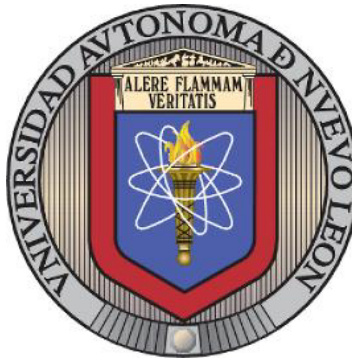


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**TESIS**

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD  
ESTRUCTURAL DE BOSQUES TEMPLADOS EN DURANGO,  
MÉXICO**

**PRESENTA**

**ING. EDGAR SILVA GONZÁLEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

**JUNIO, 2018**

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



**TESIS**

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD  
ESTRUCTURAL DE BOSQUES TEMPLADOS EN DURANGO,  
MÉXICO**

**ING. EDGAR SILVA GONZÁLEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

JUNIO DE 2018

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD  
ESTRUCTURAL DE BOSQUES TEMPLADOS EN DURANGO,  
MÉXICO**

**Aprobación de tesis**



---

**Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón**  
**Director**



---

**Dr. Javier Eduardo Treviño Garza**  
**Codirector**



---

**Dr. Eduardo Alanís Rodríguez**  
**Asesor**



---

**Dr. José Javier Corral Rivas**  
**Codirector Externo**

## DEDICATORIA

Con mucho cariño para la persona más importante en mi vida, para mi madre la señora **Enriqueta González Lugo** por ser una guerrera y demostrarme siempre su Amor y apoyo incondicional.

Para mi padre el señor **Máximo Silva Sánchez** por sacrificar cosas y lograr un cambio muy importante en su vida.

Para mis abuelos el señor **Calixto Silva García** y la señora **Ofelia Sánchez Patiño**, por ser una motivación al verlos.

A mis cuatro hermanos **María Magdalena, Cesar Abiud, Máximo y Jazmín Guadalupe**, por todo su apoyo, por tener ese calor de hermanos y demostrar ser excelentes personas. Para Nena por ser una Licenciada en Derecho, a Cesar por ser Secretario Ejecutivo y Contador Privado, a Max por ser Licenciado en Educación Física y a Lupita por ser Técnico en Administración.

A mis tíos, especialmente a **Waldo** por su amistad y confianza y ser más que un tío un excelente amigo, a **Exiquio** por ser un excelente amigo con sus sabios consejos, a **Manuel** por su apoyo, a **Gerardo** por su confianza, sinceridad y respeto, a **Calixto** por su generosidad, a mi tía **Gudelia** por sus consejos y regaños, a mis tías **Rosy, Ofelia y Genoveva** por demostrar mucho respeto. A mi tío **Mario (+)** que aunque no está con nosotros estaría orgulloso de mi.

A todos mis **primos**, por compartir momentos de felicidad, por pasar siempre cosas inolvidables, y saber que con ellos puedo contar si algún día necesito algo.

A todos mis **amigos** y colegas por demostrar ser excelentes seres humanos con su respeto, confianza, humildad y sencillez.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al CONACYT** por darme la oportunidad y el apoyo económico para realizar mis estudios de posgrado en la FCF de la UANL

**A la FCF de la UANL** por proporcionarme las herramientas para concluir esta etapa tan importante de mi vida y permitirme obtener mi grado académico de Maestro en Ciencias.

A la plantilla de docentes de la **FCF**, gracias por los conocimientos transmitidos y por su amable trato.

**Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón** por su asesoría, apoyo, tiempo, atención y buena disposición para culminar esta etapa académica de mi vida.

**Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza** por su disposición y apoyo para realizar la culminación de esta etapa de preparación académica.

**Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez** por su disposición y apoyo para hacer posible la realización de este trabajo de tesis profesional.

**Al Dr. José Javier Corral Rivas** por tener la generosidad de aportar información relevante para llevar a cabo este trabajo, así como disponibilidad y tiempo.

**Al Dr. Francisco Javier Hernández** por su ayuda para la realización y enriquecimiento de esta investigación.

**A mis maestros de Ingeniería** por enseñarme todo lo que se dé la carrera.

**Al ISIMA, MONAFOR y U.P.S.E. No 6** por aportar datos requeridos para esta investigación.

**Al Dr. Sacramento Corral Rivas, Dr. José Gpe. Colín, Dr. Javier Bretado e Ing. Fabian Huizar** por aportar datos requeridos para esta investigación.

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

## Contenido

LISTA DE TABLAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. JUSTIFICACION.....	6
4. HIPOTESIS.....	7
5. OBJETIVOS.....	7
5.1. Objetivo General .....	7
5.2. Objetivos Específicos.....	7
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
6.1. Localización del área de estudio .....	8
6.2. Clima.....	9
6.3. Edafología.....	9
6.4. Geología .....	10
6.5. Fisiografía .....	11
6.6. Relieve.....	11
6.7. Topografía .....	11
6.8. Vegetación.....	11
6.9. Bosques de pino. ....	12
6.10. Bosque de encino. ....	13
6.11. Bosque de pino - encino (Pq) .....	14
6.12. Bosque encino - pino (Qp).....	14
7. METODOLOGÍA.....	15
7.1. Selección de los datos .....	15
7.2. Tamaño y forma de los sitios .....	15
7.3. Información mínima a medir.....	16
7.4. Análisis de la información .....	16
7.5. Índices de diversidad.....	17
7.5.1. Shannon.....	17

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

7.5.2.	Simpson .....	17
7.5.3.	Margalef .....	18
7.5.4.	Menhinick.....	18
7.6.	Estructura arbórea .....	19
7.6.1.	Diversidad y mezcla de especies .....	19
7.6.2.	Distribución espacial .....	20
7.6.3.	Diferenciación dimensional.....	22
7.7.	Efecto de borde .....	23
7.8.	Prueba <i>t de Student</i> para muestras dependientes .....	24
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
8.1.	Gráficos en representación del Índice de Valor de Importancia (IVI) para las parcelas muestreadas en sus dos inventarios.....	28
8.2.	Variables dasométricas .....	33
8.3.	Prueba <i>t de Student</i> para las variables dasométricas .....	34
8.4.	Índices de diversidad.....	35
8.5.	Prueba <i>t de Student</i> para los índices de diversidad .....	36
8.6.	Gráficos en representación de la comparación de las Categorías Diamétricas .....	37
8.7.	Índices de estructura.....	42
8.8.	Prueba <i>t de Student</i> para índices de estructura.....	43
9.	CONCLUSIONES .....	45
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	46

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Fórmulas para la estimación del IVI.</i> .....	16
<i>Tabla 2. Especies registradas en los dos inventarios</i> .....	25
<i>Tabla 3. Número de individuos, especies, tocones, árboles muertos e incorporados en los dos inventarios</i> .....	26
<i>Tabla 4. Estadísticos descriptivos para el 2008.</i> .....	27
<i>Tabla 5. Estadísticos descriptivos para el 2013.</i> .....	27
<i>Tabla 6. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas</i> .....	33
<i>Tabla 7. Valores de la prueba t de Student para las variables dasométricas</i> .....	34
<i>Tabla 8. Valores para los índices utilizados</i> .....	35
<i>Tabla 9. Valores de la prueba t de Student para los índices de diversidad</i> .....	36
<i>Tabla 10. Valores para los índices de estructura</i> .....	42
<i>Tabla 11. Valores de la prueba t de Student para los índices de estructura</i> .....	43



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las parcelas permanentes en El Salto Pueblo Nuevo, Dgo.....	8
Figura 2. Representación esquemática de un sitio permanente (0.25 ha) .....	15
Figura 3. Representación esquemática del índice de mezcla de especies de Gadow utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio. ....	20
Figura 4. Representación esquemática del índice de Gadow utilizado utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.....	21
Figura 5. Representación esquemática del índice de dominancia utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.....	23
Figura 6. IVI para la parcela 1 .....	28
Figura 7. IVI para la parcela 2 .....	29
Figura 8. IVI para la parcela 3.....	29
Figura 9. IVI para la parcela 4.....	30
Figura 10. IVI para la parcela 5.....	30
Figura 11. IVI para la parcela 6.....	31
Figura 12. IVI para la parcela 7.....	31
Figura 13. IVI para la parcela 8.....	32
Figura 14. IVI para la parcela 9.....	32
Figura 15. IVI para la parcela 10.....	33
Figura 16. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 1 .....	37
Figura 17. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 2 .....	38
Figura 18. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 3 .....	38
Figura 19. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 4 .....	39
Figura 20. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 5 .....	39
Figura 21. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 6 .....	40
Figura 22. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 7 .....	40
Figura 23. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 8 .....	41
Figura 24. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 9 .....	41
Figura 25. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 10 .....	42

## RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de tratamientos silvícolas en la diversidad y estructura de especies en ecosistemas forestales, en rodales que pertenecen a bosques de clima templado en el Municipio de Pueblo Nuevo, Durango, México. La finalidad fue conocer si el aprovechamiento forestal modifica la diversidad y estructura de especies, la distribución espacial y la diferenciación dimensional en este ecosistema forestal. La evaluación se realizó comparando diez parcelas con historial de manejo, las cuales se midieron en un lapso de cinco años, se compararon índices de diversidad (Shannon, Simpson, Margalef y Menhinick) e índice de valor de importancia mediante la estimación de la abundancia, dominancia, frecuencia y cobertura de las especies, así como la mezcla de especies, la distribución espacial y la diferenciación dimensional, los cuales se obtuvieron con el método de muestreo referido como grupo estructural de los cinco árboles. De acuerdo con los tratamientos silvícolas aplicados, se pueden observar que existen pequeños cambios en algunas especies con a alto índice de valor de importancia. En los índices de diversidad y dominancia de Shannon y Simpson se presentan resultados similares, al igual que los índices de riqueza de especies de Margalef y Menhenick, mismo caso para los índices de estructura de mezcla de especies, distribución espacial y diferenciación dimensional, en los cuales al realizar una prueba estadística de comparación de medias se determina que no existen diferencias significativas que demuestre que el aprovechamiento forestal modifica la estructura y diversidad de especies del estrato arbóreo para esta comunidad.

**Palabras clave:** diversidad de especies, estructura espacial, diferenciación dimensional.

### **ABSTRACT**

The present study evaluated the effect of silvicultural treatments on the diversity and structure of species in forest ecosystems, in stands belonging to temperate climate forests in the Municipality of Pueblo Nuevo, Durango, Mexico. The purpose was to know if the forest use modifies the diversity and structure of species, the spatial distribution and the dimensional differentiation in this forest ecosystem. The evaluation was made comparing ten plots with management history, which were measured in a span of five years, diversity indices (Shannon, Simpson, Margalef and Menhinick) and value index of importance were compared by estimating abundance, dominance, frequency and coverage of the species, as well as the mixture of species, spatial distribution and dimensional differentiation, which were obtained with the sampling method referred to as a structural group of the five trees. According to the applied silvicultural treatments, it can be observed that there are small changes in some species with a high value index of importance. Similar results are presented in the diversity and dominance indexes of Shannon and Simpson, as well as the species richness indexes of Margalef and Menhenick, same case for the indexes of species mix structure, spatial distribution and dimensional differentiation, in the which when performing a statistical test of comparison of means, it is determined that there are no significant differences that demonstrate that the forest use modifies the structure and diversity of species of the arboreal stratum for this community.

**Key words:** diversity of species, spatial structure, dimensional differentiation.

## 1. INTRODUCCION

En el manejo sustentable de las masas forestales es primordial conservar la biodiversidad, mantener la composición forestal, sus valores asociados y el paisaje del ecosistema. La estructura de un ecosistema es un buen indicador de su biodiversidad y las practicas silvícolas y los regímenes de manejo forestal modifican o deterioran el hábitat de muchas especies (Corral, Aguirre, Jiménez y Corral, 2005; Del Rio, Montes, Cañellas, y Montero, 2003; Hernández *et al*, 2013).

Estos cambios en la estructura y diversidad del bosque pueden ser generados por un aprovechamiento selectivo (Corral *et al*, 2005). Las prácticas silvícolas habituales y simples tienden a favorecer un número reducido de especies es por ello que la tarea silvícola es compleja si se pretende armonizar los criterios de sustentabilidad que implican la conservación de la biodiversidad (Gavilán y Rubio, 2005).

La evaluación de los ecosistemas forestales con indicadores de diversidad como abundancia, dominancia, cobertura y frecuencia de las especies, se utiliza para analizar la relación entre las especies de una población (Jiménez, Aguirre, y Kramer, 2001; Hernández 2013). Los indicadores se pueden determinar para estratos diferentes del sistema forestal (Gavilan y Rubio, 2005). Los índices de estructura pueden usarse para evaluar el efecto del aprovechamiento forestal sobre especies arbóreas del bosque (Aguirre, Hui, Gadow y Jiménez, 2003; Corral *et al.*, 2005), medir diferencias en espacio y tiempo (Magurran, 2004), controlar los cambios provocados por actividades silvícolas (Corral *et al.*, 2005), o para definir las practicas que conduzcan a alcanzar un manejo forestal sustentable (Aguirre, Corral, Vargas, y Jiménez, 2008; Hernández *et al*, 2013)

La caracterización de la diversidad estructural de ecosistemas forestales constituye una condición básica para la toma de decisiones sobre el manejo de sus recursos, tanto en localidades de bajo aprovechamiento, como en áreas protegidas, donde pueden observarse procesos de sucesión natural, así como efectos provocados por actividades antropogénicas, por lo que su adecuado

conocimiento es necesario para garantizar una gestión sostenible (Albert *et al.*, 1995; Aguirre, *et al.*, 1998).

La 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 en primera instancia la diversidad de especies, la diferenciación dimensional y la distribución espacial de los árboles que se encuentran dentro de una determinada masa forestal (Gadow y Hui, 1999). Por lo tanto, una manera adecuada y precisa para describir la diversidad estructural, es caracterizar el estrato arbóreo considerando estos tres importantes componentes (Gadow *et al.*, 2001). Para ello es necesario el empleo de una serie de índices o variables que reflejan estas características en pequeñas superficies o rodales: el grado de mezcla, que evalúa la manera en que los árboles de diferentes especies se interrelacionan, la agregación, que describe como se distribuyen los árboles sobre el terreno analizando sus distancias y el grado de diferenciación, que es un índice que cuantifica las diferencias en tamaño de los árboles que conviven dentro del rodal.

Los objetivos de la presente investigación fueron comparar índices de diversidad e índices de valor de importancia de las especies estudiadas antes y después de la aplicación de tratamientos silvícolas, así como comparar la mezcla de especies, la estructura espacial y la diferenciación dimensional en un lapso de cinco años.

## 2. ANTECEDENTES

Los sitios permanente son la fuente de información más importante en manejo e investigación forestal (Graves,1906; Solomon, 1979; Williams, 1991; Gadow *et al.*, 1999). Estos sitios son instrumentos que permiten seguir el crecimiento y rendimiento del bosque con el propósito de obtener información esencial para ser utilizada en el momento de tomar decisiones de manejo forestal respecto a ciclos de corta, diámetros mínimos de corta, volúmenes de corta y otros supuestos planteados en los programas de manejo.

Un programa de investigación forestal a través del establecimiento de sitios permanentes permite a los manejadores e investigadores forestales observar diversas variables ecológicas, sociales, económicas y culturales relevantes, además de coleccionar información básica y esencial de cómo funcionan los bosques.

Esta información es sumamente importante para conocer el grado de cumplimiento de los objetivos planteados respecto a la conservación y uso adecuado de la biodiversidad, al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y al mantenimiento y mejoramiento de los valores relevantes del bosque propuestos en programas de manejo. Asimismo, es primordial para detectar impactos negativos y desarrollar indicadores del manejo forestal sostenible. Los impactos negativos que interesa conocer, son aquellos que resulten como respuesta al manejo, por lo que pueden reducirse o eliminarse mediante modificadores al programa de manejo, de manera que se logren prácticas de aprovechamiento forestal sostenible.

Los índices de diversidad y estructura cada día tienen mayor importancia como criterios de comparación de alternativas y control de decisiones en el manejo forestal (Neumann y Starlinger, 2001). Una forma confiable y práctica de integrar aspectos de diversidad en el plan de manejo forestal es el control de la estructura de los rodales del ecosistema forestal (Ozdemir *et al.*, 2012), dado que la diversidad de especies ésta correlacionada con la diversidad de hábitats (Neumann y Starlinger, 2001), específicamente, la estructura del estrato arbórea

es un indicador de la biodiversidad del sistema y es fácilmente modificable a través de la silvicultura (Solís, *et al.*, 2006).

La estructura arbórea es un elemento clave para evaluar la estabilidad de un sistema (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008), que se modifica con facilidad mediante la aplicación de tratamientos silvícolas, cambiando la estructura de los rodales o las masas forestales y en consecuencia el bosque, que es un conjunto de estas unidades (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Del Rio, *et al.*, 2003; Solís, *et al.*, 2006)

La evaluación de la composición de la estructura o condiciones de un rodal es posible describirla con tres características: 1) diversidad y mezcla de especies, 2) posición o distribución espacial, y 3) el arreglo de la diferenciación vertical y horizontal o diferencia de tamaños (Jiménez *et al.*, 2001; Aguirre *et al.*, 2003; Castellanos *et al.*, 2008).

Los índices de diversidad estructural también sirven para caracterizar los tratamientos silvícolas aplicados, ya que en una masa forestal mixta un aclareo produce una variación en los índices de mezcla y diferenciación de tamaños, por lo que las intervenciones deben adaptarse a cada masa (Del Rio, *et al.*, 2003; Solís, *et al.*, 2006).

Los inventarios y monitoreo de la diversidad informan sobre la respuesta del sistema a influencias naturales, actividades humanas o el manejo del área, para sustentar acciones de conservación y manejo de sus recursos naturales.

En diversos países se han realizado investigaciones que evalúan los efectos del manejo forestal en la biodiversidad de especies (khanina, Bobrovsky, Komarov, y Mikhajlov, 2007).

La estructura de la masa forestal es un indicador de la composición y función del ecosistema, por lo que sus estudios nos proporcionan información sobre los diferentes procesos que tienen lugar en cada etapa del ciclo de desarrollo de la masa forestal. Del Rio 2003 menciona que los aspectos más relevantes sobre un

estudio de estructura es la distribución del arbolado así como la diferenciación en diámetro y altura

Treviño *et al.* (2001), observaron la influencia de las actividades humanas y de manejo en bosques del sur de Nuevo León, México, con el índice de Shannon, donde encontraron que la diversidad está siendo modificada conforme se realiza el manejo de los bosques.

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 encontraron 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 en la densidad de un 50% aproximadamente, un aumento en el índice de diversidad de especies y con relación a la distribución espacial que cambia de aleatoria a regular, presentando además una tendencia al aumento en la diferenciación dimensional.

Hernández *et al.*, (2013) en un estudio para conocer el efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México, encontró que el aprovechamiento forestal modifica la diversidad y composición del estrato arbóreo, la comunidad arbórea mantiene el número de especies pero disminuye con los índices de Margalef y Shannon de sus diversidad alfa y modifica en un 16% su composición de diversidad beta. El género *Pinus* aumento sus valores relativos de abundancia, dominancia y frecuencia e índice de valor de importancia mientras que el género *Quercus* decreció.



### **3. JUSTIFICACION**

Se debe realizar un constante monitoreo y evaluación para saber cuál es el efecto que tienen las diferentes practicas silvícolas sobre la diversidad y estructura de los ecosistemas en los bosques de El Salto P.N. Dgo. Por ello mediante la evaluación de la caracterización y estructura del estrato arbóreo nos daremos cuenta si el manejo forestal en cuanto a aprovechamiento se refiere se realiza de manera sustentable, de lo contrario, podemos realizar cambios en la toma de decisiones del manejo forestal para poder realizar un aprovechamiento óptimo sin comprometer a la biodiversidad.

#### **4. HIPOTESIS**

La aplicación de los tratamientos silvícolas modifica la estructura y diversidad del estrato arbóreo de ecosistemas forestales.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto de los tratamientos silvícolas en la diversidad y estructura de especies en ecosistemas forestales en EL Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México.

##### **5.2. Objetivos Específicos**

- Comparar índices de diversidad e índice de valor de importancia de las especies antes y después de la aplicación de los tratamientos.
- Comparar la mezcla de especies, la estructura espacial y la diferenciación dimensional de los sitios de muestreo donde se aplicaron los tratamientos silvícolas.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Localización del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la región de El Salto Municipio de Pueblo Nuevo el cual se localiza al sureste del estado de Durango, en las zonas elevadas de la Sierra Madre Occidental; limita al noreste con el municipio de San Dimas, al noreste y este con el municipio de Durango, al sureste con el municipio del Mezquital, al sur con el municipio de Huajicori del estado de Nayarit y al suroeste con los municipios de Concordia y el Rosario del estado de Sinaloa. Tiene acceso por la carretera libre Durango-Mazatlán (México 40) en el kilómetro 100 a una altura aproximadamente de 2538 msnm, en los paralelos 23°05'10", 24°11'12" y los meridianos 105°11'19", 105°55'50" latitud norte y longitud oeste. Las actividades económicas de la región están dedicadas al cultivo, extracción y comercialización de los productos forestales. Tiene una extensión territorial de 6,178 kilómetros cuadrados aproximadamente (figura 1).

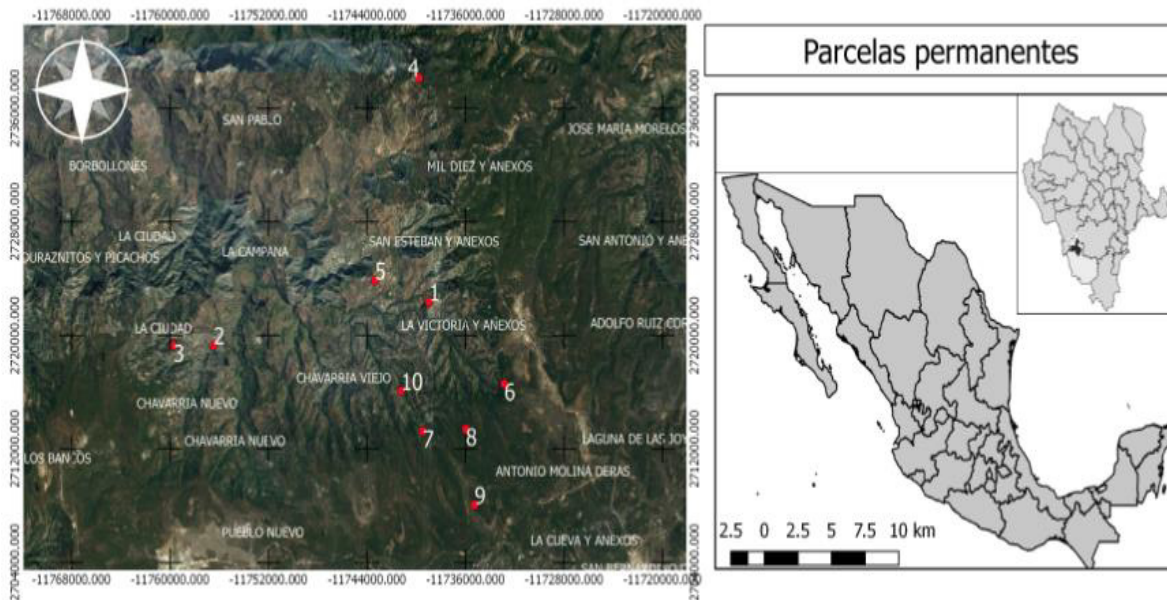


Figura 1. Localización de las parcelas permanentes en El Salto Pueblo Nuevo, Dgo.

## **6.2. Clima**

Según datos recabados del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI 1985), el clima que prevalece en el área de estudio es semifrío subhúmedo con lluvias en verano. Tiene un clima serrano y templado con zonas consideradas semifríos bajando las temperaturas hasta  $-15^{\circ}\text{C}$ , sus largos inviernos vienen acompañados de numerosas heladas que, acompañadas de la humedad procedente del pacífico, crean finas capas de hielo en la superficie y cubren los pastos y el bosque de un blanco resplandor. El aguanieve es constante cada año y en ocasiones también cae nieve. Los veranos son templados siendo la temperatura media de  $19^{\circ}\text{C}$  con lluvias desde junio a septiembre. Sin embargo en la actualidad debido a los cambios climáticos existen variaciones donde en los últimos años el comportamiento climatológico se compone de varios climas, destacándose los siguientes: cálido subhúmedo, cálido semifrío; la temperatura media del mes más frío es de  $3^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$  y la del mes más caliente de  $6.5^{\circ}\text{C}$  a  $22^{\circ}\text{C}$ . Presenta una precipitación media anual de 1,300 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de junio, julio agosto y septiembre, presentándose las primeras heladas en octubre y la última en junio.

## **6.3. Edafología**

Según la clasificación del sistema FAO/UNESCO (2015) modificado por la Dirección General de Geografía. En esta clasificación se indica la textura o cantidad de arena, limo y arcilla de la parte superficial del suelo; la presencia de fases químicas como salinidad y sodicidad; y la presencia de fases físicas como roca o estratos cementados cercanos a la parte superficial del suelo o fragmentos de ellos en la superficie del mismo. El material rocoso es el tipo de rocas ígneas extrusivas ácidas principales y en menor proporción, riolitas; existe también un área muy reducida de basalto, los suelos utilizados en agricultura se catalogan como residuales y aluviales.

Los tipos de suelos que hay son: regosol, fluvisol y cambisol; son suelos someros y pedregosos, se encuentran en cualquier clima y tipo de vegetación; algunos se forman con materiales acarreados por agua.

Los tipos de suelos más comunes son los característicos de regiones templadas húmedas, con predominancia de litosoles y regosoles de tipo eútrico, de textura media y composición limosa y una fase física lítica.

Los suelos clasificados como litosol son de distribución muy amplia, encontrándose en suelos en desarrollo con profundidades menores de 10cm. y tienen características muy variables según el material que los forma. Están conformados con un manto de material suelto que reposa sobre la roca subyacente con acumulaciones de materia orgánica en el horizonte "A", color café grisáceo oscuro, correspondientes a la unidad regosoleútrico (Re). Tiene una textura media en general aunque en la unidad regosol se encuentran también texturas gruesas.

El regosoleútrico se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se puede presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación. Su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en que se encuentren.

El cambisoleútrico es un suelo joven, poco desarrollado, se presenta en cualquier tipo de clima, excepto en zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación, en el suelo tiene una capa con terrenos que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc., su susceptibilidades a la erosión es de moderada a alta.

#### **6.4. Geología**

La información derivada de los estudios geomorfológicos de la Sierra Madre Occidental, manifiesta que las rocas pertenecen al período cuaternario, las cuales se han calificado como rocas ígneas extrusivas ácidas (ígneas) y cuya formación ha sido producto de la solidificación de la lava candente (magma). En dichas rocas

han operado factores bióticos y abióticos logrando de esta manera la descomposición de ellas y por ende la formación de suelos.

### **6.5. Fisiografía**

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, en las Sub-Provincias Gran Meseta y Cañones Duranguenses y cañones del sur.

### **6.6. Relieve**

El sistema de topofomas es considerado como meseta asociado con algunas cañadas poco profundas, por esta razón, los rodales y subrodales donde se encuentra la especie en estudio puede considerarse como plana o con pendientes poco pronunciadas.

### **6.7. Topografía**

La mayor parte del área de estudio tiene una pendiente baja, la cual se puede considerar plana. Sin embargo, algunos lugares llegan a tener pendientes que pueden llegar hasta el 20%. La altura sobre el nivel medio del mar se ubica en el rango de 2,492 a 2,644 m.

### **6.8. Vegetación**

La mayor parte de sus formaciones vegetales son bosques de pino. En su estrato arbóreo dominan las especies *Pinus engelmannii*, *P. leiophylla*, *P. rudis*, *P. cooperi*, *Quercus durifolia*, *Arbutus sp*, *P. chihuahuana* y *Q. sideroxyla* en zonas de productividad media y las especies *P. cooperi*, y *P. cooperi variedad ornelasi* y *P. durangensis* en zonas de productividad alta. El estrato arbustivo lo constituyen *Arctostaphylos pungens* y *Q. microphylla*, el herbáceo está dominado por especies de gramíneas y compuestas. También son frecuentes los bosques monoespecíficos de *P. durangensis* en sitios húmedos y la combinación de esta misma especie con *P. cooperi*, *P. leiophylla*, *P. ayacahuite* y *P. teocote*.

Los bosques de pino-encino son menos frecuentes, en los sitios más húmedos se distinguen las asociaciones de *P. durangensis* y *Q. sideroxyla* y en menor proporción *P. durangensis* y *Q. rugosa*. Otras especies reportadas son *P.*

*leiophylla*, *P. teocote*, *P. engelmannii*, *Q. coccolobifolia*, *Q. obtusata*, *Q. eduardii*, *Alnus acuminata*, *Juniperus deppeana* variedad *robusta* y *Arbutus arizonica*. Se encuentran especies arbóreas como *Arbutus xalapensis* y *Prunus salicifolia* (capulín), y arbustos de las especies *Arctostaphylos pungens*, y *Q. microphylla*.

### **6.9. Bosques de pino.**

Este tipo de vegetación está constituido por especies arbóreas de fuste recto, de talla baja y mediana, con altura de 8 a 25 m, excepcionalmente más de 30 m, hoja acicular en fascículos, perenne, caracterizado por la dominancia del género *Pinus* y su distribución es amplia en todas las cadenas montañosas del país. La mayoría de las masas forestales de pinos mexicanos se desarrolla a altitudes entre 1,500 y 3,000 msnm, aunque también se les ha registrado en áreas de clima caliente a 150 msnm, y a niveles superiores de más de 4,000 msnm, por lo que se deduce que existe una gran variedad de condiciones climáticas asociadas a los bosques de *Pinus* en la República, donde los límites absolutos de distribución marcan tolerancia de temperatura media anual entre 6 y 28°C, así como climas totalmente libre de heladas y otros en que el fenómeno puede presentarse en todos los meses del año. Aunque, si se restringe la caracterización climática al área de las grandes masas forestales de pino, pueden aproximarse los límites entre 10 y 20°C de temperatura media anual y entre 600 y 1,000 mm de lluvia al año, lo cual correspondería al clima tipo CW de la clasificación de Köppen (1948); en general son áreas afectadas por heladas todos los años y la precipitación se concentra en 6 a 7 meses.

Los pinares de México muestran gran preferencia por áreas cubiertas por rocas ígneas, tanto antiguas como recientes, produciendo suelos cuyo Ph varía entre 5 y 7. El color del suelo, su textura y el contenido de nutrientes presentan variaciones considerables de un lugar a otro; son bastante frecuentes las tierras rojas, más o menos arcillosas, derivadas de basaltos; en cambio las andesitas producen a menudo coloraciones cafés y texturas más livianas. Los suelos negros o muy oscuros son también frecuentes sobre todo a altitudes mayores a 3,000 m. Es característico de estos bosques un horizonte de humus de unos 10 a 30 cm y el suelo se halla cubierto de hojas de pino.

Este grupo de vegetación constituye uno de los recursos naturales renovables de mayor importancia en el estado de Durango, tanto por la magnitud de su distribución como por el valor económico que representa. Las especies más representativas es el *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii*, *P. cooperi*, *P. teocote*, *P. herrerae*. Otras especies de menor valor comercial, distribución y abundancia es el *P. ayacahuite*, *P. lumholtzii*, *P. douglasiana*, *P. michoacana*, *P. oocarpa*.

#### **6.10. Bosque de encino.**

Los bosques de *Quercus* son comunidades vegetales muy características de la Sierra Madre Occidental. Esta comunidad vegetal junto con las coníferas constituye la mayor parte de la cubierta vegetal de la región de El Salto, Durango. Los encinares guardan relaciones complejas con los pinares, con los cuales comparten afinidades ecológicas generales. Los encinares se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta 3,100 metros aunque el 95% de su extensión se halla entre 1,200 a 2,800 metros. El grupo muestra gran diversificación en la SMO, encontrándose para el estado por lo menos 43 especies.

Este tipo de vegetación se desarrolla en diferentes tipos de rocas, tanto ígneas, como sedimentarias y metamórficas, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos. Típicamente el suelo es de reacción ácida moderada con pH de 5.5 a 6.5, con abundante materia orgánica y hojarasca.

Los encinos son importantes ecológicamente y económicamente porque forman parte del hábitat de flora y fauna silvestre, proveen alimento a la fauna, dan protección y mantenimiento al suelo, tiene un uso etnobotánico y económico (madera, celulosa, carbón, etc.), proveen un ambiente estético y recreacional.

Su aprovechamiento es de importancia local, pero muy limitado a escala industrial. Como consecuencia de lo anterior los bosques que eran mezclados con especies del género *Pinus* se han convertido en encinares puros.



**6.11. Bosque de pino - encino (Pq)**

Esta comunidad es la que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las partes superiores de los sistemas montañosos del país. Está constituida por la mezcla de diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.), ocupando muchas condiciones comprendidas dentro del área general de distribución de los pinos.

**6.12. Bosque encino - pino (Qp)**

Este tipo de bosque está formado por la dominancia de encinos (*Quercus* spp.) sobre pino (*Pinus* spp.), y generalmente se desarrolla en las áreas de mayor explotación forestal, en los límites inferiores de los bosques de pino-encino.

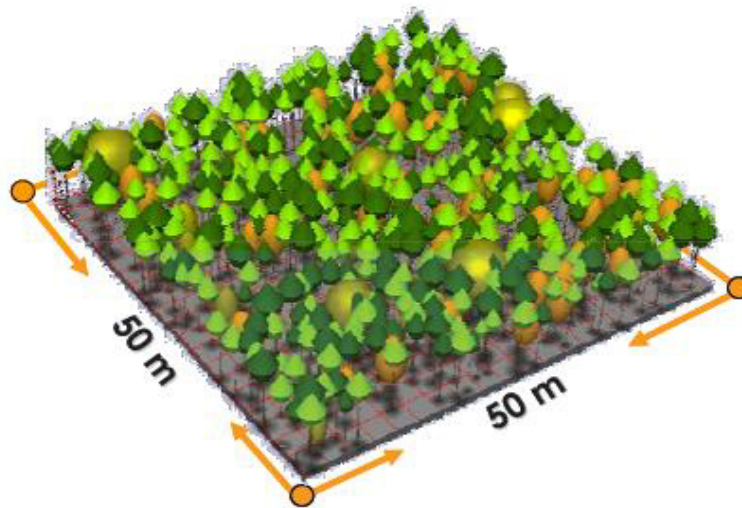
## 7. METODOLOGÍA

### 7.1. Selección de los datos

Para analizar la caracterización estructural de los bosques templados del estado de Durango se desarrolló un estudio de diez parcelas permanentes de investigación. La base de datos se obtuvo de los sitios permanentes de investigación forestal y de suelo siguiendo las guías metodológicas para el establecimiento de sitios de investigación del estado de Durango utilizando las metodologías establecidas por Corral *et al* (2009) y Corral *et al* (2012), para la instalación y remediación de los sitios, las cuales fueron evaluadas en un intervalo de cinco años, correspondientes a una medición inicial en el 2008 la cual fue la base para determinar este estudio, y una remediación en el año 2013.

### 7.2. Tamaño y forma de los sitios

Los sitios de tamaño fijo son recomendados debido a que son más fáciles de controlar en el campo. Los sitios circulares son más difíciles de delimitar y pueden ser usados con precisión en el caso de las plantaciones. Para rodales de bosques naturales el uso de sitios cuadrados es más apropiado y por lo tanto recomendado para este estudio. Dado que los bosques del estado de Durango, son en su gran mayoría mixtos e irregulares, se propone que el tamaño de los sitios sea de 50x50 metros (0.25 ha) (Figura 2).



**Figura 2.** Representación esquemática de un sitio permanente (0.25 ha)

### 7.3. Información mínima a medir

Para cada parcela se registró la siguiente información dasométrica: número de árbol, especie, dominancia, diámetro normal (> 5 cm), altura total (m), dos diámetros de copa (norte-sur, este-oeste), azimut y distancia de cada uno de los individuos al centro de la parcela.

### 7.4. Análisis de la información

Para cada especie arbórea se determinaron los valores relativos de: abundancia (AR), considerando el número de individuos; dominancia (DR), en función del área basal; cobertura (CR), utilizando el área de copa; frecuencia (FR), atendiendo la presencia o ausencia en las parcelas muestreadas; e índice de valor de importancia (IVI), con el promedio de los indicadores ecológicos previos, en valores porcentuales de 0 a 100 (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011; Magurran, 2004) (tabla 1).

**Tabla 1. Fórmulas para la estimación del IVI.**

Parámetros e índice	Fórmula	Donde:
Abundancia Relativa (AR)	$AR = \frac{n}{N} * 100$	<i>n</i> = número de individuos de la especie <i>i</i> <i>N</i> = número total de individuos
Dominancia Relativa (DR)	$DR = \frac{g}{G} * 100$	<i>g</i> = área basal de la especie <i>i</i> <i>G</i> = área basal total
Frecuencia Relativa (FR)	$FR = \frac{m}{M} * 100$	<i>m</i> = la frecuencia de la especie <i>i</i> en los sitios de muestreo <i>M</i> = número total de sitios de muestreo
Cobertura Relativa (CR)	$CR = \frac{ac}{ATC} * 100$	<i>ac</i> = área de copa de la especie <i>i</i> <i>ATC</i> = área total de copa
Índice de Valor de Importancia (IVI)	$IVI = AR + DR + FR + CR$	Suma de las anteriores

## 7.5. Índices de diversidad

Para estimar la diversidad, dominancia y riqueza de especies se utilizaron los índices de Shannon, Simpson, Margalef y Menhinick, respectivamente. Un aspecto muy importante que es utilizado para la caracterización de una determinada área es la estructura del sistema, para conocer el grado de mezcla de las especies, la distribución espacial y el grado de diferenciación dimensional en este trabajo se utilizaron los índices de mezcla de especies de Gadow, el índice de uniformidad, y los índices de diferenciación dimensional en diámetro y altura así como el índice de dominancia (Castellanos, 2008).

### 7.5.1. Shannon

En este trabajo la diversidad de especies para cada parcela se describió a través del índice de Shannon ( $H'$ ), el cual es una medida de diversidad derivada de la teoría de la información ya que se fundamenta en la lógica (Magurran, 1988). Gadow (1993) menciona que el índice de Shannon es una de las variables más empleadas para la estimación de la diversidad de especies y refleja de buena manera la diversidad de poblaciones florísticamente ricas.

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

Donde: ( $p_i$ )=abundancia relativa de cada especie  $i$  (en número de individuos por ha),  $\ln (p_i)$ = logaritmo natural de base 4 de la abundancia relativa de cada especie  $i$ .

El valor del índice de Shannon ( $H'$ ) se incrementa conforme un mayor número de especies y la proporción de individuos de las mismas es más homogénea.  $H'$  depende de por lo tanto, no solo del número de especies presentes en un ecosistema, sino también de la frecuencia con que estén representadas.

### 7.5.2. Simpson

El índice de diversidad de Simpson (también conocido como el índice de la diversidad de las especies o índice de dominancia) es uno de los parámetros que nos permite medir la riqueza de organismos. En ecología, es también usado para

cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa. El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, es decir, cuando más se acerca el valor de este índice a cero existe mayor posibilidad de dominancia de una especie y de una población; y cuanto más se acerque el valor de este índice a la unidad mayor es la biodiversidad de un hábitat (Magurran, 1998).

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

. Donde=  $pi$ =proporción de individuos de la especie  $i$ , respecto al número total de individuos.

### 7.5.3. Margalef

El índice de Margalef, se utiliza para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

$$IM = \frac{(S - 1)}{(\ln N)}$$

Donde=  $S$ = número de especies,  $N$ = número total de individuos

El mínimo valor que puede adoptar es cero y ocurre cuando solo existe una especie en la muestra ( $S=1$ , por lo que  $S-1=0$ )

### 7.5.4. Menhinick

Al igual que el índice de Margalef, se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra.

$$ID = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde =  $S$ = número de especies,  $N$ = número total de individuos.

## 7.6. Estructura arbórea

La caracterización de los tres componentes estructurales evaluados en este trabajo (el grado de mezcla, la distribución espacial y el grado de diferenciación), se basó en la estimación de cinco índices desarrollados para la caracterización de la diversidad estructural. La base para la determinación de tales índices la constituyó un 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 *et al.*, 2005; Solís *et al.*, 2006).

### 7.6.1. Diversidad y mezcla de especies

La diversidad de especies es un aspecto importante que debe ser considerado dentro del concepto de diversidad estructural y manejo sostenible de bosques. Su monitoreo en las escalas espacial y temporal permite detectar cambios en indicadores clave de manejo forestal sostenible.

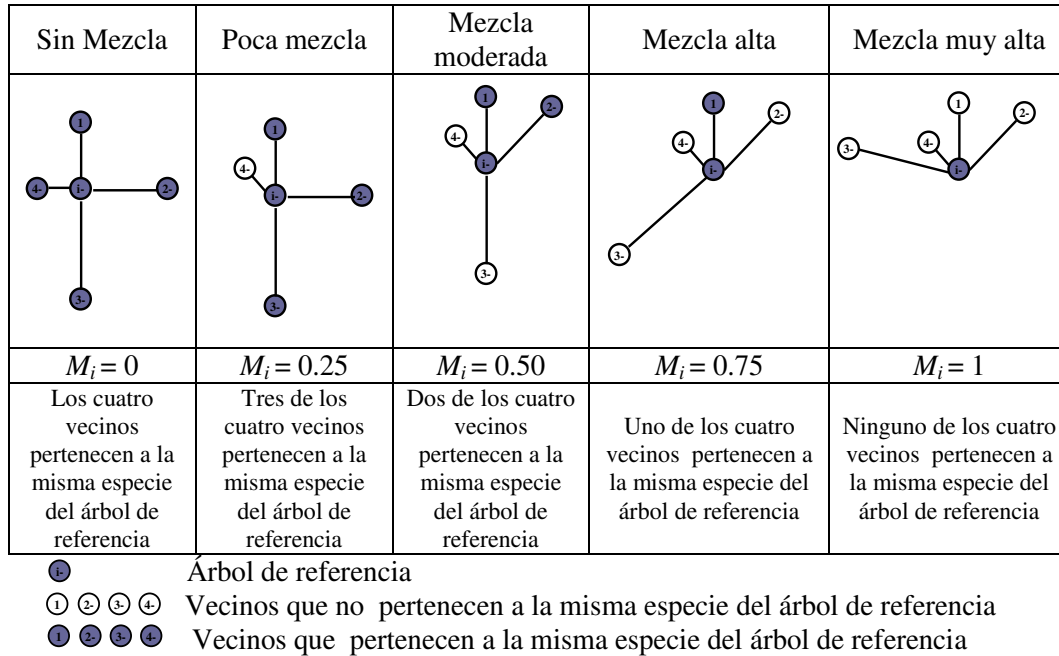
#### 7.6.1.1. Índice de Mezcla de especies de Gadow

La estimación del índice de mezcla de especies de Gadow  $M_i$  (Fülder, 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. El valor de este índice puede variar entre 0 y 1 (Figura 3).

El índice de mezcla de especies se obtiene de la siguiente ecuación:

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

Donde  $V_j =$  es una variable binaria discreta que asume el valor de 0 cuando el  $j$ -ésimo árbol es de la misma especie que el árbol de referencia  $i$ , y el valor de 1 si es de diferente especie. Valores cercanos a cero indican que las especies analizadas tienden a agruparse y que no se mezclan con el resto. Por el contrario valores cercanos a uno indican una preferencia a mezclarse entre ellas.



**Figura 3. Representación esquemática del índice de mezcla de especies de Gadow utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.**

### 7.6.2. Distribución espacial

Diversos métodos han sido propuestos para la caracterización de la distribución espacial de los árboles dentro de los rodales (Clark y Evans, 1954; Ripley, 1977; Gadow *et al.*, 1999). Para evaluar la distribución espacial de los individuos en sitios permanentes, en este trabajo se empleó el índice de uniformidad de Gadow, ya que es de sencillo cálculo y ha probado ser eficiente para la descripción de este componente estructural.

#### 7.6.2.1. Índice de uniformidad de Gadow

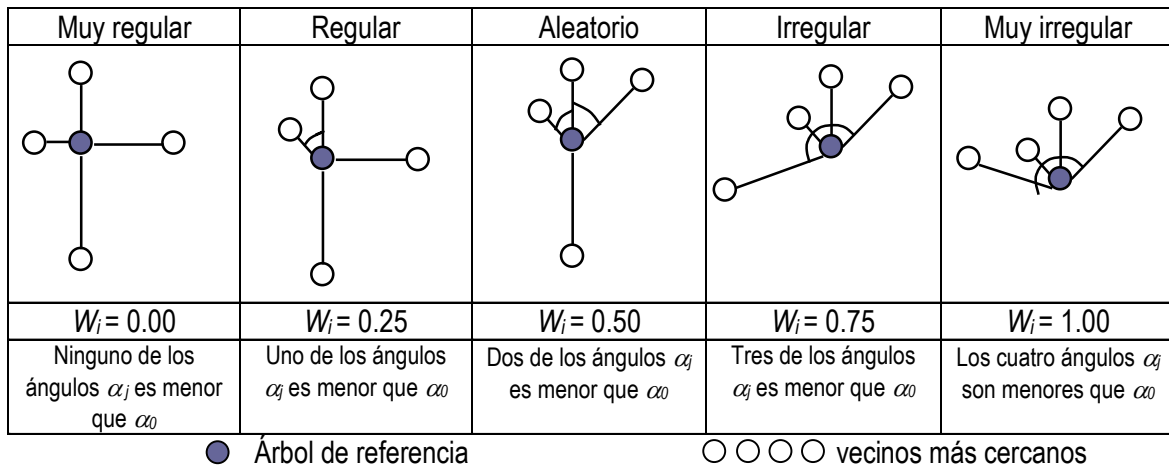
La determinación del índice de uniformidad de Gadow  $W_i$  (Gadow *et al.*, 1999), se basó en la medición de los ángulos entre dos vecinos al árbol de referencia  $i$  y su comparación con el ángulo estándar  $\alpha$ , de tal manera que considerando cuatro

vecinos al árbol de referencia  $W_i$  puede tomar valores de 0 hasta 1, donde un valor cercano a cero representa condiciones a la regularidad, valores cercanos a 0.5 muestra tendencia a la aleatoriedad y aquellos cercanos a uno representa condiciones de agrupamiento (Figura 4).

El índice de uniformidad se obtiene con la siguiente ecuación:

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

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.



**Figura 4. Representación esquemática del índice de Gadow utilizado utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.**

En este trabajo se utilizó un ángulo estándar de  $72^\circ$  para la estimación de este índice, debido a que en las simulaciones de Hui y Gadow (2002), se encontró a este valor como el ángulo estándar óptimo produciendo un promedio de  $W=0.5$  para una distribución aleatoria de los árboles dentro de los sitios que se simularon.



### 7.6.3. Diferenciación dimensional

La última de las principales características que definen la estructura de un rodal analizadas en este trabajo es la variación existente entre los tamaños de los árboles que lo constituyen. Para evaluar este componente estructural se utilizaron los índices de diferenciación diamétrica ( $TD_i$ ) y de altura ( $TH_i$ ), y el índice de dominancia (Aguirre *et al.*, 2003). Estos índices han probado ser útiles para describir la estructura horizontal y vertical de los ecosistemas forestales.

#### 7.6.3.1. Índice de diferenciación diamétrica ( $TD_i$ ) y de altura ( $TH_i$ )

Los índice de diferenciación diamétrica ( $TD_i$ ) y de altura ( $TH_i$ ) (Hui y Gadow, 2002), fueron obtenidos al igual que otros índices de la relaciones de vecindad entre los árboles de los sitios.

Una manera sencilla para el cálculo de estas variables es a través del uso de los coeficientes de variación de los tamaños de los árboles que forman el grupo estructural. Para hacer compatibles estas variables se integraron cinco grupos de diferenciación dimensional de acuerdo con Hui y Gadow (2002) utilizando el valor del coeficiente de variación: escasa  $T_i = 0.00: CV = 0.05$ ; moderada  $T_i = 0.25: 0.05 < CV < 0.15$ ; media  $T_i = 0.50: 0.15 < CV < 0.30$ ; Alta  $T_i = 0.75: 0.30 < CV < 0.60$ ; muy alta  $T_i = 1.0 < 0.60 < CV$ .

Los índices de diferenciación diamétrica ( $TD_i$ ) y de altura ( $TH_i$ ) se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$TD_i = \frac{\text{desviación estándar del diámetro}}{\text{diámetro medio}} \quad TH_i = \frac{\text{desviación estándar de la altura}}{\text{altura media}}$$

#### 7.6.3.2. Índice de dominancia

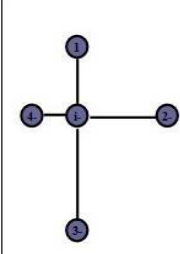
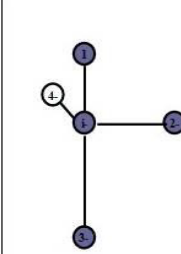
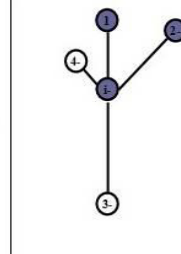
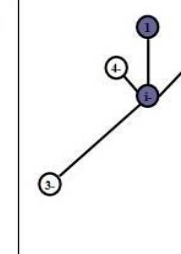
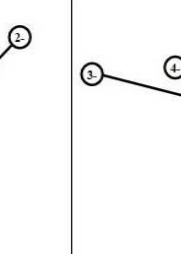
La dominancia de un árbol de referencia  $i$  ( $U_i$ ) se define como la proporción de los cuatro vecinos que son más grandes que dicho árbol (Gadow y Hui, 2002). Al igual que la mayoría de los índices, los valores de esta variable varían de 0 a 1:  $U_i = 0$  si los cuatro vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (suprimido);  $U_i = 0.25$  si tres de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia  $i$  (intermedio);  $U_i = 0.50$  si dos de los vecinos son más grandes que el árbol de




referencia  $i$  (codominante);  $U_i = 0.75$  si uno de los vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (dominante) y  $U_i = 1$  si ninguno de los vecinos es más grande que el árbol de referencia  $i$  (muy dominante). Los cinco valores de  $U_i$  corresponden con las clases sociales desarrolladas por Kraft (1884) (Figura 5)

El índice de dominancia se obtiene con la siguiente ecuación:

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

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

suprimido	intermedio	codominante	dominante	Muy dominante
				
$M_i = 0$	$M_i = 0.25$	$M_i = 0.50$	$M_i = 0.75$	$M_i = 1$
Los cuatro vecinos son más grandes que el árbol de referencia	Tres vecinos son más grandes que el árbol de referencia	Dos vecinos son más grandes que el árbol de referencia	Uno de los vecinos es más grandes que el árbol de referencia	Ninguno de los vecinos es más grandes que el árbol de referencia

 Árbol de referencia  
 Vecinos más pequeños que el árbol de referencia  $i$   
 Vecinos más grandes que el árbol de referencia  $i$

**Figura 5. Representación esquemática del índice de dominancia utilizado como verificador de biodiversidad en este estudio.**

### 7.7. Efecto de borde

La estimación de los índices se realizó utilizando el programa estadístico SAS (SAS, Institute, 2009). El cálculo de la mayoría de los índices analizados en este

trabajo siempre estará sesgado en aquellos árboles cercanos a los bordes de las parcelas, a menos que un esquema de corrección por efectos de borde sea aplicado en su estimación. La razón es que estos árboles son problemáticos porque sus vecinos potenciales pueden estar localizados fuera del área de interés. En este trabajo, para eliminar el efecto de borde y obtener informaciones insesgadas de las variables estructurales, se implementó en método de corrección de borde del  $n$  vecino más cercano (en inglés nearest neighbour edge correction method) propuesto por Pommerening y Stoyan (2006) en todas las rutinas de SAS usadas en la estimación de los índices. Esta técnica de corrección de borde permite obtener estimaciones sesgadas 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 la parcela de observación, eliminando aquellos individuos que se encuentran muy cerca a alguno de los bordes de la parcela 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 este estudio todos los árboles de referencia cuya distancia media al cuarto árbol es más grande que la distancia el borde más cercano fueron ignorados.

### **7.8. Prueba *t* de Student para muestras dependientes**

Para evaluar si la abundancia, dominancia y cobertura de la diversidad arbórea, así como de los índices de diversidad y estructura utilizados en este trabajo suponen una diversidad estructural significativamente diferente entre ambas mediciones, que indique que la aplicación de los tratamientos silvícolas modifica la estructura del estrato arbóreo fue aplicada la prueba de comparación de medias de  $t$  de Student para muestras dependientes considerando un 95% de nivel de significancia.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron 20 especies, pertenecientes a 5 familias y 7 géneros. El género *Pinus* presentó la mayor riqueza con 6 especies, seguido de género *Quercus* y *Arbutus* con 5 especies cada uno. Como se observa en la tabla 2, de las 20 especies registradas en los dos inventarios solo comparten 17, pues *Abies durangensis* y *Pinus engelmannii* se registraron en 2008 pero no se encontraron en 2013, además en ese mismo año se registró *Pseudotsuga menziesii*, especie ausente en 2008.

**Tabla 2. Especies registradas en los dos inventarios**

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>2008</b>	<b>2013</b>
<i>Abies durangensis</i>	Pinaceae	Abies	✓	
<i>Alnus jorullensis</i>	Betulaceae	Alnus	✓	✓
<i>Arbutus arizonica</i>	Ericaceae	Arbutus	✓	✓
<i>Arbutus bicolor</i>	Ericaceae	Arbutus	✓	✓
<i>Arbutus madrensis</i>	Ericaceae	Arbutus	✓	✓
<i>Arbutus tessellata</i>	Ericaceae	Arbutus	✓	✓
<i>Arbutus xalapensis</i>	Ericaceae	Arbutus	✓	✓
<i>Juniperus deppeana</i>	Cupressaceae	Juniperus	✓	✓
<i>Pinus ayacahuite</i>	Pinaceae	Pinus	✓	✓
<i>Pinus cooperi</i>	Pinaceae	Pinus	✓	✓
<i>Pinus durangensis</i>	Pinaceae	Pinus	✓	✓
<i>Pinus engelmannii</i>	Pinaceae	Pinus	✓	
<i>Pinus leiophylla</i>	Pinaceae	Pinus	✓	✓
<i>Pinus teocote</i>	Pinaceae	Pinus	✓	✓
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Pinaceae	Pseudotsuga		✓
<i>Quercus conzatti</i>	Fagaceae	Quercus	✓	✓
<i>Quercus crassifolia</i>	Fagaceae	Quercus	✓	✓
<i>Quercus obtusata</i>	Fagaceae	Quercus	✓	✓
<i>Quercus rugosa</i>	Fagaceae	Quercus	✓	✓
<i>Quercus sideroxila</i>	Fagaceae	Quercus	✓	✓

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

Para las diferentes parcelas muestreadas en la tabla 2 se muestra el número de individuos encontrados en los inventarios del 2008 y 2013, así como el número de especies presentes, se tomó en cuenta el número del tocón (dominancia 9), así como individuos con dominancia 7 y 8, que corresponden a árboles muertos en pie y muertos caídos respectivamente, los cuales fueron la cantidad del número de reducciones de los individuos, así mismo se presenta el número de individuos incorporados que corresponden a la regeneración del lugar, ya que los bosques tienen una función dinámica y se encuentran en constante desarrollo, la parcela 3 presentó un aumento en el número de sus individuos (2), en contraste con esto, las parcelas restantes presentaron reducción en su número de individuos, las parcelas con mayor cantidad de remoción del arbolado fueron 5 y 6, con 91 y 119 individuos, respectivamente, así mismo la parcela 5 presento mayor número de individuos de regeneración con 69 árboles.

**Tabla 3. Número de individuos, especies, tocones, árboles muertos e incorporados en los dos inventarios**

Número	Parcela	S1	S2	Número de individuos 2008	Tocón	Muertos	Incorporados	Número de individuos 2013
1	10023010	6	7	249	18	12	23 (-7)	242
2	10023020	12	11	170	11	10	11 (-11)	159
3	10023023	9	8	114	7	1	10 (2)	116
4	10023025	4	4	269	23	4	24 (-3)	266
5	10023028	5	4	240	91		69 (-22)	218
6	10023080	7	6	323	119	14	3(-130)	193
7	10023084	7	7	191	25	9	(-34)	157
8	10023085	10	9	200	15	3	(-18)	182
9	10023106	9	9	238	30	7	3 (-34)	204
10	10023111	7	7	167	35	3	(-38)	129

Donde: S1= especies en 2008; S2= especies en 2013

EFEECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

En las tablas 3 y 4 se muestran los estadísticos descriptivos para las parcelas en 2008 y 2013, respectivamente.

**Tabla 4. Estadísticos descriptivos para el 2008.**

Parcela	Dn (cm)				H(m)			
	Max	Min	$\bar{x}$	SD	Max	Min	$\bar{x}$	SD
1	52.6	7.7	17.75	10.36	24	2.3	10.54	5.25
2	66.7	7.3	19.17	10.32	31.1	2.9	14.06	4.63
3	53.1	6	13.56	5.86	19.1	1.4	8.67	3.01
4	61.5	5.3	14.01	10.36	29.1	4.1	10.63	4.80
5	57	5.7	17.57	9.19	29.2	2.3	14.26	4.47
6	65	6.6	19.53	11.26	30.7	2.4	14.98	6.93
7	78.9	5.9	18.32	11.10	30.5	2.9	13.51	5.71
8	68.5	6.6	20.45	12.54	29.1	1.4	15.38	6.57
9	47.8	5.2	13.71	6.72	18.4	0.1	8.08	2.82
10	64.5	6.1	21.94	10.23	23.3	4.3	15.14	4.91

Donde: Dn= diámetro normal; H= altura;  $\bar{x}$ =media; SD= desviación estándar.

**Tabla 5. Estadísticos descriptivos para el 2013.**

Parcela	Dn (cm)				H(m)			
	Max	Min	$\bar{x}$	SD	Max	Min	$\bar{x}$	SD
1	51.5	7	16.62	8.91	25.4	3.1	10.78	4.92
2	68.6	7.5	19.59	10.70	25.3	4.1	15.04	4.97
3	54.3	7	16.49	6.72	19.8	3.5	10.77	3.45
4	58.1	7.3	14.46	6.50	23.6	4.9	10.19	3.09
5	60.6	7.4	21.34	9.82	27.5	3.6	15.34	4.66
6	69.9	7.8	20.76	11.01	31.9	4	15.80	6.87
7	85.5	7.5	20.18	11.35	30.5	4.1	14.86	5.61
8	70	7.8	21.86	11.96	31.5	3.4	17.15	6.90
9	52.4	6.2	14.94	6.81	18.8	1.4	8.90	2.82
10	71.3	8	23.47	11.68	24.5	5.3	15.60	5.47

Donde: Dn= diámetro normal; H= altura;  $\bar{x}$ =media; SD= desviación estándar.

### 8.1. Gráficos en representación del Índice de Valor de Importancia (IVI) para las parcelas muestreadas en sus dos inventarios.

En los histogramas se aprecia la relación del IVI en los dos inventarios, 2008 y 2013, respectivamente. Los porcentajes para las especies con mayor IVI se mantienen para todas las parcelas, siendo las especies de *P. cooperí*, *P. durangensis* y *Q. sideroxila* las que presentaron los valores más altos, sin embargo, en algunas parcelas se observan pequeños cambios, por ejemplo, en la parcela 2, se reduce el porcentaje de *P. durangensis* y aumenta *Q. sideroxila*. En la parcela 2, 3, 5, 6 y 8 se puede observar que en 2008 solo existía *A. jorollensis*, *A. durangensis*, *A. bicolor*, *P. leiophylla* y *P. durangensis*, respectivamente, en contraste con esto, en la parcela 1 para el año 2013 se incorpora *Juniperus deppeana*.

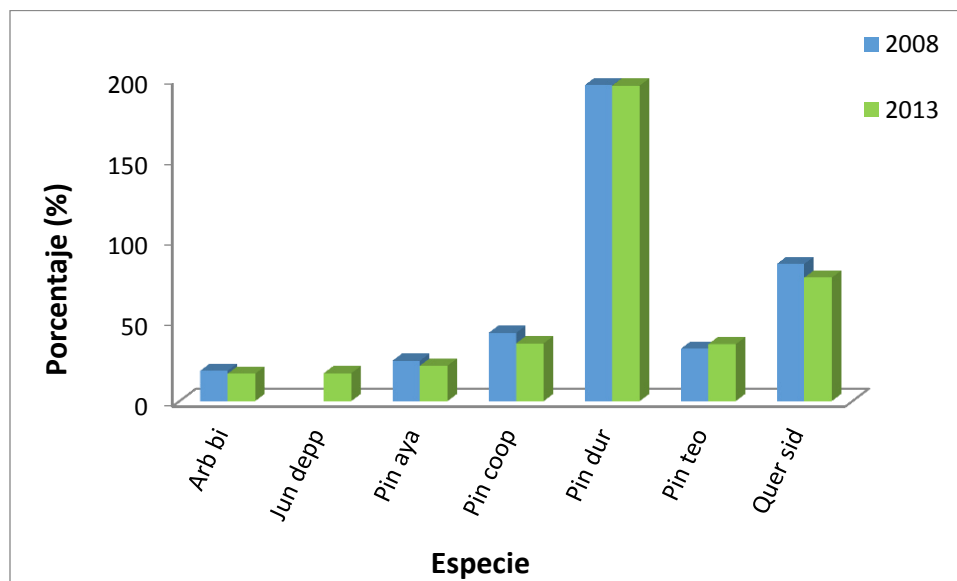


Figura 6. IVI para la parcela 1

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

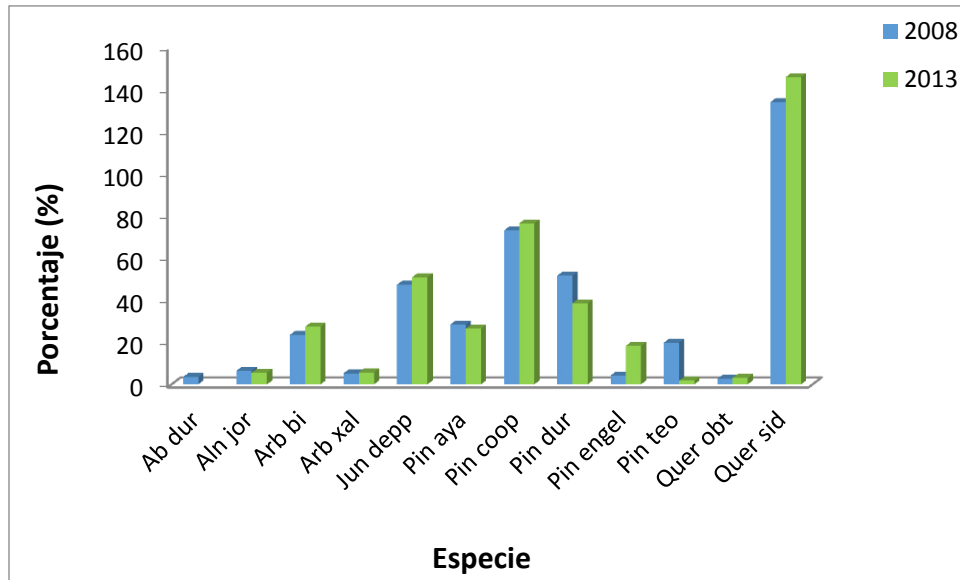


Figura 7. IVI para la parcela 2

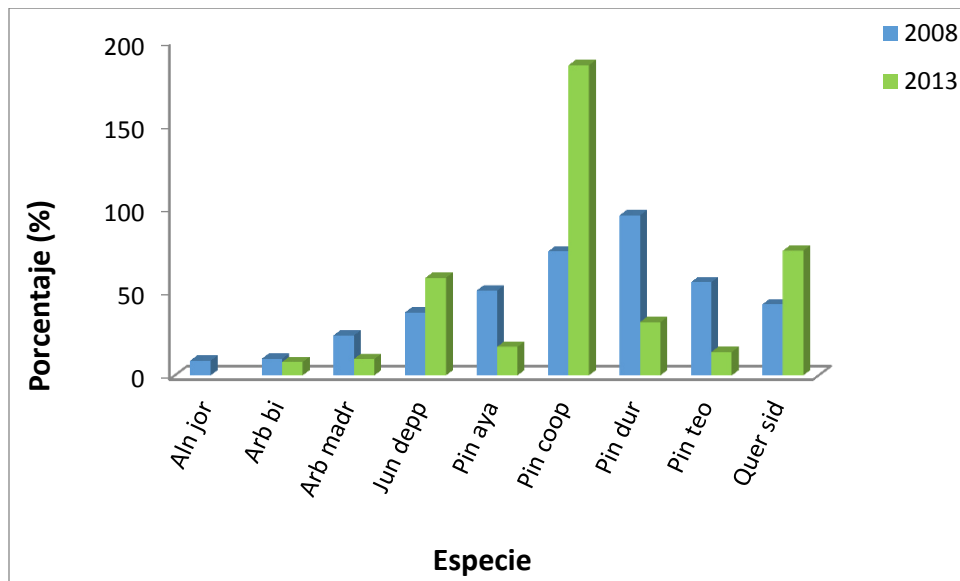


Figura 8. IVI para la parcela 3



EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

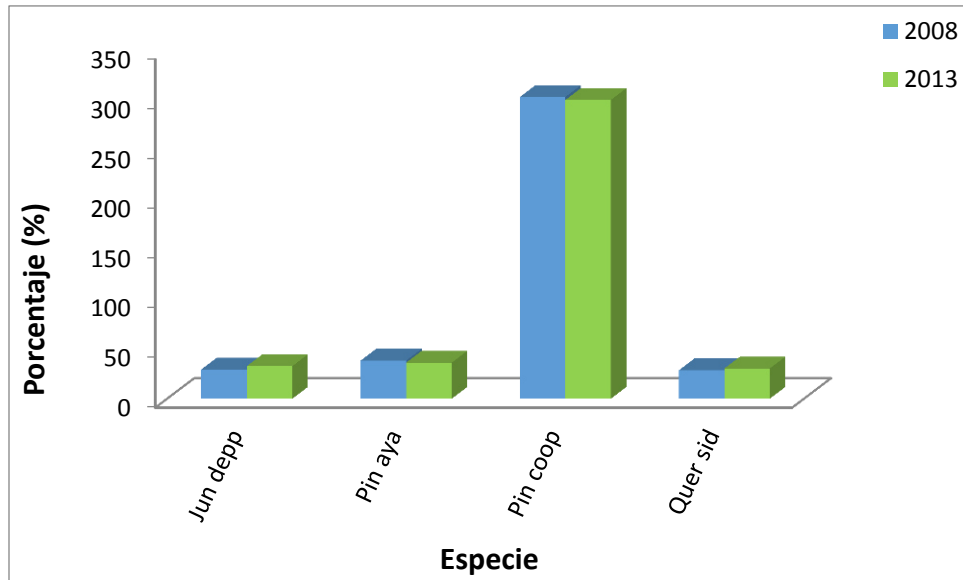


Figura 9. IVI para la parcela 4

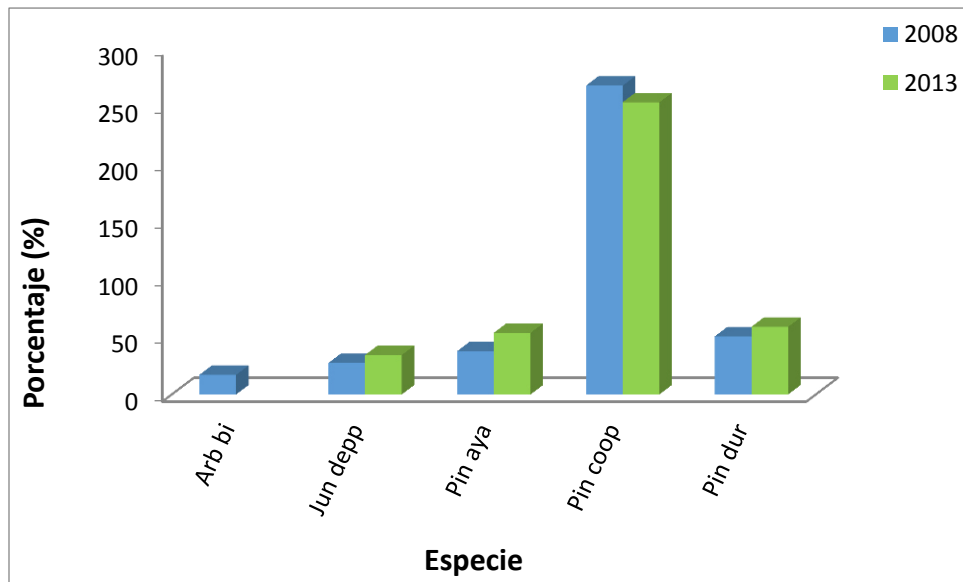


Figura 10. IVI para la parcela 5

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

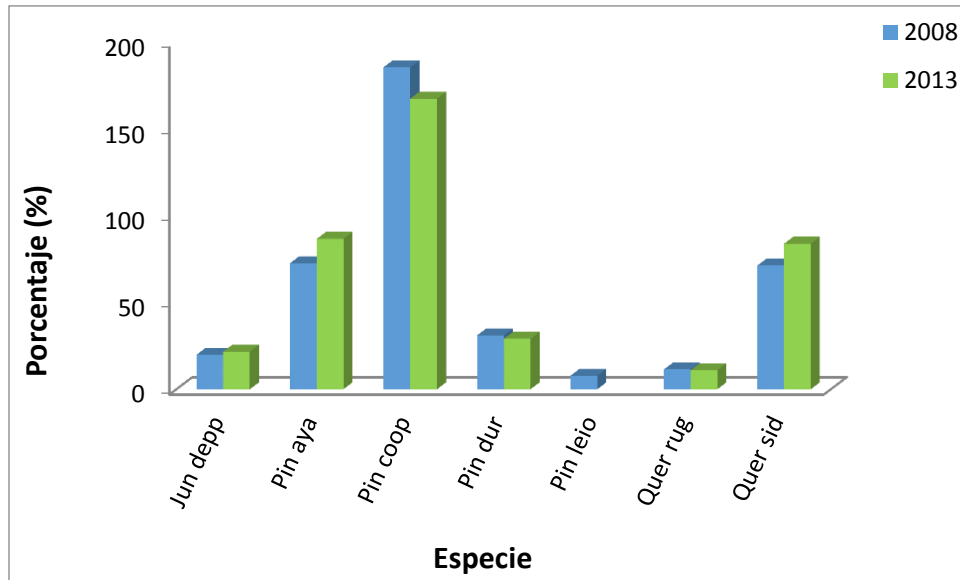


Figura 11. IVI para la parcela 6

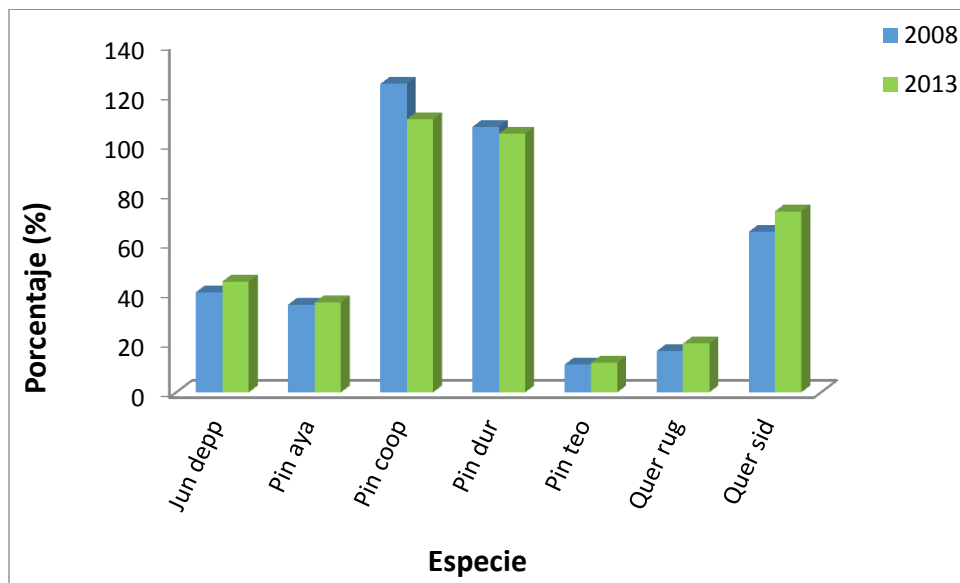


Figura 12. IVI para la parcela 7

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

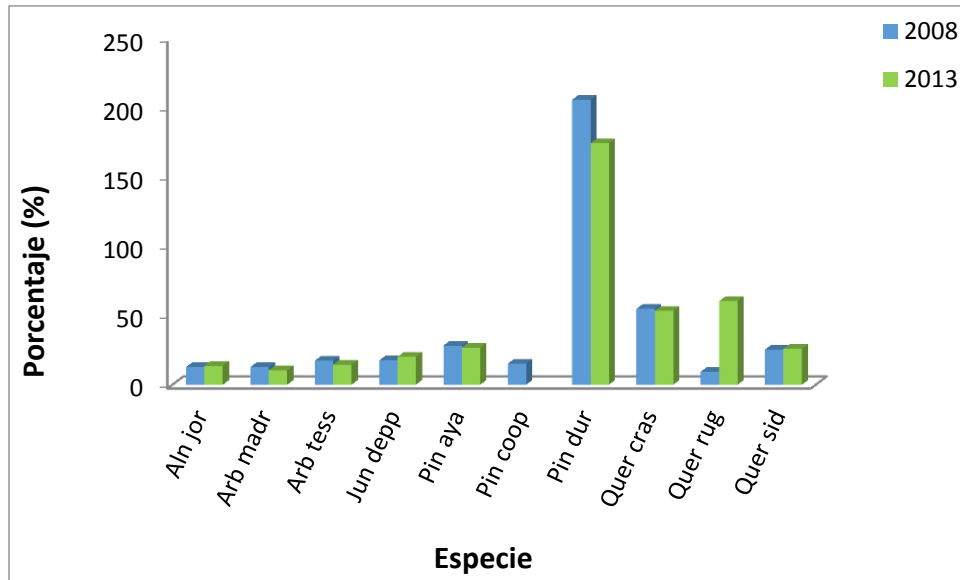


Figura 13. IVI para la parcela 8

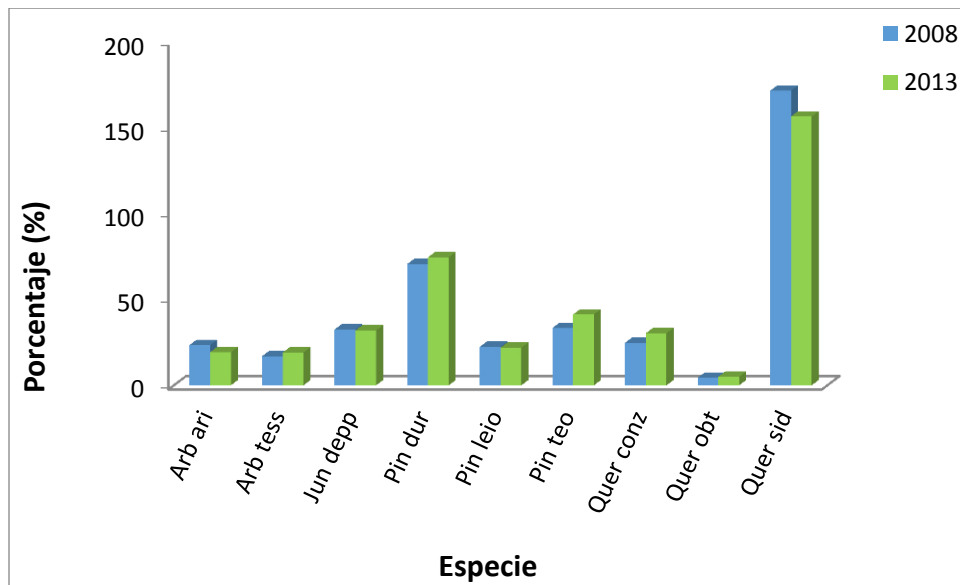


Figura 14. IVI para la parcela 9

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

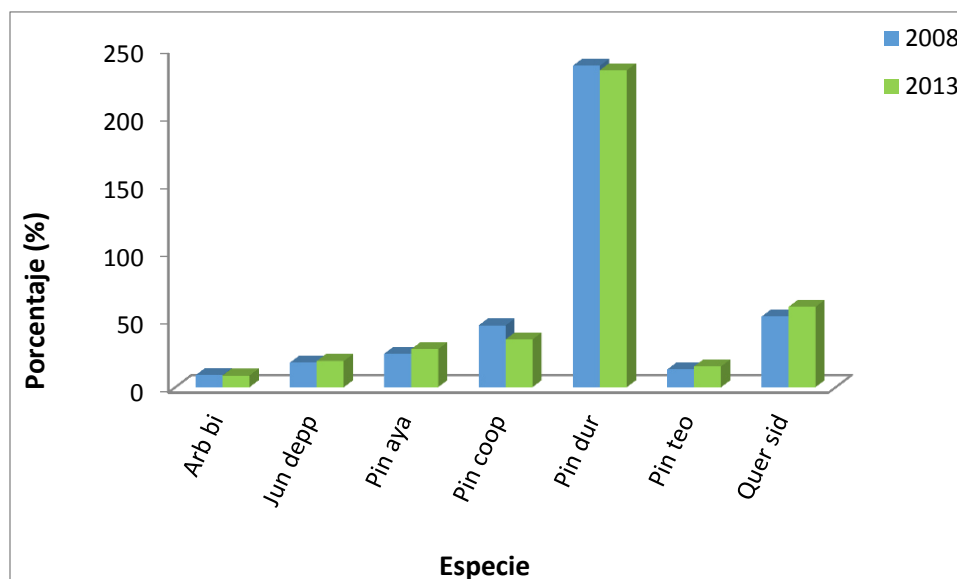


Figura 15. IVI para la parcela 10

## 8.2. Variables dasométricas

Se presentan las variables dasométricas correspondientes en las dos mediciones, la abundancia se determinó con el número de individuos, la dominancia con el área basal, la cobertura con el área de copa y finalmente se obtuvo el volumen para cada una de las parcelas ya que es una variable de suma importancia en los ecosistemas forestales. (Tabla 6).

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas

Parcela	N*Ha 2008	N*Ha 2013	AB*Ha 2008	AB*Ha 2013	AC*Ha 2008	AC*Ha 2013	Vol*Ha 2008	Vol*Ha 2013
1	996	968	37.04	37.86	7152.16	13617.81	340.20	365.57
2	680	636	28.62	29.5	8650.37	11720.04	199.51	247.16
3	456	464	24.72	28.43	4920.77	9406.14	244.96	302.51
4	1076	1064	18.43	26.49	7980.32	9453.85	103.57	194.86
5	960	872	22.85	17.21	8000.39	6930.41	62.59	130.24
6	1292	772	39.88	33.44	15681.63	11784.55	374.96	331.31
7	764	628	30.46	27.2	9654.94	10275.46	336.83	305.96
8	800	728	28.8	30.6	9659.81	12883.96	280.01	307.02

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

9	952	816	17.41	17.27	10743.00	8469.09	93.10	98.27
10	668	516	30.71	27.8	8258.19	8548.76	304.87	289.38
<b>Media</b>	<b>864.4</b>	<b>746.4</b>	<b>27.89</b>	<b>27.58</b>	<b>9070.16</b>	<b>10309.01</b>	<b>234.06</b>	<b>257.23</b>

Donde N\*Ha=Número de individuos por hectárea; AB\*Ha= Área basal por hectárea; AC\*Ha=Área de copa por hectárea; Vol\*Ha= Volumen por hectárea

### 8.3. Prueba *t* de Student para las variables dasométricas

Se realizó una prueba estadística para las variables dasométricas; sobre la abundancia de los individuos considerando el número de individuos por hectárea, la dominancia tomado en cuenta el área basal por hectárea, la cobertura en función de área de copa por hectárea, además del el volumen por hectárea ya que es una de las variables más importantes en el manejo forestal. (Tabla 7).

**Tabla 7. Valores de la prueba *t* de Student para las variables dasométricas**

<b>Variable</b>	<b>T1-T2</b>	<b>D.E.</b>	<b>Error</b>	<b>t</b>	<b>gl</b>	<b>P (&gt; 0.05)</b>
N*Ha	118	151.7	47.97	2.46	9	0.036
AB*Ha	0.312	4.41	1.39	.224	9	0.828
AC*Ha	-1238.8	3171.7	1002.98	-1.235	9	0.248
Vol*Ha	-23.17	44.25	13.99	-1.656	9	0.132

Donde: T1=media del 2008; T2=media del 2013; D.E. desviación estándar; t=valor de t; gl=grados de libertad; P=valor de p

La variable abundancia mostró diferencia ( $t=2.46$ ;  $gl=9$ ;  $P=0.0036$ ) entre los periodos, mostrando un decremento. Esto se debe a que después de la aplicación de los tratamientos silvícolas el número de individuos se reduce considerablemente. Este resultado es diferente al reportado por Hernández *et al.*, (2013), ya que no encontraron diferencias significativas en la abundancia al analizar tres géneros en un intervalo de 30 años. La diferencia entre los resultados de las investigaciones se podría deber a que para este estudio las mediciones se realizaron en un lapso de cinco años.

A pesar de que en el número de individuos se encontraron diferencias significativas, esto no ocurrió con las variables dasométricas de área basal, cobertura y volumen ( $P>0.05$ ). Con los aclareos (primero o segundo), se remueven individuos jóvenes no deseados o suprimidos que se encuentran bajo competencia

con otros árboles, por lo que el arbolado que queda en pie tiende a desarrollarse de mejor manera, incrementando el tamaño de las variables área basal, área de copa y volumen, recuperándose los valores de la masa forestal.

#### 8.4. Índices de diversidad

En la tabla 4 se pueden observar los valores para los diferentes índices evaluados, los resultados muestran una gran similitud; a nivel parcela para la evaluación del índice de diversidad de Shannon ( $H$ ) la parcela 4 presentó los valores más bajos, esto se debe a que en la parcela existe una gran dominancia de *P. cooperi* ( $H=0.235$  para 2008 y  $H=0.253$  para 2013), respecto a las demás especies, la parcela 2 presentó el valor más alto en 2008 ( $H=1.722$ ), pero su valor redujo en 2013, la parcela 9 presentó el valor más alto en 2013 ( $H=1.707$ ), el cual es mayor al de 2008. El índice de Simpson ( $D$ ) refleja que en la parcela 4 para los inventarios del 2008 y 2013 existe una clara dominancia de alguna especie ( $D=0.093$  y  $0.101$ , respectivamente) que corresponde a *P. cooperi*. Los índices de Margalef ( $IM$ ) y Menhinick ( $ID$ ) demostraron que la parcela 2 presentó la mayor riqueza tanto para 2008 ( $IM=2.142$  y  $0.92$ , respectivamente) y 2013 ( $ID=1.973$  y  $0.872$  respectivamente). La parcela 4 presentó la menor riqueza, para 2008  $IM=0.536$  e  $ID=0.244$ , y para 2013  $IM=0.537$  e  $ID=0.245$ , respectivamente. Respecto a evaluación en tiempo del 2008 con 2013 los resultados son muy similares por medio de la media estadística, con el índice de Shannon, Margalef y Menhinick, solo el índice de Simpson muestra valores diferentes (2008=0.626 y 2013=0.554).

**Tabla 8. Valores para los índices utilizados**

Parcela	Shannon		Simpson		Margalef		Menhenick	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013
1	1.215	1.249	0.57	0.578	0.906	1.093	0.38	0.45
2	1.722	1.616	0.74	0.712	2.142	1.973	0.92	0.872
3	1.454	1.498	0.707	0.722	1.689	1.473	0.843	0.743

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

4	0.235	0.253	0.93	0.101	0.536	0.537	0.244	0.245
5	0.51	0.58	0.222	0.271	0.73	0.557	0.322	0.271
6	1.209	1.247	0.623	0.66	1.038	0.95	0.389	0.432
7	1.537	1.57	0.752	0.764	1.142	1.187	0.506	0.559
8	1.232	1.178	0.527	0.512	1.699	1.537	0.707	0.667
9	1.667	1.707	0.729	0.748	1.462	1.504	0.583	0.583
10	0.97	0.999	0.459	0.467	1.172	1.234	0.542	0.616
<b>Media</b>	<b>1.175</b>	<b>1.19</b>	<b>0.626</b>	<b>0.554</b>	<b>1.252</b>	<b>1.205</b>	<b>0.544</b>	<b>0.544</b>

### 8.5. Prueba *t de Student* para los índices de diversidad

Para los diferentes índices de diversidad (Shannon), dominancia (Simpson) y riqueza (Margalef y Menhinick) se realizó una prueba estadística sobre los resultados obtenidos, para demostrar si existen diferencias significativas entre las evaluaciones obtenidas

**Tabla 9. Valores de la prueba *t de Student* para los índices de diversidad**

Índice	T1-T2	D.E.	Error	t	gl	<i>P</i> (> 0.05)
Shannon	-0.015	0.053	0.017	-0.871	9	0.407
Simpson	0.072	0.267	0.084	0.858	9	0.413
Margalef	0.047	0.133	0.042	1.119	9	0.292
Menhinick	-0.0002	0.059	0.019	-0.011	9	0.992

Donde: T1=media del 2008; T2=media del 2013; D.E. desviación estándar; t=valor de t; gl=grados de libertad; *P*=valor de *p*

De acuerdo con los valores obtenidos de *P* se demostró que para ninguno de los casos sobre los índices de diversidad entre los años 2008 y 2013, existen diferencias significativas, por lo que se demuestra que a pesar de la aplicación de un primer o segundo aclareo no se modifica la diversidad, dominancia o riqueza de especies en estos ecosistemas. Estos resultados difieren a los de Graciano (2001), donde encontró que la cortas selectivas disminuyen la diversidad arbórea, y a los de Corral *et al.* (2006), donde registraron que los aprovechamientos forestales modifican la diversidad y abundancia de especies arbóreas.

### 8.6. Gráficos en representación de la comparación de las Categorías Diamétricas

En las figuras 16 a 25 se pueden observar el número de individuos por categoría diamétrica para las diferentes parcelas en los distintos inventarios así como el tipo de tratamiento aplicado. La mayoría de las reducciones se presenta en las categorías inferiores, los datos se encuentran concentrados a la izquierda, por lo que se asume que son rodales con individuos jóvenes. Las parcelas 5 y 6 presentan el mayor número de reducciones, con 91 y 114 individuos, respectivamente. Solo la parcela 3 mostró una cantidad final de individuos incorporados (2 individuos). Para los datos del 2008 en parcelas que llevaron un primer aclareo presentan una forma de j invertida, después de la aplicación del tratamiento los datos tienden a presentar normalidad en sus categorías diamétricas, lo cual se puede observar con mayor claridad en la parcela 6. Para las parcelas con aplicación de un segundo aclareo los datos tienen una tendencia a la normalidad antes de la aplicación del tratamiento, después de la aplicación los datos presentan irregularidad, esto se debe a que a pesar de un segundo aclareo los individuos de la regeneración tienen a desarrollarse e incorporarse a la nueva masa forestal, por lo que se encuentran nuevos individuos en las categorías diamétricas mínimas.

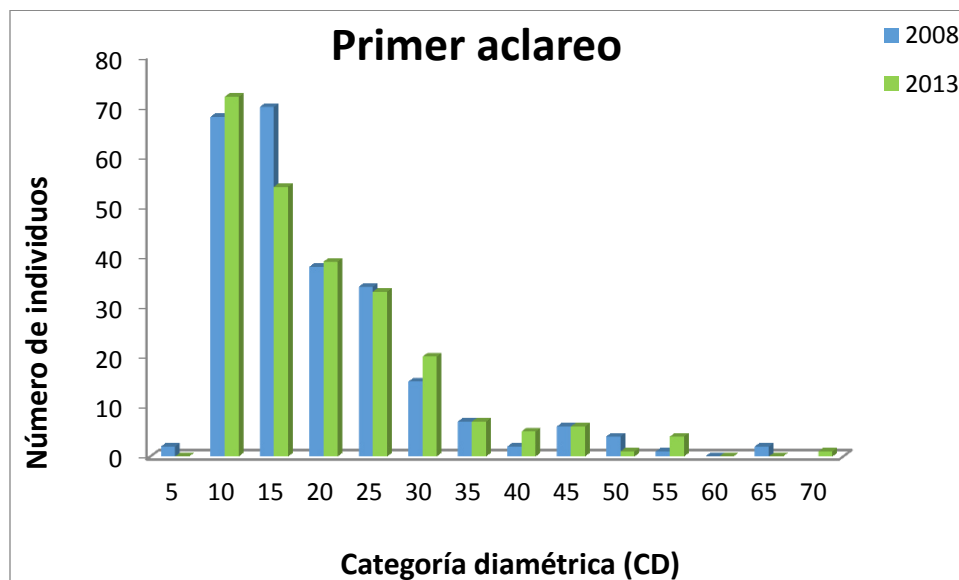


Figura 16. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 1



EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

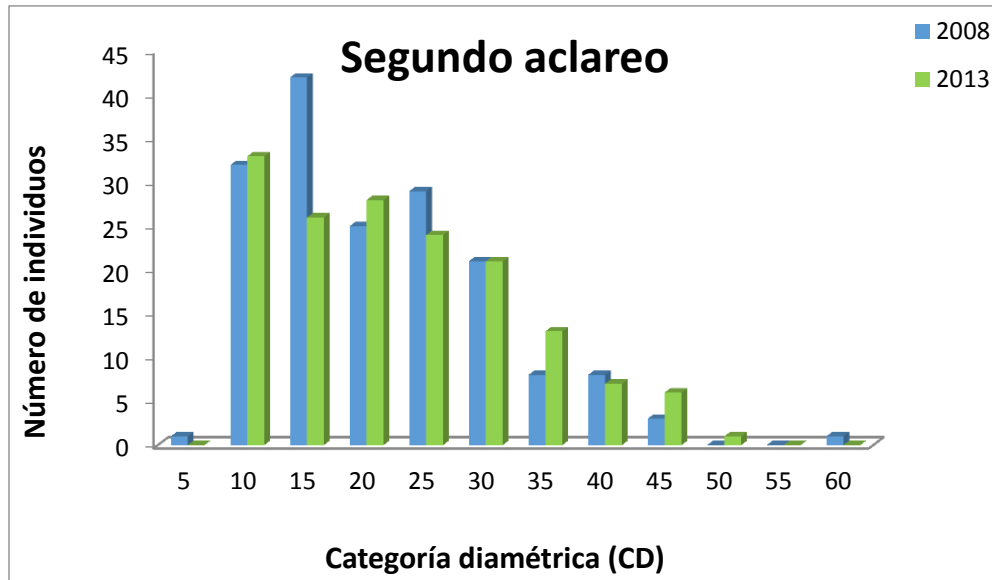


Figura 17. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 2

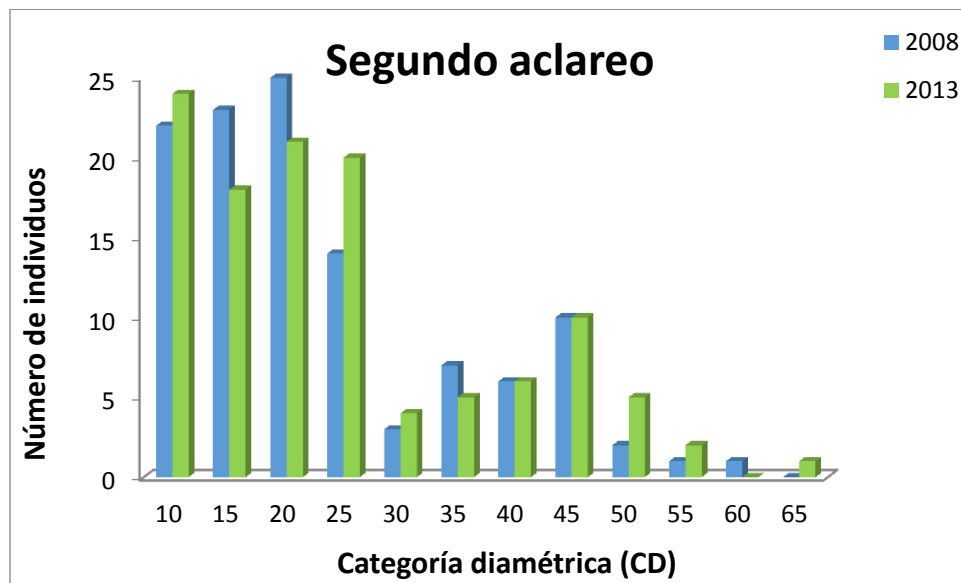


Figura 18. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 3

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

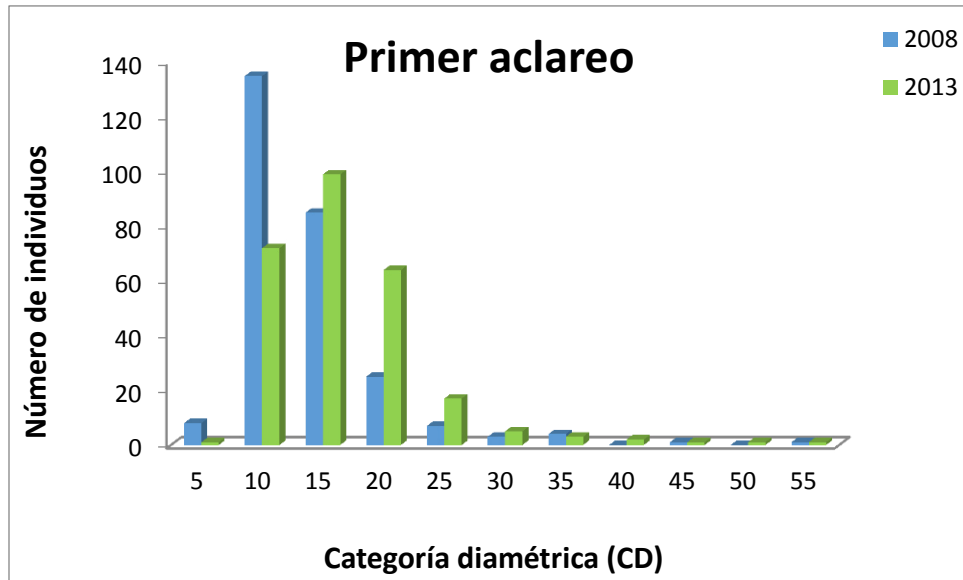


Figura 19. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 4

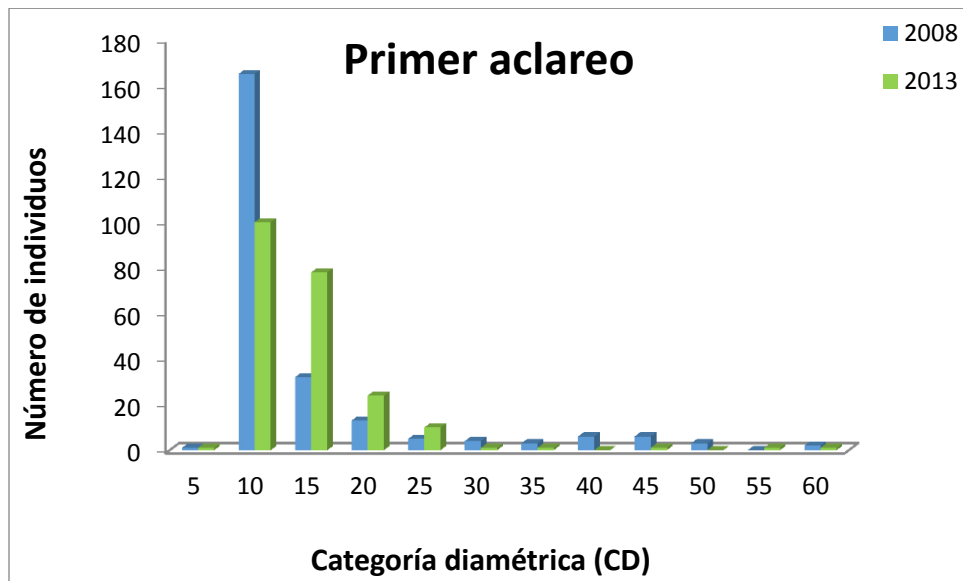


Figura 20. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 5

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

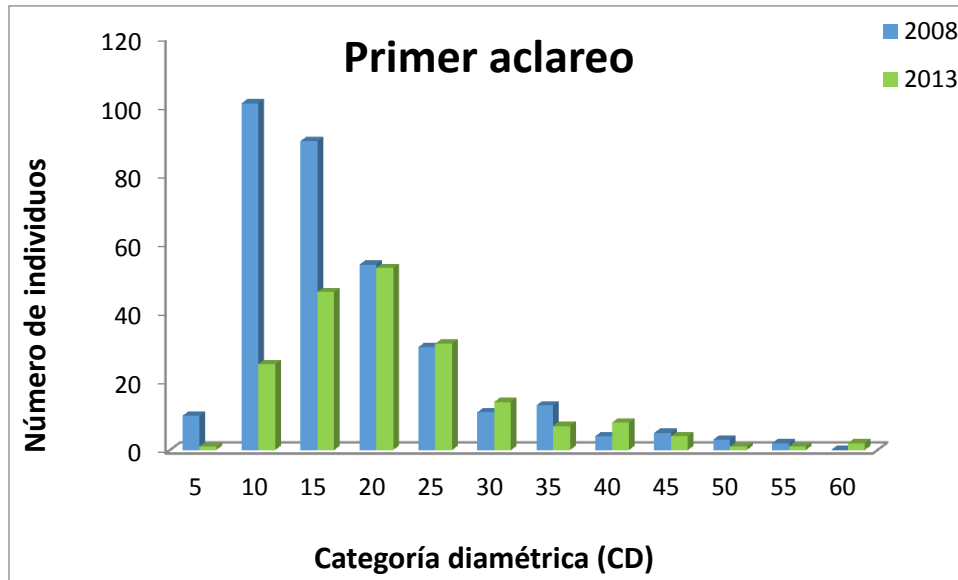


Figura 21. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 6

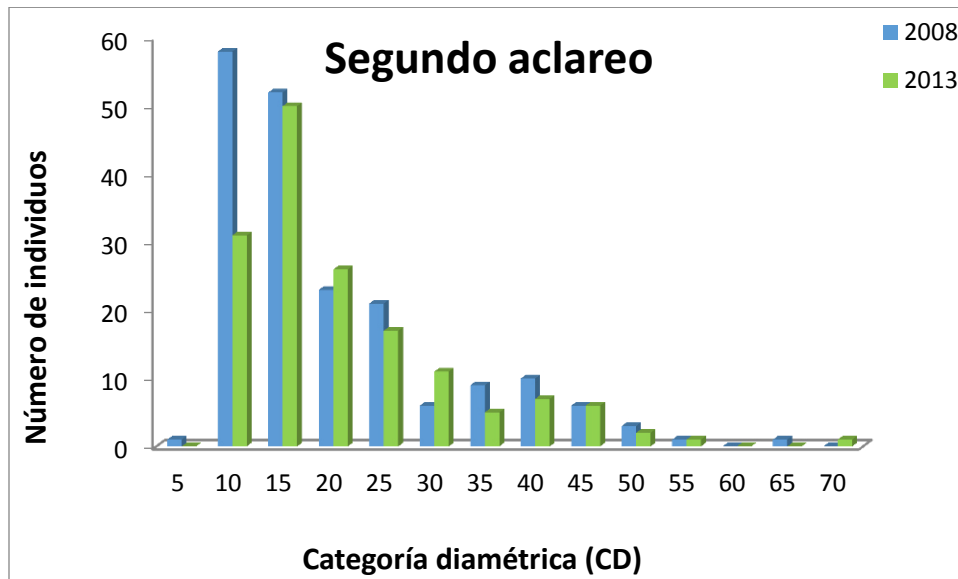


Figura 22. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 7

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

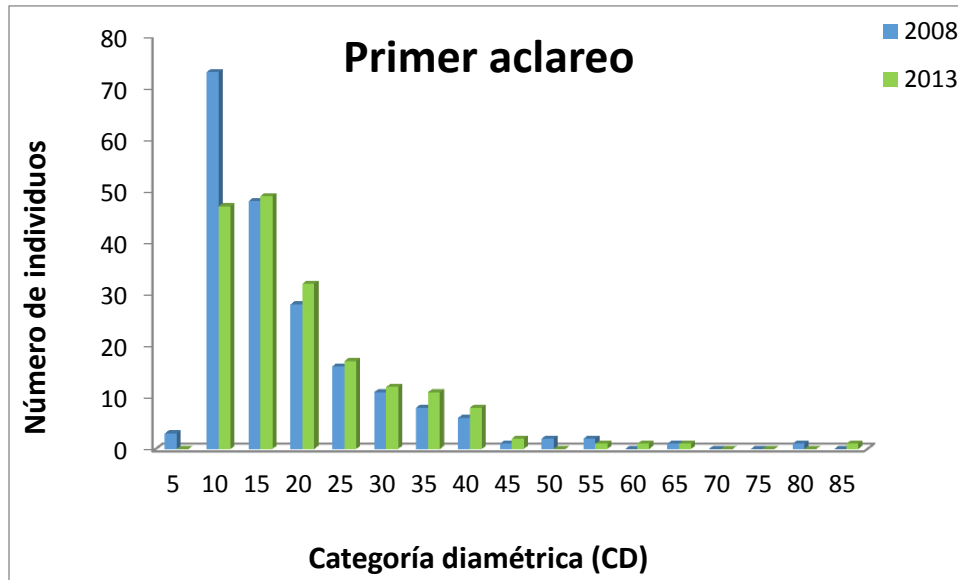


Figura 23. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 8

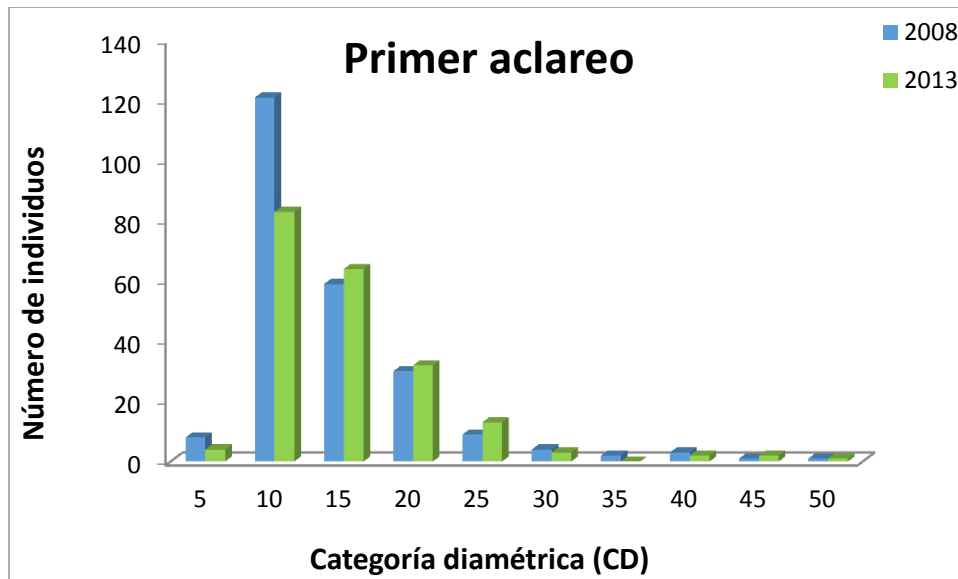


Figura 24. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 9

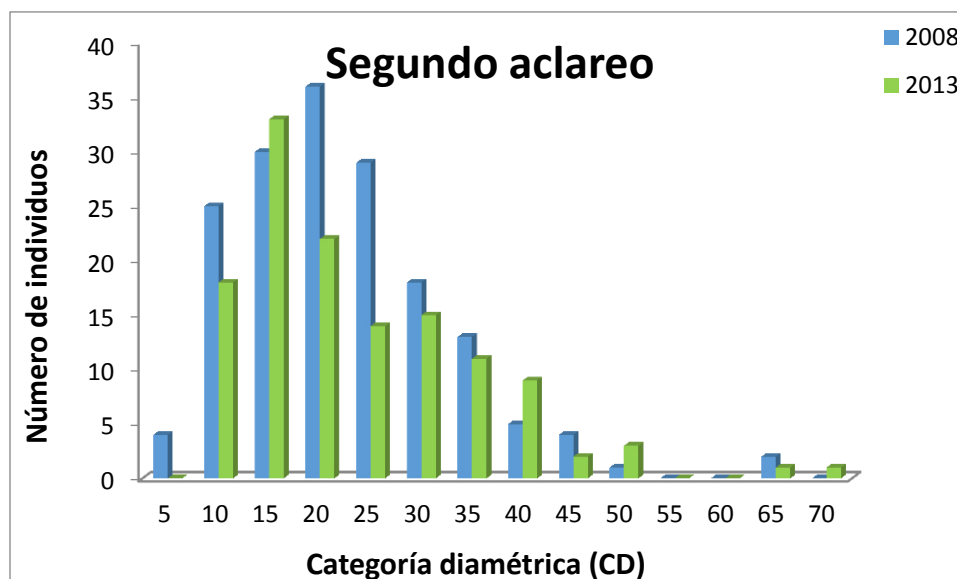


Figura 25. Individuos por Categoría Diamétrica parcela 10

### 8.7. Índices de estructura

En la tabla 8 se presentan los resultados de mezcla de especies, distribución espacial y la diferenciación dimensional para 2008 y 2013 respectivamente. Los valores para el índice de mezcla de especies son similares entre las evaluaciones, la parcela con menor cantidad de mezcla de especies es la parcela 4, pues en ella solo se encontró registro de 4 especies diferentes en ambas mediciones. Para la estructura espacial en ambas mediciones se cuenta con una tendencia aleatoria ya que sus valores se acercan a 0.5. Respecto a diferenciación dimensional los valores registrados en el 2008 son muy similares a los registrados en el 2013 por lo que se asumen que se presenta arbolado de diferentes dimensiones en diámetro y altura.

Tabla 10. Valores para los índices de estructura

P	Mi1	Mi2	Wi1	Wi2	TDi1	TDi2	THi1	THi2	Ui1	Ui2
1	0.59	0.58	0.47	0.44	0.7	0.73	0.59	0.58	0.5	0.51
2	0.62	0.57	0.6	0.53	0.7	0.67	0.67	0.63	0.53	0.54
3	0.85	0.88	0.46	0.46	0.82	0.77	0.79	0.85	0.5	0.43
4	0.05	0.04	0.46	0.47	0.47	0.51	0.4	0.36	0.49	0.52

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
 TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

5	0.42	0.38	0.54	0.51	0.65	0.6	0.53	0.45	0.47	0.49
6	0.54	0.56	0.53	0.52	0.7	0.7	0.56	0.49	0.51	0.48
7	0.52	0.61	0.53	0.56	0.69	0.63	0.65	0.64	0.58	0.57
8	0.36	0.32	0.59	0.5	0.64	0.66	0.55	0.52	0.51	0.54
9	0.54	0.58	0.53	0.5	0.65	0.64	0.57	0.56	0.51	0.51
10	0.56	0.57	0.48	0.48	0.68	0.68	0.55	0.56	0.5	0.45
<b>Media</b>	<b>0.505</b>	<b>0.509</b>	<b>0.519</b>	<b>0.497</b>	<b>0.67</b>	<b>0.659</b>	<b>0.586</b>	<b>0.564</b>	<b>0.51</b>	<b>0.504</b>

Donde: P=parcela; Mi=mezcla de especies; Wi=uniformidad de ángulos; TDi=diferenciación en diámetro, THi=diferenciación en altura, Ui=dominancia, 1=2008, 2=2013

### 8.8. Prueba *t* de Student para índices de estructura

Finalmente, para los diferentes índices de caracterización estructural sobre la mezcla de especies, distribución espacial y diferenciación dimensional se realizó una comparación de medias para evidenciar si existen diferencias significativas en estos índices y corroborar que la aplicación de los diferentes métodos silvícolas modifica la estructura del sistema.

**Tabla 11. Valores de la prueba *t* de Student para los índices de estructura**

Índice	T1-T2	D. E.	Error	t	gl	<i>P</i> (> 0.05)
Mi1 – Mi2	-0.004	0.043	0.014	-0.292	9	0.777
Wi1 – Wi2	0.022	0.036	0.012	1.908	9	0.089
TDi1 – TD12	0.011	0.035	0.011	0.982	9	0.352
THi1 – THi1	0.022	0.04	0.013	1.73	9	0.118
Ui1 – Ui2	0.006	0.035	0.011	0.557	9	0.591

Donde: T1= media del 2008; T2= media del 2013; Mi=mezcla de especies; Wi=uniformidad de ángulos; TDi=diferenciación en diámetro; THi=diferenciación en altura; Ui=dominancia; 1=2008, 2=2013, D.E. desviación estandar, t=valor de t, gl=grados de libertad, *P*=valor de p

De acuerdo a los valores obtenidos de *P* (>0.05), para los cinco índices de estructura evaluados no se encontraron diferencias significativas que indiquen que la aplicación de los tratamientos silvícolas modifican la estructura del estrato

arbóreo, por lo que se asume que la mezcla de especies se mantiene en los dos periodos de evaluación, de igual manera se mantiene la distribución espacial donde se demuestra que los individuos se encuentran distribuidos de manera aleatoria, y finalmente la diferenciación en las dimensiones en diámetro y altura no se ve afectada por evidencia de manejo forestal para estos ecosistemas.

Hernández *et al*, 2013, en un estudio para evaluar el efecto de las practicas silvícolas en la diversidad y composición de especies arbóreas de un bosque templado del noroeste de México encontraron que el aprovechamiento forestal modifica la diversidad y composición del estrato arbóreo lo cual no ocurrió en esta evaluación.

Corral *et al*, 2005, en un estudio realizado para analizar el efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña <<El Cielo>>, Tamaulipas, México encontraron que los aprovechamientos forestales disminuyen la diversidad de especies, lo cual solo ocurrió con la abundancia para este estudio, modifican la distribución espacial de los árboles y cambia la diferenciación dimensional, que a su vez para esta evaluación la distribución espacial se mantiene al igual que la diferenciación dimensional

Solís *et al*, 2006, en un estudio para evaluar el efecto de dos tratamientos silvícolas sobre la composición y estructura de ecosistemas forestales en la Sierra de la Candela , Tepehuanes, Durango encontraron que existe una mayor mezcla y diversidad de especies en parcelas con tratamiento de selección que en aquellas con corta de aclareos, encontrando una distribución espacial en agregados en ambas parcelas, lo cual para este estudio se encontró una distribución espacial al azar pero sin evidencia significativa en su relación dimensional que indique un efecto en la estructura dimensional de sus parcelas, mismo resultado para este estudio.

## 9. CONCLUSIONES

Tanto los índices de diversidad como el índice de valor de importancia permiten evaluar el efecto del aprovechamiento en cada una de las parcelas estudiadas, en los cuales se puede observar que los valores para los diferentes índices son similares antes y después de la aplicación de algún tratamiento, mientras que el IVI se mantiene para las especies que presentaron mayor porcentaje de valor de importancia (*P. cooperi*, *P. durangensis* y *Q. sideroxila*).

Los índices de estructura describen satisfactoriamente el estrato arbóreo, considerándose la mezcla de especies, la distribución espacial y la diferenciación dimensional.

A pesar de la aplicación de tratamientos silvícolas en las diferentes parcelas de muestreo, se logra mantener la diversidad de especies así como el grado de mezcla de especies, la distribución de los individuos y el grado de diferenciación dimensional.

La aplicación de los tratamientos silvícolas no tiene efecto en la diversidad y estructura de los bosques, ya que no se encontró una diferencia significativa entre las parcelas estudiadas por lo que la estructura y diversidad del estrato arbóreo se mantiene.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre O., Kramer H., Jiménez J., 1998. Strukturuntersuchungen in einem kiferen durchforschungsversucht nordmexikos. Allg forst –u j ztg 169, 213-219.

Aguirre, O., Hui, K., Gadow y J. Jiménez. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbour-hood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183:137-145.

Aguirre; O., Corral, J.J., Vargas, B., y Jiménez, J. 2008. Evaluación de modelos de diversidad-abundancia del estrato arbóreo de un bosque de niebla. *Rev. Fototec. Mex.*, 31(3), 281-289.

Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O. A., & Treviño-Garza, E. J. (2011). Caracterización de la regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 31–39. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05032

Albert M., Gadow K. Von, Kramer H., 1995. Zur strukturbeschreibung in duglasien jungbeständen am beispiel del versuchsflächen manderscheid und uslar. Allg forst u j ztg 166, 205-201.

Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, A., Jiménez-Pérez, J., Musalem-Santiago, M., & López-Aguillón, R. (2008). Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 14(2), 51–63.

Clark P.J., Evans F.C., 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology* 35, 445-453.

Corral, J. J., Aguirre, O. A., 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 Recursos Forestales* 14(2), 217-228.

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

Corral-Rivas J.J., Vargas L.B., Wehenkel C., Aguirre C. O., Álvarez G. J., Rojo A. A. 2009. Guía para el establecimiento de sitios de investigación forestal y de suelos en bosques del estado de Durango. Editorial UJED. Durango. 81p.

Corral-Rivas J.J., Vargas L.B., Wehenkel C., Aguirre C. O., Crecente f. 2012. Guía para el establecimiento, seguimiento y evaluación de sitios permanentes de monitoreo en paisajes productivos forestales.

Del Río M., Montes F., Cañellas I., Montero G., 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. Invest agrar: sist recur for 2(1), 159-176.

Füldner K., 1995. Zur Strukturbeschreibung in Mis-chbeständen. Forstarchiv 66, 235-240.

Gadow K. Von, Hui G., 1999. Modelling Forest Development. Kluwer Academic Publishers, 213 pp.

Gadow K. Von., 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Forst und Holz 21, 601-606.

Gadow K., Von, Real P., Álvarez G.J., 2001. Modelación del crecimiento y la evolución de los bosques. UIFRO World Series. Vol. 12, 242 pp.

Gadow, K.v., A. Rojo, J.G. Álvarez & R. Rodríguez. 1999. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Fuera de Serie no 1.

Gavilan, R. G., & Rubio, A. (2005). ¿Pueden los índices de diversidad biológica ser aplicados como parámetros técnicos de la gestión forestal? Obtenido de <http://www.secforestales.org/web/images/stories/c20.pdf>

Graves, H.S. 1906. Forest mensuration. New York, Wiley. 458 p.

Hernández-Salas, J.; Aguirre-Calderón, O.; Alanís-Rodríguez, E.; Jimenez-Perez, J. Treviño-Garza, E.J.; González-Tagle, M.A.; Luján-Álvares, C.; Olivas-García, J.M. y Domínguez-Pereda, L.A: 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente.

Hui, G., Gadow, K.V. 2002. Das Winkelmaß. Herteilung des Optimalen Standarwinkels. Allgemeine Forst u Jagdzeitung 10:173-177.

Jiménez, J., Aguirre, O., y Kramer, H. (2001). Análisis de la estructura horizontal y vertical en un sistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. Invest. Agrar.: Sist Recur. For., 10(2), 355-366. Doi: 10.5424/729

Khanina, L., Bobrovsky, M., Komarov, A., & Mikhajlov, A. (2007). Modeling dynamics of forest ground vegetation diversity under different forest management regimes. *Forest Ecology and Management*, 248(1-2), 80–94. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.021

Kraft, G. 1884. Beiträge zur lehre von den durchforstungen, schlagstellungen und lichtungshieben. Verlag Keind-worth, Hannover. 147 p.

Magurran, A. E. 1998. Diversidad Ecológica y su medición, traducción Antonia M. Cirer, Barcelona España.

Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity, Oxford, UK.: Blackwell publishing Company. URL: [http://books.google/books?id=jHoOAAAQAAJyhl=esysource=gbs\\_similar books](http://books.google/books?id=jHoOAAAQAAJyhl=esysource=gbs_similar books).

Neuman M., Starlinger F., 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. *Forest Ecology and Management* 145, 91-106.

Ozdemir, I., Ozkan, K., Mert, A. Ozkan, U Y., Senturk, O. y Alkan, O. 2012. [Mapping forest stand structural diversity using RapidEye satellite data].

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

Pretsch H., 1998. Structural diversity as a result of silvicultural operations. *Lesnictví-Forestry* 44(10), 429-439.

EFFECTO DE TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL DE BOSQUES  
TEMPLADOS EN DURANGO, MÉXICO

Ripley B. D., 1977. Modelling spatial patterns (with dis-cussion). J. Royal Statistical Society B 39, 172-212.

Solís, M. R., Aguirre, C. Ó. A., Treviño, G. E. J., Jiménez, P. J., Jurado, Y. E., & Corral, R. J. (2006). Efecto de dos tratamientos silvícolas en la estructura de ecosistemas forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 12(2), 49–64.

Solomon, D.S. 1979. Permanent plots in forestry research. Pp. 327-332 in Frayer, W.E. (ed), Forest resource inventories, Vol. 1. Fort Collins, Society of American Foresters, Colorado State University. 513 p.

Treviño G. E.J., Cavazos C.C., Aguirre O. A., 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro de Nuevo Leon, *Madera y Bosques*, 7(1), 13-25 pp.

Williams, D.S. 1991. Forest composition changes over 25 years on Pureora Mountain. *Rotorua Botanical Society Newsletter* 22: 15-20.