

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL



Diversidad de Especies y de Estructura en el Estrato Arbóreo en Dos Predios en la  
Sierra de Tapalpa, Jalisco

Por:

**CRISTÓBAL VELASCO LEPE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL

Diversidad de Especies y de Estructura en el Estrato Arbóreo de Dos Predios en la

Sierra de Tapalpa, Jalisco

Por:

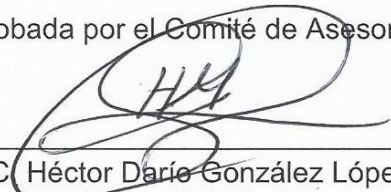
**CRISTÓBAL VELASCO LEPE**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría

  
M.C. Héctor Darío González López  
Asesor Principal

  
M.C. Salvador Valencia Manzo  
Coasesor

  
M.C. José Aniseto Díaz Balderas  
Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.



Coordinación  
División de Agronomía

Junio 2017

## **DEDICATORIA**

### **A mi madre**

Marina Lepe Vielma. Por la dicha de ser su hijo, por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, por sus consejos, por tenerme siempre en su mente y en sus oraciones, además de que siempre creyó en mí, en mis proyectos y mis metas. Por todo lo anterior, muchas gracias Mamá.

### **A mi padre**

José Velasco Rodríguez. Por las enseñanzas y consejos que siempre me ha brindado, ya que gracias a ellos siempre he podido cumplir las metas y objetivos que me he propuesto, porque gracias a su ejemplo y educación he logrado culminar mi formación profesional, gracias Papá.

### **A mis hermanos.**

A pesar de la distancia que nos separó, quiero que sepan que siempre estuvieron en mi mente y en mi corazón, gracias por su apoyo que me motivó a seguir adelante, este gran logro no es solo mío es de todos, Ana Cristina, Juan Pablo y Ana Paula Velasco Lepe, gracias por todo, hermanos los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por cada minuto que me ha dado de vida y salud, así como una familia que me quiere y que siempre está a mí lado en las buenas y en las malas.

**Al M.C. Héctor Darío González López** por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional y por el tiempo y esfuerzo brindado para realizar el presente trabajo.

**Al M.C. Salvador Valencia Manzo** por el tiempo y apoyo brindado para realización del presente trabajo, además del buen ejemplo que me dio como persona.

**Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas** por guiarme a lo largo de mi carrera, por todo el tiempo que dedicó a la elaboración del presente trabajo, por enseñarme que la dedicación y disciplina es parte fundamental para lograr mis objetivos.

**A mis amigos** Flor Ivonne García López, Luis David Aceves Rangel, Abigail García López, José Misael Martínez Carreón, Juan Diego Ballesteros García, Claudia García Zepeda, Luis Enrique García Jiménez y Carlos Daniel Velasco Rodríguez por todo su apoyo y amistad brindado a lo largo de la carrera.

## RESUMEN

El presente estudio pretende caracterizar y comparar la diversidad de especies y de estructura del estrato arbóreo en dos predios, denominados La Lechuguilla y La Lobera, en un bosque de pino-encino con diferente tratamiento silvícola en la Sierra de Tapalpa, Jalisco. La base para caracterizar la diversidad de especies y de estructura se definió mediante el uso de ocho índices derivados de las relaciones de vecindad entre los árboles, que componen el bosque. El sustento para la determinación de tales índices lo constituye el método de muestreo denominado grupo estructural de cinco árboles y medición global. La diversidad de especies y de estructura se evaluó con la finalidad de caracterizar y comparar ambos predios, manejados con diferente tratamiento silvícola. Los resultados la diversidad de especies indican que son rodales mezclados y que la complejidad estructural de ambos predios son irregulares y para con una distribución espacial con tendencia a formar grupos. El análisis estadístico encontró diferencias altamente significativas en tres índices de diversidad de especies, la distribución espacial presentó diferencias significativas al menos en un índice, lo que puede atribuirse a que con diferente tratamiento silvícola la diversidad de especies y distribución espacial es diferente. La diferenciación dimensional no mostró diferencias significativas con la aplicación de diferente tratamiento silvícola.

**Palabras clave:** bosque de pino-encino, estrato arbóreo, diversidad de especies, distribución espacial, diferenciación dimensional.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivos e hipótesis .....	2
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Diversidad de especies .....	4
2.2 Diversidad estructural .....	6
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
3.1 Descripción del área de estudio.....	10
3.1.1 Antecedentes .....	10
3.1.2 Localización .....	11
3.1.3 Vegetación .....	11
3.1.4 Clima .....	12
3.1.5 Hidrología superficial.....	12
3.1.6 Edafología .....	12
3.2 Evaluación de diversidad de especies y de estructura .....	12
3.2.1 Sistema de muestreo .....	12
3.3 Análisis de la diversidad de especies y estructural .....	15
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>20</b>
4.1 Diversidad de especies.....	20
4.2 Diferenciación dimensional del estrato arbóreo .....	23
4.3 Distribución espacial.....	26
4.4 Componentes principales .....	29
<b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>VI LITERATURA CITADA</b> .....	<b>33</b>
<b>VII ANEXOS</b> .....	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Índices aplicados para la evaluación de la diversidad de especies en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	16
Cuadro 2. Índices aplicados para la evaluación de diferenciación dimensional en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa Jalisco.....	17
Cuadro 3. Índices aplicados para la evaluación de distribución espacial en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	19
Cuadro 4. Valores de los índices de diversidad de especies y de la prueba de t Student en los predios: La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa Jalisco.....	20
Cuadro 5. Valores de los índices de diferenciación dimensional y de la prueba de “t” Student en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	23
Cuadro 6. Valores de los índices de distribución espacial y de la prueba de “t” Student en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	27
Cuadro 7. Análisis multivariante por medio de componentes principales en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco. ....	29
Cuadro 8. Matriz de componentes principales de la estructura de estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de estudio predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco. ....	11
Figura 2. Forma de sitios concéntricos utilizando en el muestreo estructural de los cinco árboles y sitios de mil metros cuadrados en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	13
Figura 3. Distribución observada de los árboles mediante el Índice de Distancias y Clack y Evans en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.....	27
Figura 4. Distribución de los componentes uno (Diversidad de especies) y dos (Diferenciación dimensional) con respecto a los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco. ....	31



## I INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor riqueza de especies de plantas y animales, mayor variedad de hábitats y tipos de ecosistemas en el mundo, lo que implica una gran responsabilidad en la conservación de una parte significativa de la biodiversidad mundial. Por lo que su evaluación se ha convertido en uno de los principales retos en la gestión y conservación de los rodales y bosques, tanto en el ámbito político como el administrativo (Jardel, 2015). Los bosques y selvas son los hábitats que contienen dos tercios de la biodiversidad de los ecosistemas terrestres y las actividades de la producción forestal pueden poner en riesgo la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas forestales, por lo que un adecuado conocimiento y caracterización de los elementos que lo componen, es la base fundamental para determinar el manejo adecuado de los recursos forestales (Del Río *et al.*, 2003).

Es por ello que el presente estudio pretende caracterizar y comparar la diversidad de especies y de estructura del estrato arbóreo en dos predios en donde se aplicaron diferentes tratamientos silvícolas, el primer predio es el denominado La Lechuguilla en donde existe evidencia de aprovechamientos forestales por medio de tratamiento silvícola de saneamiento y el segundo predio denominado La Lobera tiene programa de manejo vigente bajo los criterios del Método de Desarrollo Silvícola (MDS) y el último tratamiento silvícola aplicado fue aclareo. Para evaluar la diversidad de especies y de estructura se eligieron ocho índices paramétricos (Diversidad de Shannon-Wiener, complemento de Simpson, mezcla de especies de Gadow, diferenciación dimensional en altura y diámetro, agregación de Clark y Evans y de distancias) y uno no paramétricos (Índice de valor de importancia). La determinación de dichos índices lo constituyen dos métodos de muestreo conocidos como medición global que consiste en levantamiento de sitios de dimensiones fijas y grupo estructural de cinco árboles, este último se basa en el principio de vecindad entre árboles (Corral *et al.*, 2005).

Las características de la diversidad de especies y de estructura que se evaluaron son: la dominancia, la heterogeneidad, su grado de mezcla, la diferenciación dimensional y la distribución espacial. Se realizó una comparación estadística entre los resultados de los índices de diversidad de especies y de estructura de ambos predios para identificar si existen diferencias significativas y así determinar el efecto de los dos tratamientos silvícolas sobre la diversidad de especies y estructura.

### 1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general del estudio fue caracterizar y comparar la diversidad de especies y de estructura del estrato arbóreo, en dos predios con diferente tratamiento silvícola en la Sierra de Tapalpa, Jalisco.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar la diversidad de especies, mediante cinco índices, en el estrato arbóreo en dos predios con diferente tratamiento silvícola, en la Sierra de Tapalpa, Jalisco.
- Evaluar la diferenciación dimensional, mediante dos índices, en el estrato arbóreo en dos predios con diferente tratamiento silvícola, en la Sierra de Tapalpa, Jalisco.
- Evaluar la distribución espacial, mediante dos índices, en el estrato arbóreo en dos predios con diferente tratamiento silvícola, en la Sierra de Tapalpa, Jalisco.

Las hipótesis nulas propuestas para el presente estudio fueron:

- Ho: La diversidad de especies es igual en dos predios con diferente tratamiento silvícola.
- Ho: La diferenciación dimensional es igual en dos predios con diferente tratamiento silvícola.
- Ho: La distribución espacial es igual en dos predios con diferente tratamiento silvícola.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Diversidad de especies

La diversidad de especies es una medida que describe lo heterogéneo que puede ser una determinada población en un determinado lugar. La importancia de ésta radica en el funcionamiento óptimo de los ecosistemas, lo que se traduce en la generación de múltiples servicios ambientales esenciales para los seres vivos (Mostacedo y Frederiksen, 2000).

Para la evaluación de la diversidad de especies se necesita una correcta estimación, en la cual se debe considerar cuatro características de medición: la riqueza, la heterogeneidad, el grado de mezcla y el valor de importancia ecológica de las especies (Gadow *et al.*, 2007). Para la correcta evaluación de dichas características es necesario el empleo de una serie de índices o variables que reflejen estas características en pequeñas localidades o rodales (Corral *et al.*, 2005).

Una de las características que permite evaluar la diversidad de especies es la riqueza, su función principal es definir el número de especies presentes en un lugar determinado (Duran, 1995; Moreno, 2001), los principales índices que se utilizan para su medición son Margalef, Menhinick y Rarefacción (Moreno, 2001). Uno de los mejores y más utilizados índices para calcular la riqueza de especies es el índice de Meninick por su simplicidad de cálculo ya que transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra y supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos observados, que se incrementa al aumentar el tamaño de la muestra (Moreno, 2001).

La heterogeneidad de las especies indica cuando una población o comunidad es más diversa que otra, aunque tengan igual número de especies; esto es, que si dos comunidades tienen igual número de especies, pero si la abundancia relativa

de una de las poblaciones esta mejor distribuida, para una medida de heterogeneidad es más diversa esta población, actualmente los índices más utilizados son Shannon-Wiener y del complemento del índice de Simpson (Krebs, 1999) dichos índices se utilizan cuando se pretende comparar dos o más áreas de un ecosistema (Baca, 2000; Moreno, 2001).

El índice de Shannon-Wiener expresa la heterogeneidad de una población, dicho índice presenta valores en unidades Nats que resultan de la aplicación de un logaritmo natural, para su interpretación el índice presenta rangos de valores de 0-2 Nats se considera baja diversidad, de 2.1-5.0 Nats diversidad normal y  $\geq 5.1$  Nats alta diversidad (Margalef, 1972).

El complemento del índice de Simpson, mide la diversidad y dominancia de las especies mediante la evaluación de la probabilidad de que dos individuos de la población extraídos al azar sean de la misma especie. Con valores altos indican dominancia de alguna especie, presentando un rango de valores de 0-1 (Del Río *et al.*, 2003).

La mezcla de especies evalúa la respuesta que tienen los individuos de las especies a mezclarse entre ellas dentro de una comunidad (Corral *et al.*, 2005). Además de que se considera como un indicador del reparto proporcional entre estos grupos de especies (Asensio *et al.*, 2005). El índice que evalúa dicha respuesta es el índice de grado de mezcla de Gadow, el cual está determinado principalmente por la densidad relativa de cada especie (Castellano *et al.*, 2008), para el grupo estructural de cinco árboles presentan valores de 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00, donde valores cercanos a uno indican que las especies tienen preferencia a mezclarse (Solís *et al.*, 2006).

El valor de importancia ecológica de especies es un índice sintético desarrollado principalmente por Curtis y McIntosh, con la finalidad de jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales mezclados (Zarco, 2010) con la obtención del índice

de valor de importancia, a través de la integración de los valores relativos de densidad, dominancia y frecuencia para cada especie arbórea, es posible inferir el desarrollo, la ecología y adaptación de una especie dentro de una comunidad determinada (Corral *et al.*, 2002), además de que permite contar con parámetros que aprueben tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la conservación de taxa o áreas amenazadas, o monitorear el efecto de las perturbaciones en el ambiente, presenta valores de 0 a 300 % (Gadow *et al.*, 2004; Magurran, 2004).

Si se considera la evaluación y el monitoreo de las características de la diversidad de especies antes mencionadas, para la conservación dentro del manejo forestal se generarían actividades que mantuvieran la producción y productividad forestal a largo plazo (Mostacedo y Frederiksen, 2000; Del Río *et al.*, 2003).

## 2.2 Diversidad estructural

La diversidad estructural se define como la distribución y el orden de los elementos dentro de un sistema y se compone básicamente por las variantes: tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen (Gadow *et al.*, 2007). Las características estructurales de un bosque natural son un aspecto importante para conocer su dinámica y su composición, lo que permitirá tomar decisiones con respecto al manejo adecuado que se debe de constituir (Alvis, 2009).

La estructura se encuentra directamente relacionada con la estabilidad del ecosistema frente a distintos factores bióticos y abióticos, como son las plagas y enfermedades, también los beneficios directos e indirectos de los que se benefician los seres humanos como productos medicinales y de limpieza (Del Río *et al.*, 2003).

La diversidad estructural de los rodales forestales se puede caracterizar considerando tres factores: el grado de diferenciación por dimensiones, la distribución espacial por medio de la agregación de los árboles dentro de un rodal (Gadow, 1998; Gadow *et al.*, 2007).

La diferenciación dimensional es uno de los factores que mejor caracterizan la diversidad estructural de un rodal, la cual corresponde a la variación que existe entre los tamaños de los árboles que lo constituyen. La diferenciación se puede calcular con diferentes variables (diámetro, altura y diámetro de copa) aunque para representar la diferenciación horizontal y vertical las variables más utilizadas son diámetro y altura, respectivamente (Del Río, 2003; Corral *et al.*, 2005).

Uno de los índices más empleados para evaluar la estructura vertical y horizontal es el índice de diferenciación dimensional de Gadow, ya que se basa en la diferencia existente entre el árbol de referencia y sus árboles vecinos más cercanos con una de las variables en diámetro (TD) o altura (TH) (Corral *et al.*, 2005).

Los valores del índice de diferenciación (TD y TH) aumentan con el incremento promedio de la diferencia de diámetro entre los árboles vecinos y el árbol de referencia. Los valores fluctúan entre cero y uno, los valores cero significan que los vecinos tienen el mismo diámetro, 0.1 significa que el diámetro o altura es 10 por ciento menor que el otro y así consecutivamente hasta el valor de 1 o 100 por ciento (Torres *et al.*, 2000).

La distribución espacial es un aspecto de la diversidad estructural en donde los árboles reflejan el patrón de disposición de los árboles sobre el terreno, estos pueden ser formaciones en grupos, regulares y aleatorios; grupos es una mezcla de regular y aleatorios (Gadow y Hui., 1998; Condes y Martínez, 1998).

La distribución espacial de los individuos de un bosque o rodal, 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 (Del Río *et al.*, 2003).

Uno de los índices que evalúa el grado de agregación es el índice de distancias, mediante la distribución individual de los árboles en un rodal, basado a la distancia media observada del árbol de referencia a sus vecinos más cercanos (Aguirre 1999; Corral *et al.* 2005). Pretzch menciona que uno de los índices más utilizados para caracterizar la distribución espacial es el índice de agregación “R” de Clark y Evans, debido a que expresa la relación entre la distancia media al vecino más cercano observada y las relaciones de distancia entre los árboles vecinos (Corral *et al.*, 2005; Solís *et al.*, 2006).

En México se han presentado diversos estudios científicos en donde solamente se evalúan la diversidad de especies y de estructura en bosques de coníferas (Baca, 2000; Torres, 2000; Jiménez *et al.*, 2001; Aguirre *et al.*, 2003; Castellanos *et al.*, 2008; Cuevas y Martínez, 2011). Sin embargo estudios que realicen evaluaciones y comparen el efecto de los tratamientos silvícolas sobre la diversidad de especies y estructural son aún muy escasos Corral *et al.* (2005), Solís *et al.* (2006) y Návar y González (2009).

Corral *et al.* (2005), analizaron el efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña en el predio denominado El Cielo en Tamaulipas, México. La evaluación fue realizada a través de la comparación estructural de dos parcelas de observación con diferente historial de manejo, la diversidad estructura y de especies se evaluó mediante el uso de varios índices derivados de las relaciones de vecindad entre los árboles que constituyen un ecosistema. El análisis comparativo encontró evidencias significativas que indican que los aprovechamientos forestales disminuyeron la diversidad de



especies, modificaron la distribución espacial de los árboles y cambiaron la diferenciación dimensional.

Návar y González (2009) evaluaron la diversidad de especies de dos parcelas con diferentes intensidades de aclareos, en un bosque de pino encino en el predio San Dimas, Durango México. La diversidad de especies se evaluó mediante el uso de varios índices derivados de las relaciones de vecindad mediante sitios permanentes. Los resultados indicaron que existe mayor diversidad de especies en parcela con menor grado de perturbación.

Solís et al. (2006) evaluaron el efecto de dos tratamientos silvícolas sobre la composición y estructura de un bosque de pino-encino en la Sierra de la Candela, Tepehuanes, Durango. Se realizó una comparación entre dos parcelas de observación con diferente tratamiento de manejo forestal, la primera con tratamiento de aclareos y la segunda con tratamiento de selección. Se utilizaron varios índices derivados de la relación de vecindad del arbolado, a través del muestreo denominado "grupo estructural de cinco árboles". Los resultados obtenidos en el estudio comparativo muestran que existe una mayor diversidad de especies en la parcela con el tratamiento de selección que la manejada con cortas de aclareos. La distribución espacial de los árboles de ambas parcelas presenta un esquema de agregados. Los resultados de la diferenciación dimensional no presentaron evidencias significativas que indiquen un efecto en la estructura dimensional de las parcelas estudiadas.

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Antecedentes

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo, se seleccionaron dos predios con características ecológicas y topográficas similares (altitud, exposición, tipo de suelo y clima) así como también la misma asociación vegetal arbórea predominante *Pinus - Quercus*.

El predio Lechuguilla es una pequeña propiedad perteneciente al ciudadano Lic. José Ramón González Ojeda, dicho predio cuenta con el menor grado de perturbación posible ya que solo se aplican tratamientos de saneamiento extrayendo sólo árboles muertos por incendio o por plagas, dicho predio tiene una superficie total de 45-00-21 ha y una superficie arbolada y estudiada de 39-09-00 ha.

Por otro lado, el predio la Lobera actualmente se encuentra bajo manejo forestal y de acuerdo al oficio de autorización número 722.04.04.02-0156-(58) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en marzo de 2015 se autorizó el aprovechamiento maderable bajo los criterios de Método de Desarrollo Silvícola al C. Héctor Hugo Zamora Jiménez propietario dicho predio, con una superficie total de 188-63-00 ha y 150-21-00 ha arboladas, de las cuales se eligieron y evaluaron 30-22-00 hectáreas, las que recientemente (enero-abril del 2016) se encuentra bajo el tratamiento silvícola de segundo aclareo, con una intensidad de corta del 25%.

### 3.1.2 Localización

Los predios, La Lechuguilla y La Lobera se localiza entre las coordenadas geográficas 103° 43' 0" a 103° 44' 20" de longitud oeste y 19° 57' 30" a 19° 58' 20", de latitud norte, ambos en el municipio de Tapalpa, Jalisco (Figura 1).

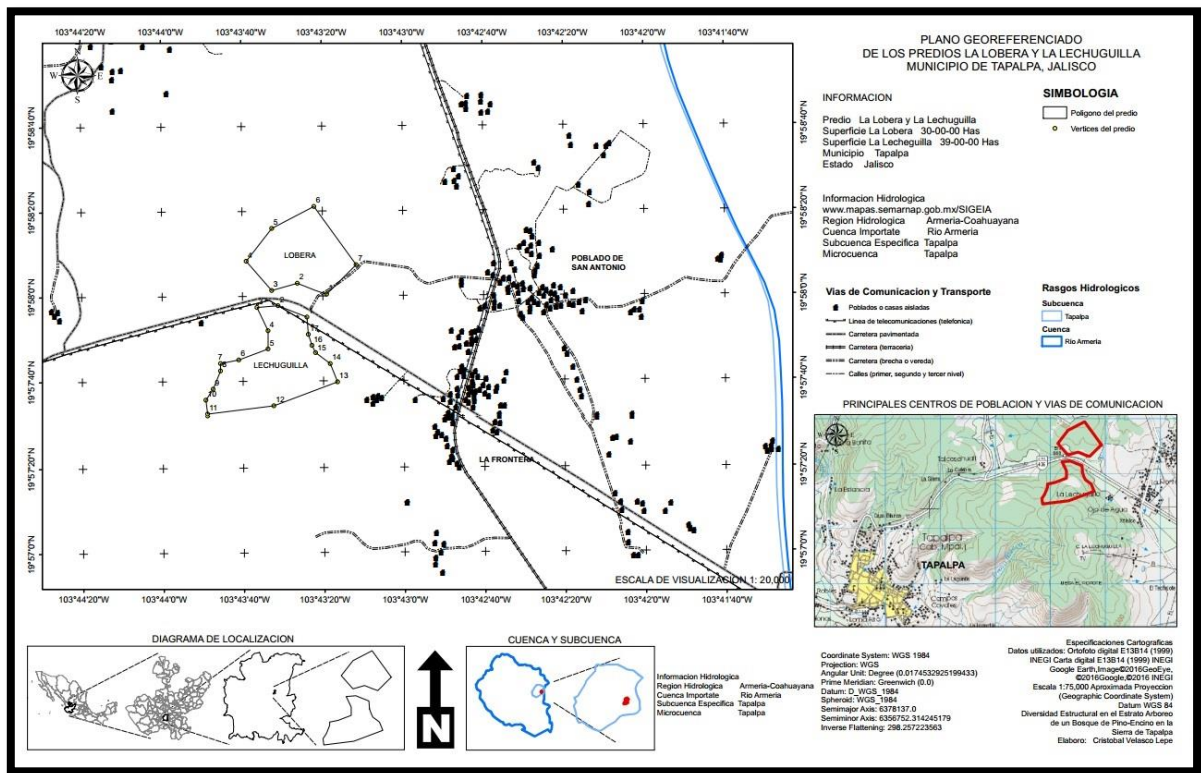


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de estudio predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

### 3.1.3 Vegetación

El tipo de vegetación corresponde a un bosque de coníferas y de *Quercus* (Bce) según la clasificación de Rzedowski (2006). Las especies de coníferas son: *Pinus devoniana* Lidley, *P. leiophylla* Schl. y Cham, *P. montezumae* Lamb., *P. douglasiana* Martínez., tres de latifoliadas: *Quercus obtusata* Bonpl, *Arbutus xalapensis* Carl Sigismund Kunth y *Mimosa benthamii* Macbr.

### 3.1.4 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen modificada por Enriqueta García (1973) el clima que corresponde al área de estudio es templado sub húmedo con lluvias en verano C (W1) con temperatura media anual que oscila entre 12 a 18 °C y un rango de precipitación media anual de 700 a 1100 milímetros (CONABIO, 2008; INEGI, 2009).

### 3.1.5 Hidrología superficial

Los predios se localizan en la Región hidrológica Armería-Coahuayana dentro de la cuenca Río Armería y sub-cuenca Tapalpa (CONABIO, 2008). No se presenta ríos o cuerpos de agua permanentes o intermitentes dentro del área de estudio (INEGI, 2009).

### 3.1.6 Edafología

Los tipos de suelos predominantes en ambos predios son suelo leptosol con 84% por unidad de superficie y suelo andosol con un 16% por unidad de superficie; ambos suelos tienen una capa superficial rica en materia orgánica, con una escasa retención de humedad debido a lo somero del suelo con una profundidad de 0 a 55 cm y alta cantidad de afloramientos rocosos (CONABIO, 2008).

## 3.2 Evaluación de diversidad de especies y de estructura

### 3.2.1 Sistema de muestreo

El sistema de muestreo utilizado en el presente trabajo fue sistemático con una equidistancia entre puntos y líneas de 100 metros.

Se utilizaron sitios concéntricos, de tal forma que se levantaron sitios circulares de 1000 m<sup>2</sup>, a lo que Torres (2000) y Jiménez (2001) le llaman medición global, y dentro de ellos se empleó el método de muestreo denominado como grupo estructural de cinco árboles diseñado por Fulder (Corral *et al.*, 2005). Este método consiste en que una vez ubicada e instalado en la coordenada del sitio, se ubica el árbol más cercano a la misma y se le denomina árbol cero ó árbol de referencia “i”, posteriormente se ubican los cuatro árboles más cercanos al “i” a los que se les nombra j-vecinos (j1,j2,j3,j4) (Figura 2).

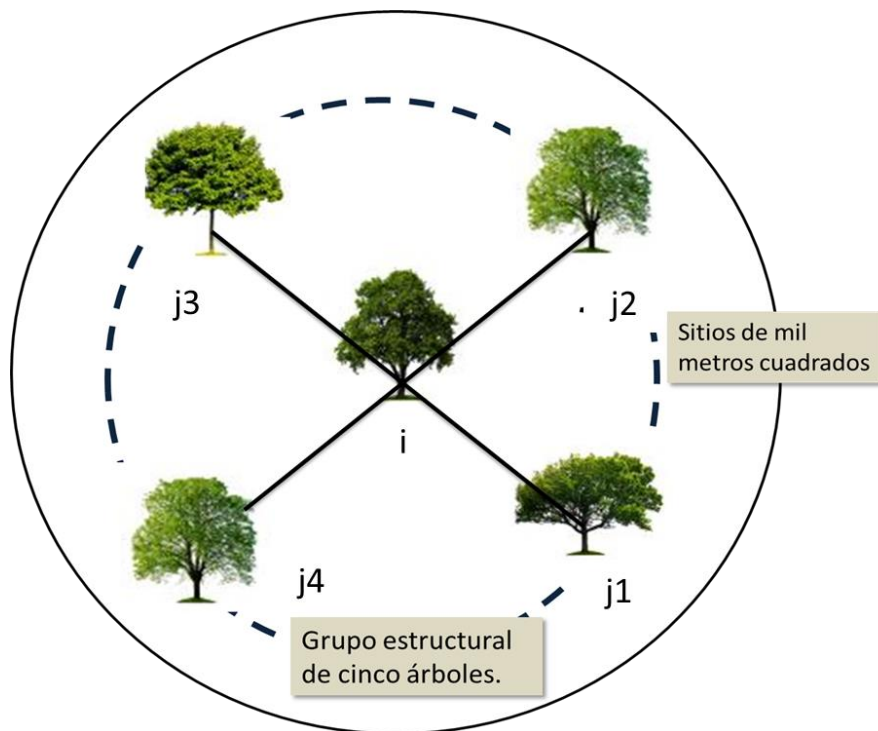


Figura 2. Forma de sitios concéntricos utilizando en el muestreo estructural de los cinco árboles y sitios de mil metros cuadrados en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

La intensidad de muestreo fue de 10%, se levantaron 30 sitios de 1000 m<sup>2</sup> y el mismo número de sitios estructurales en el predio la Lechuguilla y 39 sitios de 1000 m<sup>2</sup> y el mismo número de grupos estructurales de cinco árboles en el predio La Lobera.

- Medición global

La medición global se realizó mediante sitios circulares de 1000 m<sup>2</sup>, en donde se evaluaron las siguientes variables: especie, de cada uno de los árboles y su respectivo diámetro normal, altura total, longitud de copa en dirección norte-sur y el número de árboles por especie y por categoría diamétrica.

Es importante mencionar que la información recabada se registró sólo a los árboles igual o mayor a 10 cm de diámetro normal.

Con la información recabada mediante la utilización de este muestreo fue posible calcular los datos de número total de árboles por hectárea, área basal por hectárea, área basal por especie, número de árboles por especie; así mismo se evaluó riqueza, dominancia, heterogeneidad de especies, densidad, dominancia y frecuencia relativas de las especies en ambos predios y posteriormente calcular el valor de importancia por especie.

- Muestreo del grupo estructural de los cinco árboles

El muestreo denominado estructural es común encontrarlo con variaciones, encontrando de 3 a 6 vecinos más próximos (Gadow *et al.*, 2007), En este caso se optó por usar cuatro vecinos “j” y un árbol central “i”. Las variables estructurales que se evaluaron fueron: número de árbol con respecto (i,j1,j2,j3,j4), su especie, diámetro normal y altura total así como también la distancia en metros de los árboles “j” al árbol “i” (Figura 2). A partir de estas variables, se calcularon los principales componentes de la estructura del estrato arbóreo en ambos predios, la diferenciación dimensional y distribución espacial mediante la implementación de índices paramétricos.

### 3.3 Análisis de la diversidad de especies y estructural

Para cumplir los objetivos propuestos, se estimaron cinco índices para diversidad de especies, dos para diferenciación dimensional y dos para distribución espacial. Los índices para diversidad de especies fueron: índice de Shannon-Wiener, Complemento del índice de Simpson, índice de Menhinick, índice de grado de mezcla de Gadow y el índice de valor de importancia. Los índices para evaluar la diferenciación dimensional fueron: índice de diferenciación diamétrica y el índice de diferenciación en altura. Los índices de distribución espacial fueron: el Índice de agregación de Clark y Evans y el índice de distancias.

Las fórmulas empleadas para cada uno de los índices, así como el aspecto en el que incide el índice y la interpretación del mismo, se presentan en los Cuadros 1, 2, 3, la descripción de cada una de las fórmulas se presenta en el Anexo 2.

Cuadro 1. Índices aplicados para la evaluación de la diversidad de especies en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Índice	Fórmula	Aspecto en el que incide	Interpretación
Shannon-Wiener	$H_i' = - \sum p_i \ln p_i$	Diversidad de especies	Entre más alto es el valor del índice más diversa es la población (Shannon, 1949). 0-2 Nats Baja 2.1-5.0 Nats Normal ≥5.1 Nats Alta (Margalef, 1972).
Complemento de Simpson	$1 - D = 1 - \sum p_i^2$	Dominancia de especies	Entre más alto es el valor de índice mayor es la dominancia de especies en una población el rango va de 0-1 (Del Río <i>et al.</i> , 2003).
Menhinick	$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	Riqueza de especies	Rango de riqueza de especies según Margalef 0-2 Baja 2.1-5.0 Media ≥5.1 Alta (Campo y Duval, 2014).
Mezcla de especies de Gadow	$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{ij}$	Mezcla de especies	Los valores cercanos a cero indican que las especies tienden a agruparse y no se mezclan entre ellas. Valores cercanos a uno indican que las especies tienen preferencia a mezclarse los valores oscilan entre 0-1. Los posibles valores con un muestreo con grupos estructurales de cinco árboles son 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.00 (Solís <i>et al.</i> , 2006).
Valor de importancia por especie	$IVI = Dr + Domr + Fr$	Frecuencia, Densidad y Dominancia Relativas	Entre más alto sea el valor, mayor es la dominancia de cada especie en la población los valores oscilan entre 0-300% (Moreno, 2001).

Fuente: Moreno (2001); Del Río *et al.* (2003); Corral *et al.* (2005).



Cuadro 2. Índices aplicados para la evaluación de diferenciación dimensional en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa Jalisco.

Índice	Fórmula	Aspecto en el que incide	Interpretación
Diferenciación en diámetro de Gadow	$TD(i) = \frac{1}{N} \sum \frac{1}{n} \sum \left( 1 - \frac{d \text{ min}}{d \text{ max}} \right)$	Diferenciación en diámetros entre un árbol y sus vecinos	<p>Los valores de este índice de diferenciación pueden ser de clase: escasa (0.0-0.20), moderada (0.21-0.40), media (0.41-0.60), alta (0.61-0.80), muy alta (0.80-1.0), para sitios estructurales de 5 árboles (Aguirre, 1999).</p> <p>El valor de 0.0-0.20 indican uno de los árboles poseen diferente diámetro al árbol de referencia, 0.21-0.40 que dos de los árboles posee diferente diámetro al árbol de referencia, 0.41-0.60 que tres de los árboles posee diferente diámetro al árbol de referencia, 0.61-0.80 que cuatro de los árboles posee diferente diámetro al árbol de referencia, 0.81-1.0 que los cinco árboles incluido el árbol de referencia tiene diferente diámetro (Aguirre, 1999).</p>

---

Diferenciación en altura de Gadow	$TH(i) = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{n} \sum_n \left( 1 - \frac{h_{min}}{h_{max}} \right)$	Diferenciación en alturas entre un árbol y sus vecinos	<p>Los valores de este índice de diferenciación en altura pueden ser de clase: escasa (0.0-0.20), moderada (0.21-0.40), media (0.41-0.60), alta (0.61-0.80), muy alta (0.80-1.0), para sitios estructurales de 5 árboles (Aguirre, 1999).</p> <p>El valor de 0.0-0.20 indican uno de los árboles poseen diferente altura al árbol de referencia, 0.21-0.40 que dos de los árboles posee diferente altura al árbol de referencia, 0.41-0.60 que tres de los árboles posee diferente altura al árbol de referencia, 0.61-0.80 que cuatro de los árboles posee diferente altura al árbol de referencia, 0.81-1.0 que los cinco árboles incluido el árbol de referencia tiene diferente altura (Aguirre, 1999).</p>
-----------------------------------	--	--	---

---

Fuente: Moreno (2001); Del Río et al. (2003); Corral et al. (2005).

Cuadro 3. Índices aplicados para la evaluación de distribución espacial en el estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Aplicación	Índice	Fórmula	Aspecto en el que incide	Interpretación
Diversidad espacial	Distancias	$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n dij; \bar{D}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_i$	Diversidad espacial entre un árbol y sus vecinos	Los valores son reflejados en metros y expresa la distribución promedio de distancias en el grupo estructural de cinco árboles (Aguirre, 1999).
	Agregación R de Clark y Evans	$CE = \frac{\bar{r} \text{ observada}}{\bar{r} \text{ esperada}};$ $\bar{r} \text{ esperada} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}}$	Distribución espacial entre un árbol y sus vecinos (regulares, aleatorios o agregados)	Los valores de CE > 1 si la distribución de los árboles tiene una tendencia a la regularidad, CE = 1 si la distribución de los árboles es aleatoria y CE < 1 si los árboles tienden a agruparse (Clark y Evans, 1954).

Fuente: Moreno (2001); Del Río et al. (2003); Corral et al. (2005).

Con los datos de los ocho índices para cada sitio, se estimó el valor promedio y la varianza de cada índice (excepción del índice de valor de importancia) para cada predio, con la finalidad de compararlos estadísticamente mediante una prueba de “t” Student y un análisis multivariante de componentes principales por medio del paquete estadístico SAS.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diversidad de especies

La diversidad de especies presentó diferencias estadísticas altamente significativas en los valores de los índices de Shannon-Wiener, Complemento de Simpson y Menhinick ( $P_{>t} = 0.004$ ;  $0.005$ ;  $0.044$  respectivamente; Cuadro 4), entre los predios La Lechuguilla y La Lobera, presentando mayor diversidad de especies en el predio manejado con tratamiento de saneamiento (La Lechuguilla).

Cuadro 4. Valores de los índices de diversidad de especies y de la prueba de t Student en los predios: La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa Jalisco.

Variable	Media		Tc	Pr>t
	La Lechuguilla	La Lobera		
Índice de Shannon-Wiener (H)	0.614	0.386	2.93	0.004**
Complemento del índice de Simpson (1-D)	0.392	0.250	2.87	0.005**
Índice de Menhinick (Men)	0.768	0.627	2.05	0.044**
Índice de Grado de Mezcla de Gadow (GM)	0.429	0.300	1.56	0.122

tc = t calculada; Pr = Probabilidad de error; \* = Diferencia significativa, \*\* = Diferencia altamente significativa.

Al igual que en el presente estudio, Corral et al. (2005) y Solís et al. (2006) encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para la diversidad de especies por medio del índice de Shannon-Wiener en parcelas donde se aplicaron diferentes tratamientos silvícolas (selección y aclareos), con diferentes intensidades de corta, encontraron que existe mayor diversidad de especies en las parcelas con menores intensidades de corta.

El primer estudio se realizó en un bosque mésofilo de montaña en la Sierra de las Cucharas en el municipio de Gómez Farías, Tamaulipas y el segundo se realizó en un bosque de pino-encino en la Sierra de la Candela en el municipio de Tepehuanes, Durango.

Los resultados del índice de Shannon-Wiener para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.614 Nats, 0.386 Nats respectivamente), se califican como valores bajos, ya que valores inferiores a dos Nats se consideran de baja diversidad (Margalef, 1972). Dichos valores son menores a los reportados por Corral et al. (2005) en donde encontraron que los valores de 2.46 Nats y 2.32 Nats. La diferencia que pueden atribuirse, a que se trata de otro tipo de vegetación con mayor diversidad de especies (bosque mesófilo de montaña).

Los valores del índice de Shannon Wiener para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.614 Nats, 0.386 Nats respectivamente), son similares a los reportados por Solís et al. (2006) y Nívar y González (2009) con valores bajos de diversidad de especies (0.72 Nats, 1.21 Nats y 0.77 Nats, 0.62 Nats), similitud que se puede atribuirse a que es el mismo tipo de vegetación que en el presente estudio (bosques de pino-encino).

Los valores del complemento de índice de Simpson encontrados para los predios La Lechuguilla y La Lobera corresponden a una baja dominancia de especies con 0.392 y 0.250 respectivamente con una densidad de 126 y 86 árboles por hectárea (Anexo 1) respectivamente, los valores de dicho índice son menores a los reportados por Baca (2000) con alta de dominancia de especies (0.76) para una parcela de bosque templado. La diferencia puede atribuirse a que Baca (2000) encontró una mayor densidad con 524 árboles por hectárea. Al igual que Torres (2000) encontró un valor medio para la dominancia de especies en un bosque de pino-encino (0.64), diferencias que se puede atribuir a una mayor densidad con 648 árboles por hectárea.

Los valores del índice de Menhinick para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.768, 0.627 respectivamente), se califican como valores bajos de riqueza de especies, ya que

valores inferiores a dos se consideran de baja riqueza (Campo y Duval, 2014). Dichos valores son similares a los reportados por Nívar y González (2009), con valores bajos de riqueza de especies 0.77 y 0.62 en dos parcelas con tratamiento de aclareo, con 0 y 30% de intensidad de corta respectivamente, en un bosque de pino-encino; dicha similitud se puede atribuir a que se trata del mismo tipo de vegetación con un número similar de especies (seis), de igual forma son valores similares a los reportados por Baca (2000), con un valor bajo de riqueza de especies (0.81), dicha similitud también se puede atribuir a que es el mismo tipo de vegetación (bosque de pino-encino).

Por otro lado, el índice de grado de mezcla de Gadow no presentó diferencias significativas ( $P_{\text{mix}} = 0.122$ ) entre ambos predios. Los valores medios del índice de grado de mezcla para los predios La Lechuguilla y La Lobera son 0.429, 0.300 respectivamente, valores que reflejan que en ambos predios, los sitios de grupos estructurales de cinco árboles presentaron solo un individuo con diferente especie con respecto al árbol de referencia; dichos valores son menores a los encontrados por Corral et al. (2005) con 0.70 y 0.82 para dos parcelas con diferente historial de manejo, en donde reflejaron que dos o tres árboles son de diferente especie con respecto al árbol de referencia, diferencia que se atribuye a que se trata de otro tipo de vegetación con mayor diversidad como el bosque mesófilo de montaña.

Los valores del índice de grado de mezcla para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.429, 0.300 respectivamente) reflejaron que en ambos predios los sitios de grupos estructurales de cinco árboles presentan que solo un individuo es de diferente especie con respecto al árbol de referencia, valores similares a los encontrados por Solís et al. (2006) con 0.30 y 0.34, que reflejaron que solo un individuo es de diferente especie con respecto al árbol de referencia, dicha similitud se puede atribuir a que es el mismo tipo de vegetación bosque de pino encino y así como el hecho de tener un número similar de especies.

Por otro lado, el orden en el índice de valor de importancia para las especies encontradas en los predios La Lechuguilla y La Lobera fue el mismo: *Pinus devoniana*, *Pinus leiophylla*, *Quercus obtusata* (Anexo 3) por lo que se puede decir que la aplicación de los tratamientos silvícolas no alteraron dicho orden.

#### 4.2 Diferenciación dimensional del estrato arbóreo

La diferenciación dimensional en diámetro y altura fue escasa para ambos predios y no se encontró diferencias estadísticas significativas en los índices de diferenciación diamétrica y de altura ( $Pr > t = 0.633; 0.091$ ; Cuadro 5) entre los predios La Lechuguilla y La Lobera.

Cuadro 5. Valores de los índices de diferenciación dimensional y de la prueba de “t” Student en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Variable	Media		Tc	Pr>t
	Lechuguilla	Lobera		
Índice de diferenciación diamétrica (TD)	0.320	0.336	0.48	0.633
Índice de diferenciación en altura (TH)	0.229	0.292	1.71	0.091

tc = t calculada; Pr = Probabilidad de error.

Los resultados del índice de diferenciación diamétrica para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.320, 0.229 respectivamente), se califican como de clase escasa, ya que valores entre 0.2 y 0.4 se consideran de clase de diferenciación escasa, según la clasificación hecha por Aguirre (1999), indicando que solo un árbol presenta diferente diámetro, con respecto al árbol de referencia. Dichos valores son menores a los reportados por Corral et al. (2005) en donde encontraron valores de 0.44 y 0.42 que se califican como de clase media en donde se considera que dos árboles tienen diferente diámetro con respecto al árbol de referencia, diferencia que puede atribuirse, a que se

trata de otro tipo de vegetación con mayor diversidad y posiblemente una mejor calidad de estación (bosque mesófilo de montaña).

Los resultados del índice de diferenciación en altura para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.229, 0.292 respectivamente). Se califican como de clase escasa, ya que valores entre 0.2 y 0.4 se consideran de clase de diferenciación escasa, indicando que solo un árbol presento diferente altura con respecto al árbol de referencia (Aguirre, 1999). Dichos valores son menores a los reportados por Corral et al. (2005) en donde encontraron valores de 0.47 y 0.45 que se califican como de clase media en donde se considera que dos árboles tienen diferente altura con respecto al árbol de referencia, diferencia que puede atribuirse, a que se trata de otro tipo de vegetación con mayor diversidad (bosque mesófilo de montaña) y mejor calidad de sitio.

Por otro lado Solís et al. (2006), presentaron valores de 0.58 y 0.60 para el índice de diferenciación diamétrica; 0.53 y 0.70 para el índice de diferenciación en altura, valores que resultaron ser superiores que los encontrados en el presente estudio (Cuadro 5), la diferencia en los valores se puede atribuir a que Solís et al. (2006) utilizaron la desviación estándar para el cálculo de dicho índice.

El hecho de no encontrar diferencias significativas en el índice de diferenciación diamétrica, se le puede atribuir a que la medición para este estudio se realizó tres meses después de efectuada la corta de aclareo en el predio La Lobera, por lo que el incremento de diámetro medio aún no se manifiesta. Klepac (1983) y Rodríguez (2011) mencionan que la función principal de los tratamientos de aclareos es el incremento en el diámetro medio.

Ambos predios presentaron una complejidad estructural irregular (Figura 4) ya que cuentan con más de tres categorías diamétricas (Cano, 1988) y en ambos predios se tiene mayor cantidad de árboles en las categorías diamétricas menores.



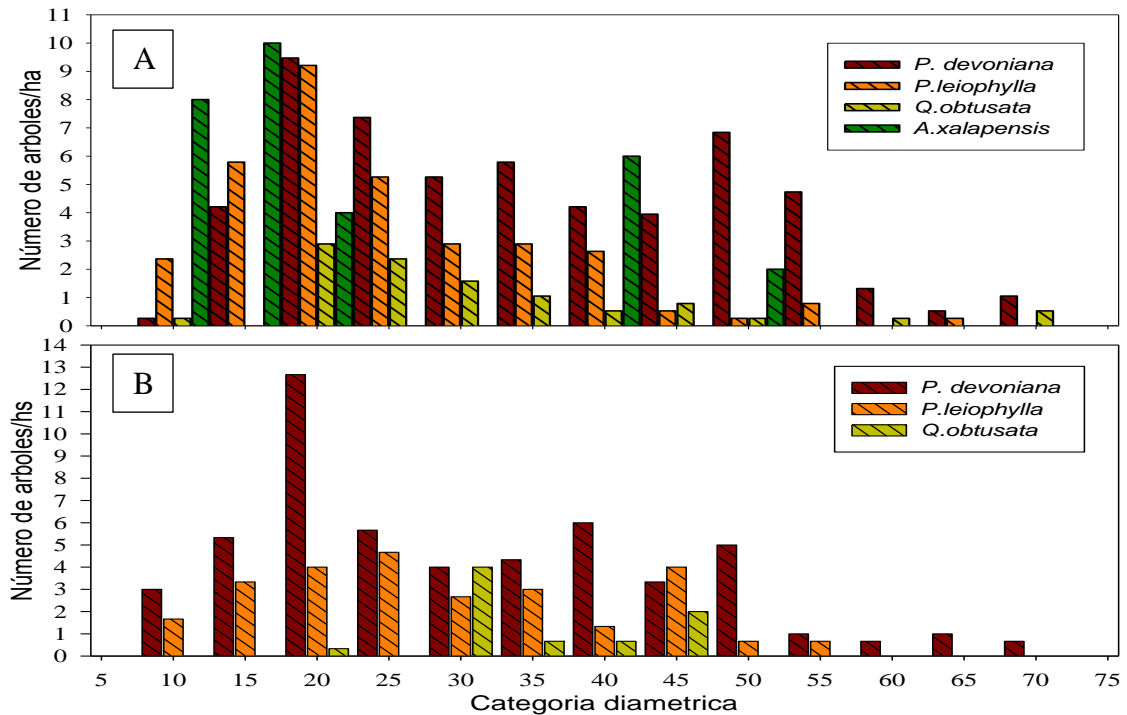


Figura 6. Representación de la distribución diamétrica en el predio La Lechuguilla (A) y La Lobera (B), municipio de Tapalpa, Jalisco.

El hecho de no se encontraran diferencias significativas en el índice de diferenciación en altura, se le puede atribuir a que ambos predios presentan características ecológicas similares (suelo y clima) variables que según Klepac (1983) afectan directamente el crecimiento en altura de los árboles, además de que la altura es una variable que no se ve afectada por los tratamientos de aclareos en un rango muy amplio de densidad (Daniel *et al.*, 1982).

En el presente estudio no se presentó diferencias significativas en la diferenciación dimensional, situación que difiere de lo reportado por Corral *et al.* (2005) en donde reportaron diferencias estadísticas significativas que demostraron que con menor intensidad de corta, existe mayor diferenciación dimensional; este hecho Corral *et al.* (2005) lo atribuyen al tiempo transcurrido de la aplicación de los tratamiento silvícola, ya que para su medición habían transcurrido 15 años después de la aplicación del

tratamiento de selección, por lo que ya había manifestado su efecto sobre el arbolado, mientras que el presente estudio se realizó la medición después de tres meses de aplicado el tratamiento de aclareo en el predio Lobera y aun no se había presentado el efecto del tratamiento. Por otra parte Solís et al. (2006) no encontraron diferencias significativas en los índices de diferenciación diamétrica y en altura, entre áreas manejadas con diferente tratamiento silvícola e intensidad de corta; dicha similitud Solís et al. (2006) se la atribuyeron a que la medición se realizó meses después de efectuado el tratamiento de aclareos y aun no se presentaba su efecto.

#### 4.3 Distribución espacial

El índice de agregación de Clark y Evans mostró un valor que corresponde a una distribución espacial con tendencia a formar grupos (Figura 3) en ambos predios; mientras que el valor del índice de distancias reportó una distribución más agregada en el predio La Lobera, manejada a través de tratamiento de aclareos.

La distribución espacial no arrojó diferencias significativas ( $P > t = 0.306$ ; Cuadro 6) en el índice de agregación de Clark y Evans, sin embargo si se encontraron diferencias significativas ( $P > t = 0.040$ ; Cuadro 6) en el índice de distancias. El hecho de encontrar diferencias significativas, por medio del índice de distancias se le puede atribuir a que dicho índice solo toma en cuenta la distancia media entre los árboles vecinos, por lo que la representación de agregación de los árboles es más contundente, a diferencia del índice de Clark y Evans en donde interviene la variable de la distancia esperada, la cual regula el resultado de dicho índice.

Cuadro 6. Valores de los índices de distribución espacial y de la prueba de “t” Student en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Variable	Media		Tc	Pr>t
	Lechuguilla	La Lobera		
Índice de agregación de Clark y Evans (CE)	0.467	0.486	1.03	0.306
Índice de distancias (Di)	7.157	6.166	2.00	0.040*

tc = t calculada; Pr = Probabilidad de error; \* = Diferencia significativa.

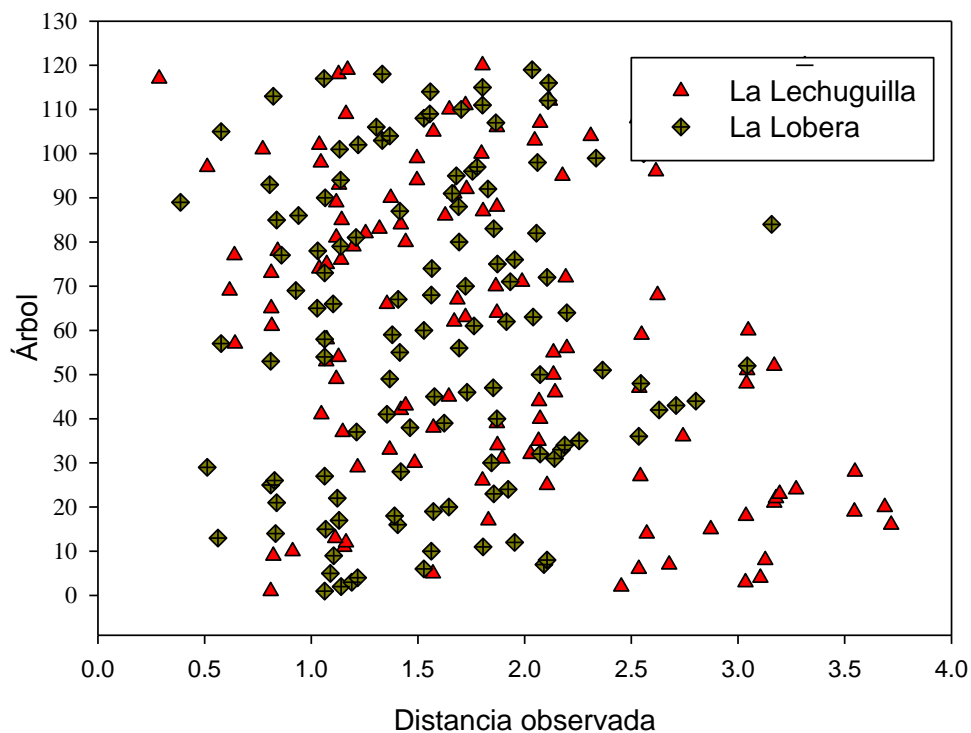


Figura 3. Distribución observada de los árboles mediante el Índice de Distancias y Clack y Evans en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

La distribución espacial no arrojó diferencias significativas ( $Pr > t = 0.306$ ; Cuadro 6) en el índice de agregación de Clark y Evans a diferencia de lo encontrado por Corral et al. (2005) en donde reportaron diferencias estadísticas significativas que demostraron que con menor grado de perturbación existe mayor agregación en la distribución espacial de

los árboles en el índice de Clark y Evans, diferencia que se le puede atribuir a que se trata de otro tipo de vegetación (bosque mesófilo de montaña).

Por otro lado, al igual que el presente estudio Solís et al. (2006) no encontraron diferencias significativas en la distribución espacial entre dos parcelas con diferente tratamiento e intensidad de corta; Similitud que se puede atribuir a que es el mismo tipo de vegetación (bosque de pino-encino), con una intensidad de corta similar (30%) a la presente estudio (25%) para el tratamiento de aclareos.

Los resultados del índice de agregación de Clark y Evans para los predios La Lechuguilla y La Lobera (0.467, 0.486 respectivamente), se califican como de distribución espacial con tendencia a formar grupos (Clark y Evans, 1954). Dichos valores son menores a los reportados por Corral et al. (2005) en donde encontraron valores cercanos a uno con 0.92 y 0.88 que se califican como de distribución aleatoria, dicha diferencia se puede atribuir a la mayor densidad encontrada (1298 árboles/hectárea) por Corral et al. (2005) lo que causó que la tendencia espacial fuera más agregada con respecto al presente estudio.

De igual forma Solís et al. (2006) presentaron valores similares al presente estudio (0.68 y 0.71) para el índice de Clark y Evans, valores que reflejan una distribución espacial con tendencia a formar grupos (Cuadro, 7), dicha similitud en los valores se puede atribuir a que es el mismo tipo de vegetación para ambos estudios (bosque de pino-encino).

La distribución espacial presentó diferencias significativas ( $P < 0.040$ ; Cuadro 6) en el índice de agregación de distancias; al igual que lo encontrado por Corral et al. (2005), en donde reportaron diferencias estadísticas significativas que demostraron que con menor grado de perturbación existe menor agregación en la distribución espacial de los árboles en el índice de distancias.

Los resultados del índice de distancias para los predios La Lechuguilla y La Lobera (7.15, 6.16 respectivamente) con una densidad de 126 y 86 árboles por hectárea respectivamente son mayores a los reportados por Corral et al. (2005) que encontraron valores de 2.53 y 2.20, en dos parcelas con diferente historial de manejo (Cuadro 7), diferencia que se puede atribuir a la mayor densidad por hectárea encontrada (1298 árboles/hectárea) definida a su vez por el tipo de vegetación bosque mesófilo de montaña (Corral *et al.*, 2005).

#### 4.4 Componentes principales

Al aplicar el análisis multivariado por componentes principales, se obtuvieron ocho componentes, de los cuales, los primeros tres resultaron ser los que mejor representan la variabilidad encontrada en la diversidad estructural de ambos predios con un 75% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis multivariante por medio de componentes principales en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Componente	Total	Auto valores iniciales	
		% de varianza	% acumulado
1	3.27	40.91	40.91
2	1.60	20.02	60.94
3	1.12	14.03	75.00

El componente principal número uno se conforma principalmente por las variables de los índices de diversidad de especies, Shannon-Wiener (H), Complemento del índice Simpson (D), Menhinick (Men) y Grado de Mezcla de Gadow (GM); mientras que el componente principal dos, se constituye principalmente de las variables (índices) de diferenciación dimensional índices de diferenciación en diámetro y altura (TD, TH); el componente principal número tres, se compone principalmente por los índices de distribución espacial de distancias (Di) y de Clark y Evans (Cuadro 8).

Cuadro 8. Matriz de componentes principales de la estructura de estrato arbóreo en los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Variable	Componente		
	1	2	3
H	.957 †	.025	-.006
1-D	.944 †	.010	.009
Men	.881 †	-.040	-.033
GM	.786 †	.053	.023
CE	-.158	-.561	.520 †
TH	.010	.813 †	.225
TD	-.141	.768 †	.331
Di	.163	-.178	.831 †

(†) Variable con mayor correlación a cada uno de los componentes; H = Índice de Shannon-Wiener; 1-D = Complemento del índice de Simpson; Men = Índice de Menhinick; GM= Índice de grado de Mezcla; CE= Índice de agregación de Clark y Evans; TH = Índice de diferenciación en altura; TD= Índice de diferenciación diamétrica; Di = Índice de distancias.

Tal y como se presentó en la prueba de “t” Student, el componente número uno, el cual está conformado principalmente por los índices de diversidad de especies (H, D, Men, GM) es el único que presentó la separación entre los predios La Lechuguilla y La Lobera, patrón de separación que muestra la clave L1 que representa al predio La Lechuguilla y L2 que representa al predio La Lobera (Figura 4).

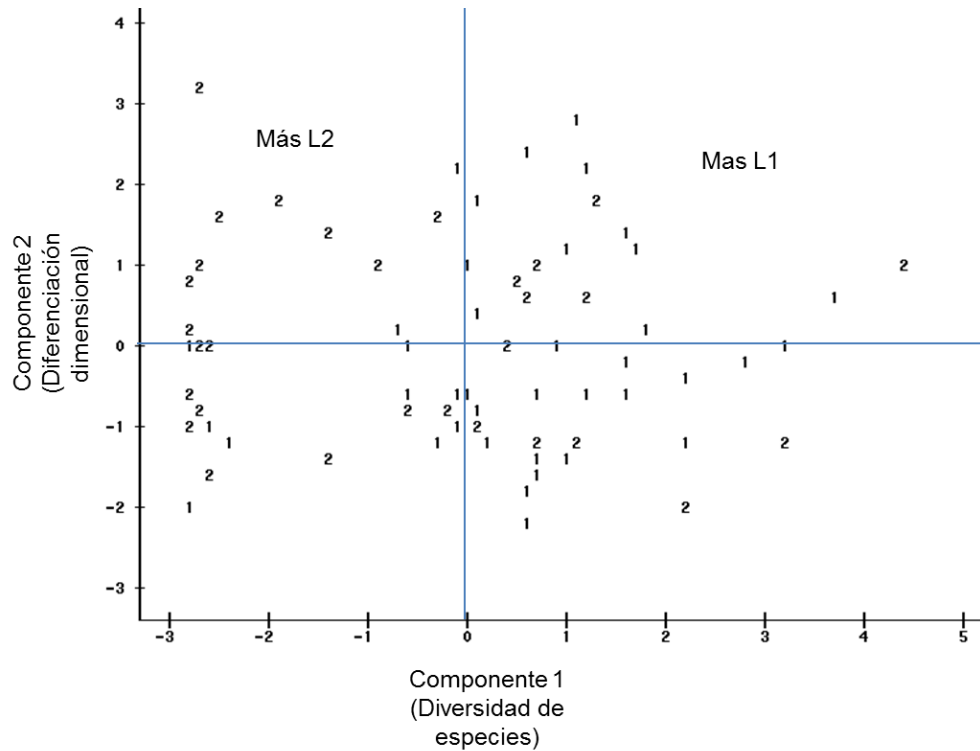


Figura 4. Distribución de los componentes uno (Diversidad de especies) y dos (Diferenciación dimensional) con respecto a los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

En el componente uno muestra un patrón de separación entre la diversidad de especies de los predios La Lechuguilla y La Lobera, ya que conforme aumenta la diversidad de especies en el eje horizontal aparece mayor cantidad de sitios del predio denominado La Lechuguilla (L1) y conforme disminuye la diversidad de especies aparecen más sitios del predio La Lobera (L2), muestran que existe diferencia altamente significativas en la diversidad de especies entre ambos predios, a diferencia del componente dos representado en el eje vertical en donde no se muestra un patrón de separación entre la diferenciación dimensional de ambos predios

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones de este estudio son:

Se rechaza la hipótesis nula, para tres índices de diversidad de especies (Shannon-Wiener, Complemento del índice de Simpson y el Índice de Menhinick), ya que el predio La Lechuguilla manejado con tratamiento de saneamiento presentó mayor diversidad de especies que el predio La Lobera manejado con aclareos.

No se rechaza la hipótesis nula para los dos índices de diferenciación dimensional (índice de diferenciación diamétrica e índice de diferenciación en altura) ya que los resultados mostraron que la diferenciación dimensional no fue estadísticamente diferente para los predios La Lechuguilla y La Lobera manejados con diferente tratamiento silvícola.

Se rechaza la hipótesis nula, para un índice de distribución espacial (índice de distancias) ya que la distribución espacial fue más agregada para el predio La Lobera manejado con tratamiento de aclareos que el predio La Lechuguilla manejado con tratamiento de saneamientos.

La aplicación de los índices de diversidad de especies y de estructura permite caracterizar la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial del estrato arbóreo en ambos predios.

Las recomendaciones son:

Establecer sitios o parcelas permanentes en las condiciones originales de los rodales que permitan evaluar el efecto de la aplicación de diferentes tratamientos silvícolas, sobre la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial durante su aplicación y después de la misma.

Para determinar con precisión el efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos silvícolas sobre la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial en otros bosques de pino-encino, es necesario realizar más trabajos similares al presente estudio.



## VI LITERATURA CITADA

- Aguirre O. (1999) Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Ciencia forestal en México* 24:15-92.
- Aguirre O., G. Hui., K. Von. Gadow, J. Jiménez. (2003) An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Alvis J. F. G. (2009) Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 7: 1-8.
- Asensio I. A., S. S. M. de Toda y F. M. Millán (2005) El estudio de la biodiversidad en el tercer inventario forestal nacional. *Ciencia. Forestal* 19: 11-19.
- Baca V. J. M. (2000) Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino, Linares Nuevo León. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León 102 p.
- Bascopé, S. F. y P. O. Jorgensen (2005) Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, La Paz. *Ecología en Bolivia* 40: 365-379.
- Campo. A. M. y V. S. Duval (2014) Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Universidad Nacional de Sur* 2: 25-42.
- Cano J. C. (1998) El sistema de manejo regular en los bosques de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco México. 218 p.

- Castellanos Bolaños J. F., E. J. Treviño Garza, O. A. Aguirre Calderon, J. Jiménez Pérez, M. Musalem Santiago y R. López Aguillón (2008) Estructura de bosques de *Pino pátula* bajo manejo en Ixtlán de Juárez. *Madera y Bosques*. 14: 51 - 63.
- Clark P. y F.C. Evans (1954) Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships. *Ecology Germany*. 35: 445 – 453.
- Corral Rivas J., C. O. Aguirre, J. J. Pérez, y J. N. Chaidez (2002) Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña "El Cielo", *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Tamaulipas, México 8: 125-131.
- Corral Rivas J. J., O. A. Aguirre Calderón, J. Jiménez Pérez y S. Corral Rivas (2005) Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña El Cielo. *Sistemas y Recursos Forestales*. 14:217-228.
- CONABIO (2008) Catalogo de metadatos geográficos, consultado el 11/03/2017, Portal de geo-información, consultado en Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Condes S. y J. Martínez (1998) Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Recursos Forestales* 10: 9-98.
- Cuevas G. R., L. Cisneros, J. P. Jardel, L. R. Sánchez, L. H. Guzmán, N. N. López y C. Rodríguez (2011) Análisis estructural y de diversidad en los bosque de *Abies* de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1210-1233.
- Daniel P. W., U. E. Helms, F. S. Baker (1982) Principios de Silvicultura. Segunda edición. MacGRAW-HILL. México. 490p.

- Del Río M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero (2003) Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 12: 159-176.
- Duran, G. R. (1995) Diversidad florística de los petenes de Campeche. *Acta Botánica Mexicana* 31: 73-84.
- Gadow K. Von y G. Hui (1998) *Modelling Forest Development*. Kluwer Academic Publishers, Göttingen, Germany. 213 p.
- Gadow K. V., O. S. Sánchez y O.A. Aguirre (2004) Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10:3-16.
- Gadow K. V., O. S. Sánchez y J. G. Álvarez (2007) *Estructura y crecimiento del bosque*. Universidad de Göttingen, Alemania. 286 p.
- García E. y W. Koppen (1973) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*, ISBN-UNAM, México. 98 p.
- INEGI (2009) *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Tapalpa Jalisco. 1: 1-18 p.
- Jardel P. (2015) *Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal*. CONAFOR. Guadalajara Jalisco 120 p.
- Jiménez J. O. Aguirre y H. Kramer (2001) Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Sist. Recur. For.* 10: 356-367 p.
- Krebs, Ch. J. (1999) *Ecological Methology*. Ed Addison. 2nd ed. Florida, E.U.A. 620p.

- Klepac D. (1983) Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco México 271p.
- Magurran, A. E. (2004) Measuring biological diversity. Princenton University Press. Malden M.A. Nueva Jersey E.U.A. 2:18-71.
- Margalef R. (1972). Homage to Evelyn Hutchinson, or why is an upper limit to diversity. Connecticut. Academy of Arts and Sciences. University of Florida. Gainesville, Florida 211 p.
- Moreno C. E. (2001) Manual de métodos para medir la biodiversidad. MYT-Manuales y tesis SEA. Zaragoza, España. 84 p.
- Mostacedo, B. y T. Fredericksen (2000) Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia 52 p.
- Návar Ch. y González E. (2009) Diversidad y productividad de bosques templados en Durango México. *Polibotánica*. 71-87.
- Pommerening A., C. Wiergard, K. V. Gadow (1996) Bestandesinventuren in strukturreichen Wäldern. Information für die Zielstärken – und Wertnachhaltigkeit Projektbericht. Göttingen. 68 p.
- Rodríguez-Ortíz, G., A. Aldrete, V. A. González-Hernández, D. Los Santos-Posadas, M. Héctor, A. Gómez-Guerrero y A. M. Fierros-González (2011) ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*?. *Agrociencia* 45: 719-732.
- Rzedowski J. (2006) Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 p.

Shannon C.E. (1949) The mathematical theory of communication urbana. Univesity. Of Illinois Press 91p.

Solís R. M., O. A. Calderón, E. J. T. Garza, J.J. Pérez, E. J. e Ybarra y R.J. Corral (2006) Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques* 12: 49-64.

Torres Espinosa L. M., J. A. Sánchez Salas y J. J. Pérez (2000) Análisis estructural de un ecosistema forestal de *Pinus-Quercus* en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 21: 31-100.

Zarco E., H. J. Valdez, P. G. Pérez y O. A. Castillo (2010) Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26: 1-17.

## VII ANEXOS

Anexo 1. Representación de la información dasométrica de los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Especie	La Lechuguilla				La Lobera			
	N/ha	G/ha	$\bar{d}$ (cm)	$\bar{h}$ (m)	N/ha	G/ha	$\bar{d}$ (cm)	$\bar{h}$ (m)
<i>P. devoniana</i>	55	6.22	39.91	22.15	53	4.77	40.00	19.61
<i>P. leiophylla</i>	33	1.89	39.95	21.08	26	1.99	33.50	16.30
<i>Q. obtusata</i>	10	0.94	34.93	12.55	8	0.75	34.00	16.14
<i>A. xalapensis</i>	30	1.45	31.25	8.11				
Total	126	10.50	36.51	15.97	86	7.53	35.50	17.35

N/ha=Número de árboles por hectárea, G/ha= Área basal por hectárea  $\bar{d}(cm)$ =Diámetro medio expresado en centímetros,  $\bar{h}(m)$  = Altura media expresada en metros.

Anexos 2. Descripción de las fórmulas utilizadas para la caracterización de la diversidad de especies y de estructura en el estrato arbóreo forestal de los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

- Índice de Shannon-Wiener (Shannon, 1949).

$$H_i' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

$H_i'$  = Índice de diversidad de especies

$p_i$ = Proporción total de la muestra que corresponde a la especie

$\ln$ = logaritmo natural

- Índice de Simpson que se utilizó se describe a continuación:

$$1 - D = 1 - \sum pi^2$$

1-D= Complemento del índice de Simpson

$P_i$  = Proporción total de la muestra que corresponde a la especie  $i$

- Índice de riqueza de especies de Menhinick (Moreno, 2001):

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Dónde:

$D_{Mn}$ : Índice de Menhinick (Moreno, 2001)

S: Número de especies en la muestra

N: Número total de individuos

- Índice de mezcla de Gadow (Gadow y Hui, 1998):

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{ij}$$

Dónde:

$M_i$ = Índice de mezcla de Gadow

$n$ = Número de árboles muestreados en el sitio estructural

$m_{ij}$ = Es una variable binaria discreta que asume el valor de 1 cuando el árbol  $j$  es de la misma especie que el árbol de referencia  $i$ , y el valor de 0 si es diferente especie.

- Índice de valor de importancia la fórmula es la siguiente:

$$IVI = Dr + Domr + Fr$$

Dónde:

$IVI$  = Índice de valor de importancia

$Dr$  = Densidad relativa

$Domr$ = Dominancia relativa

$Fr$ = Frecuencia relativa

- Densidad relativa se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (Zarco *et al.*, 2010):

$$Dr = \left( \frac{\text{Densidad por especie}}{\text{Densidad de todas las especies}} \right) 100$$

- Dominancia relativa se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (Zarco *et al.*, 2010):

$$Domr = \left( \frac{\text{Dominancia por especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \right) 100$$

- Frecuencia relativa se obtuvo a partir de la siguiente fórmula (Zarco *et al.*, 2010):

$$Fr = \left( \frac{\text{Frecuencia por especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \right) 100$$

- Índice de diferenciación diamétrica y de altura (Gadow y Hui, 1993; Fülde, 1995):

$$TD(i) = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{n} \sum_n \left( 1 - \frac{d \min}{d \max} \right)$$

$$TH(i) = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{n} \sum_n \left( 1 - \frac{h \min}{h \max} \right)$$

Dónde:

TD ( i ) = Diferenciación diamétrica

TH ( i ) = Diferenciación en altura

n = Número de vecinos considerados

N: Número de árboles medidos

d min, d max: Diámetros menor y mayor entre el árbol "i" y cada uno de sus "n" vecinos

h min, h max: Alturas menor y mayor entre el árbol "i" y cada uno de sus "n" vecinos



- Índice de distancias (Pommerening *et al.*, 1996)

$$D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}; \bar{D}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N D_i$$

Dónde:

$d_{ij}$ = Distancia del árbol vecino

$n$ = Número de vecinos considerados

$\bar{D}_i$  = Distancia promedio de la parcela  $i$

$N$ = Número de sitios estructurales considerados

- Índice de agregación R de Clark y Evans (Clark y Evans, 1954):

$$CE = \frac{\bar{r} \text{ observada}}{\bar{r} \text{ esperada}};$$

$$\bar{r} \text{ esperada} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}}$$

Dónde:

CE= Índice de Clark y Evans

$N$ = Número de observaciones

$A$ = Superficie en metros cuadrados

$P$ = Perímetro de la parcela  $i$  en metros cuadrados

$\bar{r} \text{ observada}$ = distancia media de los cuatro árboles vecinos con respecto al árbol de referencia "i".

Anexo 3. Índice de valor de importancia de especies de los predios La Lechuguilla y La Lobera, municipio de Tapalpa, Jalisco.

Especie	La Lechuguilla				La Lobera			
	Dom. (%)	Abun. (%)	Fr. (%)	IVI	Dom. (%)	Den. (%)	Fr. (%)	IVI
<i>P.devoniana</i>	64.11	59.94	45.24	168.29	65.74	66.25	53.85	185.84
<i>P.leiophylla</i>	25.01	33.72	38.14	96.82	31.12	31.25	36.54	98.90
<i>Q.obtusata</i>	9.40	4.32	9.52	23.25	3.14	2.50	9.62	15.25
<i>A.xalapensis</i>	1.48	2.02	7.14	11.64				
Total	100	100	100	300.00	100.00	100.00	100.00	300.00

Dom= Dominancia; Den = Densidad; Fr= Frecuencia; IVI = Índice de valor de importancia.