

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



**“ESTRUCTURA ESPACIAL Y RELACIONES ENTRE CARACTERISTICAS  
DEL SUELO Y VARIABLES DASOMETRICAS EN ECOSISTEMAS  
FORESTALES DEL SUR DE NUEVO LEÓN”**

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

**REYNA IVONE REYES MARTÍNEZ**

DICIEMBRE 2010

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

**"ESTRUCTURA ESPACIAL Y RELACIONES ENTRE  
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y VARIABLES DASOMÉTRICAS EN  
ECOSISTEMAS FORESTALES EN EL SUR DE NUEVO LEÓN"**


TESIS DE MAESTRÍA

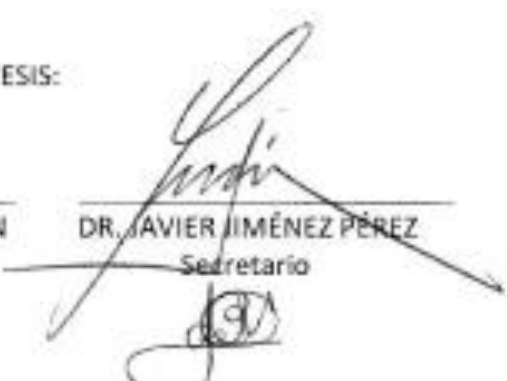
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS FORESTALES


PRESENTA:


**REYNA IVONE REYES MARTÍNEZ**

COMITÉ DE TESIS:

  
\_\_\_\_\_  
DR. OSCAR ALBERTO AGUIRRE CALDERÓN  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
DR. JAVIER JIMÉNEZ PÉREZ  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
DR. ENRIQUE JURADO YBARRA  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ JAVIER CORRAL RIVAS  
Asesor Externo

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma De Nuevo León y a la propia Universidad por darme la oportunidad de realizar mis estudios.

Al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Proyecto: 71447, por el apoyo financiero para el desarrollo del presente trabajo.

Al Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología Unión Europea-México (FONCICYT, proyecto: 92739) por propiciar la colaboración entre las instituciones involucradas en este trabajo.

De manera particular agradezco al Dr. José Javier Corral Rivas por su dirección, paciencia, entrega, y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis.

Finalmente, agradezco de manera especial, con mucho amor y cariño a mi madre, de quien siempre he recibido su apoyo incondicional en cada proyecto que emprendo en mi vida. Señora Emma Beatriz Martínez Delgado, gracias por todo...

## DEDICATORIA

*A mi Dios Jehová, porque sé que todas las metas en mi vida las logro sólo porque su bondad inmerecida me lo permite.*

*A mi esposo, César Humberto Barraza Avila por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto. Sin su apoyo no me habría sido posible alcanzar esta meta, es por eso que este trabajo es también el suyo...*

*Ivone Reyes*

# ÍNDICE

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METAS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. HIPÓTESIS</b> .....	<b>13</b>
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTRUCTURAL</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2. EL RECURSO SUELO</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.1. TIPOLOGÍA DEL SUELO</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.2. MORFOLOGÍA DEL SUELO</b> .....	<b>23</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.1. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS SITIOS</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS SITIOS</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3.3. TOMA DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.4. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.5. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO</b> .....	<b>36</b>
<b>4.4. CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4.1. MÉTODO DE CORRECCIÓN DE BORDE UTILIZADO</b> .....	<b>37</b>
<b>4.4.2. NÚMERO DE ÁRBOLES POR HECTÁREA</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4.3. ÁREA BASAL POR HA</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.4. ALTURA MEDIA</b> .....	<b>39</b>

<b>4.4.5. ALTURA DOMINANTE</b>	<b>39</b>
<b>4.4.6. DIÁMETRO MEDIO</b>	<b>40</b>
<b>4.4.7. VOLUMEN POR HA</b>	<b>40</b>
<b>4.5. DIVERSIDAD DE ESPECIES</b>	<b>41</b>
<b>4.6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL</b>	<b>42</b>
<b>4.7. DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL</b>	<b>44</b>
<b>4.8. ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA</b>	<b>47</b>
<b>4.9. COVARIACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS Y DE SUELO</b>	<b>48</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>50</b>
<b>5.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS</b>	<b>50</b>
<b>5.2. DIVERSIDAD DE ESPECIES</b>	<b>52</b>
<b>5.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL</b>	<b>54</b>
<b>5.4. DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL</b>	<b>56</b>
<b>5.5. VALOR DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA</b>	<b>59</b>
<b>5.6. MORFOLOGÍA DEL SUELO</b>	<b>60</b>
<b>5.6.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO</b>	<b>60</b>
<b>5.6.2. RELACIONES SIGNIFICATIVAS</b>	<b>61</b>
<b>6. DISCUSIÓN</b>	<b>64</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1 Expresiones matemáticas de los Índices utilizados en este trabajo -----	47
2 Distribución espacial, número de árboles ( $N/ha$ ), área basal en $m^2$ ( $G/ha$ ) de 12 especies encontradas en los cinco sitios de observación de 50x50m -----	51
3 Resultados del índice de Shannon encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos -----	52
4 Resultados del índice de mezcla de especies de Gadow ( $Mi$ ) encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos ----	53
5 Resultados del índice de uniformidad de Gadow ( $Wi$ ) encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos -----	54
6 Resultados del índice de información direccional de Corral-Rivas ( $Ri$ ) ---	55
7 Resultados del índice de diferenciación diamétrica ( $TDi$ ) y de altura ( $THi$ ) estimados para cinco sitios permanentes de investigación forestal y de suelos en el Sur de Nuevo León -----	56
8 Valores medios estimados para el índice de dominancia ( $Ui$ ) en cinco sitios permanentes de investigación forestal y de suelos en el Sur de Nuevo León -----	58
9 Relación de las variables que determinaron el valor de importancia de las especies arbóreas encontradas en los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos establecidos en el Sur de Nuevo León -	59
10 Características del suelo de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos establecidos en el Sur de Nuevo León -----	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Un suelo forestal típico consta de cuatro horizontes: una capa orgánica (O); una zona de lixiviación (A); una zona de acumulación (B) y el material parental no intemperizado (C). Las raíces penetran a varias profundidades según la especie arbórea de que se trate -----	25
2 Ubicación del área de estudio -----	29
3 Paisaje de los sitios de estudio -----	31
4 Esquema general de la forma y tamaño de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelo -----	33
5 Representación del sistema de muestreo utilizado en la ubicación de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos -----	34
6 Lista de variables medidas en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelo -----	35
7 Ilustración de la toma de muestras de suelo dentro de cada sitio -----	36
8 Representación esquemática del Índice de Mezcla de especies de Gadow, utilizando el muestreo estructural de cinco árboles -----	42
9 Representación esquemática del índice de Información de Corral-Rivas -----	44
10 Posibles valores del Índice de Dominancia considerando cuatro vecinos y un árbol de referencia <i>i</i> -----	46
11 Distribución observada de los valores del Índice de Mezcla de especies en los sitios de observación -----	53
12 Muestra la distribución observada de los valores del Índice de Mezcla de especies de Gadow para la especie <i>Pinus teocote</i> , presente en los cinco sitios de muestreo -----	54
13 Muestra la distribución observada de los valores del Índice de Uniformidad en los sitios de observación -----	55



14	Muestra la distribución observada de los valores del Índice de Diferenciación en diámetro en los cinco sitios de muestreo -----	57
15	Muestra la distribución observada de los valores del Índice de Diferenciación en altura en los cinco sitios de muestreo -----	57
16	Muestra la distribución observada de los valores del Índice de Dominancia en los cinco sitios de muestreo -----	59
17	Relación entre la altura mínima del arbolado (mts) y la materia orgánica en el suelo encontrada en los cinco sitios de muestreo en el Sur de Nuevo León -----	62
18	Relación entre el porcentaje de limo en el suelo y el número de árboles por hectárea encontrada en los cinco sitios de muestreo en el Sur de Nuevo León -----	63

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques del Estado de Nuevo León son de los de mayor importancia ecológica y económica dentro de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, debido al manejo inadecuado de sus recursos han presentado en los últimos años una degradación progresiva de los mismos. Los aprovechamientos forestales, el cambio de uso de suelos forestales a agrícolas y el sobrepastoreo han traído como consecuencia la disminución de la biodiversidad, una mayor vulnerabilidad a los incendios, la erosión y pérdida del suelo, entre otros.

Una forma de conservar la biodiversidad del sistema radica en el manejo adecuado de su estructura arbórea, ya que está directamente relacionada con el hábitat de la flora y fauna, con la estabilidad de los factores bióticos y abióticos, y con los beneficios directos (productos) e indirectos (fijación de carbono, protección del suelo, conservación de mantos acuíferos, etc.) del lugar (Weber, 2002).

Hoy, con el fin de garantizar un manejo sustentable de los ecosistemas es necesario realizar entre otros aspectos una caracterización de su diversidad estructural, pues ésta permite entre otras cosas, observar tanto los procesos de sucesión natural como los provocados por actividades antropogénicas, y así definir las actividades que deben seguirse en el manejo del bosque (Jiménez *et al.*, 2001).

La estructura de un ecosistema es el resultado de los tratamientos silvícolas que han sido aplicados en el pasado a los bosques considerados en su mayoría como mixtos e irregulares, por lo que es un excelente indicador de la biodiversidad del mismo (Corral-

Rivas *et al.*, 2005). Además, conocer las características estructurales del bosque permite mantener su diversidad biológica mediante la adecuada selección de sistemas de planeación forestal.

En éste trabajo, se realiza una descripción de la estructura de los ecosistemas forestales del Sur de Nuevo León mediante el análisis de tres componentes importantes: diversidad de especies, estructura dimensional y distribución espacial. Asimismo, el trabajo incluye un análisis de la relación entre las diferentes características y componentes del suelo con variables dasométricas de los sitios permanentes de muestreo. La información generada en este trabajo puede ser utilizada en la definición de la línea base para el establecimiento de un esquema formal de monitoreo del efecto que produce el manejo forestal sobre la estructura arbórea del bosque y el recurso suelo.

## **2. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METAS**

### **2.1. OBJETIVOS**

#### **2.1.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✧ Caracterizar la diversidad estructural de sitios permanentes de investigación forestal en ecosistemas forestales del Sur de Nuevo León.

#### **2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✧ Describir la diversidad y mezcla de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial del estrato arbóreo de los ecosistemas.
- ✧ Estimar la abundancia, dominancia, frecuencia e índice de importancia relativa para cada una de las especies arbóreas registradas dentro de los sitios.
- ✧ Generar información útil sobre la diversidad estructural para la toma de decisiones respecto al manejo forestal de los ecosistemas.
- ✧ Investigar posibles relaciones o asociaciones entre los elementos del suelo estudiados y los parámetros dasométricos del rodal.

## **2.2. HIPÓTESIS**

- ✧ La estructura de los ecosistemas forestales en el Sur de Nuevo León, puede ser determinada a través del uso de índices estructurales basados en las características de una vecindad o grupo de individuos.
  
- ✧ Los parámetros ecológicos: abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia permiten identificar las especies arbóreas con el mayor peso ecológico dentro de cada unidad de manejo.
  
- ✧ Existen asociaciones significativas entre los elementos del suelo y los parámetros dasométricos del rodal.

### 3. ANTECEDENTES

Un ecosistema forestal está formado por el conjunto funcional de flora, fauna, suelo, recursos hídricos, etc. y su interacción entre sí y con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados; y forman lo que se denomina como “estructura del ecosistema” (SEMARNAT, 2007).

La estructura de una masa forestal, es el patrón característico de ubicación o distribución espacial de los árboles en un tiempo dado, el cual puede experimentar modificaciones a través del tiempo por factores intrínsecos y/o extrínsecos (Rivero *et al.*, 1990).

En los trabajos realizados para describir las diferentes características de las masas forestales se ha concluido que la estructura es uno de los aspectos más importantes de estudiar y es modificable a través de las intervenciones silvícolas y fenómenos naturales que se puedan presentar en un momento determinado (Del Río *et al.*, 2003; Corral Rivas *et al.*, 2005).

Solo pocos estudios realizados en ésta materia se han dirigido a los ecosistemas mixtos multicohortales, los cuales han cobrado particular importancia para fines de conservación e investigación en el manejo de recursos forestales. Tales ecosistemas presentan una estructura específica, dimensional y espacial diversa, lo que permite la coexistencia de fauna y flora silvestres ocupando diferentes nichos (Thomasius y Schmidt, 1996).

Ibáñez *et al.*(1989) realizaron un análisis de los efectos de las interacciones de competencias y cómo éstas repercuten en la estructura de las masas forestales, donde encontraron que los individuos de la misma especie tienden a distribuirse a lo largo de la

superficie que ocupan, entrando en competencia sólo con especies diferentes cuando las copas logran traslaparse.

Lencinas *et al.* (2001) realizaron un trabajo que tuvo por objetivo los cambios de los patrones de distribución espacial de los árboles de los bosques homogéneos y heterogéneos de *Nothofagus pumilio* en Argentina, donde obtuvieron como resultados para los bosques homogéneos una distribución al azar y para los bosques heterogéneos una distribución de agregados.

Corral-Rivas *et al.* (2005) mencionan que las características dasométricas y estructurales del estrato arbóreo constituyen un buen indicador de la diversidad del sistema y obtuvieron en los resultados además, que las cortas selectivas modificaron de manera significativa la diversidad estructural de un rodal de bosque mesófilo de montaña, en la reserva de la biosfera "El Cielo", Tamaulipas, México.

Solís *et al.* (2006), realizaron un trabajo para evaluar el efecto de los tratamientos silvícolas sobre la composición y estructura de la vegetación en la Sierra de la Candela, Tepehuanes, Durango; el análisis se realizó comparando dos sitios de observación, uno con antecedentes de aprovechamiento y el otro sin intervenciones; los resultados obtenidos para el sitio con manejo forestal, muestran una disminución aproximada en la densidad de un 50%, un aumento en el índice de diversidad de especies, y con relación a la distribución espacial cambia de aleatoria a regular, presentando además una tendencia al aumento en el diferencial dimensional.

De la Cruz (2006) citado por Luján (2009), describe algunas funciones que se pueden realizar si se cuenta con las coordenadas de cada árbol. El análisis más común de los patrones espaciales de puntos consiste en un test de aleatoriedad a todas las escalas.

La forma más fiel de reflejar la estructura espacial de una población, comunidad, o de cualquier fenómeno ecológico de naturaleza discreta es la representación cartográfica de todos los elementos del mismo en una región geográfica concreta. En muchas ocasiones, dependiendo de la escala de estudio, tales elementos pueden describirse aceptablemente mediante sus coordenadas espaciales  $(X, Y)$ , generándose así un conjunto de datos que recibe el nombre de patrón espacial de puntos (Diggle, 2003).

En el caso de los trabajos elaborados para describir las posibles relaciones entre las características y propiedades de los suelos con las masas forestales—aunque son escasos— se ha concluido que existen correlaciones estrechas entre los dos parámetros que deben considerarse al hacer una intervención en el bosque.

Arbelo *et al.* (2009) en un estudio sobre la distribución y variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de los suelos del Parque Nacional del Teide (Islas Canarias), encontraron que los niveles de algunos de los elementos presentes en el suelo (P, Ca y Mg) pueden constituir un limitante para el desarrollo de la vegetación.

Díaz-Raviña *et al.* (2009) citado por Escobedo (2009), en el trabajo de Caracterización bioquímica y microbiológica de suelos forestales con distintos tratamientos silvícolas confirmaron la sensibilidad de dichos parámetros para detectar los cambios producidos en la calidad del suelo como consecuencia del manejo silvícola y su utilidad potencial en la toma de decisiones para la gestión sostenible del suelo forestal.



### 3.1. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTRUCTURAL

El conjunto de elementos presentes en el bosque, su rango de variación y la abundancia relativa de cada uno de ellos, determinan la diversidad del mismo. El estudio de las especies arbóreas presentes, las características del medio físico, la historia de la masa y el tratamiento silvícola del lugar son elementos indispensables dentro del análisis de diversidad estructural de un ecosistema (Del Río *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005).

De los elementos que integran la estructura de un ecosistema forestal, el arbolado constituye el más importante; características de la masa como: la variación de especies, el diámetro medio, la distribución diamétrica y en altura, la densidad y la competencia entre individuos originan la presencia de diferentes estructuras por lo que deben tomarse en cuenta en un estudio de este tipo (Del Río *et al.*, 2003).

Según Gadow y Hui (1999) la estructura de un rodal se puede describir mediante tres características de la masa: posición o distribución espacial, diversidad y mezcla de especies y diferenciación, tanto vertical como horizontal.

Los índices empleados en la caracterización de la estructura de los ecosistemas forestales permiten una mejor reproducción de las condiciones de los mismos en un momento determinado y de su evolución en el tiempo (Gadow *et al.*, 1998). Estos índices deben considerarse adicionalmente a las variables dasométricas empleadas de manera convencional (diámetro y altura media, área basal, volumen, edad, densidad, etc.), a fin de lograr una mejor descripción de los rodales.

La caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias

antropogénicas o procesos de sucesión natural. El atributo estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen. En este contexto destacan principalmente la estructura de especies, la estructura espacial y la estructura dimensional de los ecosistemas (Gadow y Hui, 2002).

#### **a) DIVERSIDAD DE ESPECIES**

Desde el punto de vista de diversidad estructural interesan dos aspectos importantes: la riqueza o variedad de especies, así como las proporciones de cada una de ellas en el rodal y el grado de mezcla o como se reparten las diferentes especies en el espacio.

La diversidad de especies es uno de los aspectos más relevantes en el estudio de la biodiversidad; sin embargo, al estudiar la diversidad estructural de una masa forestal adquiere mayor interés el grado de mezcla, ya que con frecuencia el estrato arbóreo de los sistemas forestales no suele presentar un número elevado de especies (Del Río *et al.*, 2003).

Los índices utilizados para medir éste atributo de la vegetación se basan en la presencia y proporción de las distintas especies en el ecosistema, así como su grado de mezcla.

#### **b) DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

La distribución espacial de los árboles muestra si el patrón de posicionamiento de los árboles sobre el terreno es regular, aleatorio, se tienden a agrupar o es una mezcla de estas situaciones (Gadow y Hui, 1999; Pommerening, 2002) y está condicionada, por las

relaciones entre individuos (competencia, asociación), las estrategias de regeneración de las diferentes especies y las intervenciones silvícolas que se realizan en el rodal.

De la gran cantidad de índices destinados para describir la distribución o posicionamiento espacial de los árboles, resalta el sistema que se basa en el vecino más cercano, ya que permite caracterizar la estructura que forma un árbol y sus vecinos más próximos, utilizando las variables: distancia entre cada árbol y su vecino más cercano, la distancia entre puntos aleatorios y el árbol más cercano, y la densidad del rodal. Al final, estos índices logran comparar la distancia de cada árbol al vecino más cercano en la distribución real con la distancia esperada si los árboles estuvieran distribuidos de forma aleatoria; así se puede determinar si la estructura tiende a la regularidad o a la formación de agregados.

### **c) DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL**

Una de las principales características que definen la estructura de una masa es la variación existente entre los tamaños de los árboles que la constituyen. Gadow y Fuldner (1994) propusieron el índice denominado "grado de diferenciación" para poder cuantificar ésta característica.

El grado de diferenciación es un índice que se puede aplicar a cualquier variable que represente el tamaño de un árbol tomando en cuenta si árboles del mismo diámetro o altura tienden a agruparse, se distribuyen de forma aleatoria, o bien tratan de inhibirse (Gadow, 1999; Vargas, 1999).

La diferenciación puede referirse a distintas variables (diámetro, altura y cobertura de copa), aunque para reflejar la diferenciación horizontal y vertical las variables más frecuentes son el diámetro y la altura respectivamente.

### 3.2. EL RECURSO SUELO

El término suelo se deriva del latín *solum* que significa piso o terreno. En general, se refiere a la superficie suelta de la tierra para distinguirlo de la roca sólida (Villanueva y Ortiz, 1980).

Este recurso se encuentra constantemente expuesto a la erosión -remoción del material superficial de la corteza terrestre-, ya sea por agua o por viento y dependiendo de su intensidad, constituye una de las principales fuentes de degradación del recurso, inhabilitándolo para realizar sus funciones en los ciclos biogeoquímicos y de producción vegetal (Kirby y Morgan, 1980).

El Estado de Nuevo León tiene una extensión de 64,220 kilómetros cuadrados lo que representa el 3.3% de la superficie total nacional. El 80.91% (5'196,346 hectáreas) de la superficie del estado está cubierta por recursos forestales; de esta totalidad el 6.70% (348,637 hectáreas) corresponde a bosques, el 87.41% (4'542,350 hectáreas) a matorrales, el 3.39% (176,539 hectáreas) a vegetación hidrófila y halófila, y el 26.06% (1'354,474 hectáreas) corresponde a otros tipos de vegetación (SEMARNAT, 2007).

El establecimiento de sitios permanentes (aquellas medidas al menos tres veces sucesivas) y la información que de ellos se deriva es la base más importante para obtener resultados sobre el crecimiento, producción y evolución de las masas forestales (Gadow, *et al.* 1999; Corral-Rivas *et al.* 2009).

El crecimiento de las plantas está íntimamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo. Un suelo fértil provee a la planta la cantidad de nutrientes necesaria para su óptimo desarrollo.

La determinación de la fertilidad del suelo puede obtenerse incorporando a su estudio tres conceptos importantes: capacidad, intensidad y absorción.

La capacidad de los suelos es la cantidad de elementos presentes en las diferentes fracciones del suelo (absorbido, fijado, precipitado, etc.), que está en equilibrio con el elemento en solución. La intensidad de los suelos se refiere a la concentración del elemento en el suelo que, en gran parte determina la absorción por la planta. La medida en que se repone la solución del suelo por la liberación de elementos de fracción sólida es la velocidad o movilidad del elemento en el sistema. En el caso de que la absorción de los suelos sea inferior a la velocidad de absorción por la planta se produciría una reducción en el factor de concentración del suelo. Se ha comprobado que el nivel crítico de la concentración en la solución del suelo (factor intensidad) depende de su poder amortiguador, siendo menor el nivel crítico cuanto mayor es dicho poder (Porta, *et al.*, 1994).

Dentro de los factores internos que pueden afectar la toma de nutrientes por las plantas están las características genéticas, el estado vegetativo y el estado de sanidad de ésta morfología y tipología del suelo. Existen también factores externos que influyen en menor o mayor grado en la capacidad de toma de iones por las plantas, los cuales son la temperatura del suelo, oxígeno, dióxido de carbono, luz, etc.

### **3.2.1. TIPOLOGÍA DEL SUELO**

La descriptiva de los suelos del Sur de Nuevo León se puede realizar en función de los factores medioambientales que rigen su formación.

De acuerdo con lo anteriormente indicado se presenta la siguiente síntesis sobre los suelos existentes en el área de estudio y sus características más específicas.

- ✧ *LITOSOL*: presenta un color negro o gris muy oscuro con altos contenidos de nutrientes a profundidades menores de 10 centímetros en laderas y pendientes con alto riesgo de erosión. La susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta. En algunos casos, este tipo de suelo se usa con rendimientos variables para agricultura. Sin embargo, su empleo se condiciona a suficiente agua y se limita por el peligro de la erosión.
- ✧ *REGOSOL CALCÁRICO*: los regosoles son suelos jóvenes de fertilidad variable, en los que el uso agrícola se encuentra condicionado a su profundidad y su pedregosidad. En las sierras se les encuentra un uso forestal y pecuario, con resultados variables en función de la vegetación existente; presentan una susceptibilidad variable a la erosión. Es un suelo con materia mineral sobre una capa de arcilla.
- ✧ *REDZINA*: son suelos ricos en calcio y con una capa superficial de humus. El redzina puede ser utilizado con buenos rendimientos para la siembra del henequén cuando se presenta en llanos o lomas suaves; también puede sembrarse el maíz pero con rendimientos bajos. Este tipo de suelos si se desmontan, se pueden utilizar en la ganadería con rendimientos bajos o moderados, pero con peligro a la erosión en las laderas y lomas. El uso forestal depende de la vegetación que presentan.

### 3.2.2. MORFOLOGÍA DEL SUELO

La morfología del suelo no es más que un reflejo de sus constituyentes y un indicador de su comportamiento.

Las siguientes propiedades y componentes del suelo son utilizadas para la determinación de su morfología, lo que permitirá a su vez investigar las asociaciones con las variables dasométricas de la masa forestal.

#### I. PROPIEDADES FÍSICAS:

La composición por tamaño de las partículas (granulométrica) de un suelo, es el porcentaje de material mineral en peso de cada fracción, obtenida por separación de las partículas minerales en dos o más clases por tamaño mutuamente excluyentes. Las propiedades de las partículas gruesas y finas del suelo difieren considerablemente, pero no hay una división natural marcada de ninguna clase de tamaño de partícula. Sin embargo, para propósitos prácticos se han establecido algunos límites. Comúnmente en los suelos se separan por lo menos tres clases por tamaño usualmente denominados arena, limo y arcilla (Rucks, *et al.*, 2004).

- ✧ *ARENA*: son partículas minerales sólidas de tamaño comprendido entre 2 mm y 0.02 mm. La arena es la fracción más grande del suelo, compuesta principalmente por granos de cuarzo más o menos meteorizados. La arena no tiene capacidad de agregación, de modo que sus partículas no se unen entre sí y aparecen de manera individualizada debido a que una gran proporción de arena en el suelo origina poros numerosos y relativamente grandes. Los principales minerales que

constituyen la arena son el cuarzo, los feldespatos, las micas, etc. Son visibles y se pueden observar individualmente. Tienen una relación superficie/volumen muy baja. Su capacidad de intercambio catiónico es baja. Su principal función es la composición de la matriz del suelo (Martínez, 2008).

- ✧ *LIMO*: el limo es una clase de partículas minerales de tamaño comprendido entre 0.02 y 0.002 mm. El limo está constituido por partículas de tamaño medio, fino, como el talco. Su composición química es semejante a la de la arena, y al igual que ésta, tampoco tiene capacidad de agregación. Sus partículas no forman estructura. No sufren expansión ni contracción y su relación superficie/volumen es baja ( $300 - 3000\text{m}^{-1}$ ). Su capacidad de intercambio catiónico es baja (Martínez, 2008).
- ✧ *ARCILLA*: la arcilla es la fracción más pequeña. Mientras que la arena y el limo provienen del fraccionamiento físico de la roca, la arcilla proviene de la alteración química del material original. Por lo tanto, se diferencia mineralógicamente de las anteriores fracciones por estar compuesta por minerales originados por la meteorización, que no se encuentran en las rocas sin meteorizar. Las partículas de arcilla tienen capacidad de agregación y no se comportan como granos individuales en el suelo. Su tamaño es inferior a  $2\ \mu\text{m}$  y poseen unas propiedades físicas y químicas especiales. Su relación superficie/volumen es superior a  $3000\ \text{m}^{-1}$  (Martínez, 2008).



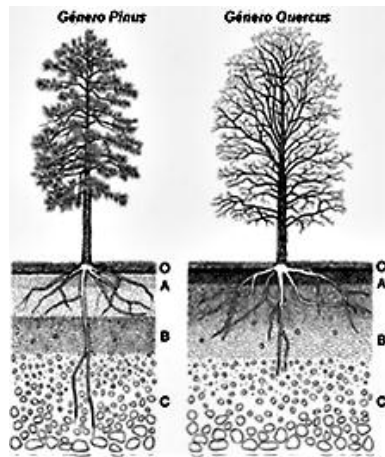


Figura 1. Un suelo forestal típico consta de cuatro horizontes: una capa orgánica (O); una zona de lixiviación (A); una zona de acumulación (B) y el material parental no intemperizado (C). Las raíces penetran a varias profundidades según la especie arbórea de que se trate.

## II. PROPIEDADES QUÍMICAS:

Además de la estructura granular, los suelos están compuestos por diferentes factores y elementos químicos que interactúan entre sí y con la vegetación para determinar las características particulares del suelo de un ecosistema forestal.

- ✧ *EL pH:* el potencial de hidrógeno (pH), es la capacidad de un suelo para intercambiar iones positivos y negativos, actividad que regula la mineralización, proceso por el cual la materia orgánica deviene en elementos minerales asimilables por la planta. El valor de pH aceptable se sitúa entre 6.5 y 7.2. A medida que nos alejamos de estos valores, la movilización de algunos elementos se ven reducidas, afectando la nutrición vegetal y provocando una merma en la producción. La manera más habitual de normalizar estos valores es mediante la utilización de "enmiendas edáficas" (Ferlini, 2005). El pH es uno de los principales responsables en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la

mayor o menor asimilabilidad de los mismos. La mayor parte de los suelos forestales se encuentran en el rango de moderado a extremadamente ácidos, como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa litter y la consiguiente lixiviación de las bases del suelo mineral superficial. Los suelos que sostienen a las coníferas tienden a ser más ácidos que los que sostienen a especies de árboles de madera dura, en parte debido a que las hojas de las coníferas y su litter tienden a tener un menor contenido de bases.

- ✧ *MATERIA ORGÁNICA*: la Materia Orgánica (M.O.) representa la acumulación de las plantas destruidas y resintetizadas parcialmente y de los residuos animales. Se compone de: los tejidos originales y sus equivalentes más o menos descompuestos y el humus, que es considerado como el producto final de descomposición de la materia orgánica. Es el elemento esencial para poder realizar todos los movimientos de minerales desde el suelo hacia la planta, siempre que la estructura del terreno sea la adecuada para que las raíces puedan desarrollar su función de absorción en condiciones óptimas (Ferlini, 2005).
- ✧ *CONTENIDO DE HUMEDAD*: el contenido de humedad de una masa de suelo es el contenido de agua del terreno que permite obtener una densidad máxima mediante su compactación (Pritchett, 1991).
- ✧ *TEMPERATURA DEL SUELO*: casi todas las radiaciones ultravioleta de longitud de onda corta son absorbidas por la atmósfera. Sin embargo, si ésta se presenta de forma clara y seca y el sol está alto, transmite la mayor parte de los rayos visibles y caloríferos. El vapor de agua absorbe muchas de las radiaciones de longitud de onda larga y las gotas de agua generalmente propagan y absorben gran parte de

las radiaciones, debido a eso llega mayor cantidad de energía radiante a la superficie de la tierra. En forma general, a medida que aumenta la temperatura del suelo también crece la toma de iones por parte de la planta. Después de los 40°C la toma comienza a disminuir. Esta relación de temperatura y absorción depende y varía según la especie. La temperatura siempre afecta al desarrollo de la planta debido a las diferencias de temperatura entre las distintas capas de los suelos y a que el suelo y la atmósfera tienen generalmente temperaturas diferentes (Rucks *et al.*, 2004).

- ✧ *COMPACTACIÓN*: se define como el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas al mismo. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente y de la resistencia del suelo a la penetración. Tiene implicaciones directas e indirectas sobre el desarrollo del arbolado, afectando principalmente el abastecimiento de agua y nutrientes a la planta. La compactación, además de limitar el desarrollo y crecimiento de las raíces, provoca en aquellas que logran penetrar, deformaciones, estrangulaciones y otras anomalías morfológicas que alteran el sistema de conducción hacia la parte aérea de la planta (Richmond y Rillo, 2006).
- ✧ *LUZ*: el proceso fotosintético que produce los sustratos orgánicos de la planta (azúcares y almidón) se debe a la presencia de la luz solar en el ambiente. Cuando hay más luz hay una mayor fotosíntesis para la fabricación de sustratos orgánicos, lo que permite un metabolismo más eficiente de las plantas, mayor respiración y obtención de energía. La toma de nutrientes va disminuyendo a medida que avanza la noche, pues hay menor cantidad de sustratos orgánicos respirables y

por lo tanto menor cantidad de energía disponible para la absorción. La toma de iones es mayor en verano porque los días son más largos (mayor cantidad de luz) y menor en el invierno (días más cortos). Esto se deduce de la relación establecida entre la luz, fotosíntesis, sustratos orgánicos, respiración, energía disponible y absorción activa de iones (Rodríguez, 1996).

✧ *CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA*: todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la presencia de riegos continuos, seguidos de evaporación y sequía. Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento del arbolado o la absorción de agua por parte de los mismos. (USDA, 1996).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en los municipios de Galeana, Aramberri y General Zaragoza, en la Región Norte de México, en el Sur del Estado de Nuevo León, dentro de la Sierra Madre Oriental, entre las coordenadas geográficas  $23^{\circ} 53'$  y  $24^{\circ} 34'$  latitud N y  $99^{\circ} 47'$  y  $99^{\circ} 58'$  longitud W, con rangos de elevación de 2,100 a 3,000 metros y altitudes máximas de hasta 3,123 msnm (Figura 2).

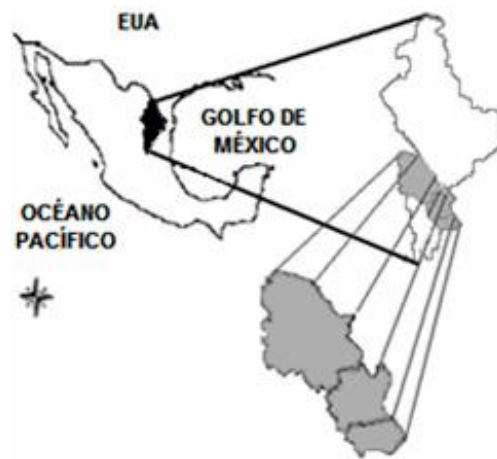


Figura 2. Ubicación del área de estudio

### 4.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### FISIOGRAFÍA

La Sierra Madre Oriental es fundamentalmente un conjunto de Sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas del Cretácico y del Jurásico Superior, entre las que predominan las calizas y en segundo término las areniscas y arcillosas. Las cumbres más altas de la Sierra sobrepasan por un buen margen los 2000 msnm y llegan cerca de los 3000 msnm. La topografía del terreno

es muy irregular, presentándose áreas planas con pendiente de 2% hasta zonas abruptas que llegan a alcanzar hasta 100%.

### **CLIMA**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973) el clima es seco, del tipo semiseco templado. La temperatura promedio anual es de 18°C; aunque en el período más cálido puede alcanzar los 35°C, y en la temporada más fría hasta -10°C. La precipitación promedio anual es de 629 mm, y su porcentaje de lluvias invernales es menor al 18% con respecto al total anual.

### **SUELO**

En general son someros y dominan los del tipo Litosol, Rendzinas y Regosol calcárico. Son suelos con profundidades menores a los 10 centímetros, pegajosos y presentes sobre las rocas calizas. Son de textura media. Posee un alto contenido de limo y su pH es alcalino (7.7). Se les representa con la fórmula: (L+R+Rc/2).

### **FAUNA**

La fauna silvestre junto con el bosque constituye una entidad biológica indivisible. La protección de los animales silvestres debe ser igual a la que se brinde a los recursos forestales. Las especies de fauna silvestre que se han encontrado en el Sur de Nuevo León son: mamíferos como el oso negro (*Ursus americanuseremicus*), gato montés (*Felis silvestrissilvestris*) y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), aves como el águila real (*Aquila chrysaetoscanadensis*), paloma encinera (*Columba fasciata*), pato real (*Anas platyrhynchos*), huilota (*Zenaida macroura*), entre otros.

## VEGETACIÓN

La vegetación nativa es discontinua, pues algunos factores del microclima tales como la exposición, el relieve y la roca madre han influido en su composición.

Los tipos de vegetación que se encuentran en el área son muy variados, predominando los chaparrales en distintos grados de asociación con bosques de clima templado y algunos matorrales. Se encuentran además, bosques puros de pino, cuyas especies dominantes son *Pinus pseudostrobus* Lindl, en las partes altas y *Pinus cembroides* Zucc., en las partes bajas; por otro lado se encuentran masas puras de *Pinus teocote* Schl., *Quercus sp.*, y pequeños manchones de *Abies vejari* mezclados con plantas de estratos inferiores. Ocurren asimismo bosques mixtos de pino–encino en diversos grados de asociación y áreas en donde se practica la agricultura y la inducción de pastizales para el ganado. La Figura 3 muestra el paisaje característico del área de estudio.



Figura 3. Paisaje de los sitios de estudio.

### **4.3. METODOLOGÍA**

#### **4.3.1. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LOS SITIOS**

El establecimiento de Sitios Permanentes de Investigación Forestal y del Suelo implicó realizar una planeación estratégica de los mismos. Por lo que se consideraron aspectos sobre las condiciones ecológicas en que habitan las especies forestales, su distribución, las especies dominantes más frecuentes, los tipos de exposiciones y las condiciones topográficas; así como las distintas clases de desarrollo de las especies en estudio. Con esta información se define un plan y las etapas importantes a considerar. Dicho plan estratégico permite anticipar los equipos y materiales así como los recursos humanos y de infraestructura necesarios para llevar a cabo el trabajo. Además, permite unificar los criterios sobre los cuales se respalda el establecimiento de los sitios permanentes.

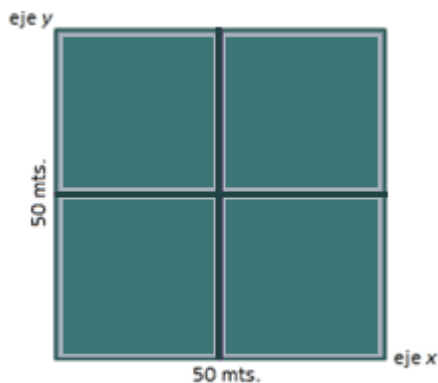
#### **4.3.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS SITIOS**

Los Sitios Permanentes de Investigación Forestal y de Suelo a instalar en una determinada región o predio deben de ser ubicados primeramente sobre el mapa forestal.

Para el establecimiento de los sitios se puso en práctica la metodología desarrollada por Corral-Rivas *et al.* (2009), cuya finalidad es ofrecer una alternativa para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del Estado de Durango y de esta manera poder monitorear los efectos del manejo forestal en bosques certificados.



La forma del sitio es cuadrada de 50x50m (2500 m<sup>2</sup>). El cuadrado esta dividido en cuatro cuadrantes numerados en el orden del sentido de las manecillas del reloj y constituyen el área donde se levanta la información respecto a variables dasométricas, ecológicas, de control, silvícolas, de regeneración natural y de suelo (Figura 4).



*Figura 4. Esquema general de la forma y tamaño de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos.*

Una vez concluida la etapa anterior se obtuvieron para todos los árboles mayores de 7.5 cm en diámetro normal, las siguientes variables: especie, diámetro a 1.30m (cm), altura total (m), su clase social según Kraft (1884) y su ubicación espacial mediante el uso de coordenadas cartesianas (X,Y).

A partir de los datos dasométricos se obtuvo para cada sitio: número de árboles por ha, área basal por ha, diámetro medio, altura media y la altura dominante siguiendo la definición de Assman (1970). Se anotaron también variables descriptivas de cada árbol, como si estaban vivos o muertos, o si presentaban alguna deformación, plaga y/o enfermedad y de qué tipo, con la finalidad de monitorear su salud.

El estudio comprendió entonces cinco sitios de investigación permanente en el Sur de Nuevo León, localizado en el sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental (Figura 5).



*Figura 5. Representación del sistema de muestreo utilizado en la ubicación de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos, establecidos en el Sur de Nuevo León.*

### 4.3.3. TOMA DE INFORMACIÓN

A continuación se expone la relación de variables medidas en la red de sitios permanentes de investigación forestal que fueron utilizados para la descripción estructural (Figura 6).

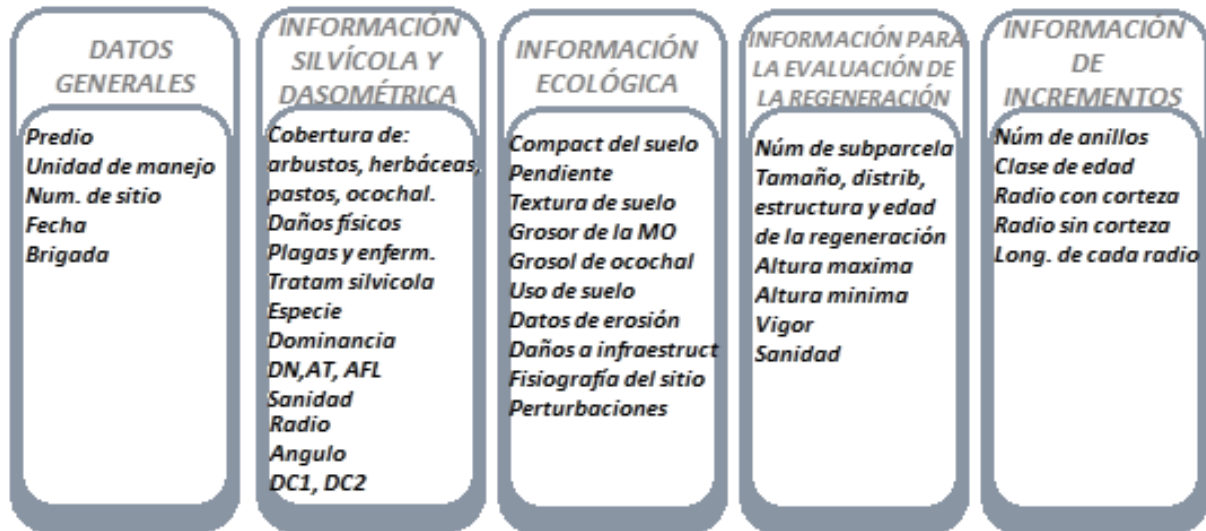


Figura 6. Lista de variables medidas en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos

### 4.3.4. ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS

Se utilizaron formatos especiales para cada tipo de información a levantar y fue procesada mediante la estimación de todos los índices utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004).

#### 4.3.5. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

En este trabajo se desarrolló la siguiente metodología para la toma de datos:

- a. En cada sitio se muestrearon 4 puntos localizados como se muestra en la Figura 7. Los puntos se situaron en la línea que une cada vértice con el centro del sitio a 17.67 metros de distancia del vértice.
- b. La profundidad del suelo se midió con una sonda en cada uno de los cuatro puntos y luego se obtuvo una media. (Se puede descartar algún punto si las profundidades son muy diferentes debido a un afloramiento rocoso).
- c. Las muestras de suelo se extrajeron con una barrena penetrando hasta los 30 cm. Las cuatro muestras se mezclaron en una bolsa, de modo que de cada sitio se obtuvo una muestra final de suelo.
- d. Después, utilizando el formato F-05 (Corral-Rivas *et al.*, 2009) se colectó la información específica del sitio para las variables relieve, drenaje, profundidad efectiva, espesor, color, textura, materia orgánica, erosión actual y susceptibilidad a la erosión.
- e. Los análisis de pH, textura y nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn, etc.) se hizo en el laboratorio, localizado en la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL.

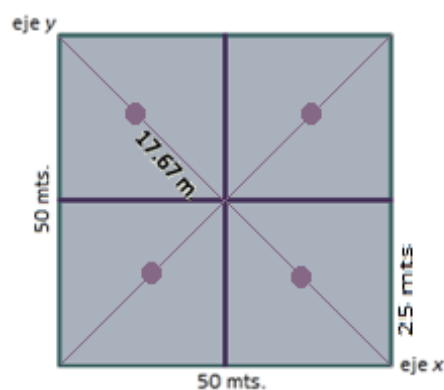


Figura 7. Ilustración de la toma de muestras de suelo dentro de cada sitio.

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN DE LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL

La caracterización de los componentes estructurales: diversidad de especies, distribución espacial y diferenciación dimensional, evaluados en este trabajo, se basó en la estimación de varios índices desarrollados para la caracterización de la diversidad estructural de bosques (Aguirre *et al.* 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2006). Las expresiones matemáticas de estos índices y sus características se muestran en el Cuadro 1.

La base para la determinación de los índices estructurales se realizó utilizando el método de muestreo conocido como "grupo estructural de los cinco árboles". Este sistema de muestreo fue desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de Göttingen, Alemania, para evaluar los atributos estructurales de los árboles que conforman una masa forestal (Gadow, 1993; Fuldner, 1995; Gadow *et al.* 2001; Aguirre *et al.* 2003; Corral-Rivas *et al.* 2006).

La estimación de los diferentes índices se realizó utilizando un programa desarrollado por Corral-Rivas *et al.* (2005) escrito en el sistema SAS (SAS Institute, 2004).

##### 4.4.1. MÉTODO DE CORRECCIÓN DE BORDE UTILIZADO

El cálculo de la mayoría de los índices analizados en este trabajo siempre estará sesgado en aquellos árboles cercanos a los bordes de los sitios, por lo que se debe aplicar un esquema de corrección por efectos de borde en la estimación de los mismos. La razón es que estos árboles son problemáticos porque sus vecinos potenciales pueden estar localizados fuera del área de interés.

Para eliminar el efecto de borde y obtener estimaciones insesgadas de las variables estructurales, el método de corrección de borde del  $n$  vecino más cercano

propuesto por Pommerening y Stoyan (2006) fue implementado en todas las rutinas de SAS usadas en los cálculos. Esta técnica de corrección de borde permite obtener estimaciones insesgadas para los valores medios de todos los índices, así como también las verdaderas distribuciones de sus valores. El principio se basa en el concepto de "minus sampling" por su término en Inglés (reducción del número de árboles de referencia) y evalúa si todos los  $n$  vecinos más cercanos a un árbol de referencia  $i$ , se encuentran verdaderamente localizados dentro de un sitio de observación y elimina aquellos individuos que se encuentran muy cerca a alguno de los bordes de algún sitio de investigación. Debido a que los cuatro vecinos más cercanos a un árbol de referencia  $i$ , normalmente se enumeran en orden ascendente de acuerdo a la distancia, en éste estudio todos los árboles de referencia cuya distancia medida al cuarto árbol era más grande que la distancia al borde más cercano fueron ignorados.

#### 4.4.2. NÚMERO DE ÁRBOLES POR HECTÁREA

La densidad expresada como el número de árboles por hectárea, se determinó a partir de los datos del número de árboles vivos e inventariables ( $Dap \geq 7.5$  cm) en cada sitio empleando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{10000 * n}{S}$$

Donde:  $N$  es la densidad en árboles por hectárea,  $S$  ( $m^2$ ) es la superficie de los sitios en proyección horizontal y  $n$  es el número de árboles vivos de los sitios.

#### 4.4.3. ÁREA BASAL POR HA

El área basal  $G$ , se calculó trasladando a valores por hectárea la suma de las secciones normales de todos los árboles inventariables presentes. Este valor engloba la sección aportada por los árboles de diámetro normal mayor de 7.5 cm y que se encontraron vivos en el momento de realizar la toma de datos.

$$G = \frac{\Pi}{4} * \sum_{i=1}^n d_i^2 * \frac{10000}{S}$$

Donde:  $G$  es el área basal ( $m^2/ha$ ),  $d_i$  el diámetro normal en  $m$  de cada árbol con las características comentadas anteriormente, y  $S$  es la superficie en proyección horizontal en  $m^2$ .

#### 4.4.4. ALTURA MEDIA

La altura media  $Hm$  se ha calculado como la media aritmética de las alturas totales de todos los árboles inventariables en cada sitio.

$$Hm = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

Donde:  $Hm$  es la altura media del sitio en  $m$ ,  $h_i$  la altura total del árbol  $i$  ( $m$ ) y  $n$  el número de árboles inventariables.

#### 4.4.5. ALTURA DOMINANTE

La altura dominante considerada es aquella que corresponde a la media de las alturas de los 100 árboles más gruesos por hectárea (Assmann, 1970). Para su determinación se emplearon los datos de los árboles dominantes medidos en cada sitio:

$$H_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} h_{0i}}{n_0}$$

Donde:  $H_0$  es la altura dominante en m.,  $h_{0i}$  es la altura del árbol dominante  $i$  y  $n_0$  es el número de árboles dominantes medidos en los sitios, cuyo valor depende de la superficie de la misma, en este estudio fue igual a 25, ya que el tamaño del sitio corresponde con un cuarto de hectárea.

#### 4.4.6. DIÁMETRO MEDIO

Diámetro que corresponde al área bisimétrica media de un rodal. En los análisis de distribución de frecuencia es la media aritmética de todos los diámetros.

$$Dm = \frac{\sum_{i=1}^n di}{n}$$

Donde:  $Dm$  es el diámetro medio de los sitios en cm,  $di$  el diámetro normal del árbol  $i$  (cm) y  $n$  el número de árboles inventariables.

#### 4.4.7. VOLUMEN POR HA

Cantidad de volumen de un árbol o masa (en metros cúbicos) estimado utilizando los modelos propuestos para el área de estudio en el programa de manejo forestal (Köppen adaptada por García, 2004).



#### 4.5. DIVERSIDAD DE ESPECIES

La diversidad de especies es un aspecto importante que debe ser considerado dentro del concepto de manejo forestal sostenible. Para evaluar la diversidad de especies en este trabajo se utilizaron los siguientes índices:

##### a. ÍNDICE DE SHANNON

El índice de Shannon (1949) aumenta con el número de especies y toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares, la formula que representa las expresiones matemáticas de este índice se puede observar en el Cuadro 1.

En este trabajo la diversidad de especies a nivel de rodal se describió a través del índice de Shannon ( $H'$ ), el cual es una medida de diversidad derivada de la teoría de la información que se fundamenta en la lógica (Magurran, 1988).

$$H'_i = -\sum p_i * \ln p_i$$

Donde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la  $i$ -ésima especie

##### b. ÍNDICE DE MEZCLA DE ESPECIES DE GADOW

La estimación del índice de mezcla de especies de Gadow  $M_i$  (Gadow, 1993; Fülde, 1995) evalúa la diversidad de especies de la vecindad de un árbol de referencia  $i$  y se define como la proporción de los  $n$  vecinos que no pertenecen a la misma especie del árbol de referencia.

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

El valor de este índice puede variar entre 0 y 1 (Figura 8). En el caso de usar cuatro vecinos el valor de  $M_i$  puede asumir 5 diferentes valores (0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1).

Valores cercanos a cero indican que las especies tienden a agruparse y no se mezclan entre ellas; por el contrario, valores cercanos a uno indican una preferencia a mezclarse.

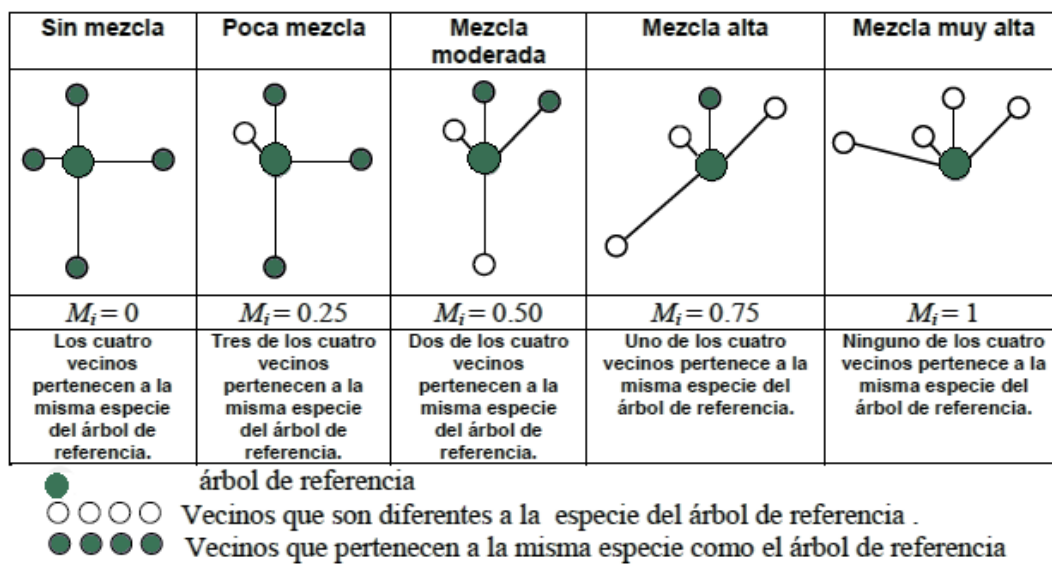


Figura 8. Representación esquemática del índice de mezcla de especies de Gadow utilizando el muestreo estructural de cinco árboles.

#### 4.6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Para evaluar la distribución espacial de los individuos en los cinco sitios, en este trabajo fueron empleados los siguientes índices para la caracterización de las masas forestales:

##### a. ÍNDICE DE UNIFORMIDAD DE GADOW

El índice de ángulos  $W_i$  se basa en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol de referencia  $i$  y su comparación con un ángulo estándar  $\alpha$ , de tal manera que considerando cuatro vecinos al árbol de referencia  $W_i$  puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones de regularidad, valores cercanos al 0.50 muestran tendencia a la aleatoriedad y aquellos próximos a 1 presentan condiciones de agrupamiento. En éste estudio se consideró un valor de referencia al

ángulo estándar  $\alpha_0$ , que se esperaría en una distribución regular =  $72^\circ$  comparado con cada  $\alpha_j$ . El índice de ángulos se expresa entonces como la proporción de ángulos  $\alpha_j$  entre los cuatro árboles vecinos, que son más pequeños que el ángulo estándar  $\alpha_0$  (Gadow *et al.*, 1998).

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

Donde:  $v_j$  es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 si el  $j$ -ésimo ángulo entre dos árboles vecinos es menor o igual al ángulo estándar  $\alpha_0$ , y 0 en caso contrario.

#### **b. ÍNDICE DE INFORMACIÓN DIRECCIONAL DE CORRAL-RIVAS**

El índice de información direccional de Corral-Rivas ( $R$ ) (Corral-Rivas *et al.*, 2010) es una nueva variable desarrollada para el análisis espacial de los árboles dentro de una determinada área. A diferencia del índice de uniformidad  $W_i$  de Gadow,  $R$  utiliza de manera distinta la información direccional dada por un árbol de referencia  $i$  y sus  $n$  vecinos más cercanos (Cuadro 1). Esta nueva variable se encuentra mejor relacionada con las ideas de la estadística direccional que  $W_i$  y por lo tanto requiere que la medición de los ángulos sea más precisa, sin embargo, al igual que  $W_i$ , no requiere de las distancias entre los árboles (Figura 9). Como en  $W_i$ ,  $R$ -regular < $R$ -aleatoria < $R$ -agrupada. El valor exacto de  $R$  para un rodal con distribución de árboles al azar es 1.8 (más exacto 1.799). Este valor fue obtenido mediante la simulación de 106 árboles y es muy cercano a una aproximación realizada para la dirección media  $E(R)$  de  $n$  vectores iniciando en un punto de referencia  $i$  y apuntando a  $n$  puntos al azar dada por la ecuación 4 en Upton y Fingleton (1985):

$$R_i = \sqrt{1 + \left( \sum_{j=2}^n \cos(\alpha_{ij}) \right)^2 + \left( \sum_{j=2}^n \text{sen}(\alpha_{ij}) \right)^2}$$

El valor de 1 aparece en la formula debido a que las direcciones de los  $j$ -ésimos árboles son tomadas a partir del árbol de referencia, por lo que solamente la medición de tres ángulos es requerida para su estimación.

Donde:  $\alpha_{ij}$  son los ángulos iniciando en el árbol de referencia  $i$  y apuntando al  $j$ -ésimo vecino en el sentido de las manecillas del reloj.

Los valores obtenidos son redondeados y ubicados en uno de los rangos establecidos, que van del 0 al 4.

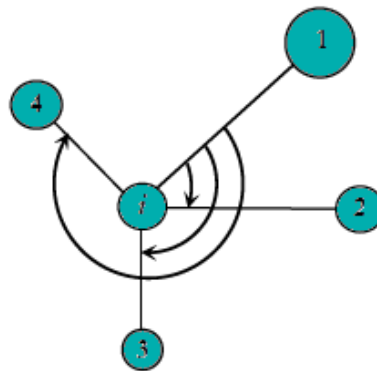


Figura 9. Representación esquemática del índice de información direccional de Corral-Rivas

#### 4.7. DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL

La última de las principales características que definen la estructura de un rodal analizadas en este trabajo es la variación existente entre el tamaño de los árboles que lo constituyen. Para evaluar este componente estructural los siguientes índices fueron estimados:

### a. ÍNDICES DE DIFERENCIACIÓN DIAMÉTRICA Y DE ALTURA

Los índices de diferenciación diamétrica ( $TD$ ) y de altura ( $TH$ ) (Gadow y Hui, 2002), fueron obtenidos al igual que otros índices de las relaciones de vecindad entre los árboles de los sitios (Cuadro 1). Una manera sencilla para el cálculo de estas variables es a través del uso del coeficiente de variación de los tamaños de los árboles que forman el grupo estructural. Para hacer compatible estas variables con el resto de los índices estructurales, se integraron cinco grupos de diferenciación dimensional de acuerdo con Gadow y Hui (2002): Escasa  $Ti = 0.00$ :  $CV = 0.05$ ; Moderada  $Ti = 0.25$ :  $0.05 < CV < 0.15$ ; Media  $Ti = 0.50$ :  $0.15 \leq CV < 0.30$ ; Alta  $Ti = 0.75$ :  $0.30 \leq CV < 0.60$ ; Muy alta  $Ti = 0.60 \leq CV$ .

$$TD_i = \frac{\text{Desviación estándar del diámetro}}{\text{diámetro medio}}$$

$$TH_i = \frac{\text{Desviación estándar de la altura}}{\text{altura media}}$$

Donde:  $TD(i)$  y  $TH(i)$  = diferenciación diamétrica y en altura del sitio  $i$

### b. ÍNDICE DE DOMINANCIA.

La dominancia de un árbol de referencia  $i$  ( $Ui$ ) se define como la proporción de los cuatro vecinos que son mas grandes que dicho árbol (Gadow y Hui, 2002). Al igual que en la mayoría de los índices los valores de esta variable varían de 0 a 1:  $Ui = 0.00$  si los cuatro vecinos son mas grandes que el árbol de referencia  $i$  (Suprimido);  $Ui = 0.25$  si tres de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (Intermedio);  $Ui = 0.50$  si dos de los vecinos son mas grandes que el árbol de referencia  $i$  (co-dominante);  $Ui = 0.75$  si uno de los cuatro vecinos es más grandes que el árbol de referencia  $i$  (dominante) y  $Ui = 1$  si ninguno de los cuatro vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (Muy

dominante). Los cinco valores de  $U_i$  deben de corresponder a las clases sociales desarrolladas por Kraft (1884) (Figura 10).

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$$

Donde:  $v_j$  es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 cuando el árbol  $j$  es más grande que el árbol de referencia  $i$ , y el valor de 0 en caso contrario.

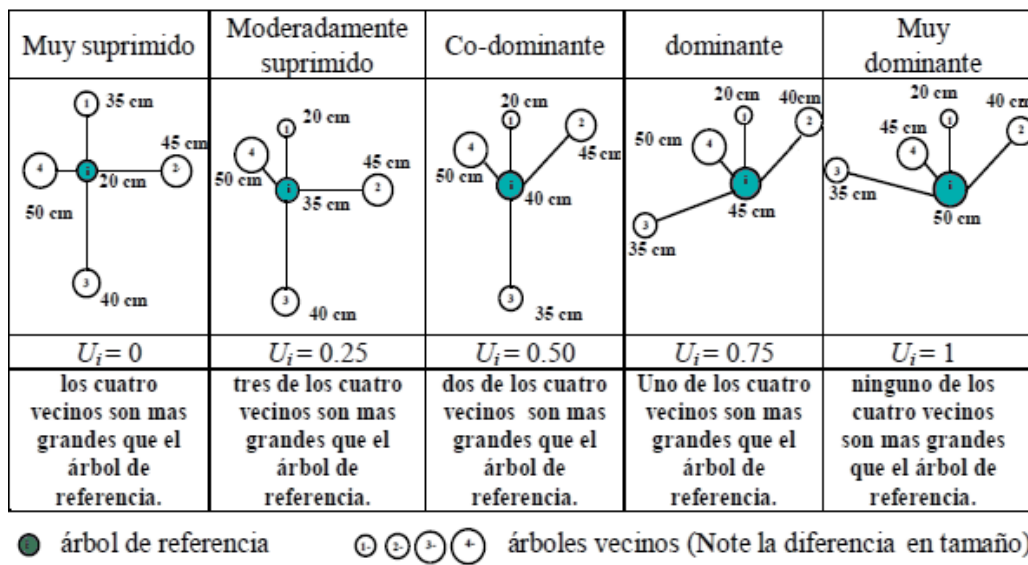


Figura 10. Posibles valores del índice de dominancia considerando cuatro vecinos y un árbol referencia  $i$ .

Cuadro1. Expresiones matemáticas de los índices utilizados en este trabajo

ÍNDICE O ECUACIÓN	FÓRMULA	DÓNDE
<b>DIVERSIDAD DE ESPECIES</b>		
ÍNDICE DE SHANNON	$H_i = -\sum p_i \cdot \ln p_i$	Donde: $p_i$ = abundancia proporcional de la $i$ -ésima especie
ÍNDICE DE MEZCLA DE ESPECIES DE GADOW	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	Donde: $v_j$ es una variable binaria discreta que asume el valor de 0 cuando el árbol $j$ es de la misma especie que el árbol de referencia $i$ , y de 1 si es de diferente especie.
<b>DISTRIBUCIÓN ESPACIAL</b>		
ÍNDICE DE UNIFORMIDAD DE GADOW	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	Donde: $v_j$ es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 si el $j$ -ésimo ángulo entre dos árboles vecinos es menor o igual al ángulo estándar $\omega$ , y 0 en caso contrario.
ÍNDICE DE INFORMACIÓN DIRECCIONAL DE CORRAL-RIVAS	$R_i = \sqrt{1 + \left( \sum_{j=2}^n \cos(\alpha_{ij}) \right)^2 + \left( \sum_{j=2}^n \text{sen}(\alpha_{ij}) \right)^2}$ El valor de 1 es debido a que las direcciones de los $j$ -ésimos árboles son tomadas a partir del árbol de referencia, por lo que solo la medición de tres ángulos es requerida para su estimación.	Donde: $\alpha_{ij}$ son los ángulos iniciando en el árbol de referencia $i$ y apuntando al $j$ -ésimo vecino en el sentido de las manecillas del reloj.
<b>DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL</b>		
ÍNDICES DE DIFERENCIACIÓN DIAMÉTRICA Y DE ALTURA	$TD_i = \frac{\text{Desviación estándar del diámetro}}{\text{diámetro medio}}$	Donde: $TD(i)$ y $TH(i)$ = diferenciación diamétrica y en altura del sitio $i$
	$TH_i = \frac{\text{Desviación estándar de la altura}}{\text{altura media}}$	
ÍNDICE DE DOMINANCIA	$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_j$	Donde: $v_j$ es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 cuando el árbol $j$ es más grande que el árbol de referencia $i$ , y el valor de 0 en caso contrario

#### 4.8. ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA

El valor de importancia ecológica (VIE) se obtuvo para cada especie arbórea, a partir de los parámetros de densidad, frecuencia y dominancia relativas estimados (Franco *et al.* 1989).

$$\text{Densidad relativa: } Den_r = \frac{NA_i}{NAT} * 100$$

$$\text{Dominancia relativa: } Dom_r = \frac{AB_i}{ABT} * 100$$

$$\text{Frecuencia relativa: } Fr_r = \frac{Fr_i}{FrT} * 100$$

$$\text{Valor de importancia ecológica: } VIE = \left( \frac{(Den_r + Dom_r + Fr_r)}{\sum DenT + DomT + FrT} * 100 \right)$$

Donde:  $NA_i$ = número de árboles de la especie  $i$ ,  $NAT$ = número de árboles de las especies presentes,  $AB_i$ = área basal de la especie  $i$ ,  $ABT$ = área basal de todas las especies,  $Fri$ = número de sitios de muestreo en que aparece una especie  $i$ ,  $Ft$ = número total de sitios de muestreo.

#### 4.9. COVARIACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS Y DE SUELO

La relación entre las variables dasométricas y las características y propiedades del suelo fue evaluada por el coeficiente de Covariación ( $C$ ) descrito por Gregorius *et al.* (2007) citado por Escobedo (2009). Por definición, dos variables ordinarias  $X$  y  $Y$  muestran una entera Covariación si una de las variables incrementa o disminuye consistentemente cuando la otra variable incrementa. Por lo tanto, cuando esto sucede existe una estricta relación monotónica entre las dos variables. Por su parte, el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) es quizá el método más utilizado para medir el grado y dirección de la relación línea entre dos variables aleatorias. Sin embargo, aquellas relaciones no lineales no pueden ser identificadas con este coeficiente de correlación, además de que su uso requiere de verificar que se cumplan diferentes supuestos. El coeficiente de Covariación es una variable que puede ser utilizada para detectar relaciones entre variables, dichas relaciones no tienen que ser necesariamente lineales y no requiere de ningún supuesto acerca de la naturaleza de los datos (Hill, 1973). El coeficiente de Covariación al igual que de correlación de Pearson varía entre -1 y +1. Cuando  $C=-1$  indica una estricta Covariación negativa, mientras que  $C=+1$ , indica una entera Covariación positiva. Si su valor es cero,  $C$  no se encuentra definido (Gregorius *et al.* 2007). La expresión matemática utilizada para su cálculo es:



$$C = \frac{\sum_{i < j} (X_i - X_j)(Y_i - Y_j)}{\sum_{i < j} (X_i - X_j)(Y_i - Y_j)}$$

Donde:  $X$  y  $Y$  son las variables ordinarias utilizadas para evaluar la relación entre otras dos variables diferentes  $i, j$ .

No se realizó un análisis de regresión debido a que el tamaño de la muestra ( $n = 5$ ) no fue suficientemente grande. La probabilidad  $P(Z \geq C)$  de que esta relación se deba a efectos aleatorios se calculó mediante una prueba de permutación (Manley, 1997). De esta manera, las relaciones son significativas cuando  $P(Z \geq C)$  es menor que 0.05.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS

En el cuadro 2 se presentan el número de árboles por hectárea (N/ha), y área basal por hectárea (G/ha) para cada una de las especies registradas en los sitios permanentes de muestreo forestal y de suelo establecidos para éste estudio.

En el sitio cinco se registran seis especies arbóreas, que suman una densidad de 668 árboles por hectárea y 28.70 m<sup>2</sup>/ha. El género *Quercus* se encuentra en todos los sitios con al menos una especie de la región, y significan aproximadamente el 50% del arbolado presente en cada uno de los sitios muestreados. El *Pinus teocote* predomina en el sitio tres aún por encima del *Quercus cordifolia*, con 200 individuos por hectárea. Además se encuentra presente en los otros cuatro sitios.

En el sitio cinco el género *Pinus* tiene una presencia importante, pues además del *Pinus teocote*, se encuentran el *Pinus ayacahuite* y *Pinus pseudostrobus* con 84 y 72 árboles por hectárea, respectivamente. Sin embargo, es importante destacar que aunque éste sitio es el que presenta el mayor número de individuos por hectárea es el sitio uno con 604 árboles quien tiene un área basal mayor con 36.30 m<sup>2</sup>/ha.

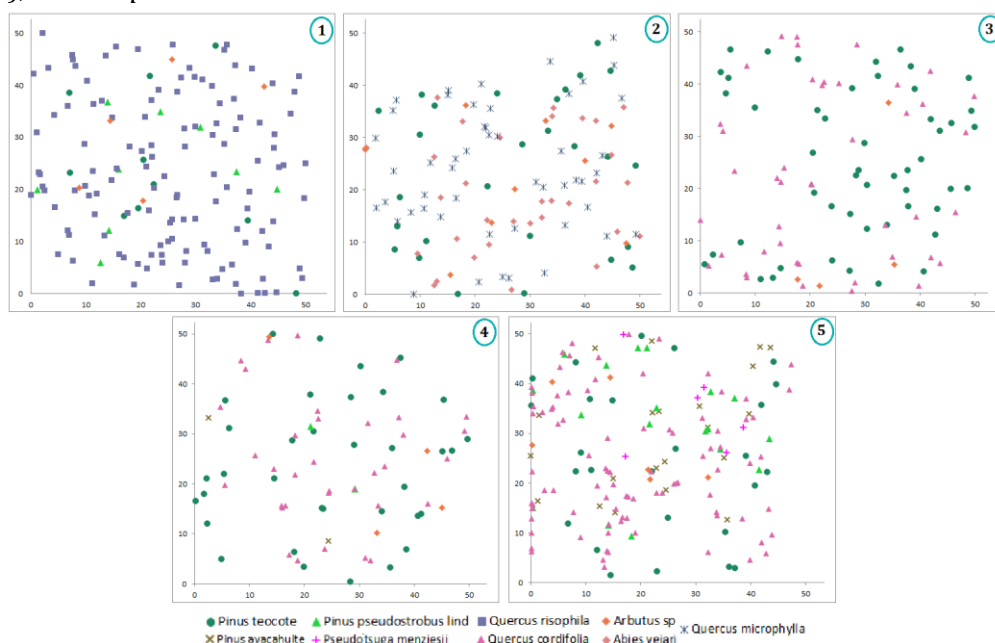
La presencia de *Abies vejari* se registró sólo en el sitio dos con 132 individuos por hectárea; *Quercus risophylla* sólo en el sitio uno con 508 árboles por hectárea pero con una importante área basal de 25.88 m<sup>2</sup>/ha, y *Quercus microphylla* únicamente en el sitio dos con 200 árboles por hectárea.

*Arbutus xalapensis* se presentó en los cinco sitios con una densidad de 16 a 36 individuos por hectárea. *Pseudotsuga menziesii* se encuentra únicamente en el sitio cinco

con 24 árboles por hectárea, lo que lo hace el sitio más diverso en cuanto al número de especies presentes por sitio.

Los resultados revelan que el muestreo sistemático utilizado para el establecimiento de los sitios en este trabajo, logró representar apropiadamente la naturaleza mixta y heterogénea de la masa forestal del Sur de Nuevo León.

Cuadro 2. Distribución espacial, Numero de árboles por hectárea (N/ha), área basal por hectárea en m<sup>2</sup> (G/ha), de 12 especies encontradas en los cinco sitios de observación de 50x50m.



Especie	SITIO 1		SITIO 2		SITIO 3		SITIO 4		SITIO 5	
	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha	N/ha	G/ha
<i>Pinus teocote</i>	40	8.152	108	9.711	200	14.93	140	13.48	104	7.724
<i>Pinus pseudostrobus</i>	36	1.929					8	0.498	72	1.451
<i>Quercus risophylla</i>	508	25.88								
<i>Arbutus sp</i>	20	0.31	36	1.085	16	0.631	16	0.539	24	0.944
<i>Abies vejari</i>			132	6.376						
<i>Quercus microphylla</i>			200	9.796						
<i>Quercus cordifolia</i>					176	7.111	140	11.71	360	17.17
<i>Pinus ayacahuite</i>							8	0.851	84	1.048
<i>Pseudotsuga menziesii</i>									24	0.357
<b>TOTAL</b>	<b>604</b>	<b>36.3</b>	<b>476</b>	<b>27</b>	<b>392</b>	<b>22.7</b>	<b>312</b>	<b>27.1</b>	<b>668</b>	<b>28.7</b>

## 5.2. DIVERSIDAD DE ESPECIES

### a. ÍNDICE DE SHANNON

Los valores del índice de Shannon obtenidos para este trabajo tuvieron poca variación, entre 0.306 y 0.352 (ver cuadro 3). Debido a que el índice de Shannon (1949) aumenta con el número de especies y toma mayores valores cuando las proporciones de las distintas especies son similares, se puede concluir que los cinco sitios tienen poca diversidad de especies. Sin embargo, por una diferencia mínima el sitio cinco es el más diverso.

Cuadro 3. Resultados del índice de Shannon encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos.

SITIO	No. ESPECIES	<i>H</i>
1	4	0.30847826
2	4	0.34534493
3	3	0.30680361
4	5	0.30606297
5	6	0.35292806

### b. ÍNDICE DE MEZCLA DE ESPECIES DE GADOW

Los valores del índice de mezcla de especies de Gadow ( $M_i$ ) fluctuaron entre 0.332 y 0.673 (ver cuadro 4). En el sitio uno los árboles tienden a formar grupos de la misma especie, ya que existe poca mezcla ( $M_i = 0.332$ ), indicando que tres de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie que el árbol de referencia  $i$ . Mientras que los sitios dos, tres, cuatro y cinco presentan un valor que oscila entre 0.474 y 0.673, es decir, una mezcla moderada ya que dos de los cuatro vecinos pertenecen a la misma especie que el árbol de referencia  $i$ .

Cuadro 4. Resultados del índice de mezcla de especies de Gadow encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos.

SITIO	No. ESPECIES	Mi
1	4	0.33298984
2	4	0.67390489
3	3	0.47459061
4	5	0.67016297
5	6	0.65075135

El uso del índice de Mezcla de especies de Gadow, ofrece una ventaja muy importante sobre otros índices, pues permite evaluar la distribución de sus valores y el grado de mezcla específica dentro de un área determinada (Corral-Rivas *et al.*, 2005) como se muestra en las Figuras 11 y 12.

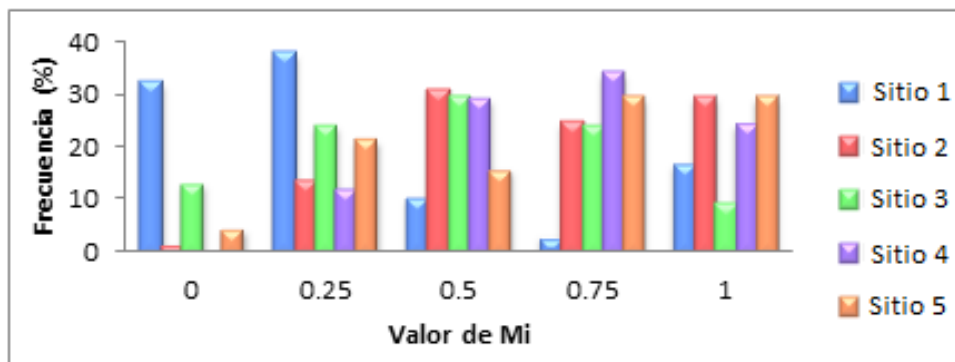


Figura 11. Distribución observada de los valores del Índice de Mezcla de especies en los sitios de observación

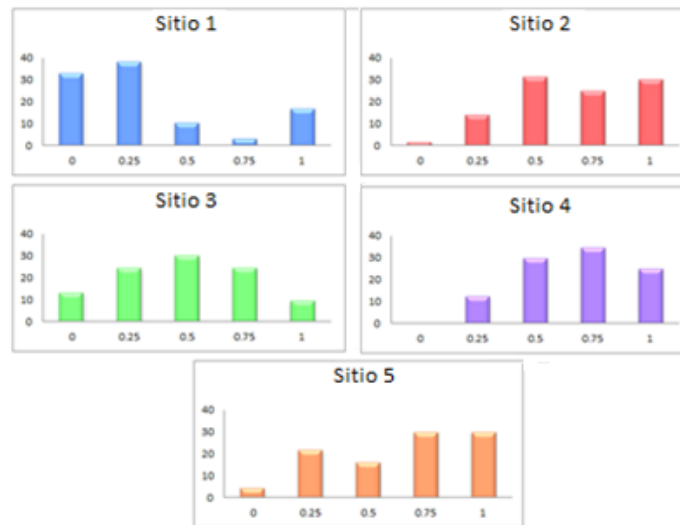


Figura 12. Muestra la distribución observada de los valores del índice de mezcla de especies de Gadow para la especie *Pinus teocote*, presente en los cinco sitios de muestreo.

### 5.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

#### a. ÍNDICE DE UNIFORMIDAD DE GADOW

Los valores promedio del índice de uniformidad de Gadow ( $W_i$ ) variaron entre 0.483 y 0.537 (ver cuadro 5). Según el trabajo de Hui y Gadow (2002) la distribución espacial de los sitios uno, dos, tres y cuatro muestran una distribución de aleatoriedad, mientras que el sitio cinco tiende a la formación de grupos. Estos autores mencionan que valores menores a 0.475 sugieren una distribución regular y aquellos mayores a 0.517 una distribución con tendencia a la formación de grupos.

Cuadro 5. Resultados del índice de uniformidad de Gadow ( $W_i$ ) encontrados en la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos.

SITIO	No. ESPECIES	$W_i$
1	4	0.49416105
2	4	0.50149374
3	3	0.50314101
4	5	0.48382748
5	6	0.53746305

La Figura 13 muestra la distribución de los valores del índice de uniformidad de Gadow en cada sitio. Se observa que los cinco sitios comprenden aproximadamente un 60% con una distribución aleatoria, es decir, con un valor igual a 0.5 en los grupos estructurales de 5 árboles. Por otro lado, el sitio cuatro es el que presenta mayor número de grupos de 5 árboles con valores de 0.25, indicando una tendencia a una distribución regular.

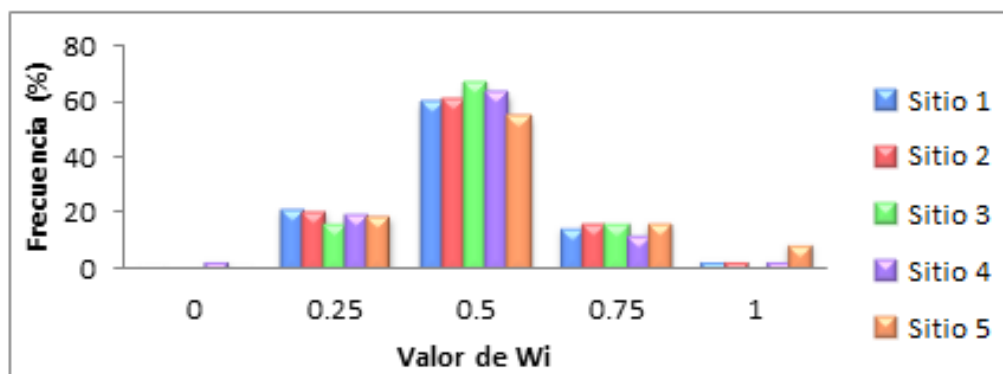


Figura 13. Distribución observada de los valores del Índice de Uniformidad en los sitios de observación.

**b. ÍNDICE DE INFORMACIÓN DIRECCIONAL DE CORRAL-RIVAS**

Los valores estimados para esta variable espacial variaron entre 1.723 y 2.069 (ver cuadro 6). Considerando los límites de confianza desarrollados por Corral-Rivas *et al.* (2006) para una distribución aleatoria (1.656-1.942), se concluye que la mayoría de los sitios presentan una distribución aleatoria de su arbolado. Con excepción del sitio cinco donde su valor indica una tendencia hacia la formación de grupos.

Cuadro 6. Resultados del índice de información direccional de Corral-Rivas.

SITIO	No. ESPECIES	Ri
1	4	1.74158389
2	4	1.72302775
3	3	1.74034603
4	5	1.72782678
5	6	2.06923459

#### 5.4. DIFERENCIACIÓN DIMENSIONAL

##### a. ÍNDICES DE DIFERENCIACIÓN DIAMÉTRICA Y DE ALTURA

Los promedios obtenidos para  $TDi$  y  $THi$  se muestran en la cuadro 7. Estos valores mantuvieron un promedio de 0.625 para  $TDi$ , mientras que para  $THi$  se obtuvieron estimaciones de 0.560 a 0.636. El grado de diferenciación en diámetro es considerado como medio para los cinco sitios, lo que habla de una naturaleza más o menos homogénea en cuanto a la estructura horizontal de los bosques del Sur de Nuevo León. Por otro lado, el índice de diferenciación en altura indica que los sitios uno y cuatro presentan valores de diferenciación media, mientras que los sitios dos, tres y cinco tienen valores de diferenciación alta. Por tanto, la estructura vertical de estos ecosistemas, es irregular.

*Cuadro 7. Resultados del índice de diferenciación diamétrica ( $TDi$ ) y de altura ( $THi$ ) estimados para cinco sitios permanentes de investigación forestal y de suelos en el Sur de Nuevo León.*

SITIO	No. ESPECIES	$TDi$	$THi$
1	4	0.61292186	0.58114913
2	4	0.63730485	0.6117949
3	3	0.60843975	0.63614924
4	5	0.60177735	0.56076848
5	6	0.66534586	0.63236263

La Figura 14 muestra la distribución de frecuencias del índice de diferenciación en diámetro encontrada en cada sitio. Se observa que los cinco sitios tienen más del 50% con valores entre 0.5 y 0.75 es decir, con una diferenciación alta.

La Figura 15 presenta la distribución de frecuencias del índice de diferenciación en altura para cada sitio. Se aprecia que los sitios uno, dos, tres y cinco tienen una



diferenciación alta pues más del 50% tienen valores entre 0.5 y 0.75. Por otra parte, el sitio cuatro presenta mayor número de grupos de cinco árboles con valores de 0.25 para este índice, indicando entonces que éste sitio presenta valores de altura que van de media a baja.

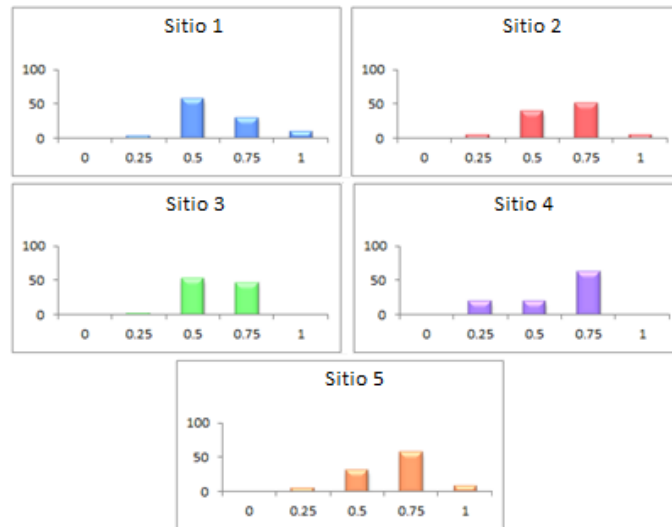


Figura 14. Muestra la distribución observada de los valores del índice de diferenciación en diámetro en los cinco sitios de muestreo.

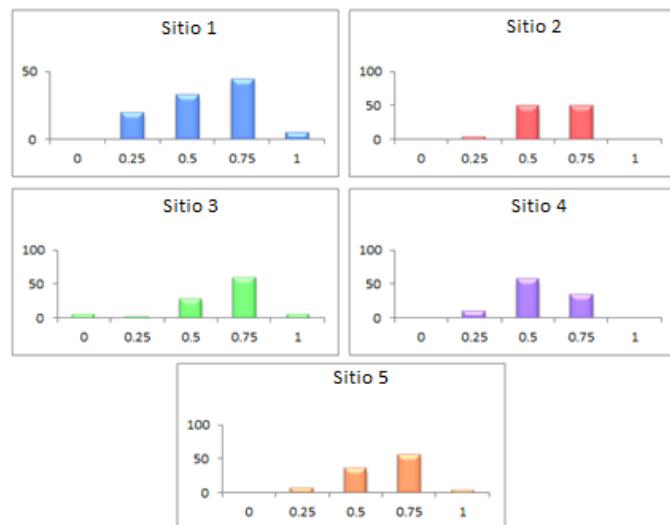


Figura 15. Muestra la distribución observada de los valores del índice de diferenciación en altura en los cinco sitios de muestreo.

**b. ÍNDICE DE DOMINANCIA**

El promedio de los valores de  $U_i$  es de 0.535 lo que indica que en los sitios existen todas las clases sociales representadas de manera equitativa. Por tanto, la probabilidad de que un árbol de referencia  $i$  pertenezca a cualquiera de las clases sociales es muy similar al ser analizado a través del muestreo estructural de los cinco árboles (ver cuadro 8).

*Cuadro 8. Valores medios estimados para el índice de dominancia en cinco sitios permanentes de investigación forestal y de suelos en el Sur de Nuevo León.*

<b>SITIO</b>	<b>No. ESPECIES</b>	<b><math>U_i</math></b>
<b>1</b>	4	0.52325167
<b>2</b>	4	0.54716089
<b>3</b>	3	0.55363073
<b>4</b>	5	0.53032078
<b>5</b>	6	0.52432553

La Figura 16 muestra la distribución de frecuencias de los valores del índice de dominancia encontrada en cada sitio. Se observa que en todos los sitios cada clase social presenta una frecuencia aproximadamente del 20%. En donde las clases de dominancia del 0 al 1, se definen como muy suprimido, moderadamente suprimido, co-dominante, dominante y muy dominante. Por lo tanto, al seleccionar un árbol determinado como árbol centro de un grupo estructural, es igualmente probable encontrar que cuatro, tres, dos, uno o ninguno de los vecinos sea más grande que éste árbol de referencia.

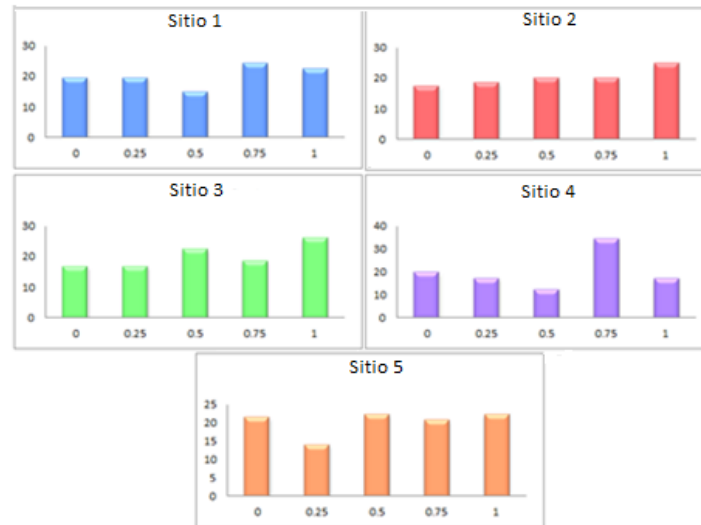


Figura 16. Muestra la distribución observada de los valores del índice de dominancia en los cinco sitios de muestreo.

### 5.5. VALOR DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA

La estimación de los parámetros ecológicos abundancia, dominancia y frecuencia relativa, así como el valor de importancia relativa de las especies arbóreas encontradas en el área de estudio se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9. Relación de las variables que determinaron el valor de importancia de las especies arbóreas encontradas en los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos establecidos en el Sur de Nuevo León.

Espece	Densidad Relativa	Dominancia Relativa	Frecuencia Relativa	Valor de Importancia Ecológica
<i>Pinus teocote</i>	24.143	38.107	100	162.250
<i>Pinus pseudostrobus</i>	4.730	2.731	60	67.462
<i>Pinus ayacahuite</i>	3.752	1.333	40	45.086
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0.978	0.247	20	21.225
<i>Abies vejari</i>	5.383	4.496	20	29.879
<i>Quercus risophylla</i>	20.717	18.266	20	58.984
<i>Quercus microphylla</i>	8.156	6.909	20	35.066
<i>Quercus cordifolia</i>	27.569	25.395	60	112.964
<i>Arbutusxalapensis</i>	4.567	2.470	100	107.038

El género *Pinus* ocupa la mayor importancia ecológica dentro del área de estudio con un valor de 42.86%, entre las tres especies presentes del género, *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus Ayacahuite* con valores de 25.28%, 10.53% y 7.04%, respectivamente. Lo anterior indica que éstas especies son las que se encuentran mejor representadas en el área de estudio, en relación a su densidad, su tamaño y distribución espacial. Por otra parte, las especies con menor valor de importancia dentro del área son *Pseudotsuga menziesii* y *Abies vejari*, con valores de 3.31% y 4.66%, respectivamente. Estas tienen poca representatividad en el predio debido a que se encuentran creciendo normalmente en los sitios más húmedos y sombríos.

## **5.6. MORFOLOGÍA DEL SUELO**

### **5.6.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO**

En el cuadro 10 se presenta para cada sitio, el tipo de suelo, la textura, la temperatura, la luz, el porcentaje de materia orgánica, la compactación, el pH y la conductividad eléctrica.

*Cuadro 10. Características del suelo de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelos establecidos en el Sur de Nuevo León.*

CARACTS.	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5
Tipo de suelo	Feozem lúvico y luvisol crómico	Feozem calcárico y Regosol éutrico	Litosol y rendzina	Feozem lúvico y luvisol crómico	Rendzina y luvisol crómico
% Arena	26	53	30.6	13	27
% Limo	36	32.5	50.5	65	35.5
% Arcilla	38	14.5	18.9	22	37.5
Clasificación	Franco Arcillosa	Franco Arenosa	Franco Limosa	Franco Limosa	Franco Arcillosa
Temperatura	17	18	15	15	13.5
Luz	25	2	30	33	30
Mo	0.45	0.5	0.4	0.75	0.64
CH	1.4	1.6	2.5	2	4.4
pH	7.5	7.5	7.5	5.7	7.4
C.E.	185.7	124.2	194.5	188.3	174
N/Ha	604	476	392	312	668
G/Ha	36.27	26.96	22.67	26.58	28.69
Vol/Ha	542.44	436.72	338.92	420.2	390.92
Diam max	0.88	0.56	0.445	0.555	0.485
Diam min	0.26	0.1	0.14	0.14	0.1
Alt max	25.6	24.7	20.1	22.4	24.1
Alt min	13.1	7.1	10	5.2	6.8

### 5.6.2. RELACIONES SIGNIFICATIVAS

En el análisis de Covariación se detectaron algunas relaciones entre los elementos de suelo y los parámetros dasométricos de los cinco sitios. Sin embargo, solo dos de ellas resultaron ser significativas ( $p < 0.05$ ). Cabe mencionar que para evaluar la significancia se utilizaron todas las posibles permutaciones de los pares de datos característica del suelo-variable del rodal. Este método posibilita trabajar con muestra pequeñas, sin tener necesidad de que los supuestos de la estadística tradicional (normalidad de los datos e

igualdad de varianzas) sean considerados en los resultados. Las relaciones que fueron encontradas como significativas se describen a continuación:

**a) RELACIÓN ALTURA MÍNIMA – MATERIA ORGÁNICA**

La Figura 17 muestra una correlación negativa y significativa entre la materia orgánica presente en el suelo y la altura mínima del sitio. El coeficiente de Covariación  $c$  tuvo un valor de  $-0.96$ . La probabilidad para una relación al azar fue pequeña ( $P(C \geq Z) = 0.0339$ ). Esto indica que existe evidencia estadística que señala una relación importante entre éstas dos variables. Esta relación muestra que entre mayor sea la cantidad de materia orgánica presente en el lugar menor será el número de árboles que presenten poca altura. Esto es posible debido a que la materia orgánica mejora la capacidad de retención y absorción del agua en el suelo y aporta más del 70% de los nutrientes esenciales (N, P, S) que el suelo provee a la planta; lo que da como resultado un incremento en altura en la mayoría de los árboles del lugar.

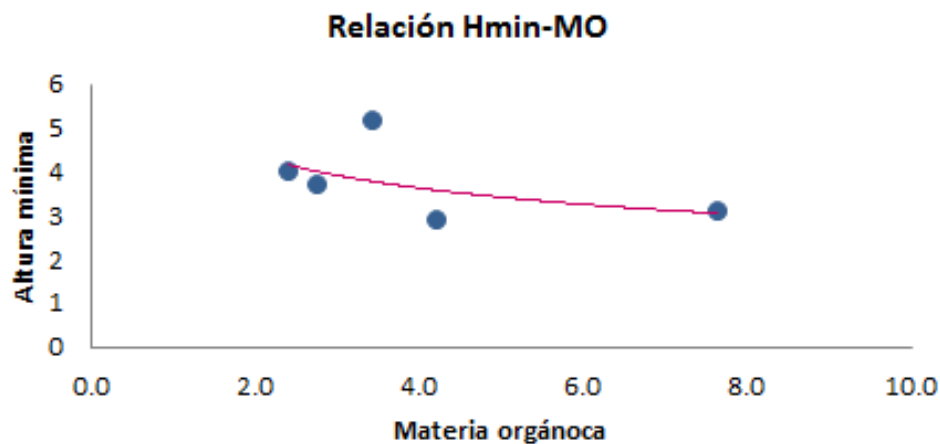


Figura 17. Relación entre la altura mínima del arbolado (mts) y la materia orgánica en el suelo encontrada en los cinco sitios permanentes de muestreo en el Sur de Nuevo León.

**b) RELACIÓN NÚMERO DE ÁRBOLES – PORCENTAJE DE LIMO**

La figura 18 muestra una correlación negativa y significativa entre el porcentaje de limo presente en el suelo y el número de árboles presentes por hectárea. El coeficiente de Covariación  $c$  tuvo un valor de -0.94. La probabilidad para una relación al azar es pequeña ( $P(C \geq Z) = 0.0421$ ). Esto muestra que existe una relación importante entre estas dos variables.

Esta relación se da debido a que por el tamaño de sus partículas (diámetro de 0.002 a 0.05 mm), el limo impide que las arcillas, que son consideradas coloides cargados en forma negativa atraigan cationes tales como, los de los nutrientes esenciales para las plantas ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ), lo que desfavorece la densidad de árboles.

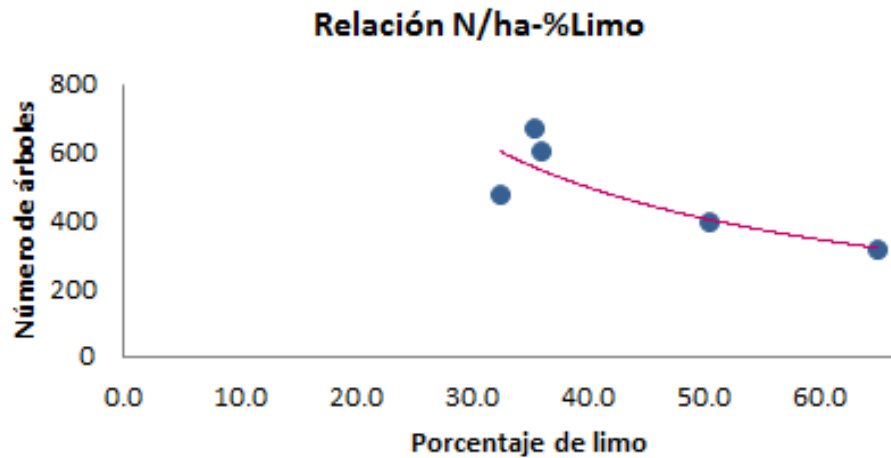


Figura 18. Relación entre el porcentaje de limo presente en el suelo y el número de árboles por hectárea encontrada en los cinco sitios permanentes de muestreo en el Sur de Nuevo León.

## 6. DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en la estructura de las masas forestales en el Sur de Nuevo León, presentan una considerable diferencia en densidad en comparación con la de los bosques del Estado de Durango, según el trabajo realizado por Flores (2009). Este autor encontró 696 árboles con área basal de 19.90 m<sup>3</sup>/ha en promedio en siete sitios de muestreo ubicados en Las Bayas, Pueblo Nuevo, Durango; mientras que el promedio estimado para el Sur de Nuevo León fue de 490 árboles con un área basal de 28.36 m<sup>3</sup>/ha. Por otra parte, la diversidad de especies en el Estado de Durango fue mayor que en el Sur del Estado de Nuevo León. Aunque, el índice de mezcla de especies de Gadow fue igual a 0.502 para las dos áreas, lo que indica que en ambos estados los árboles tienden a formar grupos con dos especies diferentes al árbol de referencia, lo que origina una mezcla moderada.

La distribución espacial evaluada con el índice de información direccional de Corral-Rivas, fue en Durango de 1.734 y en el Sur de Nuevo León de 1.896. En ambos bosques se presenta una distribución parecida del arbolado, predominando las distribuciones de agregados y aleatorias

En cuanto a la diferenciación dimensional, en Durango los valores obtenidos para la diferenciación en diámetro fueron de 0.553 a 0.727; y para la diferenciación en altura de 0.537 a 0.644, mientras que en el Sur de Nuevo León la diferenciación en diámetro fue de 0.625 en promedio, y la diferenciación en altura de 0.560 a 0.636. Estos resultados permiten percibir una desigualdad más entre las dos áreas boscosas, pues aunque la estructura vertical es irregular para ambos casos, en Durango la estructura horizontal es



ligeramente más heterogénea. En referencia a los suelos forestales, una de las diferencias más significativas entre las dos áreas es el pH de cada una, pues en Durango los suelos son predominantemente alcalinos (Escobedo, 2009), mientras que en el Sur de Nuevo León son ácidos (4.5 y 7.4 respectivamente).

Por otra parte, en el Estado de Durango, el contenido de humedad propicia el desarrollo del arbolado en diámetro, altura y volumen; mientras que en el Sur de Nuevo León no se encontró una influencia significativa en ninguna de las variables, pues éstas son influenciadas por otras propiedades del suelo, como son el porcentaje de limo y la materia orgánica presente.

## 7. CONCLUSIONES

El análisis de la estructura arbórea a través de índices cuantitativos y de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos, permite hacer una caracterización de ecosistemas forestales y conocer el estado de las asociaciones vegetales tanto de especies, distribución espacial y de sus dimensiones.

Los índices utilizados en este trabajo para la caracterización de la estructura forestal, son una herramienta importante para la planeación del manejo forestal. Los resultados obtenidos indican que las masas forestales del Sur de Nuevo León presentan una baja diversidad y mezcla de especies. La distribución espacial del estrato arbóreo es, en general, de forma aleatoria. En cuanto a la diferenciación dimensional en diámetro y altura se obtuvo que la estructura horizontal es homogénea, mientras que la vertical es heterogénea. Además, se observó que la presencia de las diferentes clases sociales es equitativa.

En cuanto a los métodos utilizados para investigar relaciones antes descritas entre el arbolado y el suelo, se determina que existe la posibilidad de desarrollar modelos de regresión, que permiten estimar parámetros importantes del suelo, a través de una variable fácil de medir en campo como el número de árboles por hectárea o la altura mínima.

En la actualidad, en el Estado de Nuevo León no se han realizado estudios de este tipo, por lo que este trabajo puede servir como base para el establecimiento de nuevos criterios, indicadores y verificadores que sean incorporados al manejo forestal con el fin de que sean monitoreados aplicando los resultados que se obtengan a partir de futuras

descripciones dasométricas y estructurales de la red de sitios permanentes de investigación forestal y de suelos. Esta estrategia proporcionará en el futuro, una mejor visión de la estructura vegetal y de suelo de los ecosistemas y de su desarrollo a través del tiempo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre O., Hui G., Gadow K. Von., Jiménez J., 2003. An analysis of spatial forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Arbelo, C. D., A. Hernández, J. A. Guerra, A. Rodríguez-Rodríguez, J. L. Mora, C. M. Armas, J. S. Notario, N. Rodríguez. 2009. Distribución y variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de los suelos del Parque Nacional del Teide (Islas Canarias). 27 Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. 10p.
- Assmann, E. 1970. *The principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press, Oxford, New York. 506 p.
- Corral-Rivas J. J., Aguirre O., Jiménez J., Corral S., 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. *Investigación Agraria, Sistemas y recursos forestales* 14(2): 217-128
- Corral-Rivas, J., Pommerening, A., Gadow, K., Dietrich, S. 2006. An analysis of two directional indices for characterizing the spatial distribution of forest trees. In Corral-Rivas, J. (ed.), *Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico)*, pp. 119-134. Cuvillier, Göttingen.
- Corral-Rivas J.J., Vargas L. B., Wehenkel C., Álvarez-González J.G. 2009 (en prensa). *Guía Metodológica para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos del estado de Durango*.

- Corral-Rivas J.J. Vargas-Larreta B. Wehenkel Ch. Aguirre-Calderón O. A. Álvarez-González J.G. Rojo-Alboreca A. 2009. Guía para el Establecimiento de Sitios de Investigación Forestal y de Suelos en Bosques del Estado de Durango 56 p.
- Del Río M., Montes F., Cañellas I., Montero G. 2003. Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria, Sistemas y recursos forestales* 12 (1): 159-176.
- Díaz-Raviña, M., Martín, A., Carballas, T. 2009. Caracterización bioquímica y microbiológica de suelos forestales con distintos tratamientos selvícolas. 27 Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. 23 p.
- Diggle, P.J. 2003. *Statistical analysis of spatial point patterns*. Academic Press, London.
- Escobedo, D. M. 2009. Metodología para el Monitoreo del Suelo de Sitios Permanentes de Investigación Forestal en El Predio Particular "Las Bayas", Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. Tesis Profesional. FCF. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Ferlini, M. 2005. Suelo: Conocerlo para cuidarlo. *INFORGANIC. Boletín* septiembre, 2005.
- Flores, P. J. 2009. Caracterización Estructural de los Bosques Mixtos e Irregulares del Predio Particular "Las Bayas", Pueblo Nuevo, Dgo. Tesis Profesional. FCF. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Franco J. L., De la Cruz A. J. G., Cruz G. A. 1989. *Manual de Ecología*. Editorial Trillas. México. Pp. 93-96.
- Füldner, K. 1995. Zurstrukturbeschreibung in mischbeständen. *Forstarchiv*. 66: 149-161.
- Füldner, K.; Gadow, K. v. 1994. How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. *Mixed Stands. Research Plots. Measurements and Results. Models*.

- Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 S4-01-04 in Lousã/Coimbra. Portugal. pp: 31-42.
- Füldner, K. 1995: Strukturbeschreibung von Buchen – Edellaubholz – Mischwäldern. Tesis doctoral. Universidad de Göttingen. Cuvillier Verlag Göttingen. 145 p.
- Gadow, K. V. 1993. Zur bestandesbeschreibung in der forsteinrichtung Forst und Holz: 601-606.
- Gadow, K. V., Hui, G. Y., Albert, M. 1998. Das Umgebungsmaß als Parameter zur Nachbildung von bestandesstrukturen. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 117(1): 258-266.
- Gadow, K. V. Rojo A. A. Álvarez G. J. G. Y Rodríguez S. R. 1999. Ensayos de crecimiento. Sitios permanentes, temporales y de intervalo. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario. España. 300-309 p.
- Gadow, K. V. y Hui, G. Y., 1999. Modelling Forest Development, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 213 pp.
- Gadow, K. V.; Real, P.; Álvarez, G. J. 2001. Modelización del Crecimiento y la evolución de los bosques. IUFRO. World Series. Vol. 12, 242 pp.
- Gadow, K. v.; Hui, G. Y. 2002. Characterizing forest spatial structure and diversity. Manuscript prepared for the conference "Sustainable Forestry in Temperate Regions". Organized by SUFOR, University of Lund, Sweden, 7-6.
- García, A. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 1 disco compacto. 43/4 plg. Edición. 5a ed., corregida y aumentada.

- Hill M.O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54:427-432.
- Jiménez, J.; Aguirre, O. y Kramer, H. 2001: Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Ciencia Forestal en México. Investigaciones Agrarias. Sistemas de Recursos Forestales.* 10(2): 356-366.
- Kraft, G. 1884. *Beiträge zur lehre von den durchforstungen, schlagstellungen und lichtungshieben.* Verlag Keindworth, Hannover. 147p.
- Kirby, M. J. Morgan, R. P. C. 1980. *Erosión de suelos.* Limosa Noriega Editores. México. 375 p.
- Lencinas, V., G. Martínez Pastur, C. Busso y P. Rivero, 2001a. Frecuencia de ocurrencia de especies del sotobosque en bosques de *Nothofagus pumilio* de Tierra del Fuego (Argentina). XX RAE. Barrioché (Argentina). Pp.145
- Luján, S. J. 2009. Comparación de Tres Escalas de Caracterización Estructural en Bosques de Durango, México. Tesis de Maestría. FCF. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement* Princeton University Press. 200p.
- Martínez, Z. L. 2008. Apuntes de material de Química Agrícola. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.
- Pommerening, A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry.* 75 (3), 305-324.

- Pommerening, A. 2006. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*. 75 (3), 305-324.
- Porta, J, López, A. M. Roquero. C. 1994. *Edafología para la agricultura y el medio Ambiente*. Ediciones Mundi-prensa. España. 807 p.
- Pritchett, W. L. 1991. *Suelos Forestales, Propiedades conservación y mejoramiento*. Profesor de suelos forestales. Departamento de ciencia de suelos. Universidad de Florida. Editorial LIMOSA. 130 p.
- Richmond, P; Rillo, S. 2006. Evaluación de la aplicación de fungicida sobre el rendimiento en tres fases fenológicas en el cultivo de soja de primera siembra. Experimentación en campos de productores. Resultados de experiencias campaña 2005-2006. UEEA Inta 9 de julio. Diciembre de 2006. Editado por la UEEA IntaPermagimo.
- Rivero, R. M.; Rosales, M. R.; Romero, M.J. 1990. Relación del contenido de minerales séricos esenciales de ovinos criollos en pastoreo con el alimento y el suelo en la región de Parres, D.F. *Veterinaria, México*, 21 (3): 257-264.
- Rodríguez, S. F. 1996. *Fertilizantes, Nutrición Vegetal*. Editorial AGT México. 10-48 p.
- Rucks, L.; García, F. ; Kaplán, A. 2004. "Propiedades Físicas del Suelo". Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. (En Red). Montevideo. Disponible en:  
<http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICA/S/fisicas.pdf>.
- SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT<sup>®</sup> 9.1.2. User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007. *Ecosistemas Forestales*.



Consultado en: <http://cruzadabosquesagua.semarnat.gob.mx/v.html>. 3 de febrero de 2007.

Shannon, C. E. 1949: The mathematical theory of communication. In C. E. Shannon y W. Weaver (eds.): The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. of Illinois Press. p: 3-91.

Solís, M., R.; Aguirre, C., O.; Treviño, G., E.; Jiménez, P., J.; Jurado, Y., E. y Corral, R., J. 2006. Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. Madera y Bosques. Instituto de Ecología. Xalapa, Méx.12 (2): 49-64.

Stoyan, D., 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. Can. J. For. Res. In press.

Thomasius, H.; Schmidt, P. A. 1996: Wald, Forstwirtschaft und Umwelt. Economica Verlag. Bonn. 435 p.

Upton, G. y B. Fingleton. 1985. Spatial data analysis by example. Vol. 2: Categorical and directional data. John Wiley & Sons.416 p.

U.S. Department of Agriculture (USDA).Agricultural Research Service. (1996). Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook Number 703.

Vargas, L. B., 1999. Caracterización de la productividad y estructura de *Pinus Hartwegii* Lind. en tres gradientes altitudinales en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. 93p.

Villanueva, O. B. Ortiz, S. A. 1980. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. 3<sup>a</sup> edición. Chapingo, México. 330 p.

Weber J., 2002. Geostatistische Analyse der Struktur von Waldbeständen am Beispielausgewählter Bannwälder in Baden-Württemberg. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 20. FVA Baden-Wurttemberg. Freiburg. 133.