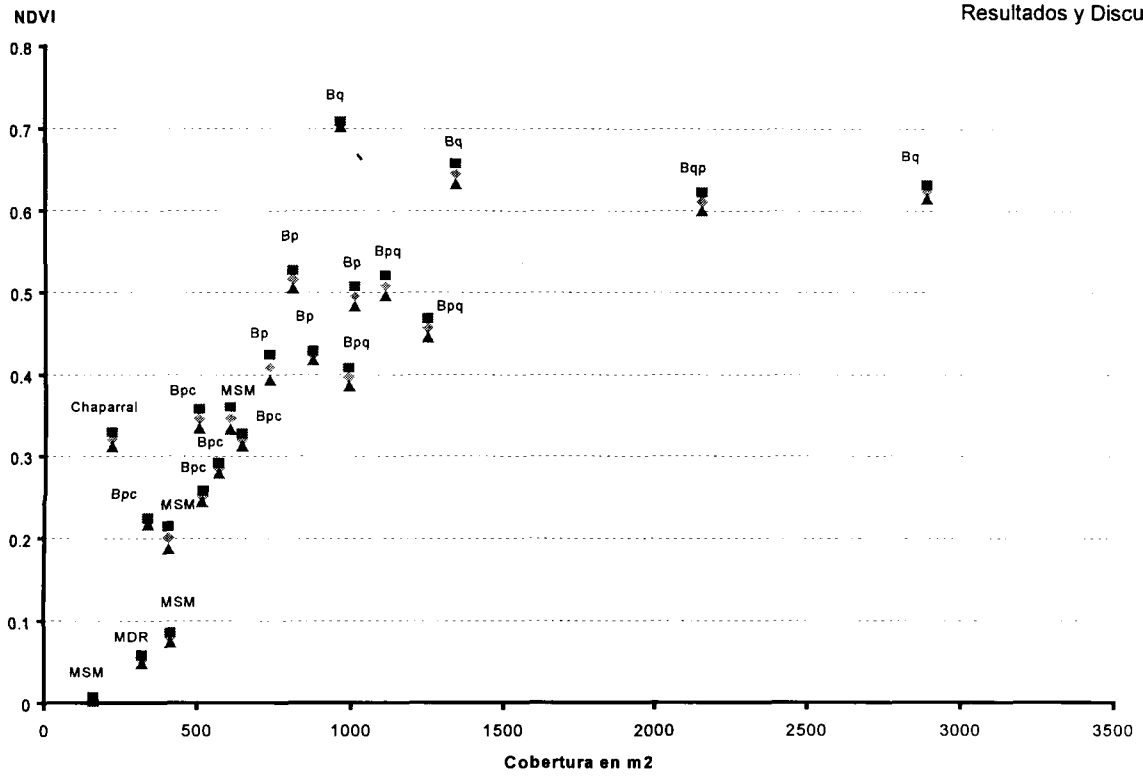
En la imagen de enero (Figura 26) se aprecia una reducción notable en el vigor de la vegetación (disminución de las zonas con tonalidades verde y café), lo cual se debe a: 1). la caída de las hojas de las especies que son caducifolias, y 2). las condiciones climáticas de ésta época del año: bajas temperaturas y ausencia de precipitación.

Las zonas de la imagen en donde se localizan las sombras presentan valores de NDVI muy bajos (color azul).

### **3.7 Relación Cobertura-Índice de la Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI)**

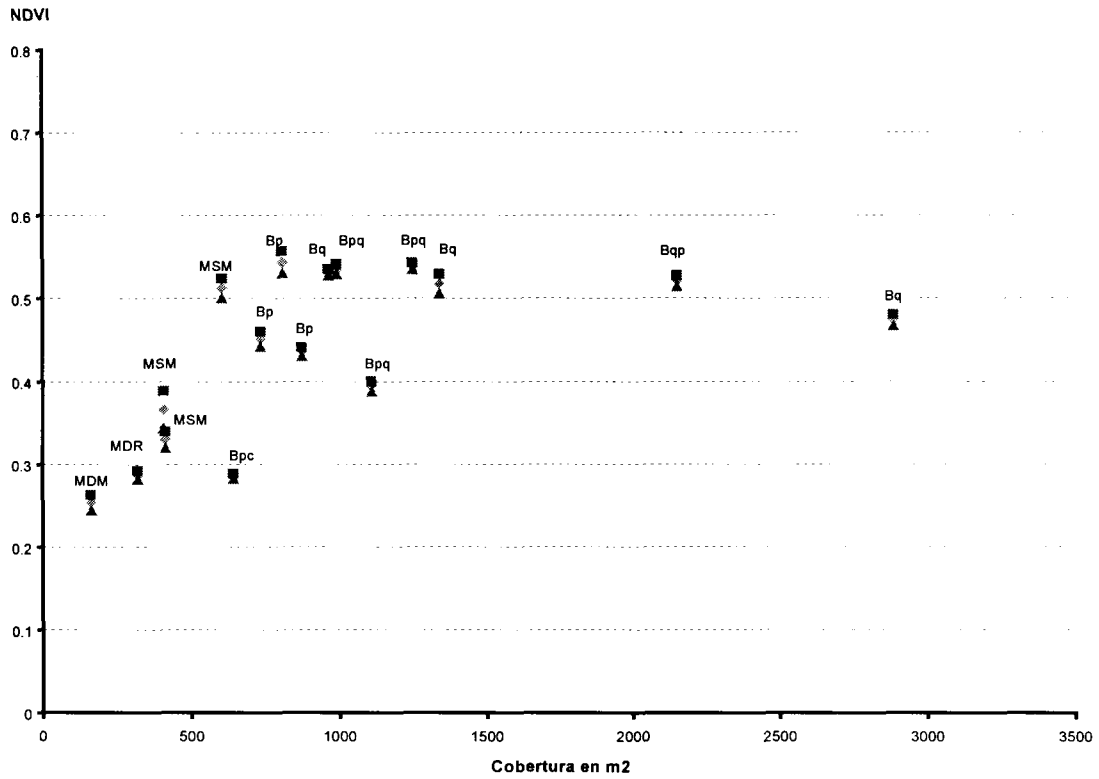
En las gráficas de cobertura-NDVI (Figuras 27 a 29) se estimó un intervalo de confianza para la media de los datos de dos desviaciones estándar, ya que aproximadamente el 95% de los valores posibles de la media que constituyen la distribución, están dentro de ese rango (Daniel, 1987). Este intervalo de confianza está representado por puntos por encima y por debajo de la media de los datos. Además se indica a que comunidad vegetal pertenece ese valor.

En la Figura 27 se aprecia la relación que existe entre el valor de cobertura obtenido en campo y el valor de NDVI de la imagen de abril. Esta relación es directamente proporcional pues a medida que aumenta el valor de cobertura, aumenta el valor de NDVI.



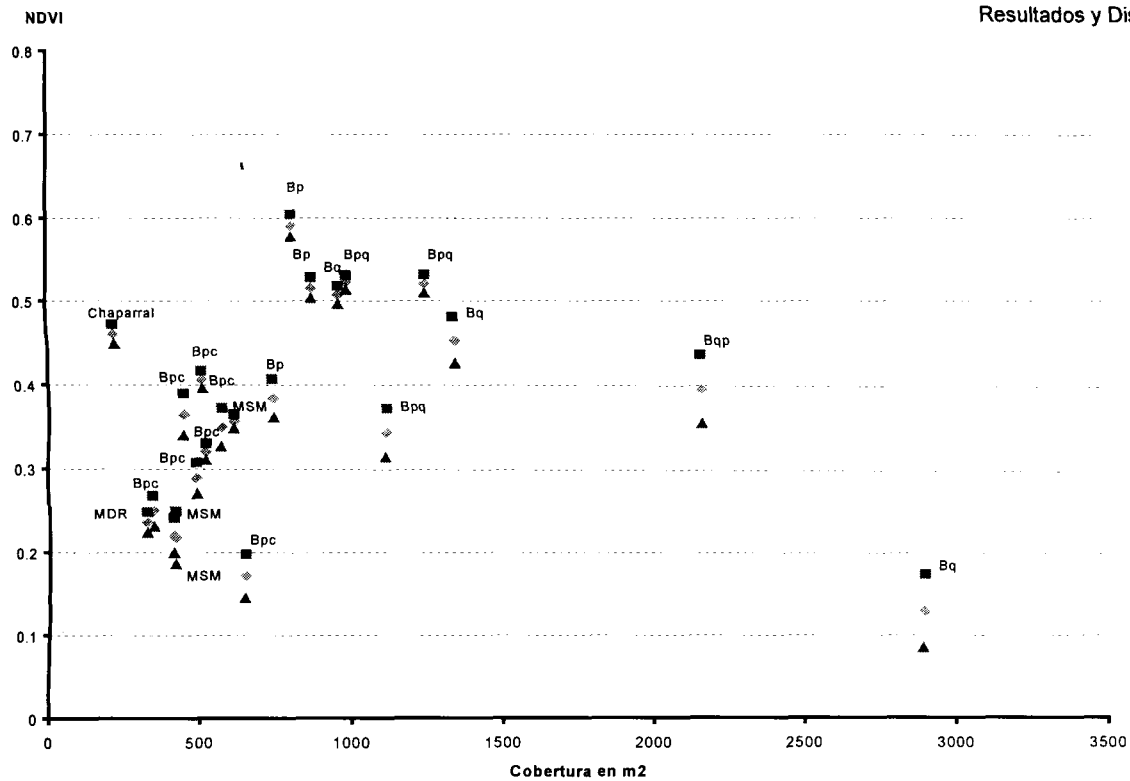
**Figura 27. Relacion de cobertura-NDVI  
Imagen del 9 de abril de 1993**

◆ Valor de la media ■ Valor por encima de la media ▲ Valor por debajo de la media



**Figura 28. Relacion de cobertura-NDVI  
Imagen del 17 de octubre de 1993**

◆ Valor de la media ■ Valor por encima de la media ▲ Valor por debajo de la media



**Figura 29. Relacion de cobertura-NDVI  
Imagen del 6 de enero de 1994**

\* Valor de la media ■ Valor por encima de la media ▲ Valor por debajo de la media

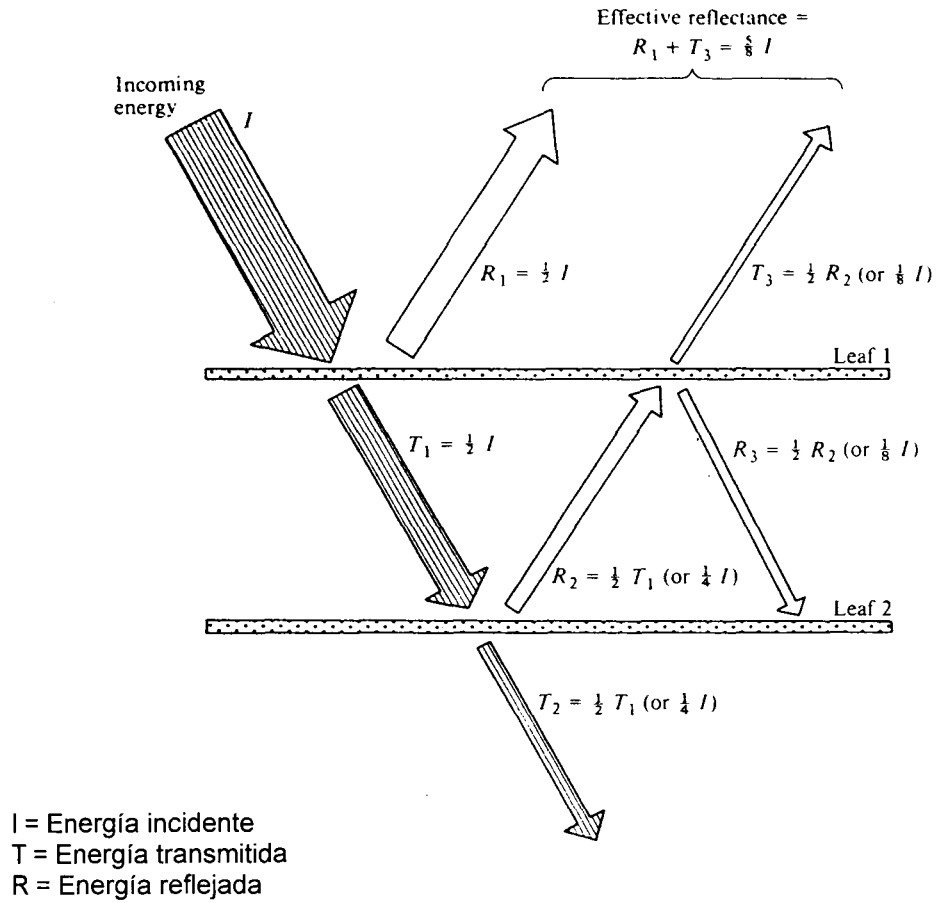


Figura 30. Efecto multicapa de la presencia de hojas en la respuesta de la vegetación (Swain y Davis, 1978)



Sin embargo, es interesante notar que se llega a un punto en donde a pesar de que se aumenta el valor de cobertura de la vegetación, ya no se incrementa el valor de NDVI. Esto se debe a un efecto denominado "multicapa" y que se basa, según Swain y Davis (1978), en lo siguiente: en el infrarrojo cercano, la vegetación sana se caracteriza por tener una reflectancia muy alta, comparada con la reflectancia que se presenta en la región del visible. En la mayoría de las comunidades vegetales, se puede encontrar aproximadamente una reflectancia del 45 al 50%, una transmitancia del 45 al 50%, y más o menos un 5% de absorción en el infrarrojo cercano. En comparación con la reflectancia que presenta una sola hoja, muchas capas de hojas pueden incrementar el porcentaje de reflectancia hasta un 85% en la porción del infrarrojo cercano. Esto es debido a un efecto de reflectancia aditiva, la energía transmitida a través de la primera capa de hojas y reflejada a partir de la segunda capa es parcialmente transmitida de regreso a través de la primera capa, lo que genera un efecto de saturación (figura 30).

El efecto de saturación se puede apreciar en la Figura 27, en la cual se muestra la relación de cobertura-NDVI de la imagen de abril para las comunidades de *Chiococca pachiphylla-Quercus polymorpha* (Bq), en la localidad de La Estanzuela y para el Bosque de *Quercus rysophylla-Pinus pseudostrobus* (Bqp), en la localidad de Chipinque. Ambas comunidades presentan valores de cobertura muy altos debido a que se trata de comunidades muy densas y, sin embargo, sus valores de NDVI no son tan altos como pudiera esperarse si se observa la tendencia de la curva.

En la imagen de octubre (Figura 28) se observa una relación lineal entre el valor de cobertura y el valor de NDVI. Es interesante notar que algunos puntos de muestreo comienzan a mostrar un comportamiento diferente al de la imagen de abril, lo que indica que su valor de NDVI ha cambiado, lo que es un indicio de que se trata de especies caducifolias. Este fenómeno es más notable en la imagen de enero (Figura 29) donde las comunidades que son caducifolias han perdido la relación lineal de cobertura-NDVI.

Las gráficas de NDVI (Figuras 27 a 29) confirman que es posible hacer un seguimiento del comportamiento fenológico de la vegetación a lo largo del año, como se demuestra en el siguiente análisis:

- El punto 1 representa una comunidad de *Quercus polymorpha* (Bq) ubicada en la localidad La Laborcita. En abril, ésta comunidad presenta un valor de NDVI de 0.7, en octubre el valor desciende alrededor de 0.5 y en enero desciende un poco más para quedar en 0.5. El comportamiento de esta comunidad vegetal nos indica que los individuos van perdiendo su vigor a lo largo del año, lo que confirma la condición caducifolia de la comunidad de encinos.

- El punto 3 representa un bosque de *Carya sp.* asociado a *Quercus canbyi*, ubicado en la localidad de La Virgen. En abril esta comunidad presenta un valor ligeramente superior 0.6, en octubre del orden de 0.5 y en enero de 0.45 aproximadamente. Los individuos que conforman esta comunidad son caducifolios, lo que se aprecia a lo largo de las épocas en que se llevó a cabo este estudio (pérdida de vigor).
- El punto 4 es una asociación vegetal del tipo encino-pino (Bqp) ubicada en Chipinque, que presenta encinos en un estrato arbustivo muy denso, de ahí que su valor de cobertura sea tan alto. Esta comunidad posee un valor de NDVI en abril aproximadamente de 0.6, mientras que en octubre está muy cerca de 0.5 y en enero de 0.4. Lo que confirma una vez más que las especies caducifolias pueden ser identificadas mediante la evaluación de su comportamiento espectral a lo largo del año.
- Los puntos 8 y 24 representan bosques de pino (Bp) ubicados en las localidades de El Manzano y La Ciénega, respectivamente. El primero presenta valores de NDVI que oscilan a lo largo del año entre 0.5 y 0.6, y el segundo presenta valores entre 0.4 y 0.45. Estas variaciones son mínimas, lo que confirma la condición perennifolia de las especies que conforman éstas comunidades vegetales. Los valores más altos coinciden con las fechas de mayor precipitación en la zona de estudio (ver Figuras 31 a 41), por lo que estos cambios también se deben a las condiciones de humedad que se presentan en la zona.
- El punto 19 está representado por una comunidad de pino piñonero (Bpc), localizado en Los Lirios. Esta comunidad presenta un valor de NDVI de 0.3 en abril y en octubre. En enero este valor desciende hasta 0.2. En este caso se confirma la presencia de una comunidad de tipo perennifolio. La variación se da en enero, lo que se debe a la presencia de especies caducifolias que acompañan al pino piñonero.
- En los puntos 6 y 9 se encuentran comunidades de matorral submontano (MSM), que presentan un comportamiento distinto en las gráficas, en comparación con las comunidades antes mencionadas. En el punto 6, el matorral submontano presenta en abril un valor de NDVI inferior a 0.1, en octubre este valor se incrementa hasta 0.3 y en enero desciende a 0.2. El matorral submontano ubicado en el punto 9 tiene un valor en abril ligeramente superior a 0.3, en octubre este valor se incrementa hasta 0.5 y en enero vuelve a descender a un valor alrededor de 0.3.

Ambas comunidades de matorral presentan un comportamiento muy similar el cual se encuentra asociado a efectos climáticos, lo cual puede apreciarse en las gráficas ombrotérmicas de 1993 que se muestra en las figuras 31 a 41. En estas

gráficas puede apreciarse un incremento en la precipitación en el área de estudio a partir del mes de mayo y como se sabe el desarrollo foliar de éstas comunidades vegetales se encuentra supeditado a la disponibilidad de agua en el suelo (Alanís, 1996).

Existe una relación entre el incremento de la precipitación en el área de estudio y el incremento en el vigor de la vegetación, lo que nos indica que éstas comunidades también presentan características caducifolias, y además, que la época en la que se presentan éstos cambios es distinta a la época en la que se presentan los cambios en las especies de encinos, que también son caducifolios.

- En el punto 7 se encuentra una comunidad de matorral desértico rosetófilo (MDR) ubicado en La Huasteca. Esta comunidad también responde al patrón de humedad disponible en el suelo, lo que se ve reflejado en la gráfica de cobertura-NDVI. Se observa un comportamiento muy similar al del matorral submontano, esto es, en abril presenta un valor de NDVI alrededor de 0.05, en octubre este valor se incrementa a 0.3 y en enero desciende a 0.2. Lo anterior también se puede interpretar como una respuesta a la precipitación ya que a partir de mayo las lluvias se incrementaron.

El aspecto de estos matorrales también se debe a la composición florística que presentan ya que no están constituidos sólo por elementos de hoja decidua, sino que existen elementos perennifolios, como son *Yucca filífera* y *Agave lechuguilla*, los que le confieren un aspecto de verdor durante casi todo el tiempo, incluso en períodos desfavorables.

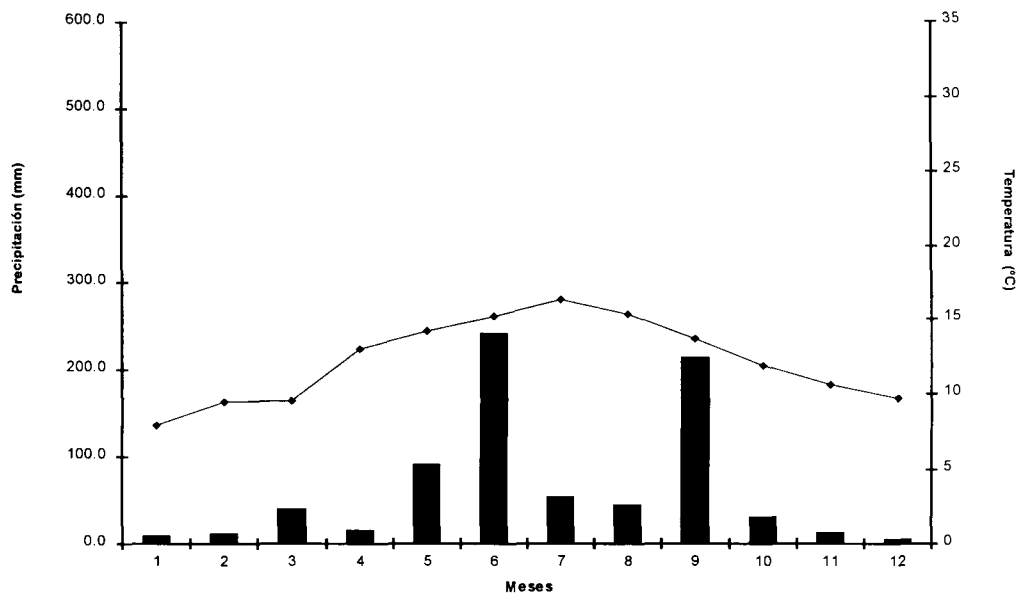


Figura 31. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Agua Blanca'

■ Precipitación —●— Temperatura

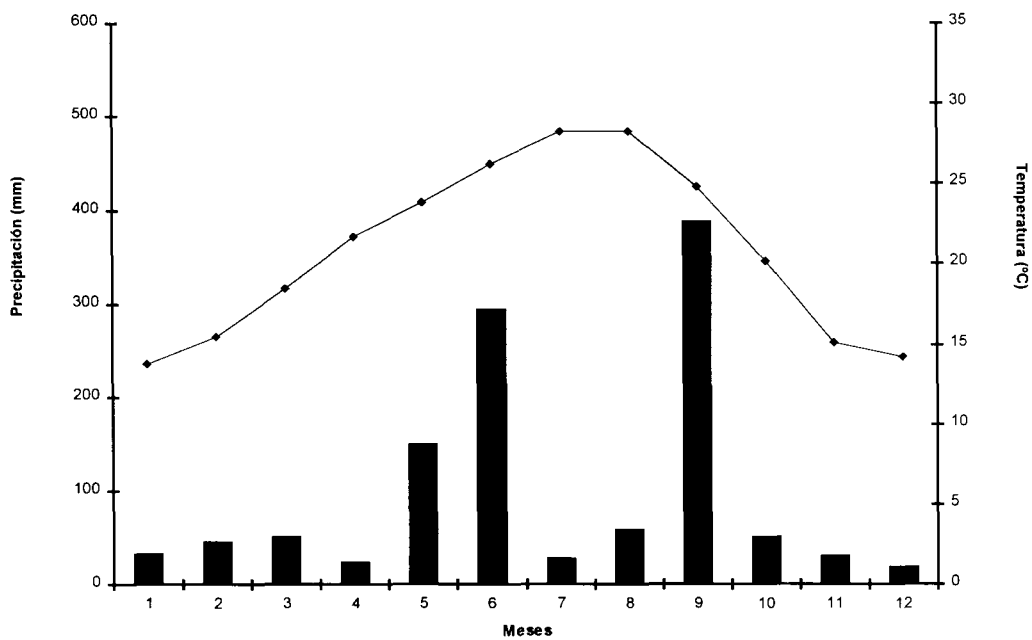


Figura 32. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Allende'

■ Precipitación —●— Temperatura

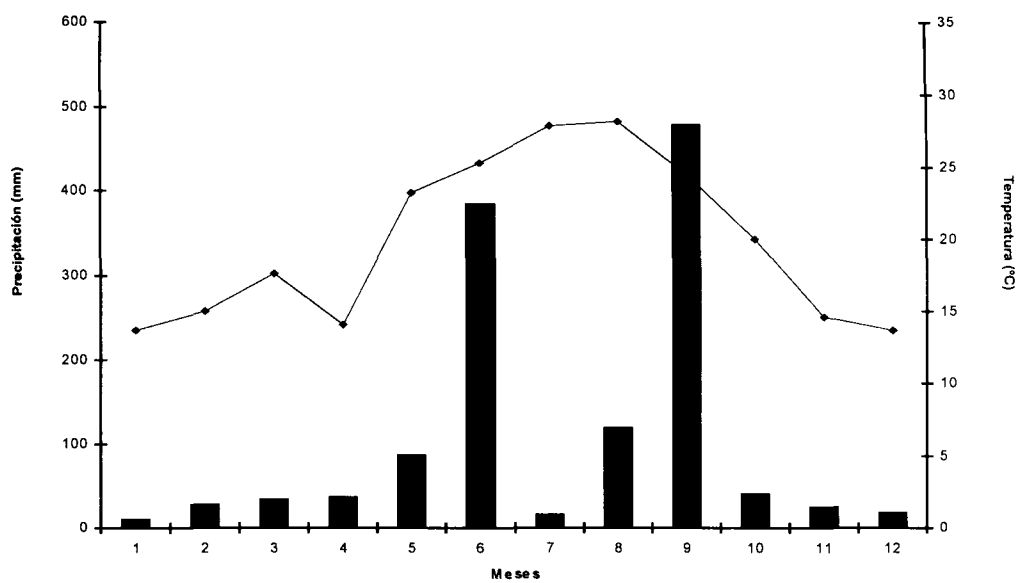


Figura 33. Diagrama ombrotérmico de la estación 'La Boca'

■ Precipitación —●— Temperatura

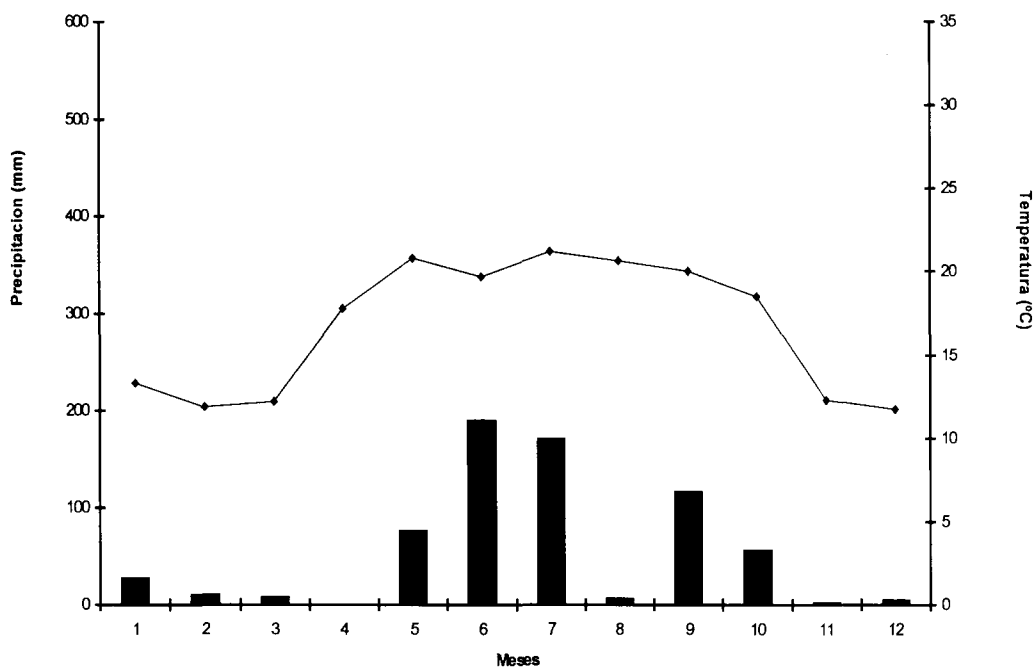


Figura 34. Diagrama ombrotérmico de la estación 'LaCruz'

■ Precipitación —●— Temperatura

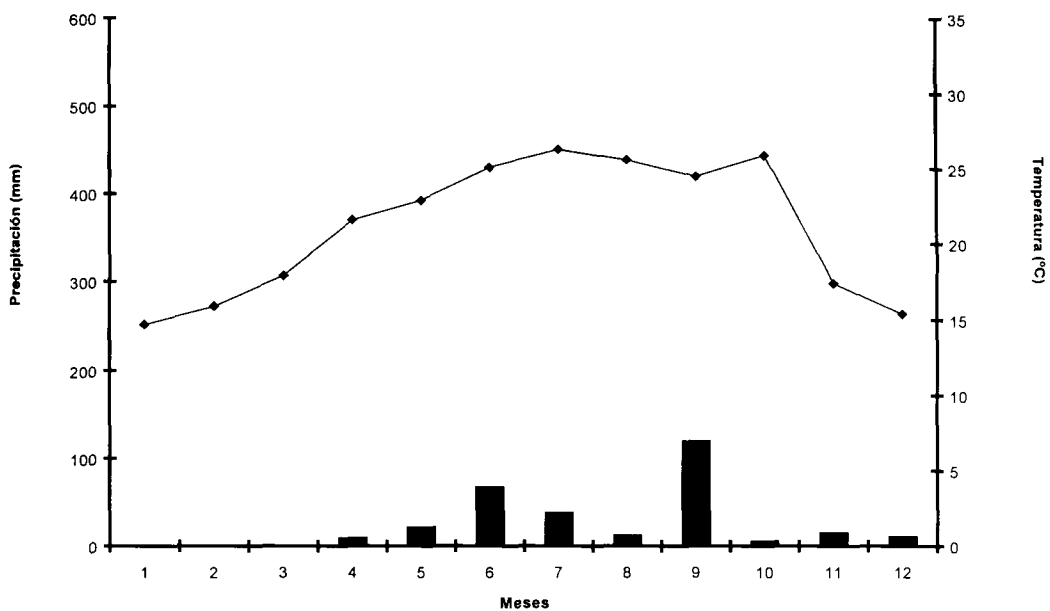


Figura 35. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Rayones'

■ Precipitación —●— Temperatura

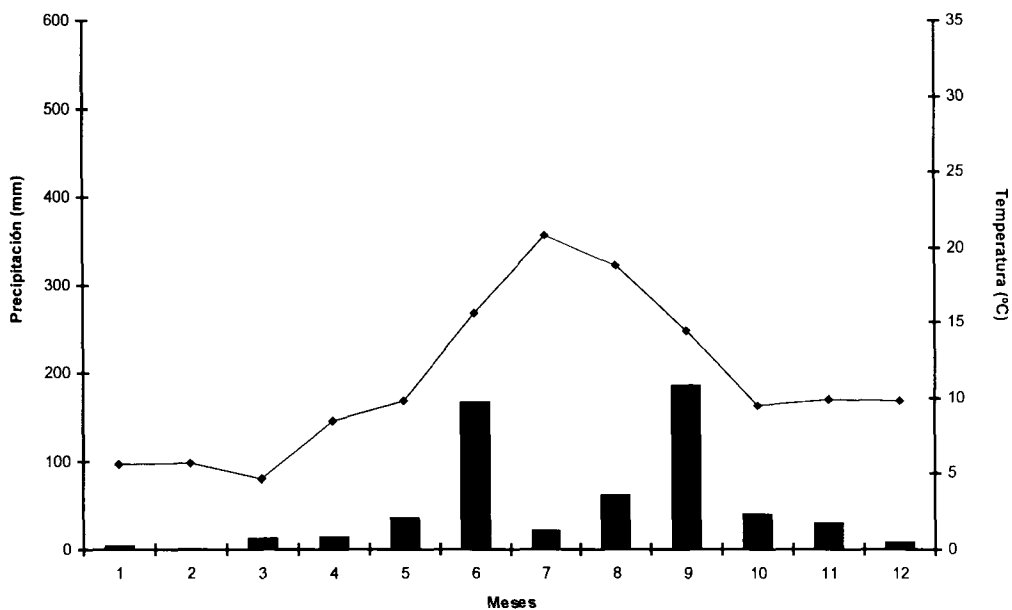


Figura 36. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Laguna de Sanchez'

■ Precipitación —●— Temperatura

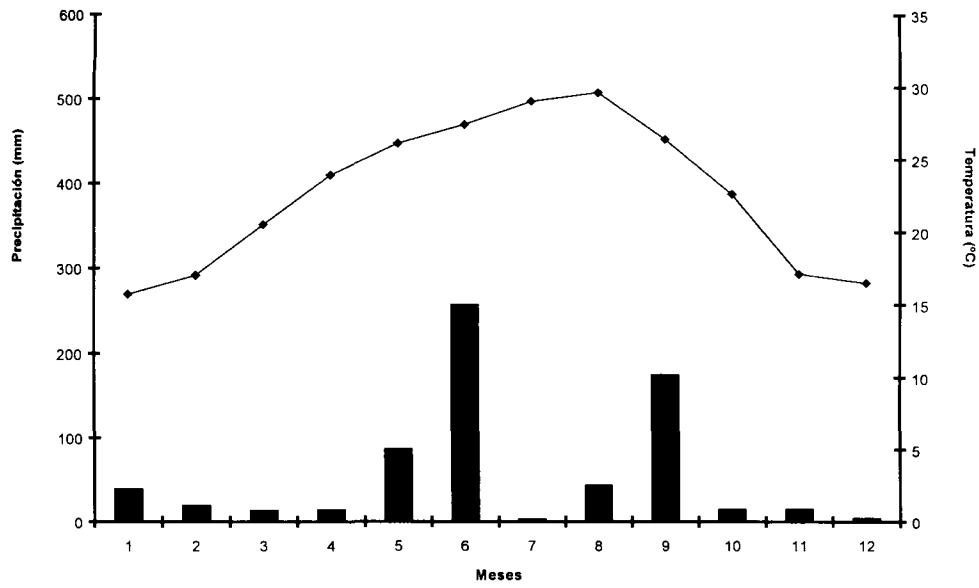


Figura 37. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Monterrey-CNA'

■ Precipitación ◆ Temperatura

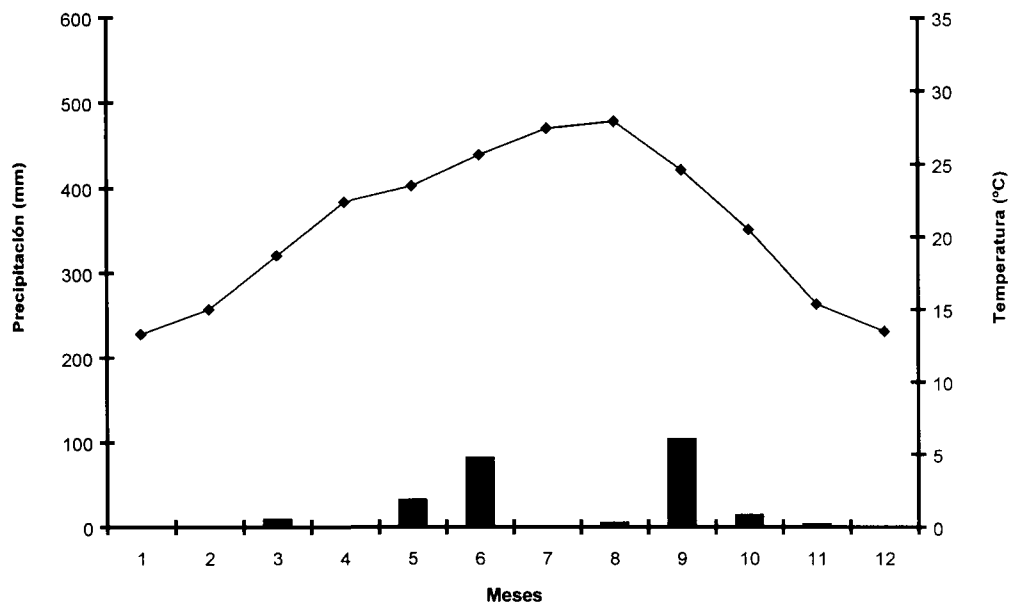


Figura 38. Diagrama ombrotérmico de la estación 'La Huasteca'

■ Precipitación ◆ Temperatura

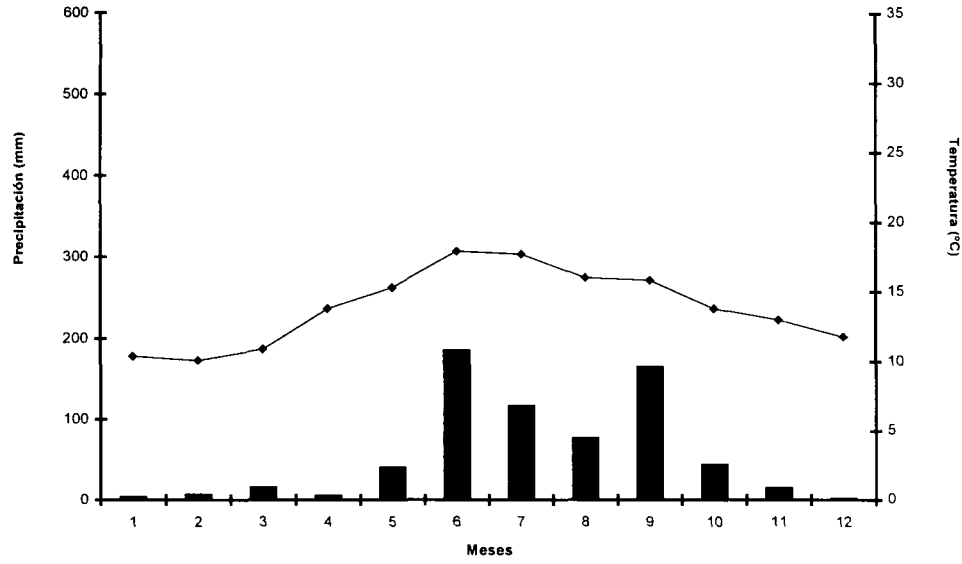


Figura 39. Diagrama ombrotérmico de la estación 'S. J. Boquillas'

■ Precipitación —◆— Temperatura

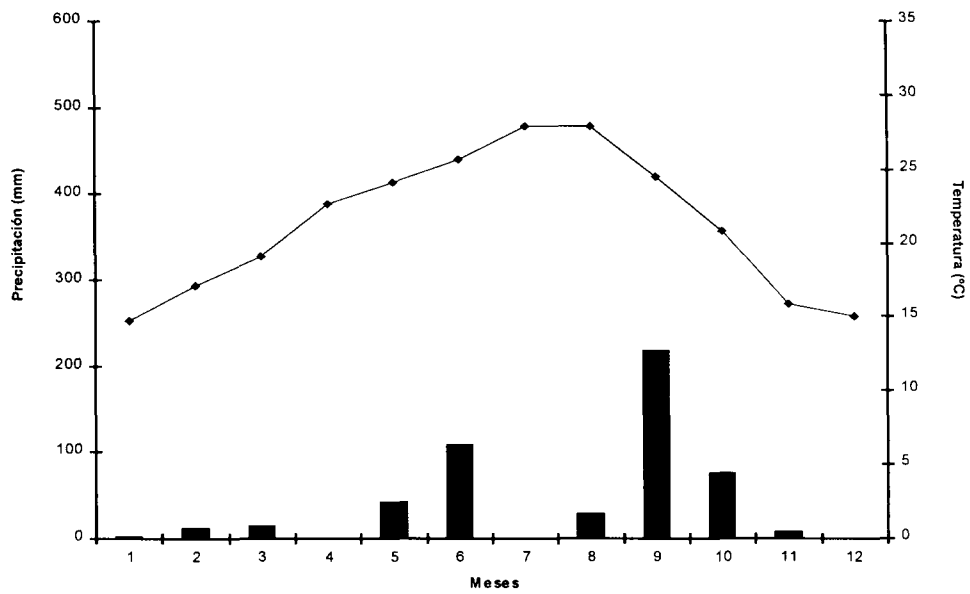


Figura 40. Diagrama ombrotérmico de la estación 'Santa Catarina'

■ Precipitación —◆— Temperatura



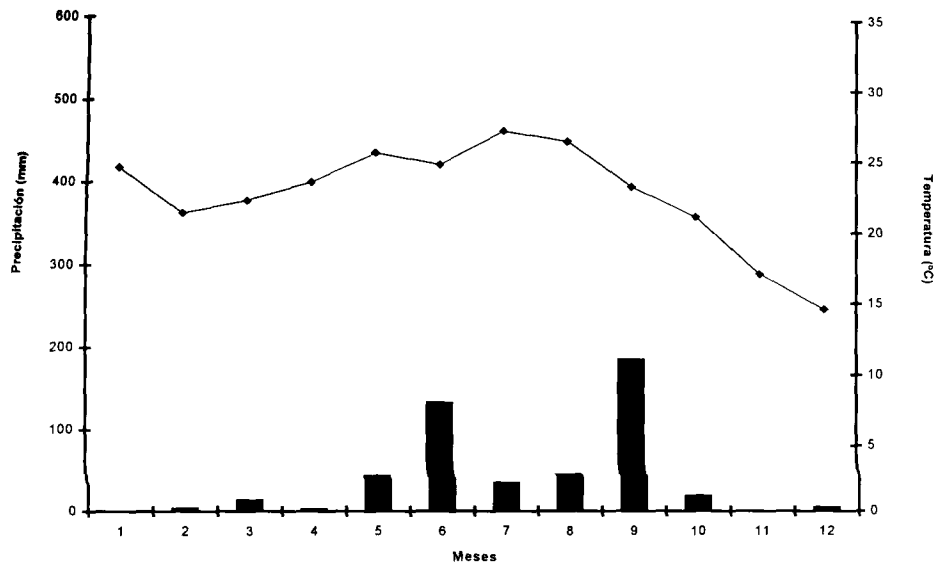


Figura 41. Diagrama ombrotérmico de la estación 'El pajonal'

■ Precipitación —●— Temperatura

## **CAPITULO IV. Conclusiones**

- El valor de radianza de las imágenes de satélite puede ser utilizado como indicador de cambios fenológicos. Las comunidades perennifolias presentan curvas muy similares en las imágenes Landsat de abril y enero, a diferencia de las comunidades caducifolias, en las cuales se pueden observar cambios en los valores de radianza.
- Mediante el análisis multitemporal de imágenes de satélite se logra una clasificación más precisa de las comunidades vegetales que a través del análisis de las imágenes individuales, debido a que éstos análisis multitemporales permiten incorporar la información del comportamiento fenológico de la vegetación al proceso de clasificación.
- Los valores de NDVI presentan una estrecha relación con los valores de cobertura, los que a su vez muestran el comportamiento estacional de las diferentes comunidades vegetales, lo que se observa en los distintos valores de NDVI a lo largo del año, conforme la vegetación va modificando su apariencia.
- La composición florística y la fisionomía de las comunidades vegetales determinan la variabilidad de la reflectancia de dichas comunidades.

## CAPITULO V. Recomendaciones

- Hacer un seguimiento de las condiciones de la vegetación simultáneo a la toma de las imágenes de satélite con la finalidad de determinar la relación que existe entre la reflectancia de la imagen, en el momento en el que está pasando el sensor, y los datos de campo.
- Llevar a cabo mediciones espectrales de campo con un radiómetro para comparar los valores de radianza que el sensor está percibiendo con las condiciones atmosféricas reales (iluminación, partículas suspendidas) que se presentan al momento de la toma de la imagen y que puedan alterar los valores que percibe el sensor.
- Efectuar el análisis multitemporal con 4 imágenes de satélite, por lo menos (una por cada estación del año). Para evaluar los cambios en la vegetación de la zona de estudio, las fechas de las imágenes que se recomiendan son: el mes de enero (época más fría del año), abril (antes de que comiencen las lluvias), julio (época de lluvias de verano) y octubre (pasadas las lluvias de verano). Esto con la finalidad de obtener una mayor cantidad de información respecto al comportamiento fenológico de la vegetación, así como su distribución.
- Utilizar imágenes provenientes del mismo sensor para contrastar los valores de radianza en los mismos rangos de longitud de onda.
- Para poder llevar a cabo la identificación de las comunidades vegetales a nivel de especie, se recomienda utilizar un sensor con una resolución espectral y espacial más fina, lo que implica una mayor cantidad de bandas a lo largo del espectro electromagnético, con la finalidad de obtener la respuesta espectral diferencial de los distintos tipos de vegetación.

## Referencias

- Achard, F. y Blasco, F. 1990. *Analysis of Vegetation Seasonal Evolution and Mapping of Forest Cover in West Africa with the use of NOAA AVHRR HRPT Data*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing; 56:1359-1365.
- Alanís, F. G., Cano y Cano, G., Róbaló, M. 1996. *Vegetación y Flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica*. CEMEX. México. 251 pp.
- Anuta, P.E., Bartolucci, M., Dean, M.E., Lozano, D.F., Malaret, E., McGillem, C.D., Valdez, J.A. y Valenzuela, C.R. 1984. *Landsat-4 MSS and Thematic Mapper Data Quality and Information Content Analysis*. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing; GE-22:222-236.
- Bartolucci, L., Lozano, D. F. y Tilton, J. 1983. *Taller Práctico en el Análisis Numérico de Datos de Imágenes Multiespectrales*. Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS). Purdue University. West Lafayette, Indiana, USA. 64 pp.
- Braun-Blanquet, J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 820 pp.
- Brower, J. E. y Zar, J. H. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. WMC Brown Company Pub. Iowa, USA. 237 pp.
- Chuvieco, E. 1990. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ediciones Rialp, Madrid, 450 pp.
- Cihlar, J., Dobson, M. C., Schmugge, T., Hoogeboom, P., Janse, A.R.P., Baret, F., Guyot, G., Le Toan, T. Y Pampaloni, P. 1987. *Procedures for the description of agricultural crops and soils in optical and microwave remote sensing studies*. International Journal of Remote Sensing; 8(3):427-439 pp.
- Daniel, W. 1987. *Bioestadística*. 3a. edición. Editorial Limusa. México, D.F. 667 pp.
- Dethier, B.E. 1974. *Phenology Satellite Experiment*. Division of Atmospheric Sciences. Cornell University. USA. 789 pp.
- Enkerlin-Hoeflich, E.C., Salinas W., Casas, S. y Rosenzweig, L. 1994. *Ordenamiento Ecológico del Territorio Municipal de San Pedro Garza García por medio de Imágenes de Satélite*. Municipio de San Pedro Garza García, N.L. México.

- ERDAS, 1997. *Erdas Field Guide, ERDAS Imagine® v8.3*, Erdas Inc., Atlanta, GA. USA. 656 pp.
- García Aranda, M. A. 1996. *Análisis de la Cubierta Vegetal y Propuesta para la Zonificación Ecológica del Cerro "El Potosí", Galeana, N. L., México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. U A N L. México.
- Giddings, L. E. y Coria, R. 1984. *Indíces para ilustrar los cambios de vegetación en México*. *Biotica*; 9:367-378.
- González Murguía, R. 1985. *Modelos Ecológicos de Distribución de la Cobertura Vegetal*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. 75 pp.
- Harris, R. 1987. *Satellite Remote Sensing. An Introduction*. Routledge and Kegan Paul. New York, U.S.A. 220 pp.
- INEGI, 1998. *Carta de Transformación de la Cubierta Vegetal escala 1:50 000 de la porción central del Estado de Nuevo León*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Monterrey, N.L. México. 110 pp.
- INEGI, 1977. *Cartas Uso del Suelo: Ramos Arizpe (G14-C24), Garza García (G14-C25), Monterrey (G14-C26), Saltillo (G14-C33), Arteaga (G14-C34), San Antonio de las Alazanas (G14-C35), Allende (G14-C36), Agua Nueva (G14-C43), Huachichil (G14-C44), San Rafael (G14-C45), Rayones (G14-C46) y Montemorelos (G14-C47)*. Escala 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
- INEGI, 1981. *Guías para la Interpretación de Cartografía. Uso del Suelo*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F. 37 pp.
- INEGI, 1986. *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F. 170 pp.
- I.T.E.S.M., 1994. *Estudio de la Cobertura, Uso Actual del Suelo y Creación de una Base de Datos sobre los Recursos Naturales para el Parque Nacional 'Cumbres de Monterrey'*. Centro de Calidad Ambiental, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México. 261 pp.
- I.T.E.S.M., 1997. *Propuesta para el Ordenamiento Ecológico de la Sierra Madre Oriental*. Centro de Calidad Ambiental, Manejo Sostenible de Ecosistemas, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.

- Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N. y Tucker, C.J. 1985. *Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data*. Int. J. Remote Sensing; 6:1271-1318.
- Lillesand, T.M. y Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons. 3rd. edition. USA. 750 pp.
- López Ramos, E. 1979. *Geología de México*. Tomo II. SEP edit., México, D.F. 454 pp.
- Lozano-García, D.F., Fernández, R.N., Gallo, K.P. y Johannsen, C.J. 1995. *Monitoring the 1988 severe drought in Indiana, U.S.A. using AVHRR data*. Int. J. Remote Sensing; 16(7):1327-1340.
- Marroquín Flores, R. A. 1985. *El género Quercus al noroeste del Estado de Nuevo León*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 44 pp.
- Miranda, F. y Hernández X. 1963. *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Boletín de la Sociedad Botánica de México No. 28. México. 179 pp.
- Morain, S.A. 1974. *Phenology and Remote Sensing*. In: Lieth, H. *Phenology and Seasonality Modeling*. Springer-Verlag New York Inc. USA. 444 pp.
- Muller-Bombois, D. y Ellenberg, H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons. New York, U.S.A. 547 pp.
- Olson, C. E. 1970. *Multispectral Sensing of Moisture Stress*. Third Annual Earth Resources Program Review. Vol. II. NASA. Manned Spacecraft Center. Houston, TX, USA. 18 pp.
- Palmer, A. R. 1990. *Using Landsat MSS Data to detect and map vegetation units in the semi-arid Karoo region, southern Africa: an assessment*. S. Afr. J. Of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography; 16(6): 216-225.
- Rojas Mendoza, P. 1965. *Generalidades Sobre la Vegetación del Estado de Nuevo León y Datos Acerca de su Flora*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rzedowski, J. 1988. *Vegetación de México*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Ed. Limusa, S.A. 4a. reimpression. México. 432 pp.
- Swain, P. H. y Davis, S. M. 1978. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. Mc Graw-Hill. USA. 396 pp.

Treviño, E. J. 1992. *Aplicación de Imágenes de Satélite en la Cartografía de la Vegetación. Como ejemplo un área de la Región "Sierra Madre Oriental" en el noreste de México*. Disertación para optar al título de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad Georgia-Augusta. Gotinga. Alemania. 119 pp.

Tucker, C.J., Dregne, H.E. y Newcomb, W.W. 1991. *Expansion and Contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990*. Science; 253:299-301.

Tucker, C.J., Townshend, J.R.G. y Goff, T.E. 1985. *African Land-Cover Classification using Satellite Data*. Science; 227:369-375.

Valdez Tamez, V. 1981. *Contribución al conocimiento de los tipos de vegetación, su cartografía y notas florístico-ecológicas del Municipio de Santiago, N.L., México*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 204 pp.

Woodwell, G.M., Hobbie, J.E., Houghton, R.A., Melillo, J.M., Moore, B., Peterson, B.J. y Shaver, G.R. 1983. *Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide*. Science; 222(4628): 1081-1086.

## ***Apéndice A***

**Parámetros estimados en los puntos de muestreo  
de la zona de estudio.**



**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 1**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en..</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de importancia</b>
Quercus polymorpha	17	0.01888889	0.60714286	4	1	0.5	0.50477778	0.47116292	1.57830578
Quercus rysophylla	11	0.01222222	0.39285714	4	1	0.5	0.56656667	0.52883708	1.42169422
<b>Totales</b>	<b>28</b>	<b>0.03111111</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1.07134444</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

**Quercus polymorpha**

**52.6101926**

Quercus rysophylla

47.3898074

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 2**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
Chiococca pachiphylla	195	0.21666667	0.6	4	1	0.13333333	1.98458167	0.61844919	1.35178252
Quercus polymorpha	16	0.01777778	0.04923077	4	1	0.13333333	0.74366667	0.231746597	0.4143107
Decatropis bicolor	69	0.07666667	0.21230769	4	1	0.13333333	0.02118311	0.006601229	0.35224225
Ulmus crassifolia	9	0.01	0.02769231	4	1	0.13333333	0.15721111	0.048991224	0.21001686
Bumelia lanuginosa	14	0.01555556	0.04307692	4	1	0.13333333	0.01162378	0.003622283	0.18003254
Cercis canadensis	5	0.00555556	0.01538462	3	0.75	0.1	0.02378589	0.007412325	0.12279694
Quercus rysophylla	4	0.00444444	0.01230769	2	0.5	0.06666667	0.11005556	0.03429628	0.11327064
Pithecellobium pallens	10	0.01111111	0.03076923	2	0.5	0.06666667	0.00326256	0.0010167	0.0984526
Pinus pseudostrobus	1	0.00111111	0.00307692	1	0.25	0.03333333	0.1532	0.047741253	0.08415151
Litsea novoleontis	2	0.00222222	0.00615385	2	0.5	0.06666667	0.00039444	0.00012292	0.07294343
<b>Totales</b>	<b>325</b>	<b>0.36111111</b>	<b>1</b>		<b>7.5</b>	<b>1</b>	<b>3.20896478</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Chiococca pachiphylla</b>	<b>45.0594174</b>
Quercus polymorpha	13.8103566
Decatropis bicolor	11.7414085
Ulmus crassifolia	7.00056216
Bumelia lanuginosa	6.00108464
Cercis canadensis	4.09323134
Quercus rysophylla	3.77568798
Pithecellobium pallens	3.28175326
Pinus pseudostrobus	2.80505032
Litsea novoleontis	2.43144775

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 3**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
Carya sp.	127	0.14111111	0.29742389	4	1	0.06451613	1.37396356	0.92217807	1.28411809
Quercus canbyi	87	0.09666667	0.20374707	4	4	0.25806452	0.03260622	0.02188467	0.48369626
Xylosma flexuosa	32	0.03555556	0.07494145	4	4	0.25806452	0.02493178	0.01673373	0.3497397
Quercus polymorpha	60	0.06666667	0.14051522	3	0.75	0.0483871	0.018774	0.01260075	0.20150307
Bumelia lanuginosa	29	0.03222222	0.06791569	4	1	0.06451613	0.01185289	0.00795543	0.14038725
Zanthoxylum fagara	34	0.03777778	0.07962529	3	0.75	0.0483871	0.00225222	0.00151165	0.12952404
Quercus rysophylla	28	0.03111111	0.06557377	3	0.75	0.0483871	0.00829267	0.00556588	0.11952675
Chiococca pachyphylla	9	0.01	0.02107728	3	0.75	0.0483871	0.00580578	0.00389673	0.07336111
Quercus laceyi	6	0.00666667	0.01405152	3	0.75	0.0483871	0.00335011	0.00224853	0.06468715
Cercis canadensis	9	0.01	0.02107728	2	0.5	0.03225806	0.00543989	0.00365115	0.0569865
Quercus fusiformis	3	0.00333333	0.00702576	2	0.5	0.03225806	0.00014	9.3965E-05	0.03937779
Decatropis bicolor	2	0.00222222	0.00468384	2	0.5	0.03225806	0.00113878	0.00076433	0.03770623
Pithecellobium pallens	1	0.00111111	0.00234192	1	0.25	0.01612903	0.00136344	0.00091512	0.01938607
<b>Totales</b>	<b>427</b>	<b>0.47444444</b>	<b>1</b>		<b>15.5</b>	<b>1</b>	<b>1.48991133</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Carya sp.</b>	<b>42.8039362</b>
Quercus canbyi	16.1232087
Xylosma flexuosa	11.65799
Quercus polymorpha	6.71676897
Bumelia lanuginosa	4.67957508
Zanthoxylum fagara	4.31746793
Quercus rysophylla	3.98422489
Chiococca pachyphylla	2.44537024
Quercus laceyi	2.15623832
Cercis canadensis	1.89954991
Quercus fusiformis	1.31259303
Decatropis bicolor	1.25687437
Pithecellobium pallens	0.64620235

Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 4

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Quercus rysophylla	543	0.60333333	0.8277439	4	1	0.12903226	1.34754	0.56321575	1.51999191
Pinus pseudostrobus	6	0.00666667	0.00914634	4	1	0.12903226	0.61465889	0.25690189	0.39508049
Juglans mollis	17	0.01888889	0.02591463	4	1	0.12903226	0.26611222	0.11122386	0.26617075
Cercis canadensis	26	0.02888889	0.03963415	4	1	0.12903226	0.05714778	0.0238854	0.1925518
Quercus laeta	19	0.02111111	0.02896341	4	1	0.12903226	0.05436	0.02272022	0.1807159
Litsea novoleontis	18	0.02	0.02743902	3	0.75	0.09677419	0.00742778	0.0031045	0.12731772
Cornus florida	4	0.00444444	0.00609756	2	0.5	0.06451613	0.02040222	0.00852728	0.07914097
Prunus serotina	3	0.00333333	0.00457317	2	0.5	0.06451613	0.02127667	0.00889276	0.07798206
Ligustrum flexinus	2	0.00222222	0.00304878	2	0.5	0.06451613	0.00204111	0.0008531	0.06841801
Xylosma flexuosa	2	0.00222222	0.00304878	1	0.25	0.03225806	0.00014111	5.8979E-05	0.03536582
Garrya ovata	1	0.00111111	0.00152439	1	0.25	0.03225806	0.00147444	0.00061626	0.03439871
<b>Totales</b>	<b>641</b>	<b>0.71222222</b>	<b>0.97713415</b>		<b>7.75</b>	<b>1</b>	<b>2.39258222</b>	<b>1</b>	<b>2.97713415</b>

Resultado en % de cobertura

Quercus rysophylla	50.6663971
Pinus pseudostrobus	13.1693496
Juglans mollis	8.8723583
Cercis canadensis	6.4183934
Quercus laeta	6.02386317
Litsea novoleontis	4.24392402
Cornus florida	2.63803239
Prunus serotina	2.59940209
Ligustrum flexinus	2.28060031
Xylosma flexuosa	1.17886079
Garrya ovata	1.14662371

Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 5

Especies	No. Individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Pinus teocote	54	0.06	0.25116279	4	1	0.22222222	0.98418778	0.708654318	1.18203933
Quercus canbyi	65	0.07222222	0.30232558	4	1	0.22222222	0.22484333	0.161896137	0.68644394
Quercus rysophylla	64	0.07111111	0.29767442	4	1	0.22222222	0.07293556	0.052516499	0.57241314
Quercus laeta	23	0.02555556	0.10697674	4	1	0.22222222	0.10619333	0.076463421	0.40566239
Arbutus xalapensis	3	0.00333333	0.01395349	1	0.25	0.05555556	0.00022556	0.000162409	0.06967145
Ceanothus coeruleus	2	0.00222222	0.00930233	1	0.25	0.05555556	0.00042667	0.000307217	0.0651651
<b>Totales</b>	<b>211</b>	<b>0.23444444</b>	<b>0.98139535</b>		<b>4.5</b>	<b>1</b>	<b>1.38881222</b>	<b>1</b>	<b>2.98139535</b>

Resultado en % de cobertura

Pinus teocote	39.401311
Quercus canbyi	22.8814647
Quercus rysophylla	19.080438
Quercus laeta	13.5220796
Arbutus xalapensis	2.32238176
Ceanothus coeruleus	2.17216994

Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 6

Especies	No. Individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Acacia berlandieri	329	0.36555556	0.59493671	4	1	0.09090909	0.36290627	0.787632804	1.4734786
Dasyliion texanum	62	0.06888889	0.11211573	4	1	0.09090909	0.0375863	0.081575339	0.28460016
Berberis trifoliolata	63	0.07	0.11392405	4	1	0.09090909	0.02729701	0.059244012	0.26407715
Agave americana	34	0.03777778	0.06148282	4	1	0.09090909	0.00594286	0.012898073	0.16528998
Hesperaloe funifera	15	0.01666667	0.02712477	3	0.75	0.06818182	0.00350158	0.007599635	0.10290623
Decatropis bicolor	9	0.01	0.01627486	3	0.75	0.06818182	0.00060487	0.001312772	0.08576945
Bernardia myricaefolia	6	0.00666667	0.01084991	3	0.75	0.06818182	0.00170388	0.003698016	0.08272974
Croton torrellanus	9	0.01	0.01627486	2	0.5	0.04545455	0.00215767	0.004682891	0.0664123
Ephedra aspera	7	0.00777778	0.01265823	2	0.5	0.04545455	0.00217949	0.00473024	0.06284301
Mortonia greggii	2	0.00222222	0.00361664	2	0.5	0.04545455	0.00217512	0.00472077	0.05379195
Yucca filifera	2	0.00222222	0.00361664	2	0.5	0.04545455	0.00212931	0.004621336	0.05369252
Opuntia rastrera	2	0.00222222	0.00361664	2	0.5	0.04545455	0.00210531	0.004569251	0.05364043
Opuntia sp.	2	0.00222222	0.00361664	2	0.5	0.04545455	0.00050833	0.001103249	0.05017443
Echinocactus conglomeratus	2	0.00222222	0.00361664	1	0.25	0.02272727	0.00174533	0.00378798	0.03013189
Helietta parvifolia	3	0.00333333	0.00542495	1	0.25	0.02272727	0.00077667	0.001685651	0.02983788
Condalia hookeri	1	0.00111111	0.00180832	1	0.25	0.02272727	0.00223403	0.004848615	0.02938421
Forestiera angustifolia	1	0.00111111	0.00180832	1	0.25	0.02272727	0.00223403	0.004848615	0.02938421
Porlieria glomerata	2	0.00222222	0.00361664	1	0.25	0.02272727	0.00111701	0.002	0.02876822
Leucophyllum frutescens	1	0.00111111	0.00180832	1	0.25	0.02272727	0.00177206	0.003845984	0.02838157
Agave spp.	1	0.00111111	0.00180832	1	0.25	0.02272727	0.00007854	0.000170459	0.02470605

<b>Totales</b>	<b>553</b>	<b>0.61444444</b>	<b>1</b>		<b>11</b>	<b>1</b>	<b>0.46075565</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
----------------	------------	-------------------	----------	--	-----------	----------	-------------------	----------	----------

**Resultado en % de cobertura**

Acacia berlandieri	49.1159534
Dasyllirion texanum	9.48667209
Berberis trifoliolata	8.80257178
Agave americana	5.50966616
Hesperaloe funifera	3.43020759
Decatropis bicolor	2.85898182
Bernardia myricaefolia	2.75765812
Croton torrellanus	2.21374335
Ephedra aspera	2.09476712
Mortonia greggii	1.79306508
Yucca filifera	1.7897506
Opuntia rastrera	1.78801444
Opuntia sp.	1.67248104
Echinocactus conglomeratus	1.00439632
Helietta parvifolia	0.99459596
Condalia hookeri	0.97947353
Forestiera angustifolia	0.97947353
Porlieria glomerata	0.95894055
Leucophyllum frutescens	0.94605249
Agave spp.	0.823535

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 7**

<b>Especies</b>	<b>No. Individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
<i>Cordia boissieri</i>	5	0.00555556	0.00578035	3	0.75	0.05454545	0.03337296	0.09351726	0.15384307
<i>Agave lechuguilla</i>	487	0.54111111	0.56300578	4	1	0.07272727	0.06039126	0.16922761	0.80496067
<i>Helietta parvifolia</i>	48	0.05333333	0.05549133	4	1	0.07272727	0.09108475	0.2552365	0.3834551
<i>Jatropha spathulata</i>	111	0.12333333	0.1283237	4	1	0.07272727	0.00648446	0.01817067	0.21922164
<i>Forestiera angustifolia</i>	36	0.04	0.0416185	4	1	0.07272727	0.03466287	0.09713183	0.2114776
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	45	0.05	0.05202312	4	1	0.07272727	0.02448703	0.06861723	0.19336762
<i>Neopringlea integrifolia</i>	42	0.04666667	0.04855491	4	1	0.07272727	0.02339019	0.0655437	0.18682589
<i>Opuntia rastrera</i>	19	0.02111111	0.02196532	4	1	0.07272727	0.0328319	0.09200113	0.18669372
<i>Mortonia greggii</i>	27	0.03	0.03121387	4	1	0.07272727	0.01684138	0.04719269	0.15113383
<i>Acacia rigidula</i>	20	0.02222222	0.02312139	4	1	0.07272727	0.01354161	0.03794611	0.13379477
<i>Condalia hookeri</i>	6	0.00666667	0.00693642	4	1	0.07272727	0.00263982	0.00739726	0.08706095
<i>Acacia berlandieri</i>	8	0.00888889	0.00924855	3	0.75	0.05454545	0.0069617	0.01950798	0.08330199
<i>Yucca filifera</i>	3	0.00333333	0.00346821	3	0.75	0.05454545	0.00735222	0.02060229	0.07861595
<i>Opuntia sp.</i>	3	0.00333333	0.00346821	2	0.5	0.03636364	0.00225148	0.00630907	0.04614091
<i>Hechtia glomerata</i>	2	0.00222222	0.00231214	1	0.25	0.01818182	2.7271E-05	7.6418E-05	0.02057037
<i>Hesperaloe funifera</i>	1	0.00111111	0.00115607	1	0.25	0.01818182	0.00021817	0.00061134	0.01994923
<i>Berberis trifoliolata</i>	1	0.00111111	0.00115607	1	0.25	0.01818182	0.00021817	0.00061134	0.01994923
<i>Croton torrellanus</i>	1	0.00111111	0.00115607	1	0.25	0.01818182	0.0001069	0.00029956	0.01963745
<b>Totales</b>	<b>865</b>	<b>0.96111111</b>	<b>1</b>		<b>13.75</b>	<b>1</b>	<b>0.35686411</b>	<b>1</b>	<b>3</b>



**Resultado en % de cobertura**

<b>Agave lechuguilla</b>	<b>26.8320222</b>
Helietta parvifolia	12.7818368
Jatropha spathulata	7.30738796
Forestiera angustifolia	7.04925349
Karwinskia humboldtiana	6.44558749
Neopringlea integrifolia	6.22752952
Opuntia rastrera	6.22312409
Cordia boissieri	5.1281022
Mortonia greggii	5.0377944
Acacia rigidula	4.4598257
Condalia hookeri	2.90203164
Acacia berlandieri	2.77673303
Yucca filifera	2.62053165
Opuntia sp.	1.53803042
Hechtia glomerata	0.68567916
Hesperaloe funifera	0.66497438
Berberis trifoliolata	0.66497438
Croton torrellanus	0.65458153

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 8**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
Pinus teocote	43	0.04777778	0.31386861	4	1	0.17391304	0.55912521	0.62205603	1.10983769
Pinus pseudostrobus	20	0.02222222	0.1459854	4	1	0.17391304	0.29522532	0.3284536	0.64835204
Quercus cocolobifolia	39	0.04333333	0.28467153	4	1	0.17391304	0.00188114	0.00209287	0.46067745
Bernardia myricaefolia	15	0.01666667	0.10948905	4	1	0.17391304	0.04124005	0.04588171	0.3292838
Quercus rysophylla	16	0.01777778	0.11678832	4	1	0.17391304	0.00068941	0.000767	0.29146837
Prunus mexicana	3	0.00333333	0.02189781	2	0.5	0.08695652	0.00024544	0.00027306	0.10912739
Crategus sp.	1	0.00111111	0.00729927	1	0.25	0.04347826	0.00042761	0.00047573	0.05125327
<b>Totales</b>	<b>137</b>	<b>0.15222222</b>	<b>1</b>		<b>5.75</b>	<b>1</b>	<b>0.89883417</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

Pinus teocote	36.9945896
Pinus pseudostrobus	21.6117347
Quercus cocolobifolia	15.3559148
Bernardia myricaefolia	10.9761267
Quercus rysophylla	9.71561219
Prunus mexicana	3.6375798
Crategus sp.	1.70844219

Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 9

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Xanthoxylum fagara	224	0.24888889	0.48172043	4	1	0.0952381	0.25703306	0.381782109	0.95874063
Pithecellobium pallens	54	0.06	0.11612903	4	1	0.0952381	0.10427058	0.154877512	0.36624464
Cordia boissieri	32	0.03555556	0.0688172	4	1	0.0952381	0.12920266	0.191910199	0.3559655
Lantana camara	51	0.05666667	0.10967742	4	1	0.0952381	0.06748768	0.10024231	0.30515782
Acacia rigidula	20	0.02222222	0.04301075	3	0.75	0.07142857	0.0347065	0.051551036	0.18979988
Aloysia gratissima	18	0.02	0.03870968	4	1	0.0952381	0.0199688	0.029660499	0.16360827
Celtis pallida	14	0.01555556	0.03010753	4	1	0.0952381	0.02367981	0.035172627	0.16051825
Diospyros texana	28	0.03111111	0.06021505	3	0.75	0.07142857	0.01874924	0.027849047	0.15949267
Eupatorium sp.	13	0.01444444	0.02795699	3	0.75	0.07142857	0.00784746	0.011656158	0.11104172
Croton tenellus	5	0.00555556	0.01075269	3	0.75	0.07142857	0.00310669	0.004614503	0.08679576
Opuntia sp.	2	0.00222222	0.00430108	2	0.5	0.04761905	3.4907E-05	5.18484E-05	0.05197197
Acacia farnesiana	1	0.00111111	0.00215054	1	0.25	0.02380952	0.0047844	0.007106465	0.03306653
Karwinskia humboldtiana	2	0.00222222	0.00430108	1	0.25	0.02380952	0.00111701	0.001659147	0.02976975
Yucca filifera	1	0.00111111	0.00215054	1	0.25	0.02380952	0.00125664	0.001866541	0.0278266
<b>Totales</b>	<b>465</b>	<b>0.51666667</b>	<b>1</b>		<b>10.5</b>	<b>1</b>	<b>0.67324543</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Xanthoxylum fagara</b>	<b>31.9580211</b>
Pithecellobium pallens	12.2081547
Cordia boissieri	11.8655166
Lantana camara	10.1719275
Acacia rigidula	6.326662667
Aloysia gratissima	5.45360904
Celtis pallida	5.35060829
Diospyros texana	5.3164224
Eupatorium sp.	3.70139062
Croton tenellus	2.8931921
Opuntia sp.	1.73239904
Acacia farnesiana	1.10221755
Karwinskia humboldtiana	0.99232488
Yucca filifera	0.92755341

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 10**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
Porlieria angustifolia	120	0.13333333	0.40268456	4	1	0.0952381	0.06548709	0.357850062	0.85577272
Acacia berlandieri	77	0.08555556	0.25838926	4	1	0.0952381	0.02010515	0.109863319	0.46349068
Cordia boissieri	14	0.01555556	0.04697987	4	1	0.0952381	0.03991359	0.218105303	0.36032326
Forestiera angustifolia	22	0.02444444	0.0738255	4	1	0.0952381	0.01262531	0.068990183	0.23805378
Yucca filifera	9	0.01	0.03020134	4	1	0.0952381	0.02056221	0.11236089	0.23780033
Opuntia imbricata	22	0.02444444	0.0738255	4	1	0.0952381	0.0060214	0.03290356	0.20196716
Opuntia sp	5	0.00555556	0.01677852	4	1	0.0952381	0.00688098	0.037600663	0.14961728
Berberis trifoliolata	6	0.00666667	0.02013423	4	1	0.0952381	0.00202022	0.011039383	0.12641171
Leucophyllum frutescens	3	0.00333333	0.01006711	2	0.5	0.04761905	0.00336849	0.018406919	0.07609308
Dasyllirion texanum	3	0.00333333	0.01006711	2	0.5	0.04761905	0.00060214	0.003290356	0.06097652
Acacia sp.	8	0.00888889	0.02684564	1	0.25	0.02380952	0.00027925	0.001525962	0.05218112
Prosopis glandulosa	3	0.00333333	0.01006711	1	0.25	0.02380952	0.00112574	0.006151535	0.04002817
Koeberlinia spinosa	3	0.00333333	0.01006711	1	0.25	0.02380952	0.00053451	0.002920787	0.03679742
Opuntia rastrera	1	0.00111111	0.0033557	1	0.25	0.02380952	0.00125664	0.00686683	0.03403206
Acacia rigidula	1	0.00111111	0.0033557	1	0.25	0.02380952	0.00125664	0.00686683	0.03403206
Karwinskia humboldtiana	1	0.00111111	0.0033557	1	0.25	0.02380952	0.00096212	0.005257417	0.03242265
<b>Totales</b>	<b>298</b>	<b>0.33111111</b>	<b>1</b>		<b>10.5</b>	<b>1</b>	<b>0.18300147</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Porlieria angustifolia</b>	<b>28.5257574</b>
Acacia berlandieri	15.4496892
Cordia boissieri	12.0107755
Forestiera angustifolia	7.93512604
Yucca filifera	7.92667759
Opuntia imbricata	6.73223863
Opuntia sp	4.98724272
Berberis trifoliolata	4.21372355
Leucophyllum frutescens	2.53643603
Dasyliirion texanum	2.03255059
Acacia sp.	1.73937079
Prosopis glandulosa	1.33427244
Koeberlinia spinosa	1.22658083
Opuntia rastrera	1.13440195
Acacia rigidula	1.13440195
Karwinskia humboldtiana	1.08075484

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 11**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Juniperus monosperma	111	0.12333333	0.67682927	4	1	0.22222222	0.20207469	0.36073523	1.25978672
Pinus cembroides	21	0.02333333	0.12804878	4	1	0.22222222	0.34351869	0.61323509	0.96350609
Rhus virens	14	0.01555556	0.08536585	4	1	0.22222222	0.01364196	0.02435306	0.33194113
Quercus cordifolia	8	0.00888889	0.04878049	2	0.5	0.11111111	0.00045924	0.00081982	0.16071142
Agave americana	5	0.00555556	0.0304878	2	0.5	0.11111111	0.00030543	0.00054525	0.14214416
Opuntia sp.	5	0.00555556	0.0304878	2	0.5	0.11111111	0.00017453	0.00031157	0.14191049
<b>Totales</b>	<b>164</b>	<b>0.18222222</b>	<b>1</b>		<b>4.5</b>	<b>1</b>	<b>0.56017455</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Juniperus monosperma</b>	<b>41.9928906</b>
Pinus cembroides	32.1168696
Rhus virens	11.0647044
Quercus cordifolia	5.35704721
Agave americana	4.73813876
Opuntia sp.	4.73034952

### Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 12

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	39	0.04333333	0.23353293	4	1	0.16666667	0.41614637	0.721919447	1.12211905
<i>Juniperus monosperma</i>	94	0.10444444	0.56287425	4	1	0.16666667	0.12081852	0.209592691	0.93913361
<i>Yucca carnerosana</i>	17	0.01888889	0.10179641	3	0.75	0.125	0.02878055	0.049927712	0.27672412
<i>Juniperus flaccida</i>	4	0.00444444	0.0239521	3	0.75	0.125	0.01004658	0.017428526	0.16638062
<i>Opuntia sp.</i>	5	0.00555556	0.02994012	3	0.75	0.125	0.00014835	0.000257359	0.15519748
<i>Dasyllirion longissimum</i>	4	0.00444444	0.0239521	3	0.75	0.125	0.00011345	0.000196804	0.1491489
<i>Berberis trifoliolata</i>	3	0.00333333	0.01796407	3	0.75	0.125	0.00033598	0.000582843	0.14354692
<i>Rhus virens</i>	1	0.00111111	0.00598802	1	0.25	0.04166667	5.4542E-05	9.46174E-05	0.04774931
<b>Totales</b>	<b>167</b>	<b>0.18555556</b>	<b>1</b>		<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0.57644433</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

#### Resultado en % de cobertura

<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b>37.4039682</b>
<i>Juniperus monosperma</i>	31.3044536
<i>Yucca carnerosana</i>	9.22413732
<i>Juniperus flaccida</i>	5.54602073
<i>Opuntia sp.</i>	5.1732493
<i>Dasyllirion longissimum</i>	4.97163
<i>Berberis trifoliolata</i>	4.78489717
<i>Rhus virens</i>	1.5916436



**Resultado en % de cobertura**

<b>Pinus cembroides</b>	<b>30.7807631</b>
Quercus cordifolia	13.5336739
Quercus sp.	12.5127404
Rhus virens	11.3069122
Lindleyella mespiloides	5.96213587
Arctostaphylos pungens	4.88381181
Dasyliirion longissimum	4.74821074
Dasyliirion texanum	3.88587221
Castela texana	2.91375191
Opuntia sp.	2.76714677
Quercus canbyi	2.66867306
Agave americana	1.06806842
Arbutus xalapensis	1.05817069
Garrya ovata	1.00694867
Mortonia greggii	0.90312026

### Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 18

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Abies spp.	136	0.15111111	0.44736842	4	1	0.22222222	0.631	0.51179254	1.18138319
Quercus greggii	101	0.11222222	0.33223684	4	1	0.22222222	0.351	0.2844635	0.83892257
Pinus ayacahuite	58	0.06444444	0.19078947	4	1	0.22222222	0.242	0.19611057	0.60912226
Arbutus xalapensis	5	0.00555556	0.01644737	3	0.75	0.16666667	0.005	0.00406536	0.18717939
Garrya ovata	2	0.00222222	0.00657895	1	0.25	0.05555556	0.002	0.00172738	0.06386188
Cupressus sp.	1	0.00111111	0.00328947	1	0.25	0.05555556	0.002	0.00138757	0.0602326
Quercus fulva	1	0.00111111	0.00328947	1	0.25	0.05555556	0.001	0.00045308	0.05929811
<b>Totales</b>	<b>304</b>	<b>0.33777778</b>	<b>1</b>		<b>4.5</b>	<b>1</b>	<b>1.23268094</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

#### Resultado en % de cobertura

<b>Abies spp.</b>	<b>39.3794396</b>
Quercus greggii	27.9640856
Pinus ayacahuite	20.3040754
Arbutus xalapensis	6.23931308
Garrya ovata	2.12872938
Cupressus sp.	2.00775319
Quercus fulva	1.97660374

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 13**

<b>Especies</b>	<b>No. individuos</b>	<b>Densidad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Presente en</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Cobertura relativa</b>	<b>Valor de Importancia</b>
Quercus cordifolia	305	0.33888889	0.64210526	4	1	0.14285714	0.06021236	0.243995	1.0289574
Pinus cembroides	41	0.04555556	0.08631579	4	1	0.14285714	0.12027147	0.48736894	0.71654187
Agave americana	56	0.06222222	0.11789474	4	1	0.14285714	0.02490591	0.10092473	0.36167661
Dasyllirion longissimum	39	0.04333333	0.08210526	4	1	0.14285714	0.00907246	0.0367638	0.2617262
Yucca carnerosana	21	0.02333333	0.04421053	4	1	0.14285714	0.01833036	0.07427905	0.26134672
Opuntia sp.	6	0.00666667	0.01263158	3	0.75	0.10714286	0.00119555	0.00484467	0.12461911
Cupressus sp.	3	0.00333333	0.00631579	2	0.5	0.07142857	0.01141884	0.0462719	0.12401626
Pinus pseudostrobus	2	0.00222222	0.00421053	2	0.5	0.07142857	0.00025307	0.00102551	0.07666461
Dasyllirion texanum	2	0.00222222	0.00421053	1	0.25	0.03571429	0.00111701	0.00452641	0.04445122
<b>Totales</b>	<b>475</b>	<b>0.52777778</b>	<b>1</b>		<b>7</b>	<b>1</b>	<b>0.24677704</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Quercus cordifolia</b>	<b>34.2985801</b>
Pinus cembroides	23.884729
Agave americana	12.055887
Dasyllirion longissimum	8.72420673
Yucca carnerosana	8.71155717
Opuntia sp.	4.1539702
Cupressus sp.	4.13387545
Pinus pseudostrobus	2.55548706
Dasyllirion texanum	1.4817073

### Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 14

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	92	0.10222222	0.31292517	4	1	0.25	0.3360203	0.88074968	1.44367485
<i>Quercus cordifolia</i>	175	0.19444444	0.5952381	4	1	0.25	0.01311127	0.03436622	0.87960432
<i>Yucca carnerosana</i>	14	0.01555556	0.04761905	4	1	0.25	0.02812605	0.07372176	0.3713408
<i>Dasyllirion longissimum</i>	12	0.01333333	0.04081633	3	0.75	0.1875	0.00202459	0.00530669	0.23362301
<i>Quercus emoryi</i>	1	0.00111111	0.00340136	1	0.25	0.0625	0.00223403	0.00585565	0.07175701
<b>Totales</b>	<b>294</b>	<b>0.32666667</b>	<b>1</b>		<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0.38151623</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

#### Resultado en % de cobertura

<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b>48.1224951</b>
<i>Quercus cordifolia</i>	29.3201439
<i>Yucca carnerosana</i>	12.3780268
<i>Dasyllirion longissimum</i>	7.78743374
<i>Quercus emoryi</i>	2.39190045

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 15**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	46	0.05111111	0.31081081	4	1	0.125	0.407	0.75101706	1.18682787
<i>Juniperus monosperma</i>	35	0.03888889	0.23648649	4	1	0.125	0.092	0.17033171	0.5318182
<i>Agave americana</i>	22	0.02444444	0.14864865	2	0.5	0.0625	0.010	0.0175681	0.22871675
<i>Berberis trifoliolata</i>	7	0.00777778	0.0472973	4	1	0.125	0.005	0.00939137	0.18168867
<i>Quercus cordifolia</i>	11	0.01222222	0.07432432	3	0.75	0.09375	0.003	0.00520547	0.1732798
<i>Opuntia rastrera</i>	5	0.00555556	0.03378378	3	0.75	0.09375	0.008	0.01523534	0.14276912
<i>Opuntia sp.</i>	5	0.00555556	0.03378378	3	0.75	0.09375	0.001	0.00270681	0.13024059
<i>Yucca carnerosana</i>	4	0.00444444	0.02702703	2	0.5	0.0625	0.009	0.01660282	0.10612984
<i>Mimosa sp.</i>	5	0.00555556	0.03378378	2	0.5	0.0625	0.001	0.00158467	0.09786845
<i>Sophora secundiflora</i>	4	0.00444444	0.02702703	2	0.5	0.0625	0.003	0.00538144	0.09490846
<i>Echinocactus dubius</i>	3	0.00333333	0.02027027	2	0.5	0.0625	0.000	0.00032578	0.08309605
<i>Rhus virens</i>	1	0.00111111	0.00675676	1	0.25	0.03125	0.003	0.00464943	0.04265619
<b>Totales</b>	<b>148</b>	<b>0.16444444</b>	<b>1</b>		<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0.54243324</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b>39.5609291</b>
<i>Juniperus monosperma</i>	17.7272734
<i>Agave americana</i>	7.62389154
<i>Berberis trifoliolata</i>	6.05628894
<i>Quercus cordifolia</i>	5.77599328
<i>Opuntia rastrera</i>	4.7589707
<i>Opuntia sp.</i>	4.341353
<i>Yucca carnerosana</i>	3.53766148
<i>Mimosa sp.</i>	3.26228173
<i>Sophora secundiflora</i>	3.16361545
<i>Echinocactus dubius</i>	2.76986841
<i>Rhus virens</i>	1.42187297

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 16**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	33	0.03666667	0.2481203	4	1	0.23529412	0.374	0.758648346	1.24206276
<i>Juniperus monosperma</i>	51	0.05666667	0.38345865	4	1	0.23529412	0.107	0.217601106	0.83635387
<i>Berberis trifoliolata</i>	42	0.04666667	0.31578947	3	0.75	0.17647059	0.008	0.016922266	0.50918233
<i>Opuntia sp.</i>	3	0.00333333	0.02255639	2	0.5	0.11764706	0.001	0.00227314	0.14247659
<i>Yucca carnerosana</i>	1	0.00111111	0.0075188	1	0.25	0.05882353	0.001	0.002552298	0.06889462
<i>Agave sp.</i>	1	0.00111111	0.0075188	1	0.25	0.05882353	0.001	0.001772429	0.06811476
<i>Dasyllirion longissimum</i>	1	0.00111111	0.0075188	1	0.25	0.05882353	0.000	0.000159519	0.06650185
<i>Rhus vierens</i>	1	0.00111111	0.0075188	1	0.25	0.05882353	0.000	7.08972E-05	0.06641322
<b>Totales</b>	<b>133</b>	<b>0.14777778</b>	<b>1</b>		<b>4.25</b>	<b>1</b>	<b>0.49235635</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b>41.4020921</b>
<i>Juniperus monosperma</i>	27.8784623
<i>Berberis trifoliolata</i>	16.9727443
<i>Opuntia sp.</i>	4.74921967
<i>Yucca carnerosana</i>	2.29648747
<i>Agave sp.</i>	2.27049185
<i>Dasyllirion longissimum</i>	2.21672817
<i>Rhus vierens</i>	2.21377412

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 17**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	73	0.08111111	0.17505995	4	1	0.0952381	0.41170832	0.65312485	0.92342289
<i>Quercus cordifolia</i>	98	0.10888889	0.23501199	4	1	0.0952381	0.04775668	0.07576013	0.40601022
<i>Quercus sp.</i>	99	0.11	0.23741007	4	1	0.0952381	0.02693813	0.04273404	0.37538221
<i>Rhus virens</i>	58	0.06444444	0.13908873	4	1	0.0952381	0.06611323	0.10488054	0.33920737
<i>Lindleyella mespiloides</i>	22	0.02444444	0.05275779	4	1	0.0952381	0.01945829	0.03086819	0.17886408
<i>Arctostaphylos pungens</i>	18	0.02	0.04316547	3	0.75	0.07142857	0.02012151	0.03192032	0.14651435
<i>Dasyliirion longissimum</i>	22	0.02444444	0.05275779	3	0.75	0.07142857	0.01151047	0.01825996	0.14244632
<i>Dasyliirion texanum</i>	6	0.00666667	0.01438849	4	1	0.0952381	0.00438079	0.00694958	0.11657617
<i>Castela texana</i>	6	0.00666667	0.01438849	3	0.75	0.07142857	0.00100575	0.0015955	0.08741256
<i>Opuntia sp.</i>	4	0.00444444	0.00959233	3	0.75	0.07142857	0.00125664	0.00199351	0.0830144
<i>Quercus canbyi</i>	5	0.00555556	0.01199041	2	0.5	0.04761905	0.01289147	0.02045074	0.08006019
<i>Agave americana</i>	3	0.00333333	0.00719424	1	0.25	0.02380952	0.0006545	0.00103828	0.03204205
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	0.00111111	0.00239808	1	0.25	0.02380952	0.00349067	0.00553752	0.03174512
<i>Garrya ovata</i>	1	0.00111111	0.00239808	1	0.25	0.02380952	0.00252201	0.00400085	0.03020846
<i>Mortonia greggii</i>	1	0.00111111	0.00239808	1	0.25	0.02380952	0.00055851	0.000886	0.02709361
<b>Totales</b>	<b>417</b>	<b>0.46333333</b>	<b>1</b>		<b>10.5</b>	<b>1</b>	<b>0.63036695</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 19**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Pinus cembroides	112	0.12444444	0.51376147	4	1	0.18181818	0.60231521	0.84210541	1.53768506
Cupressus sp.	47	0.05222222	0.21559633	4	1	0.18181818	0.09244594	0.12924998	0.52666449
Agave americana	25	0.02777778	0.1146789	4	1	0.18181818	0.00441569	0.00617364	0.30267072
Opuntia sp.	23	0.02555556	0.10550459	4	1	0.18181818	0.00196132	0.00274215	0.29006492
Rhus virens	5	0.00555556	0.02293578	3	0.75	0.13636364	0.00551744	0.007714	0.16701342
Juniperus monosperma	3	0.00333333	0.01376147	2	0.5	0.09090909	0.00801763	0.01120955	0.11588011
Dasyllirion longissimum	3	0.00333333	0.01376147	1	0.25	0.04545455	0.00057596	0.00080526	0.06002127
<b>Totales</b>	<b>218</b>	<b>0.24222222</b>	<b>1</b>		<b>5.5</b>	<b>1</b>	<b>0.71524918</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Pinus cembroides</b>	<b>51.2561687</b>
Cupressus sp.	17.5554831
Agave americana	10.0890241
Opuntia sp.	9.66883053
Rhus virens	5.567114
Juniperus monosperma	3.86267046
Dasyllirion longissimum	2.00070904



### Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 20

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus cembroides</i>	78	0.08666667	0.21487603	4	1	0.19047619	0.37676947	0.38723956	0.79259178
<i>Pinus pseudostrobus</i>	30	0.03333333	0.08264463	4	1	0.19047619	0.43639006	0.44851695	0.72163777
<i>Quercus cordifolia</i>	166	0.18444444	0.45730028	4	1	0.19047619	0.06794801	0.06983622	0.71761269
<i>Agave americana</i>	78	0.08666667	0.21487603	4	1	0.19047619	0.03432198	0.03527576	0.44062798
<i>Quercus emoryi</i>	8	0.00888889	0.02203857	3	0.75	0.14285714	0.05480129	0.05632416	0.22121987
<i>Dasyllirion texanum</i>	2	0.00222222	0.00550964	1	0.25	0.04761905	0.00251328	0.00258312	0.05571181
<i>Juniperus monosperma</i>	1	0.00111111	0.00275482	1	0.25	0.04761905	0.00021817	0.00022423	0.0505981
<b>Totales</b>	<b>363</b>	<b>0.40333333</b>	<b>1</b>		<b>5.25</b>	<b>1</b>	<b>0.97296225</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

#### Resultado en % de cobertura

<b><i>Pinus cembroides</i></b>	<b>26.419726</b>
<i>Pinus pseudostrobus</i>	24.0545922
<i>Quercus cordifolia</i>	23.920423
<i>Agave americana</i>	14.6875994
<i>Quercus emoryi</i>	7.37399581
<i>Dasyllirion texanum</i>	1.85706038
<i>Juniperus monosperma</i>	1.68660326

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 21**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Pinus pseudostrobus</i>	136	0.15111111	0.6974359	4	1	0.21052632	0.195	0.17716272	1.08512493
<i>Quercus laeta</i>	13	0.01444444	0.06666667	3	0.75	0.15789474	0.463	0.42025382	0.64481522
<i>Carya sp.</i>	17	0.01888889	0.08717949	4	1	0.21052632	0.239	0.217	0.51468329
<i>Juniperus flaccida</i>	24	0.02666667	0.12307692	3	0.75	0.15789474	0.019	0.01686661	0.29783827
<i>Quercus rysophylla</i>	2	0.00222222	0.01025641	2	0.5	0.10526316	0.136	0.12318368	0.23870325
<i>Quercus sartorii</i>	1	0.00111111	0.00512821	1	0.25	0.05263158	0.049	0.04454211	0.10230189
<i>Juglans mollis</i>	1	0.00111111	0.00512821	1	0.25	0.05263158	0.001	0.00050679	0.05826657
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	0.00111111	0.00512821	1	0.25	0.05263158	0.001	0.00050679	0.05826657
<b>Totales</b>	<b>195</b>	<b>0.21666667</b>	<b>1</b>		<b>4.75</b>	<b>1</b>	<b>1.10204703</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b><i>Pinus pseudostrobus</i></b>	<b>36.170831</b>
<i>Quercus laeta</i>	21.4938406
<i>Carya sp.</i>	17.1561096
<i>Juniperus flaccida</i>	9.92794241
<i>Quercus rysophylla</i>	7.95677491
<i>Quercus sartorii</i>	3.41006313
<i>Juglans mollis</i>	1.94221914
<i>Arbutus xalapensis</i>	1.94221914

### Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 22

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Pinus teocote	104	0.11555556	0.61904762	4	1	0.2	0.762	0.679221391	1.49826901
Pinus pseudostrobus	9	0.01	0.05357143	3	0.75	0.15	0.262	0.233956304	0.43752773
Arbutus xalapensis	17	0.01888889	0.10119048	4	1	0.2	0.076	0.067473779	0.36866426
Quercus cocolobifolia	22	0.02444444	0.13095238	2	0.5	0.1	0.011	0.009990352	0.24094273
Rhus sp.	4	0.00444444	0.02380952	2	0.5	0.1	0.009	0.008249432	0.13205896
Carya sp.	5	0.00555556	0.0297619	2	0.5	0.1	0.001	0.000937568	0.13069947
Quercus sp.	5	0.00555556	0.0297619	1	0.25	0.05	0.000	0.000108929	0.07987083
Litsea novoleontis	1	0.00111111	0.00595238	1	0.25	0.05	0.000	3.11226E-05	0.0559835
Quercus sartorii	1	0.00111111	0.00595238	1	0.25	0.05	0.000	3.11226E-05	0.0559835
<b>Totales</b>	<b>168</b>	<b>0.18666667</b>	<b>1</b>		<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1.12158611</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

#### Resultado en % de cobertura

<b>Pinus teocote</b>	<b>49.9423003</b>
Pinus pseudostrobus	14.5842577
Arbutus xalapensis	12.2888085
Quercus cocolobifolia	8.03142443
Rhus sp.	4.40196519
Carya sp.	4.35664909
Quercus sp.	2.66236113
Litsea novoleontis	1.86611678
Quercus sartorii	1.86611678

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 23**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
<i>Leucaena greggii</i>	76	0.08444444	0.23974763	4	1	0.10526316	0.191	0.42169026	0.76670106
<i>Rhus virens</i>	95	0.10555556	0.29968454	4	1	0.10526316	0.141	0.3096275	0.7145752
<i>Decatropis bicolor</i>	43	0.04777778	0.13564669	4	1	0.10526316	0.008	0.01724985	0.2581597
<i>Sophora secundiflora</i>	39	0.04333333	0.12302839	4	1	0.10526316	0.012	0.0274318	0.25572335
<i>Quercus canbyi</i>	6	0.00666667	0.01892744	3	0.75	0.07894737	0.069	0.15185348	0.24972829
<i>Quercus sp.</i>	36	0.04	0.11356467	4	1	0.10526316	0.009	0.01956377	0.23839159
<i>Fraxinus greggii</i>	6	0.00666667	0.01892744	3	0.75	0.07894737	0.006	0.01244181	0.11031662
<i>Condalia hookeri</i>	5	0.00555556	0.01577287	3	0.75	0.07894737	0.004	0.00780436	0.1025246
<i>Acacia greggii</i>	2	0.00222222	0.00630915	2	0.5	0.05263158	0.005	0.01042344	0.06936416
<i>Acacia sp.</i>	2	0.00222222	0.00630915	2	0.5	0.05263158	0.001	0.00130713	0.06024786
<i>Berberis trifoliolata</i>	2	0.00222222	0.00630915	2	0.5	0.05263158	0.000	0.00096113	0.05990186
<i>Agave spp.</i>	3	0.00333333	0.00946372	1	0.25	0.02631579	0.003	0.00576677	0.04154628
<i>Quercus laceyi</i>	1	0.00111111	0.00315457	1	0.25	0.02631579	0.003	0.00693935	0.03640971
<i>Juniperus monosperma</i>	1	0.00111111	0.00315457	1	0.25	0.02631579	0.003	0.00693935	0.03640971
<b>Totales</b>	<b>317</b>	<b>0.35222222</b>	<b>1</b>		<b>9.5</b>	<b>1</b>	<b>0.45398029</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Leucaena greggii</b>	<b>25.5567019</b>
Rhus virens	23.8191734
Decatropis bicolor	8.60532323
Sophora secundiflora	8.52411118
Quercus canbyi	8.32427631
Quercus sp.	7.94638648
Fraxinus greggii	3.67722066
Condalia hookeri	3.41748671
Acacia greggii	2.31213881
Acacia sp.	2.00826206
Berberis trifoliolata	1.99672852
Agave spp.	1.38487607
Quercus laceyi	1.21365701
Juniperus monosperma	1.21365701

**Parámetros estimados en el punto de muestreo No. 24**

Especies	No. individuos	Densidad	Densidad relativa	Presente en	Frecuencia	Frecuencia relativa	Cobertura	Cobertura relativa	Valor de Importancia
Pinus pseudostrobus	10	0.01111111	0.08264463	4	1	0.2	0.461	0.564239158	0.84688379
Pinus teocote	13	0.01444444	0.10743802	4	1	0.2	0.318	0.388596159	0.69603418
Quercus rysophylla	51	0.05666667	0.4214876	4	1	0.2	0.004	0.004634753	0.62612236
Quercus coccolobifolia	38	0.04222222	0.31404959	4	1	0.2	0.033	0.04076288	0.55481247
Arbutus xalapensis	8	0.00888889	0.0661157	3	0.75	0.15	0.001	0.001750373	0.21786608
Carya sp.	1	0.00111111	0.00826446	1	0.25	0.05	0.000	1.66766E-05	0.05828114
<b>Totales</b>	<b>121</b>	<b>0.13444444</b>	<b>1</b>		<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0.81763903</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

**Resultado en % de cobertura**

<b>Pinus pseudostrobus</b>	<b>28.2294595</b>
Pinus teocote	23.2011392
Quercus rysophylla	20.8707452
Quercus coccolobifolia	18.4937489
Arbutus xalapensis	7.26220252
Carya sp.	1.94270465

## ***Apéndice B***

**Tipos de vegetación y lista de plantas asociadas a los puntos de muestreo de la zona de estudio.**

Tipo de vegetación: **Bosque de pino-oyamel- ayarín (Bpoa)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	385,672	2,785,807
Verificación	344,269	2,815,774
18	344,306	2,815,196

Familia	Nombre científico	Nombre común
Cupressaceae	<i>Cupressus sp.</i> L.	Cedro
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Fagaceae	<i>Quercus greggii</i> Trel.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus emoryi</i> Torr.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus spp</i> L.	Charrasquillo
Garryaceae	<i>Garrya ovata</i> Benth.	Garrya
Leguminosae	<i>Lupinus sp.</i> L.	Lupino
Pinaceae	<i>Pseudotsuga mensiesi</i> (Mirb) Franco	Ayarín
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	Pino blanco
Pinaceae	<i>Pinus ayacahuite</i>	Pino ayacahuite
Pinaceae	<i>Abies sp.</i> Mill	Oyamel
Rosaceae	<i>Prunus capul</i> Cav.	Cerezo
Salicaceae	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	Álamo temblón
Taxaceae	<i>Taxus globosa</i> Schlecht.	Taxus o Tejo



Tipo de vegetación: **Bosque de pino-encino (Bpq)**

<b>Punto</b>	<b>Easting</b>	<b>Northing</b>
21	378,505	2,800,619
Verificación	385,246	2,789,891
Verificación	374,805	2,806,475
Verificación	341,640	2,816,194

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Fagaceae	<i>Quercus greggii</i> Trel.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus emoryi</i> Torr.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus spp.</i> L.	Charrasquillo
Fagaceae	<i>Quercus sartorii</i> Liemb.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus hypoxanta</i> Trel.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus coccolobifolia</i> Trel.	Encino hoja colorada
Fagaceae	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	Encino de Asta
Juglandaceae	<i>Carya sp.</i> Nutt.	Nogal liso o nogalillo
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl	Pino blanco
Pinaceae	<i>Pinus greggii</i> Engelm	Pino garabatillo
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Pino piñonero
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i> Schl. Et Cham.	Pino colorado
Rosaceae	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Cerezo negro
Salicaceae	<i>Populus tremuloides</i> Michx	Álamo temblón

Tipo de vegetación: **Bosque de encino-pino (Bqp)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	364,042	2,832,535
Verificación	387,055	2,787,851
Verificación	378,505	2,800,619
Verificación	369,609	2,826,372
4	366,663	2,831,386

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave americana</i> L.	Maguey cenizo
Amaryllidaceae	<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Lechuguilla
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i> Lindl	Lantrisco
Boraginaceae	<i>Ehretia anacua</i> (Teran & Berl)IM Jonst	Anacua
Cornaceae	<i>Cornus florida</i> L.	Palo casita
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schl	Cedro blanco
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Euphorbiaceae	<i>Croton torreyanus</i> Mell	Salvia
Fagaceae	<i>Quercus laceyi</i> Small	Encino memelito
Fagaceae	<i>Quercus polymorpha</i> Cham. & Schlech.	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	Encino duraznillo
Fagaceae	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	Encino de asta
Fagaceae	<i>Quercus laeta</i> Liebm	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus affinis</i> Sheid	Encino
Fagaceae	<i>Quercus sartorii</i> Liemb.	Encino manzano
Fagaceae	<i>Quercus sp.</i> L.	Encino
Garryaceae	<i>Garrya ovata</i> Benth	Garrya
Juglandaceae	<i>Juglans mollis</i> Engelm.	Nogal encarcelado
Juglandaceae	<i>Carya sp.</i> Nutt.	Nogal liso o nogalillo
Lauraceae	<i>Litsea novoleontis</i> Bartlett	Laurel
Lauraceae	<i>Persea pachypoda</i> (Ness)	Aguacate silvestre
Leguminosae	<i>Cercis canadensis</i> L.	Duraznillo
Leguminosae	<i>Acacia berlandieri</i> Bent	Huajillo
Liliaceae	<i>Dasylirion texanum</i> Scheele	Sotol
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	Pino blanco
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i> (Schl. Et. Cham.)	Pino colorado
Rosaceae	<i>Prunus mexicana</i> Wats.	Ciruelo
Rutaceae	<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk	Chaquira
Sapindaceae	<i>Ungnadia speciosa</i> Endl	Monilla
Ulamaceae	<i>Celtis laevigata</i> Wild.	Palo blanco
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Fruta

Tipo de vegetación: **Bosque de pino (Bp)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	334,977	2,840,237
Verificación	365,690	2,804,372
Verificación	336,604	2,837,782
5	366,224	2,831,893
8	379,674	2,806,689
22	365,685	2,804,435
24	374,683	2,806,521

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave macroculmis</i> Todaro	Maguey
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i> Lindl.	Lantrisco
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i> Moric	Agrito
Cactaceae	<i>Opuntia spp.</i> Mill	Nopal
Compositae	<i>Varilla texana</i> Gray	Saladilla
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schl	Enebro
Cupressaceae	<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm.)	Enebro
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele)Wats.	Oreja de ratón
Fagaceae	<i>Quercus laeta</i> Liebm.	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i> Trel	Encino duraznillo
Fagaceae	<i>Quercus rysophylla</i> Weath	Encino de asta
Fagaceae	<i>Quercus coccolobifolia</i> Trel.	Encino hoja colorada
Fagaceae	<i>Quercus fusiformis</i> Small	Encino
Fagaceae	<i>Quercus sartorii</i> Liemb.	Encino manzano
Juglandaceae	<i>Carya sp.</i> Nutt.	Nogal liso o nogalillo
Lauraceae	<i>Litsea novoleontis</i> Bartlett.	Laurel
Leguminosae	<i>Sophora secundiflora</i> D.C.	Colorín
Leguminosae	<i>Leucaena greggii</i> S. Wats.	Guaje
Liliaceae	<i>Dasylirom texanum</i> Scheele	Sotol
Liliaceae	<i>Yuca filifera</i> Chab.	Palma
Oleaceae	<i>Fraxinus cuspidata</i> Torr.	Pinacata
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino blanco
Pinaceae	<i>Pinus greggii</i> Engelm	Pino garabatillo
Pinaceae	<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert – Passini	Piñón duro
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham	Pino colorado
Pinaceae	<i>Pinus catarine</i> M.F.Robert-Passini	Pino
Rosaceae	<i>Crategus sp.</i> L.	Tejocote
Rosaceae	<i>Prunus mexicana</i> Wats.	Ciruelo

Tipo de vegetación: **Bosque de pino piñonero (Bpc)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	330,076	2,817,122
11	313,375	2,799,614
12	311,469	2,803,374
13	311,175	2,792,548
14	310,886	2,793,331
15	315,193	2,786,633
16	302,004	2,787,317
17	330,268	2,816,608
19	336,536	2,808,078
20	350,868	2,802,209

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave americana</i> L.	Maguey cenizo
Amaryllidaceae	<i>Agave spp</i> L.	Maguey manso
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i> Gray	Lantrisco
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i> Moric	Agrito
Cactaceae	<i>Opuntia imbricata</i> Knuth	Coyonostle
Cactaceae	<i>Opuntia sp.</i> Mill	Nopal
Cactaceae	<i>Echinocactus spp.</i> Link & Otto.	Cactus
Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i> Grey	Afinador
Cupressaceae	<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm) Sarg.	Enebro
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schl.	Enebro
Cupressaceae	<i>Cupressus sp.</i> L.	Cedro
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Fagaceae	<i>Arctostaphylos pungens</i> H.B.K.	Manzanita
Fagaceae	<i>Quercus emoryi</i> Torr.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus sp.</i> L.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus cordifolia</i> Trel.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	Encino duraznillo
Garryaceae	<i>Garrya ovata</i> Benth.	Garrya
Leguminosae	<i>Mimosa sp.</i> L.	Uña de gato
Leguminosae	<i>Sophora secundiflora</i> (Ort.) DC	Frijolillo
Liliaceae	<i>Yucca carnerosana</i> Trel.	Palma
Liliaceae	<i>Dasylium texanum</i> Scheele	Sotol
Liliaceae	<i>Dasylium longissimum</i> Lemairie	Cortadillo
Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i> Zucc	Pino piñonero
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino blanco
Rosaceae	<i>Lindleyella mespiloides</i> (H.B.K.) Rybd.	Palo estaca
Simaroubaceae	<i>Castela texana</i> (T & G.) Rose	Bisbirinda

Tipo de vegetación: **Bosque de encino (Bq)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	367,274	2,832,745
Verificación	387,016	2,786,352
Verificación	371,264	2,827,054
1	375,756	2,815,806
2	371,838	2,824,471
3	370,036	2,827,332

Familia	Nombre científico	Nombre común
Boraginaceae	<i>Ehretia anacua</i> (Teran & Berl) I M Jonst	Anacua
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> D.C.	Anacahuita
Cactaceae	<i>Opuntia spp</i> Mill.	Nopal
Cornaceae	<i>Cornus florida</i> L.	Palo casita
Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> H.B.K.	Madroño
Euphorbiaceae	<i>Croton torreyanus</i> Mell	Salvia
Fagaceae	<i>Quercus fusiformis</i> Small.	Encino chino
Fagaceae	<i>Quercus laceyi</i> Small.	Encino memelito
Fagaceae	<i>Quercus polymorpha</i> Cham. & Schlech	Encino blanco
Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	Encino duraznillo
Fagaceae	<i>Quercus rysophylla</i> Weath	Encino de asta
Fagaceae	<i>Quercus affinis</i> Sheid.	Encino
Flacourtiaceae	<i>Xylosma flexuosa</i> (H.B.K.) O. Ktz.	Coronilla
Juglandaceae	<i>Juglans mollis</i> Engelm.	Nogal encarcelado
Juglandaceae	<i>Carya spp</i> Nutt.	Nogal liso
Leguminosae	<i>Acacia rigidula</i> Benth.	Gavia
Leguminosae	<i>Caesalpinia mexicana</i> L.	Hieba del potro
Leguminosae	<i>Acacia farnesiana</i> L.	Huizache
Leguminosae	<i>Cercis canadensis</i> L.	Duraznillo
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino blanco
Rubiaceae	<i>Chiococa pachyphylla</i> L.	Perlas de la Virgen
Rutaceae	<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk.	Chaquira
Sapindaceae	<i>Ungnadia speciosa</i> Endl.	Monilla
Sapotaceae	<i>Bumelia lanuginosa</i> (Michx.) Pers	Coma
Ulamaceae	<i>Celtis laevigata</i> Wild.	Palo blanco
Ulmaceae	<i>Ulmus crassifolia</i> Nutt.	Olmo

Tipo de vegetación: **Matorral submontano (MSM)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	361,270	2,830,825
Verificación	368,309	2,833,244
Verificación	366,255	2,810,913
Verificación	335,991	2,839,353
6	345,919	2,840,675
9	368,076	2,824,166
23	366,716	2,810,630

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave americana</i> L.	Maguey cenizo
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i> Gray	Lantrisco
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i> Moric	Agrito
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> D.C	Anacahuita
Cactaceae	<i>Opuntia</i> spp. Mill	Nopal
Cactaceae	<i>Opuntia imbricata</i> Knuth	Coyonostle
Cactaceae	<i>Opuntia rastrera</i> Weber	Nopal rastrero
Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i> Grey	Afinador
Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i> Schl	Cedro blanco
Ebenaceae	<i>Diospyros texana</i> Scheele	Chapote prieto
Ephedraceae	<i>Ephedra aspera</i> Engelm.	Popotillo
Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) Wats	Oreja de ratón
Fagaceae	<i>Quercus fusiformis</i> Small	Encino chino
Fagaceae	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	Encino duraznillo
Koeberliniaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Corona de Cristo
Leguminosae	<i>Acacia farnesiana</i> L	Huizache
Leguminosae	<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	Retama
Leguminosae	<i>Prosopis juliflora</i> (SW) D.C.	Mezquite
Leguminosae	<i>Acacia rigidula</i> Benth	Gavia
Leguminosae	<i>Pithecellobium pallens</i> Standl	Tenaza
Leguminosae	<i>Sophora secundiflora</i> D.C.	Colorín
Leguminosae	<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Huajillo
Leguminosae	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr.	Mezquite
Leguminosae	<i>Leucaena greggii</i> S. Wats.	Guaje
Liliaceae	<i>Yucca filifera</i> Chab.	Palma
Liliaceae	<i>Dasyilirion texanum</i> Scheele	Sotol
Oleaceae	<i>Fraxinus greggii</i> Gray	Fresno silvestre
Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr	Panalero

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
Pinaceae	<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert – passini	Piñon duro
Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc.	Tullidora
Rhamnaceae	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Brasil
Rutaceae	<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk.	Chaquira
Rutaceae	<i>Helietta parvifolia</i> Benth	Barreta
Rutaceae	<i>Zantoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Colima
Sapindaceae	<i>Neopringlea integrifolia</i> (Hemsl.) Wats	Corvagallina
Sapotaceae	<i>Bumelia lanuginosa</i> (Michx.) Pers.	Coma
Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl) IM John	Cenizo
Ulmaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno
Ulmaceae	<i>Celtis laevigata</i> Wild	Palo blanco
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	Fruta
Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i> (Engelm) Gray	Guayacán

Tipo de vegetación: **Matorral desértico rosetófilo (MDR)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	349,180	2,837,169
Verificación	328,463	2,837,558
7	351,403	2,833,337

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave spp.</i> L.	Maguey manso
Amaryllidaceae	<i>Agave lechuguilla</i> Torr	Lechuguilla
Amaryllidaceae	<i>Agave americana</i> L.	Maguey cenizo
Amaryllidaceae	<i>Agave victoria-reginae</i> Moore	Noha
Boraginaceae	<i>Cordia boissieri</i> D.C.	Anacahuita
Cactaceae	<i>Ferocactus pringlei</i> (Coulter)	Biznaga colorada
Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i> Grey	Afinador
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc	Candelilla
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i> Engelm	Albarda
Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr	Panalero
Lauraceae	<i>Litsea novoleontis</i> Bartlett	Laurel
Leguminosae	<i>Sophora secundiflora</i> D.C.	Colorin
Leguminosae	<i>Acacia berlandieri</i> Bent	Huajillo
Liliaceae	<i>Dasyilirion texanum</i> Scheele	Sotol
Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc	Tullidora
Rhamnaceae	<i>Condalia hookeri</i> M.C. Johnst.	Brasil
Rutaceae	<i>Helietta parvifolia</i> Benth.	Barreta
Sapindaceae	<i>Neopringlea integrifolia</i> (Hemsl)S Wats	Corvagallina



Tipo de vegetación: **Matorral desértico micrófilo (MDM)**

Punto	Easting	Northing
Verificación	328,036	2,838,537
Verificación	343,223	2,831,802
Verificación	300,332	2,780,817
Verificación	335,648	2,842,322
Verificación	321,527	2,816,936
10	345,834	2,841,429

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaryllidaceae	<i>Agave lechuguilla</i> Torr	Lechuguilla
Amaryllidaceae	<i>Agave americana</i> L	Magüey cenizo
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i> Moric	Agrito
Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i> Moric.	Agrito
Cactaceae	<i>Echinocereus dubius</i> (Engel) Rumpel	Pitaya chica
Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i> D.C.	Tasajillo
Cactaceae	<i>Opuntia sp.</i> Mill.	Nopal
Cactaceae	<i>Opuntia imbricata</i> Knuth.	Coyonostle
Cactaceae	<i>Ferocactus pringlei</i> (Coulter)	Biznaga colorada
Cactaceae	<i>Opuntia rastrera</i> Weber	Nopal rastrero
Cactaceae	<i>Opuntia microdasys</i> Pfeiffer	Nopal cegador
Euphorbiaceae	<i>Bernardia myricaefolia</i> (Scheele) Wats	Oreja de ratón
Euphorbiaceae	<i>Jatropha spathulata</i> (Ortega)	Sangre de drago
Fagaceae	<i>Quercus sp.</i> L.	Encino
Fagaceae	<i>Quercus fusiformis</i> Small	Encino chino
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i> Engelm	Albarda, ocotillo
Koeberliniaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i> Zucc.	Corona de Cristo
Leguminosae	<i>Acacia rigidula</i> Benth	Gavia
Leguminosae	<i>Acacia farnesiana</i> L.	Huizache
Leguminosae	<i>Prosopis juliflora</i> (SW) D.C.	Mezquite
Leguminosae	<i>Acacia berlandieri</i> Bent.	Huajillo
Leguminosae	<i>Sophora secundiflora</i> (Ort.) DC	Frijolillo
Liliaceae	<i>Yucca carnerosana</i> (Trel) Mc Kelvey	Palma
Liliaceae	<i>Dasylyrion texanum</i> Scheele	Sotol
Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i> Torr	Panalero
Oleaceae	<i>Fraxinus greggii</i> Gray	Fresno silvestre
Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc	Tullidora
Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl)IM John	Cenizo
Ulmaceae	<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno
Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i> D.C	Gobernadora
Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i> (Engelm) Gray	Guayacán

