

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**EVALUACIÓN DE ÁREAS FORESTALES DE MATORRAL  
UTILIZANDO UN INVENTARIO MULTIFÁSICO**

**Tesis de Maestría  
Presentada como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias Forestales**

**por**

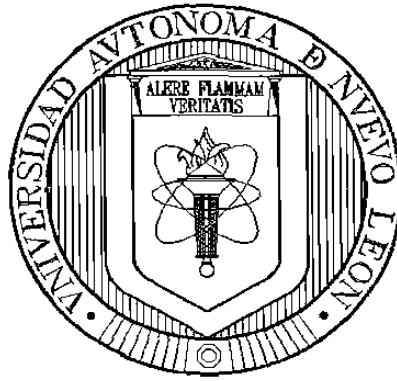
**ALFONSO GÓMEZ LÓPEZ**

FM  
Z59  
FCF  
2000  
G6



1020146114

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



EVALUACIÓN DE ÁREAS FORESTALES DE MATORRAL  
UTILIZANDO UN INVENTARIO MULTIFÁSICO

Tesis de Maestría  
Presentada como requisito parcial para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias Forestales

por

ALFONSO GÓMEZ LÓPEZ

Linares, Nuevo León

Agosto de 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

EVALUACIÓN DE ÁREAS FORESTALES DE MATORRAL UTILIZANDO UN  
INVENTARIO MULTIFÁSICO

TESIS DE MAESTRÍA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

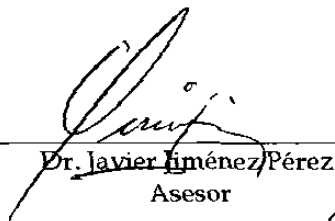
ING. *ALFONSO GÓMEZ LÓPEZ*

COMITÉ DE TESIS



---

Dr. Eduardo Javier Treviño Garza  
Director



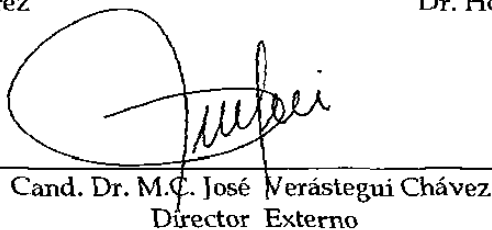
---

Dr. Javier Jiménez Pérez  
Asesor



---

Dr. Horacio Villalón Mendoza  
Asesor



---

Cand. Dr. M.C. José Verástegui Chávez  
Director Externo

0151-37460

TM  
Z5991  
FCF  
2000  
G6



FONDO  
TESIS

## LEMA

**"LA CREDIBILIDAD ENTRE LAS PERSONAS COMO ENTRE LAS INSTITUCIONES DEPENDE DE LA SABIDURÍA CON LA QUE SE TOMAN LAS DECISIONES Y LA ENERGÍA CON LA QUE SE DEFIENDEN"**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por haberme concedido la vida y la capacidad para demostrar mi aptitud como Profesional y Estudiante de posgrado.

### **A MIS PADRES Y HERMANOS**

Por su apoyo moral y económico en el desarrollo del programa.

### **A MI ESPOSA E HIJOS**

Por su amor, comprensión y apoyo al tener que dejarlos solos por el tiempo que duró el posgrado.

### **AL Dr. EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA**

Por su invaluable y decidido apoyo durante el posgrado y la realización de esta Tesis.

### **A LOS ASESORES DEL PROYECTO DE TESIS (Dr. JAVIER JIMENEZ, Dr. HORACIO VILLALON MENDOZA y AL M.C. JOSE VERASTEGUI**

Por el apoyo brindado durante el desarrollo de la presente Tesis.

### **AL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DEL ESTADO DE SONORA (CESUES)**

Por la oportunidad brindada para la realización de los estudios de Maestría en ciencias forestales.

### **A TODO EL PERSONAL DOCENTE Y ADMINISTRATIVO DE LA F.C.F. UANL.**

Por las facilidades para la realización de mi posgrado

### **A LOS DOCE APOSTOLES DE LA GENERACION (1996--1998) DE MAESTROS EN CIENCIAS FORESTALES**

Maricruz, Benedicto, José Juan, Jonás, Francisco Charles, Marco Aurelio, Edwards, Francisco Reyes (Chico), Francisco Reyes (Panchito), Pedro (QEPD) y Martín. Por su compañerismo y apoyo durante el tiempo que nos mantuvimos unidos.

### **A LA FAMILIA AMBRIZ MARIN**

Profesor José Luis Ambríz, Sra Elida Marin, Elda Laura y Wicho, por hacerme sentir parte de tan maravillosa familia.

### **AL Sr EUSEBIO HERNANDEZ**

Por su enorme apoyo para trasladarme continuamente a la ciudad de Durango, Dgo.

### **A LOS COMPAÑEROS DEL LABORATORIO DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LA F.C.F. UANL.**

(Luis, Balde, Carlos Cavazos, Carlos Alfonso y Andrés) Por todo su apoyo y amistad.

Y para todas aquellas personas que de alguna forma influyeron en el desarrollo personal durante mis estudios de posgrado, de verdad

**!MUCHAS GRACIAS!**



## INDICE

Indice .....	I
Lista de tablas.....	III
Lista de figuras.....	IV
Resumen.....	V
Summary.....	VI
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
2.3 Hipótesis.....	4
<b>3 ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
3.1 Inventarios forestales.....	5
3.2 Uso de la percepción remota en los inventarios forestales.....	6
3.3 Muestreo Multifásico.....	7
3.3.1 Muestreo Multifásico Estratificado.....	9
3.4 Características de la vegetación del área de estudio .....	10
3.5 Localización del area de estudio.....	11
3.6 Descripción del área de estudio.....	12
3.6.1 Fisiografía y topografía.....	12
3.6.2 Geología y Suelos.....	12
3.6.3 Clima.....	13
3.6.4 Vegetación de la región.....	14
<b>4 MATERIALES Y METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
4.1 Materiales .....	17
4.2 Preparación del material .....	18
4.2.1 Preparación de la Imagen de satélite .....	18
4.2.1.1 Estratificación de la Imagen .....	18
4.2.1.2 Transformación de la imagen .....	19
4.2.2 Preparación de las fotografías aéreas.....	20
4.3 Selección del tamaño de muestra.....	21
4.4 Primera Fase .....	21
4.5 Segunda fase.....	24
4.5.1 Clave de interpretación .....	25
4.6 Tercera fase .....	25
4.6.1 Estimación de parámetros fotogramétricos .....	26
4.7 Cuarta fase.....	26
4.7.1 Estimación de parámetros dendrométricos .....	27
4.7.2 Estimación del volumen de especies útiles .....	28
4.8 Análisis de la información de cada fase del inventario .....	29

4.8.1	Primera Fase.....	29
4.8.2	Segunda fase.....	30
4.8.3	Tercera fase.....	30
4.8.4	Cuarta fase .....	30
4.9	Correlación de los resultados de las diversas fases.....	30
5	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
5.1	Estratificación automatizada .....	33
5.2	Evaluación de los parametros por sitio de muestreo .....	33
5.2.1	Primera Fase.....	33
5.2.2	Segunda fase .....	34
5.2.3	Tercera fase .....	35
5.2.4	Cuarta fase .....	36
5.3	Coefficientes de correlacion.....	43
5.3.1	Coefficientes de correlación .....	44
5.4	Modelo matemático de regresión lineal.....	44
5.4.1	Variables TM4 con respecto a CFI .....	45
5.4.2	Variables CFI con respecto a CFG.....	45
5.4.3	Variables CFG con respecto a la cobertura de campo .....	46
5.4.4	Variables cobertura de campo c/r al volumen de campo .....	46
5.5	Modelo de regresión del inventario bifásico de Akça.....	47
5.5.1	Modelo de regresión de Akça.....	48
6	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>49</b>
7	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>51</b>
8	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>55</b>

## Lista de tablas

1: Valores estadísticos para los 148 sitios de la fase 1. ....	23
2: Ecuaciones para calcular el volumen de especies del matorral de la región de Linares, N. L. (Villalón, 1989).....	29
3: Estadísticos de las bandas espectrales.....	34
4: Claves de interpretación de la cobertura empleadas en la fotointerpretación indicando el código usado y el porcentaje de cobertura interpretado (CFI). ....	36
5: Coeficientes de correlación entre los diferentes índices utilizados.....	37
6: Características dendrométricas generales de los sitios de campo. ....	39
7: Frecuencia de aparición por sitio.....	41
8: Parámetros de la regresión lineal TM4 c/r CFVA.....	48
9: Parámetros de la regresión lineal CFVA c/r CFVB. ....	48
10: Parámetros de la regresión lineal CFVB c/r cobertura de los sitios de campo.....	49
11: Parámetros de la regresión lineal cobertura de los sitios de campo c/r al volumen. ....	50

## Lista de figuras

1: Localización del área de estudio.....	12
2 : Diagrama ombrotérmico de la estación Cabezones de la Comisión Nacional del Agua. La escala del eje de la precipitación está en la función $2T+28$ (Cavazos y Molina, 1992). ....	15
3: Forma y acomodo de los píxeles de la imagen sobre los cuales se obtuvieron los valores espectrales de los sitios de muestreo. ....	22
4: Tamaños de la muestra para cada fase del inventario. ....	24
5: Rodales matorral secundario bajo estudio.....	35
6: Proporción de individuos por especie. ....	40
7: porcentaje de cobertura por las especies útiles y no útiles.....	42
8: Proporción de cobertura por especie. ....	43
9: Porcentaje de área basal de las especies útiles y no útiles.....	44
10: Area basal por especie. ....	45
11: Volumen maderable por especie. ....	46

## Resumen

En el presente estudio se determinó estadísticamente la relación existente entre el volumen de 16 especies maderables del matorral secundario y las firmas espectrales de la imagen LANDSAT TM, Índices de vegetación, coberturas estimadas sobre fotografías aéreas escala 1:40,000 y 1:20,000 y la cobertura determinada en el campo, mediante el método de inventario multifásico.

El estudio se realizó en el municipio de Linares N.L. sobre una superficie de matorral de 28.115 km<sup>2</sup>, tomando una submuestra (n1) de 148 sitios de 3125 m<sup>2</sup> de área, a los que se les determinó su firma espectral para la luz infrarroja (TM4), convirtiéndose en N2. De ella se tomó una submuestra (n2) de 30 sitios de 2124 m<sup>2</sup> de superficie, a los que se les estimó su cobertura, generándose una clave de fotointerpretación, convirtiéndose en N3. Se le tomó una submuestra (n3) de 18 sitios de 531 m<sup>2</sup> de área, a los que se les estimó su cobertura, convirtiéndose en N4. a partir de ella se tomó una submuestra (n4) de 10 sitios de 320 m<sup>2</sup> de área, a los que se les determinó su cobertura total y volumen de las especies útiles.

Se midieron 4390 individuos arbustivos y arbóreos con una cobertura promedio de 138 %. El área basal promedio es de 16.08m<sup>2</sup>/ha y el volumen promedio de las 16 Spp. maderables fue de 20.76 m<sup>3</sup>/ha.

Las especies que mayor cobertura, área basal y volumen aportan son: (*Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens* y *Helietta parvifolia*).

Los coeficientes de correlación con respecto al volumen de la banda TM4 fue  $\Gamma = 0.6746$ , de las fotografías aéreas 1:40,000 muestran un  $\Gamma = 0.8477$ , con las fotografías aéreas 1:20,000 indican un  $\Gamma = 0.7834$  y con respecto a la cobertura determinada en el campo, indicó un  $\Gamma = 0.8787$ ; resultando significativos.

Al aplicar el modelo de para inventarios Bifásicos propuesto por Akça se encontró que el volumen promedio de las especies útiles al relacionarlo con la firma espectral de TM4 indicó un volumen promedio de 23.9 m<sup>3</sup>/ha, con una variación de 3.3 m<sup>3</sup>/ha; Al hacerlo con las fotografías aéreas 1:40,000 resultó un volumen promedio de 21.22 m<sup>3</sup>/ha, con una variación de 7.66 m<sup>3</sup>/ha. Con las fotografías aéreas 1:20,000 resultó un volumen promedio de 25.22 m<sup>3</sup>/ha, y una variación de 9.95 m<sup>3</sup>/ha. al relacionarlo con la cobertura determinada en el campo, indicó un volumen medio de 20.76 m<sup>3</sup>/ha, con una variación de 15.8 m<sup>3</sup>/ha

Concluyendo finalmente, que aunque la variabilidad de los datos aumenta conforme nos acercamos a los valores determinados con mayor precisión, es factible su aplicación, al considerar la naturaleza espinosa, densa y con tan bajo potencial maderable de la vegetación bajo estudio. Además de la gran diferencia en cuanto a costo, tiempo y esfuerzo necesario para evaluar sobre todo la última fase del inventario multifásico.

## SUMMARY

In this study, the statistical relationship existent between volume of sixteen woody species of a secondary thorn scrub and spectral value of satellite image LANDSAT TM was determined. Vegetation index and coverage were estimated using aerial photographs with a scale 1:40,000 and 1:20,000. Coverage was determined in field using the method of Multiphase Inventory.

This study was conducted in Linares, N.L. over an area of 28.115 km<sup>2</sup>, where a sub-sample (n1) of 148 sites with an area of 3125 m<sup>2</sup> each was taken, from which their spectral value for infrared light (TM4) were determined, and converted to N2. From this sample a sub-sample (n2) of 30 sites with an area of 2124 m<sup>2</sup> each was taken, from which the coverage was estimated and a key for photo interpretation was produced, and converted to N3. In a sub-sample (n3) of 18 site with an area of 531 m<sup>2</sup> each, the coverage was estimated, and converted to N4. From this sample a sub-sample (n4) of 10 sites with an area 320 m<sup>2</sup> each was taken, from which the total coverage and volume of useful species were determined.

A total of 4,390 shrubs and trees were measured with a mean coverage of 138 %. The Mean Basal Area was 16.08m<sup>2</sup>/ha. And the mean volume for the sixteen woody species was 20.76 m<sup>3</sup>/ha.

The species that contributed with more coverage, basal area and volume were (*Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens*, and *Helietta parvifolia*).

The correlation coefficients for volume of band TM4 was  $\Gamma = 0.6746$ , when using aerial photographs with a scale 1:40,000 was  $\Gamma = 0.8477$ , the same coefficient using aerial photographs with a scale 1: 20,000 was  $\Gamma = 0.7834$ . And when using the values of coverage determined in field, the coefficient was  $\Gamma = 0.8787$ ; This results were significative.

When the model for Biphasic Inventories proposed by Akça was used, a mean volume of 23.9 m<sup>3</sup>/ha, with a variation of 3.3 m<sup>3</sup>/ha was estimated for the useful species using the spectra value TM4. The mean volume using aerial photographs with a scale 1:40,000 were 21.22 m<sup>3</sup>/ha, with a variation of 7.66 m<sup>3</sup>/ha. The mean volume using aerial photographs with a scale 1:20,000 was 25.22 m<sup>3</sup>/ha, with a variation of 9.95 m<sup>3</sup>/ha. The mean volume in relation with the coverage determined in field was 20.76 m<sup>3</sup>/ha, with a variation of 15.8 m<sup>3</sup>/ha

In the end, it can conclude that, although the variation of data increases with a more precise estimation, it is possible its use, specially when it is considered the thorny and very dense character of this type of vegetation with a low wood use potential. There are, as well, big differences in costs, time, and work needed for the evaluation, and specially in the last phase of the inventory.

# 1 INTRODUCCIÓN

El noreste de México esta cubierto en gran parte por vegetación semidesértica de tipo subtropical, la cual provee a sus pobladores directamente de leña, materiales de construcción y plantas medicinales, además de ser utilizado por otro lado como agostadero para el ganado y refugio para la fauna silvestre. Al incrementarse la demanda de productos alimenticios en estas regiones se ejerce una fuerte presión sobre este recurso lo que ocasiona la destrucción de la vegetación con el fin de transformar la superficie ocupada por esta en áreas agrícolas y de pastizal.

El conocimiento de los recursos de la vegetación natural, incrementa las posibilidades de optimizar el uso de los mismos sin degradarlos, evitándose la destrucción y pérdida de la diversidad biológica y la aceleración de la desertificación aumentando el bienestar de sus pobladores (Treviño *et al*, 1996).

El adecuado manejo y administración de los recursos naturales son base para el desarrollo económico de un país, estado, municipio, ejido o comunidad determinada. Para garantizar un óptimo aprovechamiento de estos recursos, se debe contar con información confiable y actualizada de los mismos. Los inventarios para cuantificar tales recursos se realizan por lo general utilizando diversas técnicas de muestreo como una herramienta fundamental. Generalmente esas tareas se han realizado mediante técnicas de medición directa sobre el terreno. No fue sino hasta principios del siglo pasado en que se comenzaron a

utilizar algunas técnicas de medición indirectas con la ayuda de fotografías aéreas de vuelo bajo lo que ha hecho posible contar con información útil y continua de tales recursos.

En la década de los setenta se inició el desarrollo de una nueva forma de generar información de los recursos naturales de la tierra mediante imágenes obtenidas por sensores remotos instalados en satélites artificiales, esta información es procesada en sistemas de cómputo lo que permite realizar análisis visuales o digitales para cuantificarlos y conocer su dinámica en áreas extensas (Treviño, 1996).

Los conceptos geoestadísticos constituyen una alternativa a las técnicas de muestreo clásico, *asumiendo que las unidades muestra no son independientes y que la correlación puede ser usada en el modelo geoestadístico, el cual requiere de un ligero muestreo sistemático o un muestreo aleatorio (Boisseson, 1989).*

En los planes de manejo forestal, el inventario representa un papel determinante para la toma de decisiones, tomando en cuenta la cantidad y calidad del recurso, así como las condiciones ecológicas que presenta el ecosistema. La forma más exacta para lograr lo anterior es mediante el censo del recurso.

La realización de un censo en grandes áreas es difícil de aplicar, por lo que se utiliza el muestreo para facilitar los trabajos en inventarios forestales. Estos se basan en la obtención de información directa del terreno sin afectar la precisión del mismo, tomando información de sitios muestra y extrapolarlos a toda la población.



Existen diferentes tipos de muestreo basados en extraer la información directamente con mediciones de campo, pero estas labores en grandes áreas son costosas y lentas. Desde principios del siglo pasado se han utilizado productos generados por sensores remotos como la fotografía aérea con buenos resultados, la aplicación de estos materiales en combinación permite reducir costos en el levantamiento de información, por lo que es de gran importancia para áreas forestales de poca redituabilidad económica como es el caso del matorral secundario que nos ocupa en el presente estudio.

Son escasos los estudios dasonómicos para los matorrales de zonas áridas y semiáridas (y no como matorral en sí, con una entidad autónoma y con características propias) y la gran mayoría se han desarrollado enfocados a bosques templados. El intento para la aplicación de una metodología para el inventario del matorral, propicia su evaluación más eficiente para fines científicos y comerciales (Adame W, G. 1994).

En el presente trabajo se probó la metodología usando diferentes productos generados por sensores remotos para tratar de obtener mejores resultados tanto económicos como de confiabilidad en inventarios forestales.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Presentar una opción metodológica para el inventario de las zonas forestales de Matorral Secundario del Municipio de Linares, N. L. utilizando percepción remota.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Cuantificar los recursos forestales del matorral secundario mediante técnicas fotogramétricas y de fotointerpretación.
2. Establecer sitios permanentes de muestreo para la obtención de parámetros dendrométricos en las áreas forestales e identificar las relaciones existentes entre los materiales anteriormente mencionados.

### **2.3 HIPOTESIS**

La relación existente entre los objetos y sus imágenes registradas utilizando sensores remotos permite cuantificar variables de una población.

### 3 ANTECEDENTES

#### 3.1 INVENTARIOS FORESTALES

El objetivo de los inventarios forestales es obtener información cualitativa y cuantitativa de los recursos forestales y su ambiente físico en un tiempo específico y a un costo razonable (van Laar & Akça, 1997).

En el manejo forestal la realización de inventarios representa un papel preponderante en la toma de decisiones, pues permite conocer la cantidad y calidad del arbolado además de aportar información relevante del medio físico que presenta dicho ecosistema. Al realizar un inventario total o censo se obtienen resultados precisos, pero hacerlo implica un arduo y meticuloso trabajo, por lo que solamente es aplicable para zonas relativamente pequeñas con el fin de obtener información para trabajos de investigación científica ó cuando la población de interés esta compuesta por individuos cuyo valor comercial o ambiental es elevado. Su uso a áreas extensas no es posible debido a su elevado costo en tiempo y dinero.

Los inventarios forestales de áreas extensas se basan en el muestreo, en ellos la información de una parte de la población es utilizada para inferir las características de la población total.

En el área de Linares se han realizado diversos estudios para encontrar la manera más adecuada de caracterizar el matorral, Tovar C. (1994) realizó un censo para evaluar métodos de muestreo para tenaza (*Havardia pallens*), En

1994, Adame W, G. 1994 busca determinar el método óptimo para el inventario de *Prosopis laevigata* realizando un censo y simulando el tamaño de sitio, en él concluye que el tamaño óptimo de los sitios de muestreo es de 500m<sup>2</sup> con forma circular para zonas de mezquital González E. (1997a) utilizó para el matorral secundario de Linares un tipo muestreo dirigido, con sitios de forma rectangular con una dimensión de 320 m<sup>2</sup> disponiendo dos parcelas de 4m\*40 m en forma de una "L".

### **3.2 USO DE LA PERCEPCIÓN REMOTA EN LOS INVENTARIOS FORESTALES**

La cartografía de la vegetación es una de las principales aplicaciones de la percepción remota. En México la cartografía sobre el uso del suelo y vegetación fue producida en su escala 1:50 000 en la década de los setenta y principios de los ochenta utilizando métodos basados en la interpretación de fotografías aéreas de escalas medias 1:25,000, estas cartas han quedado como un registro de las condiciones de la vegetación de esas fechas, sin embargo, para realizar un adecuado manejo de los recursos naturales es necesario el contar con información actualizada. En este sentido es más común cada día el uso de información proveniente de imágenes de satélite (Treviño *et al*, 1996).

Desde mediados de los 70 las imágenes tomadas por sensores aerotransportados y satélites (LANDSAT MSS) han sido usadas para inventariar y clasificar la vegetación (Duggin, 1989).

En la década de los 80 El Servicio Forestal de EE.UU. evaluó un sistema de inventario de recursos incluyendo una imagen LANDSAT MSS, fotografía aérea

infrarroja de gran altitud, fotografía aérea infrarroja de baja altitud y puntos en el terreno.

Avances recientes en percepción remota han sido utilizados en la obtención de tablas de volumen aéreo para árboles en pie y para la medición de volúmenes maderables en zonas inaccesibles de Alaska. Este sistema fue nombrado "El Sistema de Inventarios de Recursos Integrados de Alaska" (AIRIS) Schreuder 1992).

Lillesand & Kieffer (1994) indican que el proceso de fotointerpretación para la identificación de especies dentro de una zona forestal es difícil debido a la compleja mezcla de especies de árboles.

Duggin (1989) indica que las variables relacionadas con el volumen usando sensores remotos, han sido desarrolladas exclusivamente mediante mediciones fotogramétricas sobre fotografías aéreas, sin embargo, el desarrollo de los mismos ha mostrado una fuerte relación entre los valores digitales de la imagen y la biomasa o las clases de volumen.

### **3.3 MUESTREO MULTIFÁSICO.**

En el muestreo multifásico, los datos son colectados de variables de la primera fase y una submuestra es seleccionada de la misma. Este diseño de muestreo es usado principalmente para reducir el costo del mismo reduciendo una gran cantidad de datos relacionados entre sí, facilitando la obtención de la variable

de interés. Los tres estimadores del muestreo doble son registrados por la combinación de ellos con factores de ponderación.

Schreuder (1992) desarrolló la teoría usando factores de ponderación basados solo en las inversas de las varianzas. Li *et al* (1984), compararon ponderaciones basadas en la matriz estimada de varianza - covarianza, así como las varianzas estimadas. El estimador que usa las ponderaciones de varianza - covarianza es complejo pero más eficiente, mientras que el estimador que usa las ponderaciones de varianza es más simple y preferido si se cuenta con las herramientas de sistemas de computo.

Duggin (1989) menciona que el concepto básico para suponer estimaciones en el muestreo de cuatro fases es la información covariada obtenida en tres fases aéreas, las cuales deben estar altamente correlacionadas con la cuarta fase, es decir, con la información levantada en la fase terrestre usando un muestreo doble con estimadores de regresión o promedios.

Los métodos de muestreo representan una alternativa viable cuando se realizan estudios sobre uso del suelo, sin embargo, cuando la correlación espacial es observada entre sitios, los principios geoestadísticos pueden ser introducidos en los diseños de muestreo usando técnicas estadísticas clásicas, el objetivo puede ser estimado desde mediciones elementales dentro de los sitios muestra a través de un modelo de extrapolación.

### **3.3.1 MUESTREO MULTIFÁSICO ESTRATIFICADO**

Antes de la clasificación digital de la información contenida en la imagen de satélite, los datos adicionales pueden ser usados para la formación de estratos. El propósito de esta estratificación es dividir el área de estudio en pequeñas áreas o estratos basándose en algunas reglas o criterios, diversos métodos del procesamiento digital de imágenes permiten que los estratos puedan ser clasificados por separado, con la ventaja de trabajar con pequeñas cantidades de datos homogéneos en cada etapa del análisis.

La separación de estos estratos puede ocurrir siguiendo criterios *altitudinales* o *fisiográficos*. Con la disponibilidad de información almacenada en un Sistema de Información Geográfica se incrementa el número de criterios disponibles, existiendo la posibilidad de utilizar información temática directamente relacionada con el objeto de la clasificación. (Treviño *et al*, 1996).

Cochram (1977, citado por Schreuder 1992) concluyó que los estimadores son deseados únicamente para la población total y que la estratificación se realiza principalmente para incrementar la eficiencia del muestreo y se aplica donde el interés se centra en los parámetros tanto del estrato como de la población.

Treviño (1996) Indica que este tipo de inventarios pueden ser desarrollados utilizando una mezcla de productos generados con sensores remotos (imágenes y fotos aéreas) realizando un análisis de regresión entre los sitios fotográficos y terrestres para ajustar la estimación desarrollada en la fase de imagen de satélite (primera fase) reduciendo los costos del inventario sin afectar su confiabilidad.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Foroughbakhch (1990) indica que el matorral tamaulipeco se caracteriza por la predominancia natural de arbustos altos y árboles bajos de 2 a 6 m, deciduos por un breve periodo, predominando las especies inermes pero con especies espinosas, gramíneas y algunas suculentas.

Heiseke (1990) realizó un estudio para cuantificar el potencial forestal del matorral secundario de la región analizando la madera utilizable para leña y estantes obteniendo resultados de entre 909 y 2020 estantes/ha y de 187 a 309 m<sup>3</sup> ruma de leña/ha.

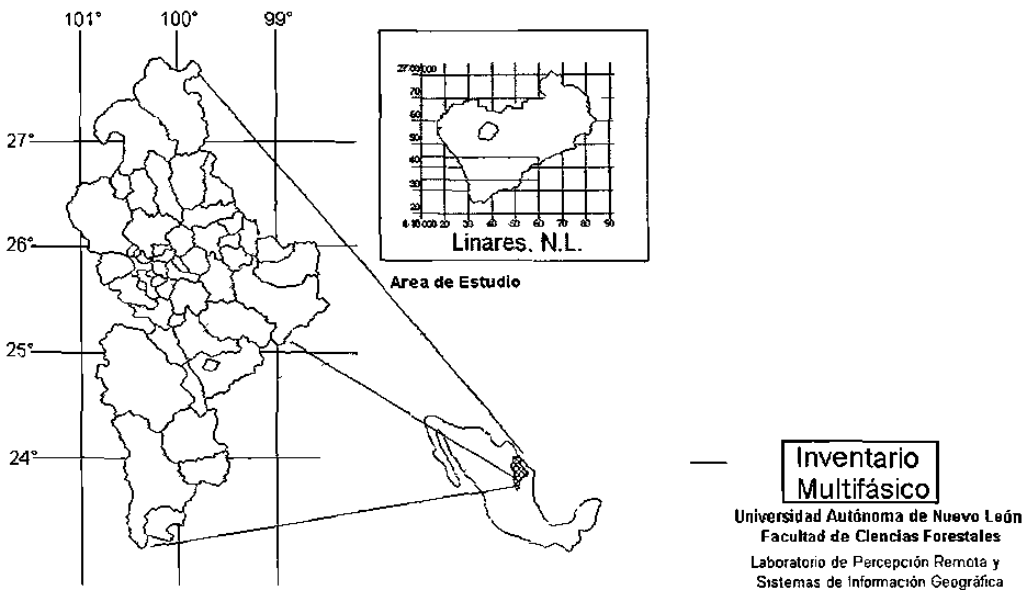
R. Foroughbakhch (1990) indica que los matorrales de la región han tenido un fuerte impacto sobre todo por pastoreo y extracción de madera (entre 303 y 2056 ind/ha) principalmente de las especies *Condalia Hookeri* (brasil), *Pithecellobium pallens* (tenaza), *Diospyros texana* (chapote blanco), *Acacia rigidula* (chaparro prieto) y *Cordia boissieri* (anacahuita) destacando la madera de las mismas por densa y durable.

González *et al* (1997) resalta que las comunidades vegetales del área carecen de estructura vertical definida a excepción de un estrato inferior de subarborescentes y un estrato superior semi continuo de arbustos y árboles de talla menor.



### 3.5 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El municipio de Linares se encuentra situado en el sudeste del estado de Nuevo León, en las coordenadas geográficas  $25^{\circ} 09'$  y  $24^{\circ} 34'$  de Latitud Norte y de entre  $99^{\circ} 07'$  y  $99^{\circ} 54'$  de Longitud Oeste comprendiendo  $2,445.20 \text{ km}^2$  de extensión con un 3.62 % de la superficie total del mismo INEGI (1994).



**Figura 1:** Localización del área de estudio.

Colinda al norte con los municipios de Montemorelos y General Terán, al este con el municipio de General Terán y el estado de Tamaulipas, al sur con el estado de Tamaulipas y el municipio de Iturbide y al oeste con los municipios de Iturbide y Montemorelos. El municipio de Hualahuises está ubicado en el centro de Linares por lo que colinda con el mismo.

## 3.6 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 3.6.1 FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

La mayor parte del municipio se encuentra dentro de la planicie costera del Golfo norte y la Sierra Madre Oriental el área de estudio se encuentra en la parte sudoccidental de la planicie costera del golfo norte, con una altitud que oscila entre los 300 y 450 m, el relieve generalmente es plano con algunas zonas poco onduladas cuyas suaves pendientes que van de 2 a 15%.

### 3.6.2 GEOLOGÍA Y SUELOS

El material parental de los suelos de la región está conformados principalmente por lutitas originadas en el Cretácico Superior desplazadas y perturbadas por movimientos aluviales y coluviales del Pleistoceno y Holoceno, encontrando en la base de los lomeríos gravas de caliche con débil cementación, en la parte media de las mismas, se encuentran lutitas del Cretácico Superior y en las partes altas de las mismas gravas con caliche del Pleistoceno con cementación fuerte (Medina, 1995).

De acuerdo con la clasificación de suelo propuesto por la FAO se encuentran:

Xerosol: Se caracterizan por tener un horizonte "A" pálido bien desarrollado, una capa superficial de color claro y pobre en humus, bajo esta se encuentra una capa principalmente formada por arcillas impermeable que dificultan el drenaje interno. Se encuentran principalmente en zonas áridas y semiáridas de las planicies desérticas.

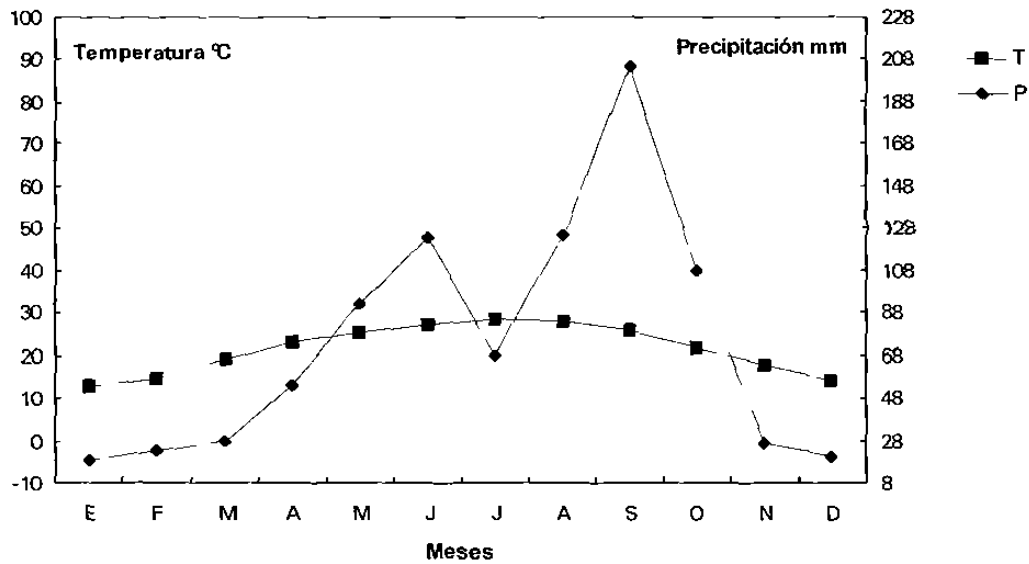
**Fluvisol:** Localizados principalmente a los márgenes de los ríos y arroyos que surcan la región y en los pies de montes.

**Vertisol:** Suelos con gran cantidad de arcilla que desarrollan enormes grietas de hasta 1 m de ancho cuando pierden la humedad, cuya profundidad oscila entre los 50 cm. con deficiencia de drenaje (Correa, 1996).

### **3.6.3 CLIMA**

El clima de acuerdo con la clasificación de Koeppen modificada por García (1973) es (A) C (x') (w") a(e) (extremoso semi-cálido – sub húmedo) con una precipitación pluvial entre los 400 y 1850 mm. Valores promedio estacionales y de 810 mm. promedio anual la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% y presenta condición de canícula y la temperatura promedio anual de 22.4°C con temperaturas mayores a los 40° C en verano e inferiores a 0°C en invierno, con una oscilación diaria cercana a los 15° C en invierno, debida principalmente a la invasión de frentes fríos, comunes en la región.

El clima de la mayor parte de la región es extremoso debido básicamente a la posición geográfica en la zona subtropical de altas presiones, con influencia de los vientos alisios húmedos y vientos fríos del norte durante el invierno, donde por resultado que se presenten temperaturas mayores a los 50°C en 1962 y 1983 como lo reportan Cavazos y Molina (1992).



**Figura 2 :** Diagrama ombrotérmico de la estación Cabezones de la Comisión Nacional del Agua. La escala del eje de la precipitación está en la función  $2T+28$  (Cavazos y Molina, 1992).

### 3.6.4 VEGETACIÓN DE LA REGIÓN

El área de estudio se encuentra en la provincia florística de la Planicie Costera del Noreste (incluida en la Región Xerofítica Mexicana) que está cubierta en su mayor parte por matorral xerófilo representando el 68.88% de la cobertura de Nuevo León, según los análisis hechos del inventario forestal nacional.

La vegetación es principalmente arbustiva y se consideran básicamente tres tipos de asociaciones vegetales según Treviño (1996):

1. Matorral submontano: Dominando las especies de 3 a 6 metros, entre ellas: *Helietta parvifolia* (barreta), *Diospyrus palmeri* (chapote prieto), *Cordia boissieri* (anacahuíta), *Castela texana* (bisbirinda), *Celtis pallida* (granjeno), *Acacia rigidula* (chaparro prieto).

2. Matorral espinoso Tamaulipeco Dominan las especies espinosas de 3 a 6 metros de altura principalmente: *Acacia rigidula* (chaparro prieto), *Acacia farnesiana* (huizache), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Diospyrus pallmeri* (chapote prieto). Y en lugares con suelo superficial dominan especies de talla pequeña como: *Leucophyllum texana* (cenizo), *Portieria angustifolia* (guayacán), *Karwinskia humboldtiana* (coyotillo) etc.
  
3. Mezquitales, dominan generalmente sobre suelos profundos pero algunas otras especies se asocian, tales como: *Prosopis glandulosa* (mezquite), *Acacia rigidula* (chaparro prieto), *Castela texana* (bisbirinda), *Cercidium floridum* (palo verde) etc.

## 4 MATERIALES Y METODOLOGÍA

La metodología utilizada involucró el uso de materiales provenientes de la percepción remota, fotográfica y no fotográfica siendo sometidos a procesos de preparación, evaluación y análisis utilizando técnicas digitales y visuales.

### 4.1 MATERIALES

El estudio se desarrollo sobre una superficie total de 10 \* 50 km. (500 km<sup>2</sup>) localizado entre las coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) 410,002 y 460,002 Este y los 2,734,420 y los 2,744,320 Norte, correspondientes a la zona geográfica 14.

Se empleo una imagen tomada por el sensor Mapeador Temático (TM) del Satélite Landsat 5 en el mes de julio de 1994 referida al Sistema Global de Referencia con órbita 27 hilera 43, la cual fue procesada utilizando el paquete ERDAS "Earth Resources Data Analysis Software" Versión 8.0.2

De la misma manera se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas escala 1:40,000 tomadas por INEGI el 24 de junio de 1994, impresas sobre acetato, así como fotografías aéreas escala 1:20,000, pancromáticas impresas en papel tomadas por SIGSA (Sistemas de Información Geográfica, S. A.) en julio de 1994.

Se consultaron los mapas correspondientes al área de Linares, clave G14C58 topográfico (INEGI, 1992) y de uso del suelo (SPP, 1982).

## **4.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL**

Previamente la imagen de satélite fue sometida a procesos de rectificación y georeferenciación, asignándosele sus coordenadas geográficas, a la cual se le recortó un fragmento de la misma conteniendo el área de estudio.

### **4.2.1 PREPARACIÓN DE LA IMAGEN DE SATÉLITE**

#### **4.2.1.1 Estratificación de la Imagen**

Para reducir la cantidad de información contenida en la imagen de satélite se utilizó el método de estratificación automatizada presentado por Treviño (en prensa) para estratificar áreas correspondientes a bosques.

Utilizando la información disponible para el área de estudio almacenada en un SIG, se analizó la cubierta digital correspondiente al uso del suelo y vegetación derivada del mapa de uso del suelo (SPP 1982) para ubicar todas las áreas de matorral secundario, tomándose en consideración solamente aquellos rodales marcados como Matorral Secundario en sus diferentes fisonomías: Mi = Matorral Inerme, Mb = Matorral subinerme, Me = Matorral espinoso, así como las variantes que involucran erosión, etc.

De esta cubierta se derivó otra conteniendo los polígonos correspondientes a las áreas de interés. Esta cubierta fue utilizada junto con el fragmento de la imagen de satélite para formar una "mascara" de la imagen, es decir, un fragmento de la imagen conteniendo solo los valores espectrales del matorral secundario. Esta se analizó visualmente y se procedió a eliminar las zonas que en el período comprendido entre 1975 (año en el que se tomaron las fotografías

aéreas con las que se elaboró el mapa) y 1994 han cambiado su uso del suelo al ser desmontadas para usos agrícolas, pecuarios, urbanos y de comunicaciones. De esa forma se obtuvo una nueva máscara.

#### 4.2.1.2 Transformación de la imagen

Con los valores de las bandas espectrales de la imagen se derivaron mediante transformación algunas bandas adicionales para realzar sus características utilizando cocientes e índices de vegetación, con el fin de mejorar algunos aspectos temáticos. Un cociente implica el dividir la información de pixel a pixel entre los números digitales en dos o más bandas de la misma imagen (Chuvieco, 1990).

Se utilizó el programa *ALGEBRA* de ERDAS®, el cual contiene índices predeterminados (empleando los valores entre la banda de la luz roja (TM3) y la de la luz infrarrojo reflejado (TM4), la función básica de estos índices es diferenciar entre diversos grados de cobertura de la vegetación y el suelo desnudo de los cuales fueron usados los siguientes.

1. Índice de Vegetación (IV), se obtiene al dividir los valores de la banda TM4 entre TM3.
2. Índice de diferencia de Vegetación Normalizada (TMNDVI), se obtiene mediante la siguiente relación  $TM4 - Tm3 / TM4 + T3$ . Los valores de ambos son relativos, y se considera que valores altos representan mayor vigor vegetal del área observada (Chuvieco, 1990).



3. Índice de Vegetación Normalizado Transformado (TNDVI), se obtiene mediante la siguiente ecuación  $(TM4 - TM3 / TM4 + TM3) * .5$ , este índice se emplea para evitar valores negativos (Erdas, 1991).
4. Índice de Estrés de Humedad (TMMSI), se obtiene al dividir los valores obtenidos en el infrarrojo medio (TM5) entre los valores del infrarrojo cercano (TM4). Los valores de la primera banda indican el contenido de humedad en la vegetación y en la segunda la cantidad de biomasa. Un valor alto indica vegetación seca y un valor bajo indica vegetación húmeda (Erdas, 1991).
5. Índice del Infrarrojo Medio (TM MIRI), se obtiene mediante la siguiente ecuación  $TM5 / TM7$ .
6. Índice Infrarrojo (TM II ), obtenido mediante la siguiente ecuación  $TM4 - TM5 / TM4 + TM5$ .

#### **4.2.2 PREPARACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS**

Para la selección de las fotografías se colocaron juntas sobre su línea de vuelo particular y su traslape natural para formar un mosaico, en el cual se analizó visualmente para ubicar y separar el área de interés. El material fue protegido utilizando una cubierta de plástico. Se marcaron los puntos principales de cada fotografía, se le determinó el área útil de interpretación para facilitar la localización de los puntos muestra y se registro las coordenadas de cada punto principal.

En la preparación para la interpretación fotográfica se realizó un análisis preliminar, seleccionando patrones de cobertura sobre superficies estimadas en el

terreno de 2124 m<sup>2</sup> (fotos escala 1:40,000) y de 531 m<sup>2</sup> (fotos escala 1:20,000) para conformar la clave de interpretación discriminando la tonalidad y textura fotográfica, incluyendo como muestra fragmentos de ellas en formato digital.

### 4.3 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA

En este tipo de inventario se fija un número de muestra en la primera fase y de ahí se va seleccionando en las fases subsecuentes una submuestra de ella. El cálculo del tamaño de muestra, en la primera fase de muestreo se desarrolló en base a los estadísticos de los valores espectrales de los sitios seleccionados en un pre-muestreo. Considerando este criterio se utilizó la fórmula siguiente:

$$n = \frac{t^2 C_v \%^2}{Err \%^2 + \left( \frac{t^2 C_v \%^2}{N} \right)}$$

En donde:

t = Valor de t Student (nivel de significancia del 0.1 y n-1 grados de libertad)

Err % = error estándar expresado en porcentaje

CV 2 % = Coeficiente de variación en porcentaje

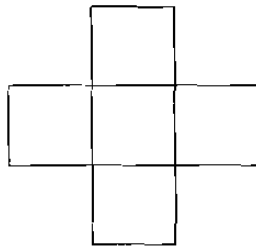
N = Población (relación entre el tamaño del área de estudio y del sitio de muestreo)

El coeficiente de variación se obtiene de la siguiente relación  $CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$ . El error de muestreo se obtiene  $E = \pm (S_x) t$ . El error estándar  $S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  o  $S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

### 4.4 PRIMERA FASE

En la etapa de pre-muestreo se eligió que el tamaño de los sitios sobre la imagen fuera 5 píxeles dispuestos en forma de cruz (figura 3), el tamaño de

muestra para iniciar el estudio se determinó siguiendo los criterios planteado por Romann *et al*, (1994) como tamaño de muestra para el premuestreo debe tomase en base al 0.01 hasta 1% del área a evaluar. ( $28.12 \text{ km}^2 = 28\,115,000 \text{ m}^2$ , cada píxel tiene 25 m por lado resultando un área de  $625 \text{ m}^2$  por píxel \* 5 píxeles =  $3,125 \text{ m}^2$ , entonces:  $28\,115,000 / 3,125 * 1\% = 89.96$ ), encontrando un total de 90 sitios de premuestreo a los que se les asignó las firmas espectrales de la imagen.



**Figura 3:** Forma y acomodo de los píxeles de la imagen sobre los cuales se obtuvieron los valores espectrales de los sitios de muestreo.

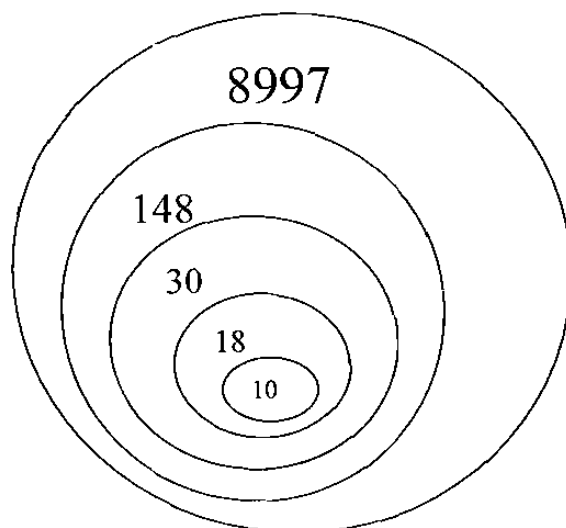
Para la selección de los sitios en esta fase se utilizó el programa RANDCAT del paquete ERDAS®, con el cual se derivó la lista total de sitios seleccionados, así como su ubicación geográfica, obteniendo sus firmas espectrales, cuyos valores estadísticos se presentan a continuación:

**Tabla 1:** Valores Estadísticos para los 148 Sitios de la fase 1.

Estadística/Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Promedio	68	29	29.5	59.1	80.7	31.9
Desv. Std	3.53	2.06	3.91	6.01	9.46	6.2
Varianza	12.46	4.3	15.7	36.11	89.48	38.69
Coef. Var. %	5.171	7.027	13.19	10.167	11.713	19.457
Coe. Var%	27	49	175	103	137	379
Err. Std.	0.138	0.047	0.170	0.401	0.994	0.430
Err. Std <sup>2</sup>	0.019	0.002	0.029	0.161	0.994	0.185
Err. Mtreo	0.177	0.060	0.18	0.514	1.75	0.551
Err. Mtreo %	0.333	0.64	0.943	1.116	2.023	2.10
Err. Mtreo % <sup>2</sup>	0.111	0.070	0.890	1.45	4.094	4.884
t Student	1282	1282	1282	1282	1282	1282
t Student <sup>2</sup>	1.643	1.643	1.643	1.643	1.643	1.643
Tamaño muestra	25	47	112	59	111	95

Requiriendo para las bandas TM4 y TM5 el número mayor de sitios, agregándole a los ya analizados (90) la mitad de aquel valor requerido mayor (112) = 56, y dos veces la diferencia entre el primer y segundo valor máximo requerido,  $112 - 111 = 1 * 2 = 2$ , por lo tanto:  $90 + 56 + 2 = 148$  sitios de muestreo solamente con fines de aumentar la confiabilidad del muestreo, aumentándolos a partir de los 90 sitios seleccionados anteriormente.

La metodología del inventario multifásico, indica que de una gran muestra se deriva el tamaño de las muestras de las fases posteriores como se ilustra en la figura 4.



Fases	Original	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Muestra	N1	n1 = N2	n2 = N3	n3 = N4	n4
Sitios	8997	148	30	18	10

**Figura 4:** Tamaños de la muestra para cada fase del inventario.

Se tomó una muestra tanto del archivo conteniendo los valores de la imagen para conocer la firma espectral de cada uno de los sitios seleccionados, así como el archivo de los valores transformados de las imágenes (índices), se procedió a determinar sus valores mediante el programa SEED, obteniéndose con ello una lista de los estadísticos más importantes de la firma espectral para cada sitio (máximos, mínimos, media, desviación estándar y varianza).

#### 4.5 SEGUNDA FASE

La segunda fase del muestreo, considerada como fase de fotointerpretación consistió en seleccionar de todos los sitios considerados en la primera fase una submuestra de 30 sitios de acuerdo con la fórmula anterior cuyo resultado indica

que se requiere un total de 29.6 sitios de muestreo por lo que se determinó trabajar con 30 sitios. La selección de los sitios se realizó aleatoriamente.

Los sitios fueron localizados sobre las fotografías aéreas escala 1:40,000 y marcados con un círculo de 1.3 mm de diámetro. Dentro de este sitio se obtuvo la densidad mediante fotointerpretación considerando su textura y tonalidad fotográfica. Es importante mencionar que para la determinación de la cobertura se empleó una clave de interpretación de coberturas preparada ex profeso (figura 4). De la misma manera se determinaron los límites del área de influencia de la clase de cobertura determinada.

#### **4.5.1 CLAVE DE INTERPRETACIÓN**

Al analizar las características propias de la fotografía como la textura y tonalidad, se elaboró una clave de fotointerpretación que apoyó la toma de decisiones, en la que se incluyó un código de fotointerpretación y la correspondiente cobertura estimada sobre las fotografías aéreas.

#### **4.6 TERCERA FASE**

Utilizando la misma fórmula se obtuvo el tamaño de muestra para la tercera fase, cuyo resultado indica que el número de ellos es de 17.8, por lo que se decidió trabajar con 18 de ellos, igualmente la selección de los sitios se realizó al azar.

La tercera fase del muestreo considera una submuestra de la fase anterior, obtenida de manera aleatoria. En estos sitios considerados como *sitios*

fotogramétricos, se marcó en la fotografía aérea escala 1:20,000 un círculo de 1.3 mm. de diámetro. En cada uno de los sitios de muestreo elegidos se estimó utilizando técnicas de fotointerpretación el porcentaje de cobertura, tipo de asociación vegetal, número de individuos por sitio y por medio de técnicas fotogramétricas (empleando estereoscopio de espejos y barra de paralaje) se midió la altura media de los individuos presentes en el sitio.

#### 4.6.1 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS FOTOGRAMÉTRICOS

Las alturas de los individuos dentro del sitio fueron calculadas de acuerdo con la fórmula de la paralaje estereoscópica.

$$Hx = (Hv)/(Pa + \Delta Pa - p) * (\Delta Pa - p). \text{ (fórmula 2)}$$

Donde:  $Hx$  = altura de los individuos.

$Hv$  = Altura de vuelo en cm.

$Pa$  = Paralaje del punto más elevado.

$\Delta Pa - p$  = Diferencia de paralaje entre el punto más alto y el más bajo.

#### 4.7 CUARTA FASE

Siguiendo el mismo criterio que en las fases anteriores se obtuvo el tamaño de muestra, cuyo resultado indica que el número de ellos es de 9.3, por lo que se decidió trabajar con 10 sitios seleccionados al azar.

Esta fase es considerada como fase de campo, en ella se seleccionaron al azar sitios analizados en las fases anteriores. En cada uno de los sitios de muestreo se determinó la cobertura, área basal, especies presentes en el sitio y el volumen maderable para algunas especies de importancia comercial en la región.

Los pasos a seguir para los levantamientos terrestres fueron los siguientes:

1. Los sitios fueron ubicados utilizando mapas y un receptor del sistema global de posicionamiento (GPS), al llegar al sitio se grabaron las coordenadas en receptor. El levantamiento se realizó en parcelas de  $4 * 40\text{m}$  ( $320 \text{ m}^2$  de superficie) formando una cruz (Anexo 6). El sitio fue marcado con cinta en sus extremos y el centro. Tomándose una fotografía representativa de la vegetación.
2. En el estrato medio y superior en cada sitio se registró el nombre científico y/o común de las especies presentes, midiendo la altura de los individuos mayores a 1.00 m, el diámetro a 0.1 m de altura de todos los fustes mayores a 0.01 m, la longitud de su copa en dirección N-S y E-W de todos los individuos cuyo tronco se encontraba dentro de la superficie del sitio. Mientras que para el estrato inferior los individuos menores a 1.00 m de altura y diámetros menores a 0.01 m, solo se determinaron en 10 subparcelas de  $4 \text{ m}^2$  localizadas dentro del sitio separadas cada 10 metros (Anexo 6) en los cuales se determinaron sus parámetros de altura, cobertura y diámetro a la altura del cuello de la raíz.

#### **4.7.1 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DENDROMÉTRICOS**

Para la obtención de la cobertura en el sitio, se determinan los diámetros de la copa tomados en un eje con dirección norte sur, y otro diámetro en dirección



este - oeste, de cada uno de los individuos cuyas raíces se encuentra dentro del área marcada se utilizó la formula siguiente:

$$\text{Cob} = \pi * (D1 + D2/ 4)^2 \text{ ó } \text{Cob.} = 2\pi * r^2$$

Donde:

D = Diámetro de copa

r = radio de copa.

En el cálculo del área basal se utilizó la formula siguiente:

$$g = \pi/4 * D^2$$

D = Diámetro a 10 cm.

#### **4.7.2 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE ESPECIES ÚTILES**

Para obtener el volumen de las especies maderables encontradas se utilizaron los modelos desarrollados por Villalón (1989). La tabla 1 muestra las especies consideradas y la formula utilizada:

**Tabla 2:** Ecuaciones para calcular el volumen de especies del matorral de la región de Linares, N. L. (Villalón, 1989).

Clave	N. Científico	N. Común	Ecuación de Volumen
Ac be	<i>Acacia berlandieri</i>	Guajillo	$(0.20979) * (D^2 * H)^{(1.08747)}$
Ac rig	<i>Acacia rigidula</i>	Chaparro Prieto	$(0.292395) * (D^2 * H)^{(1.03019)}$
Ac fa	<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache Chino	$(0.214514) * (D^2 * H)^{(1.08470)}$
Ac wri	<i>Acacia wrightii</i>	Uña de Gato	$(0.389056) * (D^2 * H)^{(0.98842)}$
Bu la	<i>Bumelia lanuginosa</i>	Coma	$(0.268115) * (D^2 * H)^{(1.03407)}$
Ce pa	<i>Celtis pallida</i>	Granjeno	$(59.3143) + (0.34349) * (D^2 * H)$
Co ho	<i>Condalia hookeri</i>	Brasil	$(1035.11) + (0.27891) * (D^2 * H)$
Co bo	<i>Cordia boissieri</i>	Anacahuita	$(215.2618) + (0.3591) * (D^2 * H)$
Di te	<i>Diospyros texana</i>	Chapote Blanco	$(0.49958) * (D^2 * H)^{(0.98333)}$
Di pa	<i>Diospyros palmeri</i>	Chapote Prieto	$(0.49958) * (D^2 * H)^{(0.98333)}$
He pa	<i>Helietta parvifolia</i>	Barreta	$(0.050003) * (D^2 * H)^{(1.19046)}$
Pi eb	<i>Pithecellobium ebano</i>	Ebano	$(0.18750) * (D^2 * H)^{(1.0747)}$
Pi pa	<i>Pithecellobium pallens</i>	Tenaza	$(0.20979) * (D^2 * H)^{(1.08747)}$
Po ang	<i>Porliera angustifolia</i>	Guayacán	$(59.3143) + (0.34349) * (D^2 * H)$
Pro lae	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	$(0.47506) * (D^2 * H)^{(0.997374)}$
Za fa	<i>Zanthoxylum fagara</i>	Colima	$(0.32260) * (D^2 * H)^{(1.04424)}$

#### 4.8 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CADA FASE DEL INVENTARIO

La variable Independiente considerada en el desarrollo del estudio fue la cobertura determinada o estimada en las tres ultimas fases del estudio y la variable dependiente todos aquellos parámetros relacionados con la misma como el área basal, volumen, valor estimado de cobertura en las fotografías aéreas y el valor de reflectancia de la imagen para cada una de las bandas espectrales.

##### 4.8.1 PRIMERA FASE

Se trabajó con el programa STATISTICA para WINDOWS, y el propuesto por Acka, para en base a regresiones del tipo lineal encontrar la mejor bondad de ajuste para los datos de las firmas espectrales de la imagen y los obtenidos en los

análisis de cobertura de las fotografías ESC: 1:40,000 y 1: 20,000 y los resultados obtenidos en el campo para determinar el modelo matemático a emplear.

#### **4.8.2 SEGUNDA FASE**

Se realizaron análisis de regresión lineal con los valores de los 30 sitios de muestreo obtenidos en la segunda fase y determinar el mejor ajuste entre los datos del valor de cobertura estimado por fotointerpretación y la cobertura estimada en las fotografías aéreas escala 1:40,000 y así encontrar mediante los coeficientes de regresión y determinación, la bondad de ajuste entre los datos.

#### **4.8.3 TERCERA FASE**

Se realizaron análisis de regresión lineal con los valores los 18 sitios de muestreo obtenidos en la tercera fase para determinar el mejor ajuste entre los datos del valor de cobertura estimado por fotointerpretación y la cobertura estimada en las fotografías aéreas escala 1:20,000 para encontrar mediante los coeficientes de regresión y determinación, la bondad de ajuste entre los datos.

#### **4.8.4 CUARTA FASE**

Se realizaron análisis de regresión lineal de los valores de 10 sitios de la fase de campo para determinar mediante los coeficientes de regresión, el ajuste entre la cobertura, área basal y volumen que presentan los sitios en el campo.

### **4.9 CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS DIVERSAS FASES**

El coeficiente de correlación producto o momento  $r$  de Pearson, es un índice adimensional cuyos valores fluctúan entre -1,0 y 1,0 lo que refleja el grado

de dependencia lineal entre los datos  $x$  (variable dependiente), y  $y$  (variable independiente).

$$\Gamma = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left( n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \cdot \left( n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}}$$

El coeficiente de determinación  $r^2$  existente entre los datos resultantes de una fase y otra y se interpreta como la proporción de la varianza de la variable dependiente que se atribuye a la varianza de la variable independiente en regresión lineal.

Para la determinación del modelo matemático del inventario por regresiones se siguió el método que ilustra el texto de Akça (1995),

$$y = (A) + (B * (x)) + e$$

Donde:

Y = La variable de Interés

A = Valor de la Intercepta del modelo

B = Valor de la pendiente de regresión

X = Valor de la variable auxiliar

e = Valor del error permitido en el modelo, basado en el comportamiento de los residuales del mismo.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 * \sum_{j=1}^n y_j - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{j=1}^n x_j y_j}{n * \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

Donde:

A = Valor de la Intercepta del modelo

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i * \sum_{i=1}^n y_i}{n * \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

Donde:

B = Valor de la pendiente de la línea de Regresión

$$Y_{reg} = (A) + (B * \mu x)$$

Donde:

Yreg = La media poblacional de la variable de interés

$\mu x$  = Media poblacional de la variable auxiliar.

$$S^2_{yreg} = S^2_{xy} * \left[ 1 + \frac{\mu x - x}{Qx} \right] * 1 - \frac{n}{N}$$

Donde:

$S^2_{yreg}$  = Varianza de la media poblacional de la variable de interés

$S^2_{yx}$  = Varianza estimada de los errores

x = Media aritmética de la muestra de la variable de interés

Qx = Desviación estándar de los residuales de la variable auxiliar

$$S^2_{xy} = \frac{Qy}{n - 2} \left( \frac{Q_{xy}}{Qx} \right)^2 - \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \frac{A - B * \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n - 2}}{n - 2}$$

Donde:

$S^2_{yx}$  = Varianza estimada de los errores

Qy = Desviación estándar de los residuales de la variable de interés

Qxy = Desviación estándar de los residuales totales

$$Q_x = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i - x \right)^2}{n} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)$$

$Q_x$  = Desviación estándar de los residuales de la variable auxiliar

$$Q_y = \frac{\left( \sum_{i=1}^n y_i - y \right)^2}{n} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

$Q_y$  = Desviación estándar de los residuales de la variable de interés

$$Q_{xy} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n y_i - y \right) * \left( \sum_{i=1}^n x_i - x \right)}{n} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n xy_i \right)}{n} - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) * \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)$$

$Q_{xy}$  = Desviación estándar de los residuales totales

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ESTRATIFICACIÓN AUTOMATIZADA

La estratificación automatizada dio como resultado una subimagen con 36 rodales de matorral secundario cuya superficie total es de 28.12 km<sup>2</sup>, resultando un total de 8,997 sitios de 3,125 m<sup>2</sup> totales (figura 5) susceptibles a evaluar.

### 5.2 EVALUACIÓN DE LOS PARAMETROS POR SITIO DE MUESTREO

#### 5.2.1 PRIMERA FASE

Los valores de reflectancia para cada una de las bandas espectrales del sensor TM son mostrados en el Anexo 8 y sus valores estadísticos se ilustran en la tabla 3.

**Tabla 3:** Estadísticos de las Bandas Espectrales.

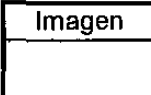
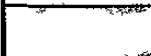






Estadísticos	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Media	68.76	29.64	30.17	59.29	82.41	32.87
Desv. Std	3.87	2.42	4.42	5.44	11.16	7.10
Varianza	14.99	5.87	19.53	29.60	124.56	50.38
C.V %	5.63	8.17	14.65	9.18	13.54	21.59

En la tabla anterior se observa que la variabilidad de los datos con respecto a su valor promedio es bajo, ya que el mayor (TM5) es menor al 15 % por lo que los valores de cada banda espectral tiene una estrecha diferencia al evaluar los 148 sitios de la primera fase de muestreo.

### 5.2.2 SEGUNDA FASE

Los sitios de muestreo analizados en la presente fase arrojaron la siguiente clave de fotointerpretación, la cual refleja la cobertura del área de interés, la tabla presentando los recortes fotográficos obtenidos en forma digital, y su valor estimado de cobertura determinado mediante técnicas de fotointerpretación.

**Tabla 4:** Claves de interpretación de la cobertura empleadas en la fotointerpretación indicando el código usado y el porcentaje de cobertura interpretado (CFI).

Imagen	Valor	%C_FI
	0	0-30
	1	40
	2	50
	3	60
	4	70
	5	80
	6	90
	7	100

En los sitios analizados las coberturas abiertas e intermedias se encuentran equitativamente distribuidas, ya que tenemos 12 de los 30 sitios analizados que presentan una cobertura "abierto" que oscila entre el 30 y 60%, 14 sitios reflejaron una cobertura "intermedia" ya que va de mayores a 60% hasta el 80%, mientras que las coberturas "densas" o "cerradas" son escasas en el matorral secundario ya que solo 4 sitios mostraron coberturas mayores de 80% hasta 100%, por lo que se aprecia que la gran mayoría son zonas que han comenzado a enmontarse recientemente (más o menos 25 años) como lo indica González Elizondo (1997).



### 5.2.3 TERCERA FASE

Los sitios determinados en la tercera fase de muestreo son mostrados a continuación en la siguiente tabla la cual resalta el número de individuos arbóreos principalmente identificados, la altura media de los árboles y el porcentaje de cobertura fotográfica estimada para cada sitio. Es importante mencionar que debido a la densidad presentada en algunos de ellos, no fue posible la determinación de los parámetros fotogramétricos.

**Tabla 5:** Coeficientes de correlación entre los diferentes índices utilizados.

SITIO	Individuos	Altura media m.	%CFG
2	4	4.3	50
16	-----	-----	90
17	-----	-----	90
23	7	4.0	60
31	-----	-----	85
40	-----	-----	90
43	4	4.3	65
45	11	4.4	50
46	9	4.6	65
52	-----	-----	95
56	5	3.7	70
59	12	4.2	50
61	6	4.2	70
68	5	3.8	85
72	-----	-----	90
83	4	3.6	80
114	9	5.7	70
128	9	4.6	55

De la tabla anterior se indica que se puede obtener mayor cantidad de información (individuos) de los sitios de cobertura abierta ya que la baja densidad permite observar más claramente en las fotografías aéreas tanto las copas como la superficie de suelo, lo cual es indispensable para realizar las mediciones fotogramétricas con precisión.

### 5.2.4 CUARTA FASE

Fueron medidos 4,389 individuos del estrato medio y superior, pertenecientes a 40 diferentes especies, de ellas, 16 fueron consideradas como especies útiles por sus características maderables y forrajeras (en algunos casos), y las restantes 24 son consideradas como especies con poca utilidad maderable. Las características dendrométricas de cada sitio se muestran en el Anexo 2.

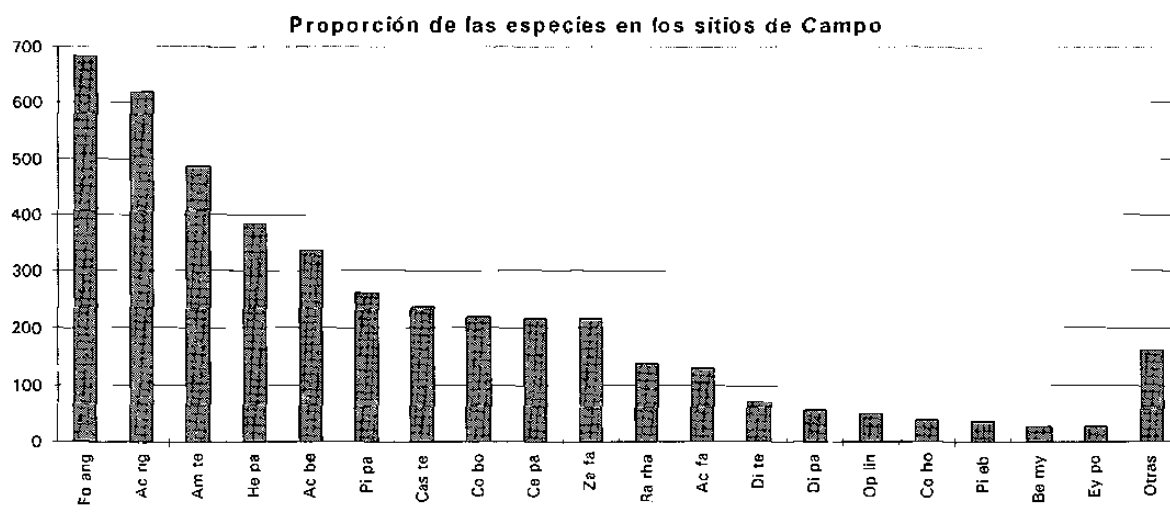
Los sitios seleccionados para la fase de campo se presentaron sistemáticamente en las cuatro fases del presente estudio y sus características generales son mostradas a continuación en la siguiente tabla, la cual muestra el número de individuos del estrato medio y alto encontrados en el sitio, la cobertura que presentan los sitios en valor de porcentaje y total, el área basal estimada en el área y el volumen sumado de las especies útiles de la región.

**Tabla 6:** Características dendrométricas generales de los sitios de campo.

SITIO	Individuos	Individuos/ha	%Cob	Cobm <sup>2</sup> /ha	g m <sup>2</sup>	Volm <sup>3</sup> /ha
2	265	8,281	103	10237	10.7	17.76
16	668	20,875	268	26803	21.7	47.12
23	163	5,094	93	9316	11.3	13.63
43	380	11,875	145	14603	22.6	33.75
45	417	13,031	97	9688	6.5	6.87
46	566	17,688	191	19059	18.1	20.92
56	566	17,688	181	18103	24.6	29.14
59	142	4,438	46	4625	4.4	6.31
61	265	8,281	103	10319	22.7	14.91
68	957	29,906	150	15017	18.4	16.45

Los datos del cuadro anterior nos indican lo variado de las condiciones de la vegetación, pero en base a la información de los sitios, determinamos que cada zona de 320 m<sup>2</sup> tiene un promedio de 439 individuos y 13,719 individuos/ha, asimismo se cuenta con un promedio de área basal de 16m<sup>2</sup>/ha y un volumen maderable de las especies analizadas de 20.67 m<sup>3</sup>/ha.

La siguiente gráfica muestra la aportación de individuos para todas las especies encontradas en el campo ordenadas de manera descendente para su mejor comprensión, por lo que claramente se observa que son relativamente pocas las especies dominantes dentro del matorral secundario de la región.



**Figura 6:** Proporción de individuos por especie.

Dichas especies no se encuentran en todos los sitios de muestreo por lo que se incluye la tabla 7 que nos ilustra la frecuencia de aparición de individuos por especie encontrados en el matorral secundario.

Tabla 7: Frecuencia de aparición por sitio.

Clave	Nombre Científico / Sitio	2	16	23	43	45	46	56	59	61	58
Ac be	<i>Acacia berlandieri</i>	x			x	x					x
Ac fa	<i>Acacia farnesiana</i>	x							x		
Ac rig	<i>Acacia rigidula</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ac sch	<i>Acacia schaffneri</i>								x		
Ac wri	<i>Acacia wrightii</i>					x	x				
Al ma	<i>Aloysia macrostachya</i>	x		x							
Am ma	<i>Amyris madrensis</i>		x								x
Amy te	<i>Amyris texana</i>		x			x					x
Be Cho	<i>Berberis chochoco</i>					x					
Be my	<i>Bernardia myricaefolia</i>		x		x			x			
Bu la	<i>Bumelia lanuginosa</i>		x								
Ca me	<i>Caesalpinia mexicana</i>		x								x
Cas te	<i>Castela texana</i>						x			x	
Ce ma	<i>Cercidium macrum</i>						x				
Ce pa	<i>Celtis pallida</i>	x	x				x	x	x	x	x
Ci be	<i>Citharexylum berlandieri</i>							x			x
Co bo	<i>Cordia boissieri</i>	x	x	x	x	x	x	x		x	
Co ho	<i>Condalia hookeri</i>	x	x	x	x	x	x		x	x	
Ca te	<i>Castela texana</i>		x								
Cro to	<i>Croton torreyanus</i>					x					
Di pa	<i>Diospyros palmeri</i>	x	x	x	x		x	x	x		
Di te	<i>Diospyros texana</i>	x	x			x	x		x		
Ey po	<i>Eysenhardtia polystachya</i>		x		x			x			x
Fo an	<i>Forestiera angustifolia</i>	8	x	x	x	x	x	x		x	x
Go hy	<i>Gochnatia hypoleuca</i>										x
He pa	<i>Helietta parvifolia</i>		x	x	x						x
Kar hu	<i>Karwinskia humboldtiana</i>				x	x	x		x	x	
Le fru	<i>Leucophyllum frutescens</i>					x	x				x
Ma gla	<i>Malpighia glabra</i>				x				x		x
Op le	<i>Opuntia leptocaulis</i>					x					
Op lin	<i>Opuntia lindheimeri</i>			x	x			x		x	
Par acu	<i>Parkinsonia acuneata</i>									x	
Pi eb	<i>Pithecellobium ebano</i>		x				x				x
Pi pa	<i>Pithecellobium pallens</i>		x	x	x	x	x	x		x	x
Po ang	<i>Porlieria angustifolia</i>		x	x			x	x		x	
Pro lae	<i>Prosopis laevigata</i>				x		x				
Ra rha	<i>Randia rhagocarpa</i>		x		x	x		x		x	x
Yu fil	<i>Yucca filifera</i>			x			x	x		x	
Za fa	<i>Zanthoxylum fagara</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ziz ob	<i>Ziziphus obtusifolia</i>								x		

Las especies más frecuentes son *Zanthoxylum fagara* (100%), *Acacia rigidula* (80%), *Cordia boissieri* (80%), *Condalia hookeri* (80%), *Pithecellobium pallens* (80%), *Celtis pallida* (70%) y *Diospyros palmeri* (70%).

La proporción de cobertura aportada por las especies es de forma irregular, por lo que se separaron las especies consideradas como maderablemente útiles y las no útiles (aquellas con bajo potencial comercial de su madera), encontrando que las especies útiles aportan el 74.6% de cobertura del área, mientras que las especies no útiles solamente aportan el 25.4%, lo cual se debe principalmente a que las especies útiles son individuos generalmente arbóreos o arbustivos de talla media con copa extendida y los asociados son arbustivos de talla baja y rastreros.

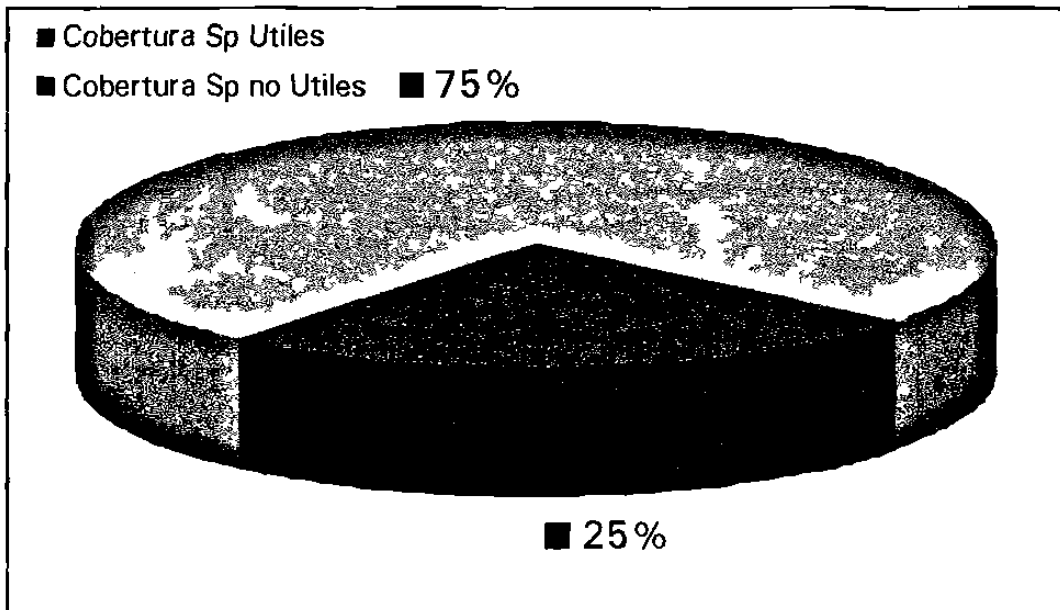
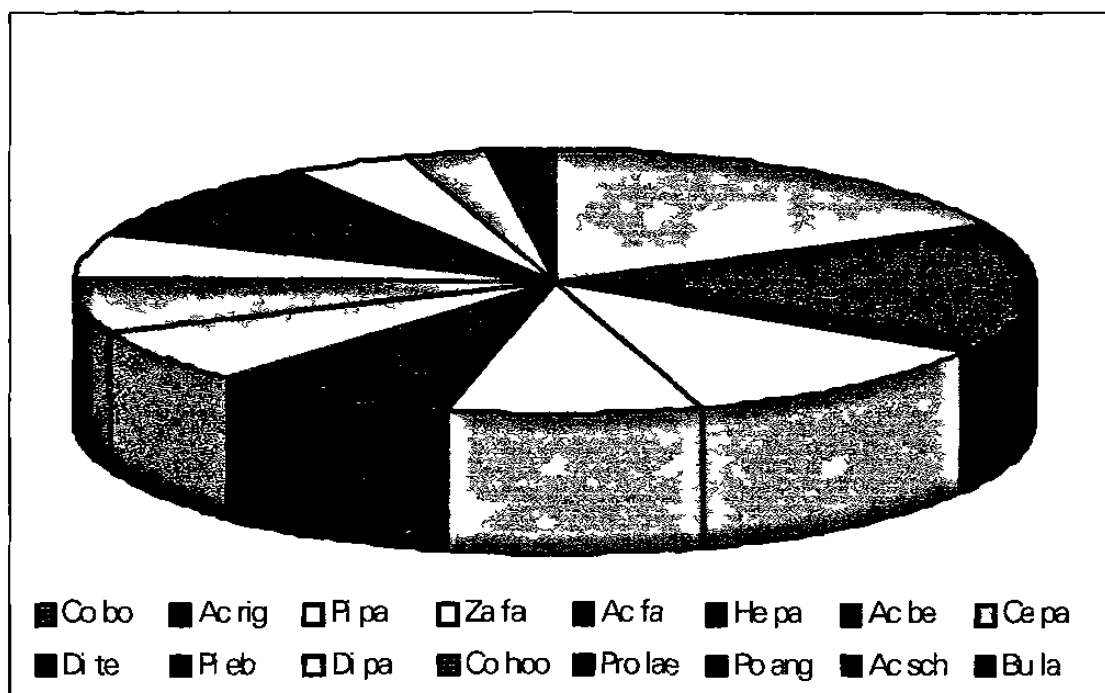


Figura 7: porcentaje de cobertura por las especies útiles y no útiles.

No todas las especies útiles aportan la misma cantidad de cobertura en el campo, debido a que algunas de las especies mostradas no se encuentran en

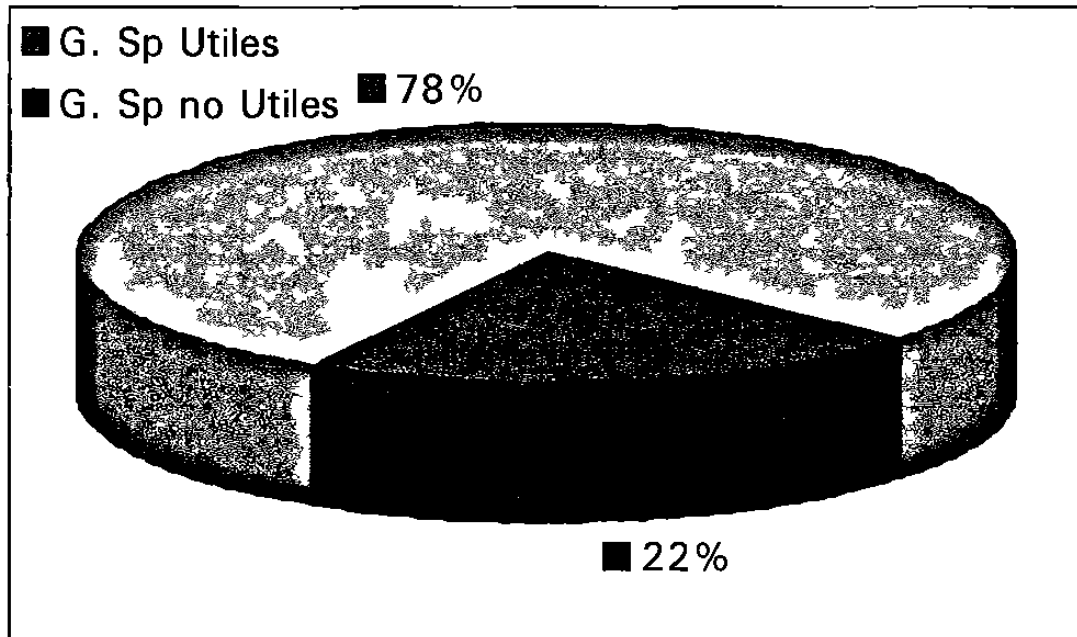
todos los sitios, además de que hay algunas especies que morfológicamente tienen las copas más extendidas y frondosas que otras, la siguiente gráfica muestra la proporción de cobertura que aportan las especies útiles, encontrando que son cinco las especies más importantes en este rubro; (*Cordia boissieri*, *Acacia rigidula* *Pithecellobium pallens* *Zanthoxylum fagara* ,y *Acacia farnesiana*) aportando entre ellas cerca del 60% de la cobertura de las citadas especies en el matorral secundario.



**Figura 8:** Proporción de cobertura por especie.

La proporción de área basal que aportan las especies útiles dentro del matorral secundario fue del 78.15%, mientras que las especies asociadas a ellas solamente aportan el 21.85%, lo cual se debe a la forma estructural de las

especies. Las especies útiles son generalmente individuos arbóreos o arbustivos de tallo único por lo tanto grueso y los asociados son arbustos de tallo delgado.



**Figura 9:** Porcentaje de área basal de las especies útiles y no útiles.

La proporción de área basal que aportan las especies útiles dentro del matorral secundario nos indica que son cinco las especies más representativas en este contexto, dichas especies de acuerdo a su importancia son: (*Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Helietta parvifolia*, *Pithecellobium pallens* y *Acacia farnesiana*,) las cuales aportan solo ellas el 60% del área basal

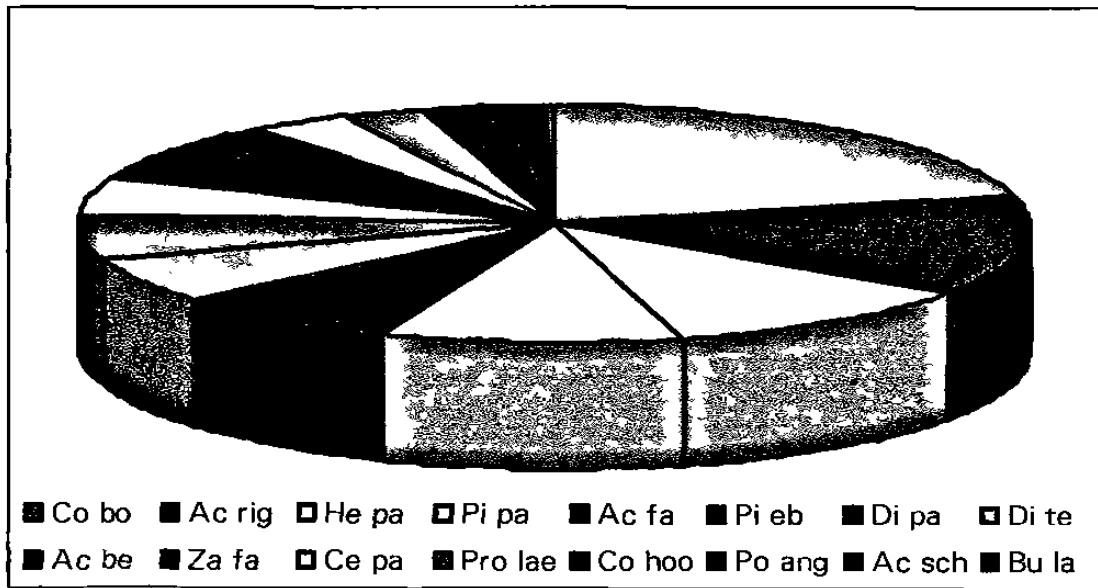
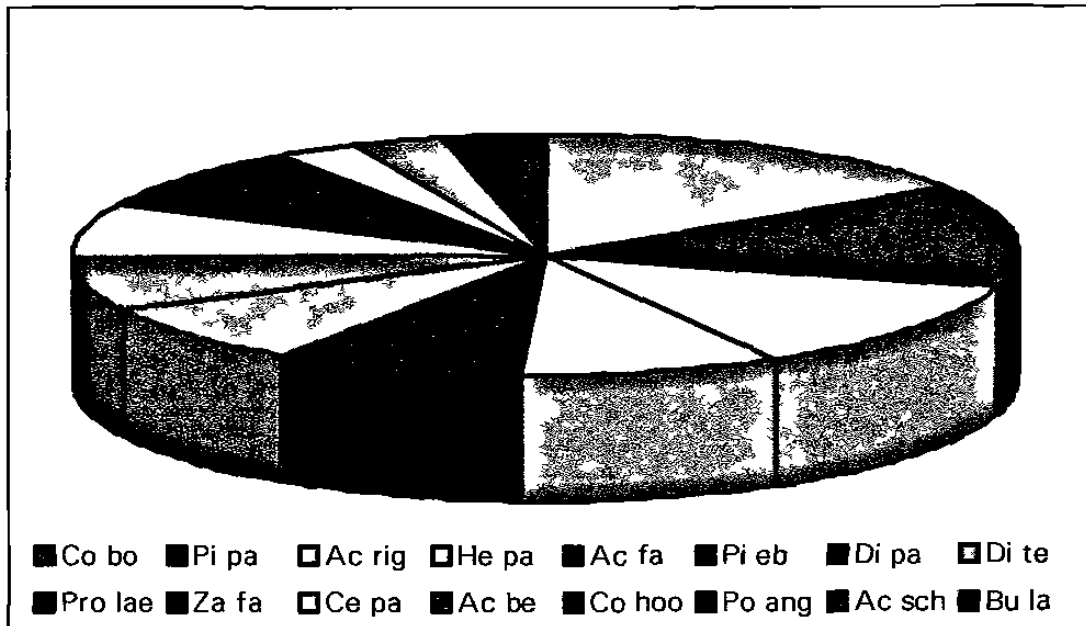


Figura 10: Area basal por especie.

La proporción de volumen que aportan las especies útiles se muestra en la gráfica siguiente, encontrando que cuatro especies son las principales generadoras de volumen en el campo ya que (*Cordia boissieri*, *Pithecellobium pallens*, *Acacia rigidula* *Helietta parvifolia*, y *Acacia farnesiana*) aportan el 57%.





**Figura 11:** Volumen maderable por especie.

En esta información gráfica nos indica son cuatro las especies (dentro de las especies útiles) que predominan en el área al ser las que aportan la mayor cantidad de cobertura, área basal y volumen dentro del matorral secundario son: (*Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens* y *Helietta parvifolia*).

### 5.3 COEFICIENTES DE CORRELACION

Los coeficientes de correlación ( $r$ ) y de determinación ( $r^2$ ), nos indican lo relacionado que pueden estar dos variables, mientras mayor valor tenga este (de 0 a 1) mayor relación existirá entre las variables. El coeficiente de correlación puede ser positivo o negativo, lo cual puede indicar una relación directa (positiva o negativa) entre las variables, es decir, si es positiva, el cambio de valor de una variable hará que la otra se mueva en el mismo sentido de valor, pero si es negativa, cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir su valor.

### 5.3.1 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

Las variables que se muestran a continuación fueron seleccionadas, debido a que se consideraron las más importantes para la realización del estudio.

Número de datos 10

1= Cobertura de los sitios de campo

2= Area Basal de los sitios de campo

3= Volumen de los sitios de campo

4= Cobertura estimada en la Fase de Fotogrametría (CFG)

5= Cobertura estimada en la Fase de Fotointerpretación (CFI)

6= Valor digital de la imagen de Satélite de la Banda Espectral TM4

---

Encontrando los valores de coeficientes de determinación estadísticamente significativos mostrados a continuación:

La correlación entre las variables 6 y 5 muestran un  $\Gamma = 0.67460029$ ,

La correlación entre las variables 5 y 4 muestran un  $\Gamma = 0.84767278$

La correlación entre las variables 4 y 1 muestran un  $\Gamma = 0.78336080$

La correlación entre las variables 1 y 3 muestran un  $\Gamma = 0.87868768$

### 5.4 MODELO MATEMÁTICO DE REGRESIÓN LINEAL

$$y = (A) + (B * (x))$$

Al considerar los análisis de correlación descritos y explicados anteriormente, se realizaron los análisis de regresión lineal para correr el modelo matemático de regresión, se encontraron los parámetros que se muestran a continuación:

### 5.4.1 VARIABLES TM4 CON RESPECTO A CFI

**Tabla 8:** Parámetros de la regresión lineal TM4 c/r CFVA.

A=	-57.55011792
B =	0.675
e =	49.2754
Desviación estándar de la regresión =	10.987839011

Como se mencionó con anterioridad, la cobertura que presentan las fotografías aéreas escala 1:40,000 en relación con los valores espectrales de la radiación Infrarroja reflejada TM4 ( $r = 0.67460029$ ), muestran una correlación estadística significativa, por lo tanto, (CFI es función de TM4) empleando éstos valores en la fórmula siguiente, se estiman los valores de cobertura de las fotografías aéreas.

$$CobFVA = (A) + (B * (TM4))$$

### 5.4.2 VARIABLES CFI CON RESPECTO A CFG

Al realizar los análisis de regresión lineal para correr el modelo matemático, se encontraron los parámetros que se muestran a continuación:

**Tabla 9:** Parámetros de la regresión Lineal CFVA c/r CFVB.

A=	6.58674189
B =	0.848
e =	13.27293
Desviación estándar de la regresión =	7.896768724

La cobertura que de las fotografías aéreas escala 1:20,000 está en función de CFVA y empleando éstos valores en la fórmula del modelo de regresión lineal, se encuentran los valores de cobertura de las fotografías aéreas de vuelo bajo.

$$CobFVB = (A) + (B * (CVA))$$

#### 5.4.3 VARIABLES CFG CON RESPECTO A LA COBERTURA DE CAMPO

Al realizar los análisis de regresión lineal para correr el modelo de regresión, se encontraron los parámetros que se muestran a continuación:

**Tabla 10:** Parámetros de la regresión lineal CFVB c/r cobertura de los sitios de campo.

A=	-9457.885226
B =	0.783
e =	6651.628
Desviación estándar de la regresión =	4189.7569938

La cobertura que tienen los sitios en el campo está en función de CFVB y empleando éstos valores en la fórmula del modelo de regresión lineal, se encuentran los valores de cobertura de los sitios en el campo.

$$CobCpo = (A) + (B * (CVB))$$

#### 5.4.4 VARIABLES COBERTURA DE CAMPO C/R AL VOLUMEN DE CAMPO

Realizando los análisis de regresión lineal para correr el modelo matemático, se encontraron los parámetros que se muestran a continuación:

**Tabla 11:** Parámetros de la regresión lineal cobertura de los sitios de campo c/r al volumen.

A=	4.684986906
B =	0.714
e =	6.754961
Desviación estándar de la regresión =	8.56336127

El volumen que presentan los sitios en el campo está en función de cobertura de los mismos en el terreno, y empleando éstos valores en la fórmula del modelo de regresión lineal, se encuentran los valores de volumen de los sitios en el campo.

$$VolCpo = (A) + (B * (CobCpo))$$

## 5.5 MODELO DE REGRESIÓN DEL INVENTARIO BIFÁSICO DE AKÇA

Los estimadores de regresión fueron desarrollados para incrementar la eficiencia del muestreo haciendo uso de información adicional disponible en la población a evaluar, al existir variables auxiliares que sin perder la confiabilidad del muestreo, nos permita hacerlo de una forma más rápida y económica con respecto a los métodos tradicionales.

Al aplicar el modelo sugerido por Akça con la información obtenida desde la primera fase del inventario con el volumen determinado para los 10 sitios de muestreo de la fase de campo y considerando solo las 16 especies de interés maderable (útiles) en la región, se determinaron los resultados que se muestran a continuación:

### **5.5.1 MODELO DE REGRESIÓN DE AKÇA**

Para los valores de cobertura estimada por la banda espectral infrarroja (TM4) y el volumen del matorral, la intercepta del modelo (A) indica que la regresión parte del valor -60.89 con una pendiente (B) de 1.43, la media del volumen es de 23.91 m<sup>3</sup>/ha, con una desviación estándar de  $\pm 3.3$  m<sup>3</sup>/ha y un coeficiente de variación (error) del 13.8 %.

Para la cobertura estimada en las fotografías aérea de vuelo alto (CFI) y el volumen de campo, el origen de la regresión (intercepta del modelo) parte del valor (A) = -26.96, con una pendiente de la recta (B) de 0.00687, la media del volumen del matorral es de 21.22 m<sup>3</sup>/ha con una desviación estándar de  $\pm 7.66$  m<sup>3</sup>/ha y un error del 36.1 %.

Para la cobertura estimada en las fotografías aérea de vuelo bajo (CFG) y el volumen de campo, la intercepta del modelo parte de -19.37, en una pendiente de 0.00613, la media del volumen en el matorral es de 25.22 m<sup>3</sup>/ha, con una variabilidad de  $\pm 9.96$  m<sup>3</sup>/ha y un error de 39.46 %.

Entre los valores de cobertura medida en campo y el volumen del mismo, la intercepta del modelo indica que la regresión parte del valor -3.3, con una pendiente de 0.00175, la media del volumen de matorral 20.77 m<sup>3</sup>/ha, con una variabilidad de  $\pm 15.82$  m<sup>3</sup>/ha y un error del 76.19 %.

## 6 DISCUSIÓN

En cuanto a la composición florística y estructural que presenta el Matorral Secundario, se reafirma la información vertida por González Elizondo (1997), quien indica que la vegetación del área estudiada es una compleja y heterogénea mezcla de especies generalmente de talla arbustiva con algunos individuos que pueden alcanzar la talla arbórea de tamaño bajo, de 6 a 8 m y una variedad estructural y florística distinta en cada fragmento, producto principalmente a la antigüedad del restablecimiento del monte y el uso actual al que se encuentra sometido en el transcurso de los años recientes, además de las condiciones particulares de cada uno como puede ser el tipo de suelo, topografía, microclima, patrón de drenaje etc. Asimismo indica que las especies con mayor importancia son *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, y *Acacia farnesiana*, encontrando gran similitud con esa afirmación al determinar en este estudio que las especies con mayor importancia en cuanto a cobertura área basal y volumen son *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens* y *Helietta parvifolia*.

Debido a los factores anteriormente señalados se pueden encontrar dominancias de cierto tipo de especies, desde pioneras hasta establecidas que marcarán la composición florística y estructural de los fragmentos de matorral secundario en los años subsecuentes, mientras que la etapa sucesional lo permita.

La densidad que las especies tienen en el área de acuerdo a González Elizondo es de 3,718 ind/ha, encontrando en este estudio una densidad de 13,718 individuos/ha, existiendo, diferencia de 10,000, probablemente por que las condiciones del área estudiada por ella sea muy pobre, o que haya existido un error en cuanto a la escritura de dicho dato. La cobertura que reporta es de 9 a 141%, con un promedio de 72.7 %, encontrando que la cobertura promedio en el presente estudio es de 138%. Adame W. 1994 indica que el tamaño óptimo de los sitios para *Prosopis laevigata* es de 500 m<sup>2</sup>, el área de los sitios del matorral es validada por el trabajo de a González, por lo que el tamaño de los sitios es válido.

Foroughbakhch (1990) indica que las especies con mayor producción de rebrotes son *Eysenhardtia polystachya*, *Cordia boissieri*, *Heliopsis parvifolia* y *Acacia rigidula* y como tres de estas fueron consideradas como importantes en cuanto a sus características de cobertura, área basal y volumen, dicha conclusión reafirma que si aprovechamos dichas especies estas rebrotarán para tener una producción continua del matorral bajo estudio.

De Gier probó un inventario bifásico sobre bosques mixtos de haya, en el cual obtuvo valores estadísticos significativos para la determinación de incrementos volumétricos para esa especie mediante regresiones lineales, por lo que con algunas variantes este modelo ya ha sido aplicado en actividades forestales aunque no para el tipo de vegetación que nos ocupa, pero al realizar este estudio queda asentado que es práctico y potencialmente utilizable sobre todo donde la naturaleza de la vegetación o la inaccesibilidad del área haga más costoso el levantamiento de muestras grandes.



## 7 CONCLUSIONES

En el presente estudio se determinó estadísticamente la relación existente entre el volumen de 16 especies maderables del matorral secundario y las firmas espectrales de la imagen LANDSAT TM, índices de vegetación, coberturas estimadas sobre fotografías aéreas escala 1:40,000 y 1:20,000 y la cobertura determinada en el campo, mediante el método de inventario multifásico.

Concordando con la información vertida por González Elizondo (1997), de que la vegetación de matorral secundario es una compleja y heterogénea mezcla de especies (40) arbustivas y arbóreas con una variedad estructural y florística en cada fragmento.

Dentro de los sitios de muestreo analizados en la fase de fotointerpretación podemos indicar que en los sitios de matorral secundario predominan las coberturas abiertas que van de 0% al 80%, y son escasos los fragmentos con coberturas mayores al 80%. Al trabajar con las fotografías aéreas de vuelo bajo (análisis fotogramétrico), se concluye que los sitios de cobertura menor y con escasa cubierta arbustiva y herbácea, son aquellos que mayor cantidad de información de este tipo se puede obtener, también se advierte que a pesar de lo fragmentado de la vegetación, y lo frágil del ecosistema por esa acción, la gente dueña de los predios de matorral continúa desmontando con fines de agrícolas y de pastoreo para el ganado.

Es importante recalcar que debido a las condiciones climáticas, edáficas e hídricas de la región, los terrenos desmontados, en poco tiempo dejan de ser redituables, los cuales son abandonados para enmontarse con el paso de los años, pero se observa que los suelos son más someros y claros que en lugares donde se aprecia que no ha sido desmontado en muchos años, por lo que se concluye que los agentes erosivos (agua y viento) han trasladado ese suelo a otro lugar y que la falta de materia orgánica ha tornado mas claros los suelos, sobre todo aquellos donde el desmonte es más extenso.

Se obtuvieron datos de un total de 4,390 individuos arbustivos y arbóreos en 10 sitios de muestreo de 320 m<sup>2</sup> de área haciendo un total de 3,200 m<sup>2</sup>. La cobertura total de los individuos sobre el área fue de 137,781 m<sup>2</sup>/ha lo que supone que el matorral en general cuenta con un grado de cobertura de 138%. Los individuos medidos arrojaron un total de 16.08m<sup>2</sup>/ha de área basal promedio y el volumen de las 16 especies maderables fue de 20.76 m<sup>3</sup>/ha.

Es importante recalcar que los sitios en el campo presentan diferentes especies con características morfológicas particulares por lo que en algunos sitios con alta densidad de individuos, presentan valores altos de reflectividad; Esto debido a que la copa de los mismos es amplia pero con hojas relativamente pequeñas por lo que su capacidad de reflectancia es mayor con respecto a otro con densidad menor, pero en que sus individuos son más frondosos de copa.

Con relación a lo anterior, los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran claramente las enormes diferencias en cuanto a composición florística y estructural en el matorral, por lo que podemos indicar que existen áreas que albergan a 10 especies diferentes, y otros que duplican tal cantidad. En cuanto a cobertura podemos decir que existen zonas muy abiertas (4,438 individuos/ha y una cobertura de 4,624 m<sup>2</sup>/ha) lo cual nos indica que existen condiciones ecológicas desfavorables o que los individuos presentes forman parte de una comunidad xérica intermedia en el proceso de sucesión ecológica. Mientras que los sitios con una cobertura relativamente abierta (29,906 individuos/ha) y una cobertura de 15,015 m<sup>2</sup>/ha nos indica que es un rodal relativamente joven donde sus ocupantes luchan por su establecimiento.

Otros sitios muestran menor cantidad de individuos que el anterior pero con mayor cobertura (20,875 individuos/ha y cobertura de 26,803 m<sup>2</sup>/ha), lo cual nos indica que es un rodal maduro con condiciones ecológicas estables.

Las especies más frecuentes son *Zanthoxylum fagara* (100%), *Acacia rigidula* (80%), *Cordia boissieri* (80%), *Condalia hookeri* (80%), *Pithecellobium pallens* (80%), *Celtis pallida* (70%) y *Diospyros palmeri* (70%).

La proporción de cobertura aportada por las especies maderables es de 74.6% y las especies no útiles aportan el 25.4%, las especies más importantes en este rubro *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula* *Pithecellobium pallens* *Zanthoxylum fagara* y *Acacia farnesiana*, aportando entre ellas cerca del 60%. La proporción de área basal que aportan las especies útiles es de 78.15% y las no útiles aportan el 21.85%, las especies de acuerdo a su importancia son *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Helietta parvifolia*, *Pithecellobium pallens* y *Acacia farnesiana*, las cuales aportan en conjunto el 60%. La proporción de volumen que aportan las especies útiles se muestra en la gráfica siguiente, encontrando que cuatro especies son las principales generadoras de volumen ya que *Cordia boissieri*, *Pithecellobium pallens*, *Acacia rigidula* *Helietta parvifolia* y *Acacia farnesiana* aportan el 57%.

Lo anterior nos indica son cuatro las especies (dentro de las especies útiles) que predominan en el área al ser las que aportan la mayor cantidad de cobertura, área basal y volumen dentro del matorral secundario son *Cordia boissieri*, *Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens* y *Helietta parvifolia*.

Con respecto a los análisis de regresión lineal se concluye que la banda espectral recomendada para este tipo de inventarios en matorral es la correspondiente a la radiación infrarroja TM4, ya que es la que mejor coeficiente de correlación para el cálculo de volumen ofrece.

También se concluye que al transformar los valores espectrales a índices normalizados de vegetación, no son recomendables, pues su grado de correlación no resultó significativo para el cálculo de volumen.

Los coeficientes de correlación entre la cobertura fotográfica de ambas escalas y la cobertura determinada en el terreno, son considerados aceptables y son recomendables para este tipo de estudios.

El modelo para inventarios bifásicos propuesto por Akça ofreció resultados interesantes sobre la cantidad de volumen promedio estimado de las especies útiles, al relacionarlo con las firmas espectrales de TM4 indicó un volumen promedio de 23.9 m<sup>3</sup>/ha, con una variación de 3.3 m<sup>3</sup>/ha; Al hacerlo con las fotografías aéreas 1:40,000 resultó un volumen promedio de 21.22 m<sup>3</sup>/ha, con una

variación de 7.66 m<sup>3</sup>/ha. Con las fotografías aéreas 1:20,000 resultó un volumen promedio de 25.22 m<sup>3</sup>/ha, y una variación de 9.95 m<sup>3</sup>/ha. al relacionarlo con la cobertura determinada en el campo, indicó un volumen medio de 20.76 m<sup>3</sup>/ha, con una variación de 15.8 m<sup>3</sup>/ha

Concluyendo finalmente, que aunque la variabilidad de los datos aumenta conforme nos acercamos a los valores determinados con mayor precisión, es factible su aplicación, al considerar la naturaleza espinosa, densa y con tan bajo potencial maderable de la vegetación bajo estudio. Además de la gran diferencia en cuanto a costo, tiempo y esfuerzo necesario para evaluar sobre todo la última de las fase del inventario multifásico.

## 8 RECOMENDACIONES

Dadas las características fenológicas y ecológicas del matorral del área de estudio, se recomienda que los materiales a emplear en las fases de interpretación y fotogrametría sean de escalas mayores a los del presente trabajo sugiriendo la escala 1:20,000 para el análisis de fotointerpretación y 1:10,000 para el análisis fotogramétrico y discriminar con mayor precisión las zonas de matorral.

También se recomienda que los materiales aerofotográficos sean impresos sobre la misma base (papel o acetato) para evitar los problemas de revelado e impresión (coloración y tonalidad), asimismo que el desfaseamiento entre los materiales empleados para el estudio no sea mayor a un año.

Es importante señalar que aunque no fue línea central de este estudio, al internarse en el área de estudio, no pasan desapercibidas las condiciones ecológicas imperantes en la misma y reflexionando sobre el matorral en si por lo fragmentado del mismo y lo frágil que por ende se encuentra envió una enérgica recomendación para seguir desarrollando proyectos productivos, o alternativas de manejo para que los dueños del matorral puedan aprovecharlo sin degradarlo.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Adame Williams, Gerardo 1994: Determinación de un método óptimo de inventario para *Prosopis laevigata* (Humb & Bompl ex Willd) M. C. Jhonst., en el sur de Nuevo León. Tesis profesional , Facultad de Ciencias Forestales, UANL, 60 p.
- Akça et al., 1995. Forest Inventory. Institut Fur Forsteinrichtung und Ertragskunde. Gottingen. Alemania
- Boissezon 1989 Optimum Area Sampling frames Using High Resolution Satellite Images with Operational Objective: How to Conciliate Statistical Requirements and Practical Aspects pg. 375
- Cantú, C., Sariñana, R.; Rodríguez, G.; González, F.; Treviño, E.; Rocha, L. Hernández, S.; 1997 Evaluación de áreas naturales susceptibles de conservación ecológica en Nuevo León. Reporte Científico, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad A. de Nuevo León ISSN 0-185-6332, Vol 35 p 1- 101
- Cavazos P, T. y Molina G, V.1992 Registros climatológicos de la región citrícola de Nuevo León, boletín técnico No 1, Facultad de Ciencias Forestales U.A.N.L.
- Cochram (1977, Sampling Techniques 3ed. wiley & Sons N.Y.
- Correa Rubio, Baldemar. 1996: Evaluación y cuantificación de cambios de uso de suelo mediante imágenes de satélite en los Municipios de Linares y Hualahuis, N. L. Tesis profesional , Facultad de Ciencias Forestales, UANL, 47p, 12 anexos, 3 mapas. 10 de octubre de
- Li. Ch, David 1990 A Practical Example of Forest Mapping and Timber Volume Estimation Using Landsat 5 T. M. Imagery. State of the Art Methodology of Forest Inventory : A Symposium Proceedings. Department of Agriculture - Forest Service U.S.A.

- Chuvieco E. (1990). Fundamento de la teledetección espacial. Ediciones Rialp. Madrid 450 pp.
- De Gier A. 1994 Timber Volume and Increment Determination: Two-Phase aerial photo field Regression Samples versus Simple Random Field Samples. I. T. C. Journal Vol 1994 - 2, 163 - 167
- Duggin M. 1989. A Survey of Remote Sensing Methodology for Forest Inventory State of the Art methodology of forest inventory: A Symposium Proceedings P 267. State University of New York
- Erdas, 1991 "Earth Resources Data Analysis Software" Versión 8.0.2
- Foroughbakhch, R. y Heiseke, D. (1990) Manejo Silvícola del matorral, raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Fac. de Ciencias Forestales, UANL, Linares N. L. México. Reporte Científico No. 19. 28 p
- Foroughbakhch, R. y Peñaloza, R. (1988) Introducción de 10 especies forestales en el matorral del noreste de México. Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares N. L. México. Reporte Científico No. 8. 33 p.
- Foroughbakhch, R. y Tellez, R. (1990) Plantas aprovechadas por el ganado caprino en una zona de matorral mediano espinoso del noreste de México. Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares N.L. México. Reporte Científico No 21, 37 p.
- García, E. 1973 Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Espinoza, M.(1996) Análisis de la Vegetación Secundaria de Linares N. L. México Fac. de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N. L. México. Tesis de Maestría. 103 p.
- González E. M., E. J. Treviño G., y E. Jurado Y (1997). Diversidad Florística de la vegetación secundaria en un área de matorral del noreste de México. Phytologia. Vol.83 No.4 p 257-269, October 1997. USA.

- González E. M., E. J. Treviño G., y O. A. Aguirre C. (1997) Fisonomía y composición de la vegetación secundaria de un área de matorral del noreste de México. *Phytologia*. Vol.83 No.4 p280-285,. Huntsville, Tx. USA.
- González E., 1997 Análisis de la Vegetación Secundaria de Linares, N.L. México. Tesis de Maestría. F.C.F.UANL.
- González, S. D. (1993) Productividad del matorral mediano subinermes bajo distintos tratamientos silvícolas. *Fac. de Ciencias Forestales, UANL*, Linares, N. L. México. Tesis Profesional. 52 pp
- Heiseke, D. y Foroughbakhch, R. (1990) El matorral como recurso forestal. *Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares N.L. México. Reporte Científico No. 1. 31 p*
- Jurado, E. y Reid, N. (1989) Influencias de factores edáficos, topográficos y perturbación sobre el matorral espinoso tamaulipeco en Linares, N.L. *Fac. de Ciencias Forestales, UANL, México. Reporte Científico No. 10. 29 pp*
- LaBau y Winterberger 1989, citados por Schreuder 1992
- Lillesand, T.M. and R.W. Kieffer 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation* 3rd. ed. John Wiley & Sons. USA 724pp.
- Martínez, P. J. (1992) Evaluación de cuatro metodologías de inventario forestal para *Prosopis leavigata* (Humb & Bonpl Ex Willd M.C. Johnst. en el municipio de Linares N.L., *Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., México. Tesis Profesional. 56 pp*
- Mc Daniel, R. K., R. H. Hass 1982. Assessing Mesquite-Grass Vegetation condition from LANDSAT. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* Vol. 48, N 3, 1983 pp 441- 450.



- Medina Cortes, Ma. del Carmen,.1995: *Fitodiversidad en relación al tamaño de fragmentos remanentes matorral ,en Linares, N. L. Tesis profesional , Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 45 p.*
- Prodan, M; R. Peters; F. Cox y P. Real 1997. *Mesura Forestal. IICA, GTZ. Costa Rica 561 pp.*
- Rodríguez G.1994."Análisis de la fitodiversidad (Sinusias: Arbórea y Arbustiva) de dos comunidades de matorral espinoso tamaulipeco en Linares, N.L., México". *Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., México. Tesis Profesional*
- Romahn de la Vega, C. F.;, Ramírez M. H. y J. L. Treviño G. 1994 : *Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Méx. 354 p*
- Schreuder H. 1992 *Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley & Sons, Inc. New York U.S.A. 446 pp.*
- SPP, 1982. *Carta de Uso del suelo y vegetación Linares Clave G 14-11*
- Tovar Cortés, Ignacio, 1994: *Censo poblacional y evaluación de métodos de muestreo de Tenaza (Havardia pallens Benth., Britton & Rose) en matorral espinoso tamaulipeco en Linares, N. L., México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. 42p.*
- Treviño Garza, Eduardo Javier (en prensa): *Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de Pinus cembroides, Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, U.N.A.M. 2000.*
- Treviño Garza, Eduardo Javier. 1998: *Aplicación de la Percepción Remota en los inventarios de áreas subtropicales. Memorias del Simposium Norteamericano de Ciencias Forestales. Guadalajara, Jalisco 1998, 12p.*

- Treviño, 1996 Inventarios Forestales. Curso de maestría Facultad de Ciencias Forestales UANL, México
- Treviño, E. (1992). Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de la vegetación, como un ejemplo de un área de la región Sierra Madre Oriental en el Noreste de México. Fac. de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N. L. México. Tesis Doctoral. 119 pp
- Treviño, E., Akça, A. Navar, J, J. Jiménez, O. Aguirre (1996) *Detection of Land Use Changes by Satellite Imagery in the Municipality of Linares, N.L.*, Proceedings of Fifth International Conference on Desert Development, Texas Tech University. Loobok, TX pp. 236-240
- Unasyva (1993). Revista evaluación de los recursos forestales. Tema : La vigilancia por satélite de los bosques del mundo. Vol. 44
- van Laar and Akça, 1997 *Forest Mesuration* Gottingen: Cuvillier. Alemania
- Villalón H. 1989 *Ein Beitrag zu Verwerlung von Biomasseproduktion und deren Qualitat fur die Forest unf Lanwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Germeinde Linares N.L.* México. Gottingen Alemania Tesis Doctoral.
- Villegas, D. G. (1972). *Tipos de vegetación en los municipios de Linares y Hualahuises, N.L;* sus características, aprovechamiento y condiciones ecológicas en que se desarrolla. Escuela de agricultura de la Ude G. Guadalajara Jalisco, México. Tesis de licenciatura 96 pp.
- Woerner, M (1991) Los suelos de bajo vegetación de matorral del noreste de México descritos a traves de ejemplos en el campus universitario de la U.A. N. L., Linares, N.L., Fac. de Ciencias Forestales, Linares N.L. México. Reporte Científico No. 22. 116 pp.



**Anexo 2****Características dendrométricas de los sitios de Campo**

El sitio 2 llamado "El Perico S-E 1" cuenta con un número total de individuos de 265, pertenecientes a 10 diferentes especies, de las cuales a 9 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.568438, con un área basal de 3426.26 cm<sup>2</sup> y su cobertura de 328.03 m<sup>2</sup> que equivale al 102.5 %. Los Promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 255 y 3.37.

# I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. cm3
113	Ac fa	42.64	5	327	233.69	2700.99	488821.44
61	Ce pa	23.02	2	188	26.89	159.81	18131.38
25	Ac rig	9.43	2	184	12.65	252.30	18962.74
20	Di te	7.54	2	194	11.46	64.81	7818.97
16	Di pa	6.04	2	198	11.39	86.40	10406.80
10	Al ma	3.77	2	289	12.00	46.93	
10	Co ho	3.77	2	218	11.61	50.67	14441.18
8	Za fa	3.02	3	258	6.79	52.96	8482.53
1	Co bo	0.377	3	220	1.17	8.6	1075.6
1	Ac be	0.377	2	230	0.38	2.84	297.40
265		100	3.37	255	328.03	3426.26	568438.04

El sitio 16 llamado El Perico Sur cuenta con un número total de individuos de 668, pertenecientes a 19 diferentes especies, de las cuales a 12 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 1.50773195, con un área basal de 6945.06 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 857.7 m<sup>2</sup> que equivale al 268 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 295 y 4.06.

#I	Spp	%	D1/2	A 1/2	Cbm2	G. cm2	Vol.cm3
329	Am te	49.25	1.51	135.88	186.58	690.12	
89	Ac ri	13.32	3.91	396.29	106.03	1197.7	264815
60	Pi pa	8.98	4.18	384.58	119.53	1134.5	355583
54	Ce pa	8.08	3.63	330.09	86.77	646.71	102710
34	Ra rh	5.09	2.5	230.74	34.69	208.60	
33	Za fa	4.94	3.4	287.73	77.51	380.95	78577
13	Pi eb	1.95	6.7	464.23	81.64	659.43	226144
11	Co ho	1.65	7.0	398.64	24.97	457.79	78574
9	Di te	1.35	10.8	473.33	62.00	1051.5	284212
8	Fo an	1.20	2.7	237.84	13.73	49.28	
6	Co te	0.90	1.4	143.33	2.69	10.51	
5	Ey po	0.75	2.04	276	7.37	16.98	
4	Be my	0.60	1.7	163.75	2.00	11.83	
3	Am ma	0.45	1.5	126.7	1.0	5.7	
3	Di pa	0.45	7.7	546.67	21.05	226.59	73238
2	Co bo	0.30	10	530	24.25	163.36	40593
2	Po an	0.30	3.55	172.5	3.83	26.40	2835
2	He pa	0.30	1.95	220	2.61	6.29	446
1	Ca me	0.15	1	90		0.16	0.79
668		100	4.06	295.17	858.26	6944.4	1507732

El sitio 23 llamado "Maguiras N-E-C" cuenta con un número total de individuos de 163, pertenecientes a 13 diferentes especies, de las cuales a 6 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.4326245, con un área basal de 3611.3 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 298.1 m<sup>2</sup> que equivale al 93 %. Los Promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 231.1 y 6.0

# I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cbm <sup>2</sup>	G. cm2	Vol. cm <sup>3</sup>
40	Pi pa	24.54	4.54	264.75	54.24	743.72	129766.38
36	Ac ir	22.09	3.40	208.61	31.2	358.6	39737.6
25	Fo an	15.34	3.16	116.00	25.45	213.33	
18	Xa fa	11.04	4.81	256.11	69.14	346.45	55371.95
16	Di pa	9.82	6.43	318.13	48.83	682.50	148609.68
11	Co bo	6.75	6.75	264.00	29.18	407.35	55676.89
6	He pa	3.68	3.22	225.00	6.57	52.35	3460.98
5	Al ma	3.07	6.84	336.00	21.79	250.87	
2	Yu fi	1.23	17.65	210	0.72	496.60	
2	Op li	1.23		160	4.72		
1	Bu la	0.61	5.7	300	4.3	25.8	
1	Co ho	0.61	5.7	250	1.7	25.8	
1	Po an	0.61	3.2	110	0.3	8.0	
164		100.6	5.95	232.2	298	3611	432624

El sitio 43 llamado "Maguiras N" cuenta con un número total de 380 individuos de 16 diferentes especies, de las cuales a 9 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 1.08010557, con un área basal de 7197.3 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 465.63 m<sup>2</sup> que equivale a 145 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 243.6 y 4.21.

# I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. cm <sup>3</sup>
203	He pa	53.42	3.26	241.72	132.47	2558.84	404573.6
82	Co bo	21.58	6.22	251.34	213.25	3200.37	442077.6
19	Ac rig	5	2.21	190.53	4.64	78.71	7616.08
13	Fo ang	3.421	1.98	176.92	13.39	43.90	
12	Pi pa	3.158	4.71	341.67	12.40	245.08	57536.82
9	Ac be	2.368	4.71	330.56	22.02	159.82	30935.65
6	Be my	1.579	1.97	223.33	3.80	20.91	
6	Co hoo	1.579	7.08	300.00	19.92	318.55	44614.89
6	Di pa	1.579	5.75	293.33	13.99	173.28	28211.34
6	Za fa	1.579	2.82	253.33	5.03	39.25	5900.25
5	Ka hu	1.316	1.48	142.00	1.02	8.69	
4	Ra rha	1.053	2.63	165.00	2.25	33.97	
3	Ey po	0.789	4.70	336.67	4.41	54.61	
3	Op lin	0.789		156.67	3.73		
2	Pro lee	0.526	11.65	315.00	12.19	258.15	58639.64
1	Ma gla	0.263	2.00	180.00	1.13	3.14	
380		100	4.21	243.63	465.63	7197.28	1080106

El sitio 45 llamado "Maguiras Sur" cuenta con un número total de 417 individuos de 15 diferentes especies, de las cuales a 6 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en es de 0.21990577 m<sup>3</sup> con un área basal de 2069.7 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 310.2 m<sup>2</sup> que equivale al 97 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 162.71 y 2.05

# I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. cm <sup>3</sup>
170	Ac be	40.8	1.89	171.35	420.89	604.20	69780.32
69	Ac ir	16.5	2.48	173.48	215.06	441.62	41637.40
63	Za fa	15.1	2.30	146.56	173.65	308.90	30523.7
40	Co bo	9.6	3.29	144.38	175.48	459.13	47038.0
18	Pi pa	4.3	3.05	254.44	122.13	165.37	30029.4
16	Op le	3.8		107.81	82.63		
12	croton	2.9	1.25	124.58	9.40	16.63	
9	Ra rha	2.2	1.81	168.33	14.50	24.81	
8	Fo an	1.9	1.63	177.50	9.57	19.71	
7	Amarillo	1.7	1.43	152.14	6.45	12.39	
1	Di te	0.2	2.80	260.00	2.41	6.16	896.9
1	Ka hu	0.2	2.70	145.00	2.54	5.73	
1	Le fru	0.2	1.00	110.00	0.71	0.79	
1	Ac wri	0.2	2.10	225.00	4.52	3.46	
1	Co ho	0.2	1.0	80.0	1.0	0.8	
417			2.05	162.71	310.2	2069.7	219905.7



El sitio 46 llamado "Maguiras S-E-S" cuenta con un número total de 566 individuos de 20 diferentes especies, de las cuales a 10 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.66939127, con un área basal de 5784.5 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 610.22 m<sup>2</sup> que equivale al 191 %. los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 214 y 4.67

# I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. cm <sup>3</sup>
149	Fo an	26.33	1.67	140.34	136.17	365.13	
94	Ac ir	16.61	3.03	257.18	131.19	866.55	140651.74
58	Amy te	10.25	1.53	132.50	24.56	119.47	
56	Ce pa	9.89	1.71	150.16	19.16	182.00	17198.20
51	Cas te	9.01	2.01	156.18	50.79	187.88	
40	Col 12	7.07	1.99	161.38	20.85	139.27	
30	Za fa	5.30	2.10	184.00	19.77	126.66	16020.23
21	Pi eb	3.71	7.90	328.10	65.53	1570.7	281132.09
18	Di te	3.18	6.69	285.83	67.42	941.43	182296.70
13	Co bo	2.30	3.75	165.00	21.65	192.94	19759.82
10	Ac wri	1.77	1.50	171.00	4.32	19.32	
8	Po an	1.41	2.43	121.88	2.20	39.12	2520.53
4	Ce ma	0.71	3.55	217.50	6.51	46.51	
4	Le fru	0.71	2.48	142.50	2.49	22.08	
3	Co ho	0.53	1.73	246.67	13.69	7.96	4117.66
2	Yu fi	0.35	16.95	315.00	1.29	550.57	
2	Ka hu	0.35	1.15	112.50	0.80	2.08	
1	Di pa	0.18	7.80	200.00	4.71	47.78	5196.65
1	Pi pa	0.18	2.30	240.00	0.87	4.15	497.66
1	Pro le	0.18	21.20	550.00	16.26	352.99	
566		100	4.67	213.88	610.22	5784.6	669391.27

El sitio 56 llamado "La Reforma" cuenta con un número total de 566 individuos de 14 diferentes especies, de las cuales a 7 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en  $m^3$  es de 0.932401, con un área basal de 7862.95  $cm^2$  y su cobertura total de 579  $m^2$  que equivale al 181 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 189 y 4.0.

#I	Spp	%	D1/2	A1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. dm <sup>3</sup>
236	Fo an	41.70	2.17	203.90	117.49	968.38	
83	Ra rha	14.66	2.93	195.78	42.17	663.80	
69	Pi pa	12.19	4.29	311.30	90.65	1161.11	239870.52
56	Co bo	9.89	8.01	236.61	213.78	3411.21	423814.57
50	Ac rig	8.83	2.68	209.00	32.24	339.53	39317.34
18	Be my	3.18	1.67	140.56	6.80	42.49	
14	Op lin	2.47		177.86	27.15		
11	Za fa	1.94	1.66	164.55	6.90	28.22	3240.63
10	Ce pa	1.77	2.22	196.00	6.30	46.57	5409.08
9	Di pa	1.59	10.57	314.44	32.91	1070.67	220648.65
7	Ey po	1.24	1.60	175.71	1.91	15.38	
1	Po an	0.18	1.10	100.00	0.10	0.95	100.88
1	Yu fi	0.18	12.00	120.00	0.24	113.10	
1	Ci be	0.18	1.40	100.00	0.71	1.54	
566		100	4.02	188.98	579.34	7862.95	932401.66

El sitio 59 llamado "El Perico S-E-2" cuenta con un número total de 142 individuos de 11 diferentes especies, de las cuales a 8 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.20213842, con un área basal de 1398.16 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 147.95 m<sup>2</sup> que equivale al 46 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 200.46 y 2.88.

#I	Spp	%	P. diám	Prom. alt	Cobm2	G. cm2	Vol. dm3
49	Ac rig	34.51	3.27	241.22	43.11	441.01	55313.4
22	Di te	15.49	2.30	164.55	15.29	104.54	10546.9
17	Ac fa	11.97	5.17	338.82	39.70	489.99	96635.1
15	Ce pa	10.56	2.65	220.67	20.67	106.44	11950.0
9	Za fa	6.34	1.86	181.11	7.08	26.16	2793.1
7	Ac sch	4.93	3.57	225.71	5.06	89.08	11909.2
6	Ziz ob	4.23	1.70	121.67	1.10	13.84	
5	Di pa	3.52	3.10	232.00	6.30	38.62	4998.4
5	Ka hu	3.52	2.34	136.00	0.61	32.04	
4	Co ho	2.82	3.85	230.00	8.56	48.21	7992.1
3	Ma gla	2.11	1.87	113.33	0.48	8.25	
142		100.0	2.88	200.46	147.9	1398.1	202138.4

El sitio 61 llamado "Maguiras N-E-N" cuenta con un número total de 265 individuos de 15 diferentes especies, de las cuales a 8 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.477165.48, con un área basal de 7257.61 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 330.19 m<sup>2</sup> que equivale al 103 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 211 y 3.72.

#I	Spp	%	D 1/2	A 1/2	Cobm2	G. cm2	Vol.dm <sup>3</sup>
73	Ac rig	27.55	2.68	225.41	56.15	492.60	56628.86
58	Pi pa	21.89	3.32	261.38	53.24	592.74	102615.1
50	Fo ang	18.87	2.41	118.20	46.56	265.62	
28	Zan fa	10.57	2.34	195.93	35.30	143.17	17127.7
14	Op lin	5.28		159.29	28.20		
13	Co bo	4.91	6.72	214.62	33.14	579.89	64042.18
8	Po an	3.02	5.95	160.00	4.52	608.28	60078.90
5	Yu fil	1.89	29.50	488.00	11.54	3824.76	
4	Cas te	1.51	2.47	175.00	5.09	24.59	
3	Ce pa	1.13	1.32	190.00	2.22	4.12	521.20
2	Co ho	0.75	7.96	340.00	12.02	100.90	14422.95
2	Par ac	0.75	7.16	465.00	14.02	105.44	
2	Ra rha	0.75	2.71	200.00	1.02	11.94	
2	Kar hu	0.75	0.72	160.00	2.08	0.82	
1	Pro lae	0.38	25.30	550.00	25.07	502.73	161728.6
265	TOTAL	100	3.72	211.19	330.2	7257.61	477165.5

El sitio 68 llamado "F.C.F." cuenta con un número total de 957 individuos de 18 diferentes especies, de las cuales a 7 de ellas se les pudo determinar su volumen. El volumen del sitio en m<sup>3</sup> es de 0.53642307, con un área basal de 5902.16 cm<sup>2</sup> y su cobertura total de 480.44 m<sup>2</sup> que equivale al 150 %. Los promedios de altura y diámetro de los individuos del sitio en cm es 2005 y 3.26.

# I	Spp	%	D.1/2	Alt1/2	Cobm2	G. cm2	Vol. dm <sup>3</sup>
181	Ca te	18.9	1.83	164.75	75.89	565.36	
172	He pa	18.0	3.31	259.15	90.29	1802.35	198717.92
157	Ac be	16.4	2.52	212.40	89.60	1040.95	95189.53
155	Fo an	16.2	1.83	165.25	71.06	434.07	
114	Ac rig	11.9	3.03	253.07	65.57	992.98	138192.15
98	Am te	10.2	1.42	119.62	16.83	162.44	
18	Ce pa	1.9	3.72	275.56	25.37	259.67	40912.94
15	Go hy	1.6	2.57	145.45	8.78	95.29	
11	Za fa	1.1	3	193.64	7.66	112.69	18970.47
11	Ey po	1.1	3.10	279.09	9.06	91.15	
8	Ci be	0.8	1.55	153.75	1.89	15.87	
6	Ra ra	0.6	2.27	153.33	0.73	26.34	
3	Pi pa	0.3	5	363.33	3.34	59.52	12930.12
2	Pi eb	0.2	10.60	305.00	9.35	185.54	31509.93
2	Ma gla	0.2	2.8	170	1.5	12.3	
2	Ca me	0.2	2.05	235.00	1.76	6.92	
1	Am ma	0.1	1.1	0.2	0.1	1.0	
1	Le fru	0.1	7	240	1.65	38.48	
957		100.0	3.26	204.92	480.44	5902.88	536423.07

## Anexo 3

## Listado florístico de especies encontradas en los sitios

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR	AUTOR
BORAGINACEAE	<i>Cordia boissieri.</i>	Anacahuita	D C
	<i>Opuntia lindehineri</i>	Nopal	
EBENACEAE	<i>Diospyros palmeri</i>	Chapote oscuro	Scheele
	<i>Diospyros texana</i>	Chapote blanco	Scheele
EUPHORBIACEAE	<i>Bernardia myricafolia</i>	Oreja de ratón	Scheele Wats.
	<i>Croton. torreyanus</i>	Salvia	Muell. Arg.
LEGUMINOSAE	<i>Acacia berlandieri</i>	Guajillo	Benth.
	<i>A. farnesiana</i>	Huizache	(L.) Willd.
	<i>A. rigidula</i>	Chaparro prieto	Benth.
	<i>A. schaffneri .</i>	Huizache chino	(Wats.) Herm.
	<i>A. wrightii</i>	Uña de gato	Benth.
	<i>Caesalpinia mexicana</i>	Árbol del potro	Gray
	<i>Cercidium macrum</i>	Palo verde	Johnst.
	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	Vara dulce	(Ort.) Sarq.
	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Retama	L.
	<i>Pithecellobium ebano (</i>	Ebano	Berlandier .
	<i>Pithecellobium pallens</i>	Tenaza, huajillo	(Benth.) Standl.
	<i>Prosopis laevigata</i>	Mezquite	(Willd.) Johnst.
LILIACEAE	<i>Yucca filifera</i>	Palma china, pita	Chab.
OLEACEAE	<i>Forestiera angustifolia</i>	Panalero	Torr.
RHAMNACEAE	<i>Colubrina gregii.</i>	Manzanita	S. Wats
	<i>Condalia hookeri</i>	Brasil	M. C. Jonhst.
	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Coyotillo, tullidora	(R. & S.) Zucc.
	<i>Ziziphus obtusifolia (</i>	Abrojo	Torr. y Gray)
RUBIACEAE	<i>Randia rhagocarpa</i>	Crucillo	Standl.
RUTACEAE	<i>Amyris madrensis</i>	Barreta china	Wats.
	<i>Amyris texana</i>	Barretilla	(Buckl.) Wils.
	<i>Helietta parvifolia</i>	Barreta	(Gray) Benth.
	<i>Zanthoxylum fagara</i>	Colima,	(L.) Sarg.
SAPOTACEAE	<i>Bumelia lanuginosa</i>	Coma	(Michx.) Pers.
SIMAROUBACEAE	<i>Castela texana</i>	Bisbirinda,	(T. & G.) Rose
ULMACEAE	<i>Celtis pallida</i>	Granjeno	Torr.
	<i>Citharexylum berlandieri</i>	Árbol del pollo	Robins.
ZYGOPHYLLACEAE	<i>Porlieria angustifolia</i>	Guayacán	(Engelm.) Gray

