



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

## **CRECIMIENTO RADIAL DE ESPECIES DE PINO EN RODALES SUJETOS A CORTAS DE SELECCIÓN EN SANTA MARÍA LACHIXÍO, OAXACA**

**HÉCTOR ALFREDO TRUJILLO MARTÍNEZ**

**T E S I S**  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

2018

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Héctor Alfredo Trujillo Martínez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Valentín José Reyes Hernández, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Crecimiento radial de especies de pino en rodales sujetos a cortas de selección en Santa María Lachixío, Oaxaca y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 25 de Junio de 2018

Firma del  
Alumno (a)

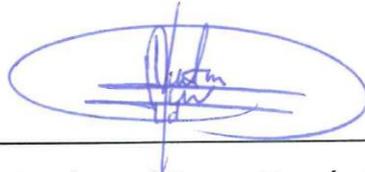
Dr. Valentín José Reyes Hernández  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **"Crecimiento radial de especies de pino en rodales sujetos a cortas de selección en Santa María Lachixío, Oaxaca"** realizada por el alumno: **Héctor Alfredo Trujillo Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
CIENCIAS FORESTALES

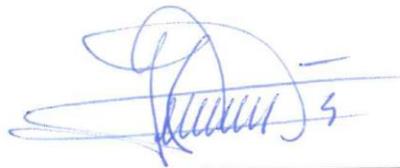
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Valentín José Reyes Hernández

ASESOR



Dr. Armando Gómez Guerrero

ASESORA



Dra. Ma. Amparo Máxima Borja de la Rosa

# CRECIMIENTO RADIAL DE ESPECIES DE PINO EN RODALES SUJETOS A CORTAS DE SELECCIÓN EN SANTA MARÍA LACHIXÍO, OAXACA

Héctor Alfredo Trujillo Martínez, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

## RESUMEN

El presente estudio se realizó con la finalidad de evaluar los efectos de las cortas de selección sobre el crecimiento radial del arbolado residual, en rodales incoetáneos de pino aprovechados comercialmente. Se evaluaron 30 sitios de muestreo distribuidos en dos rodales intervenidos con cortas de selección en el año 2003 en Santa María Lachixío, Oaxaca. Se utilizaron los tocones de dicho aprovechamiento como centros de sitios circulares con un radio de 10 m, dentro del cual se registraron las variables dasométricas de todos los árboles adultos vivos (*i.e.* diámetro normal >15 cm); además, se obtuvieron dos núcleos de madera (virutas) por árbol para el análisis de su crecimiento y se calcularon tres índices de competencia dependientes de la distancia para cada árbol evaluado. Los resultados mostraron crecimiento significativo en 47% del arbolado residual en el primer quinquenio posterior al año de cosecha. El diámetro normal y la competencia fueron las variables más importantes para explicar la variación en el crecimiento del arbolado residual. El área de competencia de los individuos aprovechados (tocones) se calculó en un radio de 14.6 m. Los sitios evaluados presentaron aumento en el incremento en área basal (IAB) de 71% respecto al crecimiento registrado antes de la cosecha. El aumento del IAB se relacionó con la suma de área basal del arbolado residual, lo que resultó en un umbral de 1.3 m<sup>2</sup> a partir del cual el beneficio del aclareo disminuye gradualmente por la competencia residual. Se concluye que las cortas de selección impactan el crecimiento de una porción del arbolado residual, el cual continúa su crecimiento en función del tamaño y de la competencia local principalmente.

Palabras clave: Crecimiento radial, cortas de selección, competencia, bosque de pino, incremento en área basal

RADIAL GROWTH OF PINE SPECIES IN SELECTION HARVESTED STANDS IN  
SANTA MARÍA LACHIXÍO, OAXACA

Héctor Alfredo Trujillo Martínez, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

**ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the effects of selection cuts on radial growth of pine species uneven-aged stands harvested for commercial purposes. Thirty sites selected randomly were established in two stands where selection cut were applied in 2003, in Santa María Lachixío, Oaxaca; stumps from those cuts were used as the center of circular plots 10 m radius, where DBH and total height of all living trees (>15 cm DBH) were measured, and their distance from the plot center was recorded to calculate distance-dependent competition indexes. Also, two wood cores per tree of 7 mm in diameter were obtained to analyze tree growth. Results showed that 47% of trees significantly increased their radial growth in the first lustrum after the harvest. DBH and competition were the most important variables for tree growth. The stumps influenced neighbor trees within a radius of 15 m. Basal area increment improved by 71% when compared to tree growth ten years before the harvest. Tree growth improvement was related to the residual basal area after the harvest, with threshold of 1.3 m<sup>2</sup> that progressively decreased due to competition of remaining trees. Selection harvest activities positively influenced the radial growth of remaining trees, whose growth is mainly influenced by tree size and competition.

Key words: Radial growth, selection cut, competition, pine forests, basal area increment

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por financiar mi periodo de estancia en la maestría y el proyecto de investigación.

Al Colegio de Postgraduados por desarrollarme profesionalmente en las ciencias forestales.

A los integrantes del Comisariado de Bienes Ejidales del Municipio de Santa María Lachixío, por permitir el desarrollo del presente estudio y por el apoyo incondicional en la recolección de los datos de campo.

A mi consejero, el Dr. Valentín José Reyes Hernández y a mi consejo particular, por apoyar siempre la esencia de mi proyecto de investigación.

A mis compañeros de generación y del Programa en Ciencias Forestales de Colegio de Postgraduados.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, amigos, y conocidos, que de manera directa o indirecta influyen en el camino hacia la conclusión de una etapa en mi vida.

## CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Competencia y crecimiento	4
4.1.1 Índices de competencia	5
4.1.2 Criterio de selección de competidores	6
4.1.3 Evaluación de la competencia y crecimiento en rodales forestales	7
5. MATERIALES Y MÉTODOS	9
5.1 Área de estudio	9
5.2 Ubicación y establecimiento de los sitios de muestreo	10
5.3 Procesamiento y análisis de muestras dendrocronológicas	13
5.4 Análisis	16
5.4.1 Análisis de regresión	17
6. RESULTADOS	19
6.1 Características dasométricas y de crecimiento de los árboles individuales	19
6.2 Patrones de incremento en área basal	20
6.2.1 Análisis del crecimiento radial dentro de cada grupo	23
6.2.2 Variables seleccionadas para la evaluación de efectos de competencia	28
6.2.3 Análisis de regresión y modelo	30
6.2.4 Índice de competencia	31
6.2.5 Diámetro normal	32
6.2.6 Diámetro de tocón	33
6.2.7 Distancia al tocón	34
6.2.8 Variables no significativas	35
6.3 Influencia de las variables del sitio	38

6.3.1 Exposición	38
6.3.2 Especie	39
6.3.3 Pendiente promedio de sitio	39
6.3.4 Crecimiento a nivel sitio	40
7. DISCUSIÓN	42
7.1 Crecimiento a nivel de árbol individual	42
7.2 Crecimiento a nivel sitio	46
8. CONCLUSIONES	49
9. LITERATURA CITADA	51

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplos de índices de competencia utilizados en ciencias forestales	5
Cuadro 2. Resumen de criterios de selección de competidores más utilizados, para la evaluación de competencia en especies arbóreas	6
Cuadro 3. Índices de competencia utilizados como variables del crecimiento	13
Cuadro 4. Resumen del tamaño de muestra por especie y sus características dasométricas	19
Cuadro 5. Grupos de acuerdo a su respuesta en el crecimiento y su representatividad en la muestra	22
Cuadro 6. Grupos y subgrupos de árboles de acuerdo con sus patrones de crecimiento en respuesta a la corta	24
Cuadro 7. Significancia estadística durante la selección de variables por grupos de crecimiento. Se presenta la probabilidad de selección de variables obtenida por medio del procedimiento Stepwise en el programa SAS	28
Cuadro 8. Parámetros estimados y estadísticos de la regresión lineal de las variables significativas discriminadas con Stepwise	30
Cuadro 9. Recomendaciones considerando las variables de importancia para el crecimiento	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los rodales donde se realizó el estudio en Santa María Lachixío, Oaxaca	9
Figura 2. Tocones con marcas de aprovechamiento forestal maderable autorizado	11
Figura 3. Esquema de un sitio de muestreo para levantamiento de datos	12
Figura 4. Montado y etiquetado de las muestras de núcleos de madera utilizadas en la evaluación del crecimiento radial de los árboles	13
Figura 5. Proceso de lijado de las muestras de madera	14
Figura 6. Aumento del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)	20
Figura 7. Crecimiento neutral del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)	21
Figura 8. Disminución del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)	21
Figura 9. Tendencias en el incremento en área basal (IAB) de los árboles objetivo, de acuerdo con su agrupamiento basado en la respuesta en el crecimiento después de la corta	23
Figura 10. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G1	25
Figura 11. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G2	26
Figura 12. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G3	27
Figura 13. Distribución del rango de datos colectados de cada variable significativa en el proceso stepwise	29
Figura 14. Relación del Ln_PIAB con el Índice de competencia de Hegyi para el total de muestras analizadas	31
Figura 15. Relación entre el Ln_PIAB y el diámetro normal para el total de muestras analizadas	32

Figura 16. Relación entre el Ln_PiAB y el diámetro del tocón para el total de muestras analizadas	33
Figura 17. Relación entre el Ln_PiAB y la distancia al tocón para el total de muestras analizadas	34
Figura 18. Comparación de medias del crecimiento (Ln_PiAB) con la “distancia al tocón” agrupada en metros	35
Figura 19. Relación entre el Ln_PiAB y la edad para el total de muestras analizadas	36
Figura 20. Relación entre el Ln_PiAB y la elevación para el total de muestras analizadas	37
Figura 21. Relación Diámetro normal-Edad- del total de árboles muestreados	37
Figura 22. Comparación de medias del crecimiento con la exposición del sitio	38
Figura 23. Comparación de medias para el crecimiento de la variable “especie”	39
Figura 24. Regresión del LNPIAB contra los valores promedio la pendiente del sitio	40
Figura 25. Crecimiento en función del área basal de los sitios de muestreo	41

## 1. INTRODUCCIÓN

En la historia de la silvicultura y el manejo de los bosques del mundo, se han desarrollado diversos métodos y técnicas que tienen la finalidad de aprovechar los recursos forestales bajo los enfoques económico, social, y ambiental; y dichos enfoques se han desarrollado experimentando cambios a lo largo del tiempo (Puettmann *et al.*, 2010). Una de las premisas establecidas en las actividades de manejo forestal, específicamente en el aprovechamiento maderable, es que las intervenciones que se realizan en la masa forestal deben propiciar el incremento y calidad maderable de los arboles residuales; sin embargo, lo anterior depende de diversos factores tales como la exposición de la copa al viento, cambios en la interceptación de radiación solar, tolerancia, entre otros factores. Todos estos factores interactúan con la respuesta del arbolado lo cual dificulta la posibilidad de predecir el crecimiento derivado de actividades particulares (Powers *et al.*, 2009).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reporta que del total de superficie forestal bajo manejo existente en el país, el 50% corresponde a bosques manejados con el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) (CONAFOR, 2001) el cual se caracteriza por la aplicación de silvicultura de baja intensidad. Al ser el método más utilizado en el país, es de gran importancia conocer a nivel de árbol y rodal las particularidades de su ejecución y los efectos que resultan de la misma.

Por otro lado, ante la gran superficie manejada en el país con métodos selectivos es importante que éstos sean analizados y evaluados; algunos trabajos han evidenciado deficiencias en las bases y en el procedimiento del MMOBI, anteriormente conocido como Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM) (Hernández-Díaz *et al.*, 2008; Torres-Rojo *et al.*, 2000). Por ejemplo, algunas de las actividades de manejo forestal que involucran la planeación, el desarrollo y la evaluación de las estrategias

de manejo, suelen no realizarse y esto genera problemas en su ejecución (Gadow *et al.*, 2004). Además, la estimación de los volúmenes existentes en el bosque y su crecimiento suelen ser erróneos, principalmente por la baja intensidad de muestreo y la delimitación de los rodales (Hernández-Díaz *et al.*, 2008). Otro problema en el diseño y aplicación del MMOBI es la utilización de la fórmula de interés compuesto como base para estimar el volumen de corta, pues la tendencia exponencial no representa la forma de crecimiento de la masa forestal (Torres-Rojo *et al.*, 2000). En este sentido, se han realizado diversos esfuerzos para mejorar los modelos que permitan evaluar el crecimiento y rendimiento de rodales incoetáneos; sin embargo, alcanzar dicho objetivo se complica debido entre otras causas a las condiciones heterogéneas de los rodales (Peng, 2000).

Por otro lado, diversos autores han enfocado esfuerzos en la evaluación de los aclareos aplicados en rodales coetáneos y sus efectos posteriores en diversas variables dasométricas (Espinosa *et al.*, 1994; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2014), sin embargo, son pocos los trabajos que han incursionado en la evaluación de rodales incoetáneos, principalmente por la complejidad de factores que intervienen en los procesos de crecimiento y desarrollo (Goche-Téllez *et al.*, 2007; Forget *et al.*, 2007).

Con base en lo anterior, el presente trabajo de investigación se enfocó en analizar el crecimiento del arbolado residual en rodales incoetáneos que han sido aprovechados con el método de selección, para identificar y analizar algunas de las variables que influyen en el crecimiento, y así poder obtener un mejor panorama de los procesos que se suscitan de las actividades silviculturales realizadas en dichos rodales.

## **2. OBJETIVOS**

General:

- Evaluar los efectos de las cortas de selección sobre el crecimiento radial del arbolado residual, en rodales incoetáneos dominados por especies de pino que han sido aprovechados comercialmente.

Específicos:

- Identificar y evaluar los factores que influyen en el crecimiento radial posterior a la cosecha en rodales incoetáneos de especies de pino.
- Cuantificar el crecimiento del arbolado residual derivado de las actividades de aprovechamiento forestal maderable.

## **3. HIPÓTESIS**

Las cortas de selección realizadas en el año 2003 en el sitio de estudio generaron las condiciones ambientales propicias para incrementar el crecimiento radial del arbolado residual.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Competencia y crecimiento

Los efectos de la competencia sobre el crecimiento de los árboles han sido objeto de estudio desde muchos años atrás (Tomé y Burkhart, 1989), y en la actualidad es un tema de interés que continúa siendo objeto de investigación en las ciencias forestales (Looney *et al.*, 2016; Cambrón-Sandoval *et al.*, 2013). Estudios recientes se han enfocado tanto en el crecimiento en volumen de los árboles como en la biomasa que éstos acumulan. Por ejemplo, se encontraron efectos significativos en variables de crecimiento, supervivencia y producción de biomasa en la etapa inicial de crecimiento de *Pinus pseudostrobus* sujeto a tres niveles de competencia, en Michoacán, México (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2013).

La competencia es un factor que influencia el crecimiento de los árboles desde etapas iniciales, donde es determinante para la supervivencia del individuo debido al espacio de crecimiento que necesitan y la adaptación que presenten (Quicaño-Silvano, 2017), hasta las etapas de sucesión de viejo crecimiento, tal y como fue demostrado en un estudio realizado en Suecia para *Picea abies* (Fraver *et al.*, 2014).

Varios estudios utilizan un índice de competencia como eje de estudio para diversas variables y en diferentes condiciones ambientales; algunos la relacionan con la radiación o disponibilidad de luz para explicar el crecimiento (Kings *et al.*, 2005), otros evalúan la competencia de especies que coexisten en determinado hábitat (Huang *et al.*, 2013), y algunos más enfatizan la importancia del tamaño de los individuos en la competencia y sus efectos en la modelación del crecimiento del arbolado (Das, 2012).

#### 4.1.1 Índices de competencia

Los índices de competencia son representaciones matemáticas que intentan modelar el nivel de estrés de los individuos al depender de un recurso limitado, y se utilizan como parámetros en modelos de crecimiento en diámetro, mortalidad, reclutamiento, entre otros (Pedersen *et al.*, 2013). Existen principalmente dos clasificaciones de índices de competencia: dependientes (Hegyí, 1974; Daniels *et al.*, 1986) e independientes de la distancia (Reineke, 1933; Lorimer, 1983). Ambos tipos de índices poseen características que les brindan relativas ventajas y desventajas, por lo que algunos estudios prefieren integrar ambos tipos, y comparar la bondad de ajuste y modelación de cada uno de ellos (Contreras *et al.*, 2011; Álvarez-Taboada *et al.*, 2003; Crecente-Campo *et al.*, 2007). En el Cuadro 1 se enlistan algunos ejemplos de índices de competencia de acuerdo a la clasificación referida. Conviene resaltar, que algunos autores utilizan los índices propuestos previamente en otras investigaciones, mientras que otros optan por crear nuevos índices o modificar los existentes para obtener mejores resultados en la modelación de sus variables (Kings *et al.*, 2005; Looney *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Ejemplos de índices de competencia utilizados en ciencias forestales

<b>Dependientes de la distancia</b>	<b>Independientes de la distancia</b>
Hegyí (1974)	Nº de pies / ha
Lorimer (1983)	Área basal / ha
Biging and Dobbertin (1992)	Reineke
Bella (1971)	Índice de Hart
Daniels <i>et al.</i> (1986)	Krajicek <i>et al.</i> (1961)
Martin & Ek (1984)	Tasa diámetro / diámetro medio cuadrático
Staebler (1951)	Factor de competencia de copas

Fuentes: Elaboración propia con base en Crecente-Campo *et al.*, 2007; Álvarez-Taboada *et al.*, 2003; Looney *et al.*, 2016; Fraver *et al.*, 2014; von Oheimb *et al.*, 2011

#### 4.1.2 Criterio de selección de competidores

El uso de los índices de competencia dependientes de la distancia hace necesario establecer criterios de selección de competidores; algunos autores en sus investigaciones los definen con antelación (Metz *et al.*, 2013), mientras que otros los evalúan en forma conjunta a los índices de competencia, buscando la combinación que brinde los mejores resultados en la modelación de dicha competencia (Álvarez-Taboada *et al.*, 2003; Crecente-Campo *et al.*, 2007). Es difícil sostener que un índice es mejor que otro, más bien se debe valorar la utilidad de cada uno de ellos bajo condiciones particulares y en diferentes sitios de estudio (Contreras *et al.*, 2011).

Algunos de los criterios de selección de competidores que se han utilizado en diversos trabajos se resumen en el Cuadro 2. Así, se ha analizado el utilizar uno o varios criterios de selección de competidores y sus variaciones, por ejemplo el uso de diferentes radios de zona de influencia de entre 5 y 10 m con intervalos de 0.5 m, en combinación con varios índices de competencia (Fraver *et al.*, 2014), o la variación en el valor de ángulos horizontales (*i.e.* factor de área basal) y verticales en busca del mejor criterio de selección de árboles competidores (Sharma *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Resumen de criterios de selección de competidores más utilizados, para la evaluación de competencia en especies arbóreas

Criterio	Descripción
Parcela móvil de Bitterlich	Con base en el árbol objetivo, se seleccionan todos aquellos individuos que se incluyan en un sitio móvil de Bitterlich con “x” factor de área basal
Árboles cercanos	Previa decisión, se consideran competidores a los “n” árboles más cercanos al individuos objetivo

Ángulo de visualización	Se consideran competidores a aquellos individuos cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base del individuo objetivo hacia el posible competidor con un ángulo “ $\alpha$ ”
Zona de influencia	Se considera una zona de influencia circular teniendo como centro el árbol objetivo con una radio “ $f(x)$ ” y se considera competidor a todo individuo que sobreponga su zona de influencia con la del árbol objetivo

---

Fuentes: Elaboración propia con base en Álvarez-Taboada *et al.*, 2003; Crecente-Campo *et al.*, 2007.

A la par del desarrollo tecnológico, se están generando nuevas herramientas que se pueden utilizar como apoyo en la decisión de criterios de competencia; algunos estudios han utilizado “Escaneo Laser Terrestre”, para poder obtener imágenes digitalizadas de los árboles y su copa, lo cual ayuda a postular criterios de competencia de manera más precisa (Metz *et al.*, 2013; Olivier *et al.*, 2016).

#### **4.1.3 Evaluación de la competencia y crecimiento en rodales forestales**

La reducción de la densidad de las masas forestales por medio de los aclareos es de las herramientas más antiguas que los silvicultores poseen, y es aún de las más importantes (Puettmann *et al.*, 2010); su aplicación se realiza con la expectativa de mejorar el crecimiento de la masa residual como efecto de la reducción de la competencia y aumento en la disponibilidad de recursos (Bose *et al.*, 2018).

Algunas investigaciones han focalizado sus esfuerzos en analizar la competencia y su relación con variables dasométricas de interés de manera directa (Huang *et al.*, 2013; Oheimb *et al.*, 2011; Fernández-Tschieder y Binkley, 2018); otros estudios se enfocan

en la reducción de la competencia (aclareos) y sus efectos en otras variables de interés tales como la estructura de la masa residual (Kuehne *et al.*, 2018), acumulación de biomasa y carbono (Lin *et al.*, 2018) o el impacto sobre las cualidades productivas de los suelos por efecto de los aclareos (Sherman *et al.*, 2018); sin embargo, la mayoría de los estudios se han interesado en evaluar el crecimiento de los individuos o de la masa forestal en función de la competencia y otras variables.

Los estudios de evaluación del crecimiento de árboles han sido enfocados principalmente a rodales coetáneos; como ejemplo se tiene un estudio realizado en plantaciones de *Pinus rudis* para evaluar el crecimiento de la masa forestal, donde se reportaron resultados positivos en el crecimiento en diámetro en relación con aclareos intensivos con remoción del 60 % de la densidad inicial (Sánchez-Hernández, 2016). En plantaciones de *Pinus koraiensis* donde se aplicaron aclareos, se han reportado incrementos en el ancho de anillo de entre 130 y 140 % en comparación con rodales testigo, y donde el mayor beneficio del crecimiento se obtuvo entre los años 3 y 5 posteriores a la aplicación del tratamiento (Kang *et al.*, 2014). En plantaciones de especies de eucalipto, la respuesta al aclareo se ha evaluado ampliamente en combinación con otras prácticas, como podas y fertilización (Forrester, 2013).

Los estudios de crecimiento realizados en bosques mixtos o incoetáneos son escasos en comparación con los coetáneos, posiblemente por la complejidad de las interacciones en un bosque mixto (Peng, 2000). En años recientes, se ha generado un interés por el estudio de bosque mixtos coetáneos e incoetáneos (Kuehne *et al.*, 2018; Cabon *et al.*, 2018, Contreras *et al.*, 2011) e incluso existen investigaciones donde se comparan ambos rodales coetáneos e incoetáneos (Bose *et al.*, 2018). En Finlandia, país que se caracteriza por aplicar métodos intensivos, el manejo irregular de bosques es un tema social que ha ganado terreno en décadas recientes, aunque fue hasta el año 2009 cuando presentaron un sistema de ecuaciones para manejo de rodales incoetáneos abarcando las tres especies predominantes de dicho país (Pukkala *et al.*, 2009).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio de Santa María Lachixío, en el estado de Oaxaca, México, entre las coordenadas extremas  $16^{\circ} 45' 52.8''$  y  $97^{\circ} 0' 50.5''$  al norte,  $16^{\circ} 43' 51.6''$  y  $96^{\circ} 58' 45.2''$  al este,  $16^{\circ} 43' 59.8''$  -  $97^{\circ} 5' 7.5''$  al oeste, y  $16^{\circ} 43' 6.6''$  -  $97^{\circ} 4' 17.5''$  al sur (Figura 1).

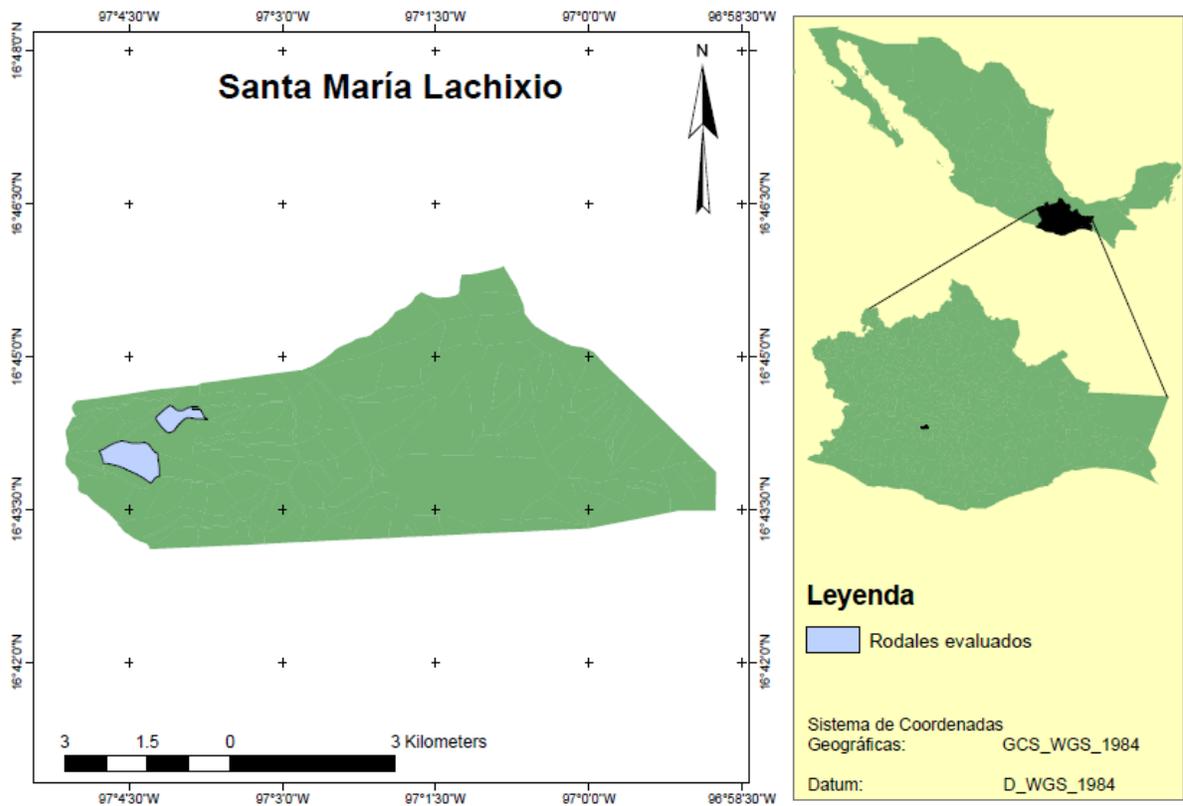


Figura 1. Localización de los rodales donde se realizó el estudio en Santa María Lachixío, Oaxaca

Los climas en el municipio corresponden al tipo C(w1) y C(w2) que se describen como Templado-Subhúmedo con lluvias en verano, y cuya variación corresponde a la

intensidad de lluvias que se presentan. Se encuentran dos tipos de suelo, Regosol eutrítico y Litosol. Ambos suelos son poco profundos pero el primero de mayor fertilidad. Los tipos de vegetación dominante en el municipio corresponden a bosque de pino, bosque de pino-encino, y zonas con vegetación secundaria, con la presencia de terrenos dedicados al cultivo de temporal.

Se realizó una revisión documental del Programa de Manejo Forestal (PMF) de la comunidad de Santa María Lachixío aprobado en el año 2000, así como de los informes de operaciones anuales. Con base en lo planeado en el PMF y lo reportado en los informes anuales, se pre-seleccionaron rodales con base en sus características de especie dominante, existencias reales totales, año(s) de aprovechamiento, e intensidad de corta, principalmente. Una característica decisiva para la elección final de rodales fue que éstos debieron haber sido intervenidos al menos 11 años antes del año de inicio del proyecto, para así asegurar un periodo de evaluación post-cosecha de al menos 10 años. De los rodales pre-seleccionados, se decidió realizar los muestreos en dos de ellos, identificados en el programa de manejo como II-03, con superficie de 43.07 ha, y III-07 cuya superficie es de 20.3 ha, ambos dominados por especies de pino. El aprovechamiento comercial de dichos rodales se realizó en el año 2003, con intensidades de corta de 27.8 y 33.1 %, respectivamente.

## **5.2 Ubicación y establecimiento de los sitios de muestreo**

En los rodales seleccionados arriba descritos, se establecieron 30 sitios de muestreo de manera aleatoria, para lo cual se obtuvieron en principio 30 coordenadas dentro los rodales, discriminando una franja interna de 20 m en la periferia de ambos para evitar errores en los límites. Se ubicaron una por una las coordenadas en campo, a partir de las cuales se ubicó el tocón más cercano que presentara de manera visible la marca de autorización para aprovechamiento forestal maderable (Figura 2), y se buscó además que existieran individuos vivos en un radio de 10 metros.



Figura 2. Tocones con marcas de aprovechamiento forestal maderable autorizado

Cada uno de los tocones identificados se utilizó como centro del sitio de muestreo. Así, a partir de cada tocón se delimitó un sitio circular con un radio de 10 m, esto es, una superficie de 314.1 m<sup>2</sup>; dicho radio se estableció con la finalidad de abarcar tanto árboles residuales con influencia de competencia que oscilara entre 0 y 8.5 m, como aquellos sin influencia de competencia (Cattaneo, 2015; Fraver *et al.*, 2014). Dentro del radio de 10 m todos los individuos vivos con un diámetro igual o mayor a 15 cm fueron considerados como árbol objetivo (*i.e.* árbol de interés del cual se obtendrían las mediciones y muestras) y se obtuvieron sus datos de diámetro normal (cm), altura total (m), especie, distancia al tocón (centro de sitio, m), distancia a árboles competidores (m), y dos muestras dendrocronológicas tomadas a 1.3 m del suelo con Taladro de Pressler de 6 mm. Además, en cada sitio se registraron las siguientes variables: coordenadas geográficas del tocón, diámetro del tocón (cm), elevación (msnm), pendiente promedio (grados), y exposición (azimut, posteriormente categorizado).

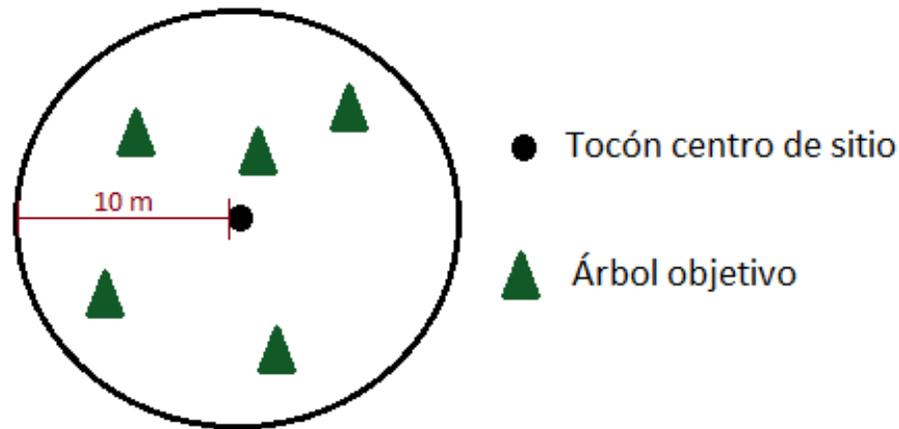


Figura 3. Esquema de un sitio de muestreo para levantamiento de datos

Los árboles competidores fueron seleccionados para cada árbol objetivo mediante el método de parcela móvil de Bitterlich (Cuadro 2) con un factor de área basal de  $4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  (Crecente-Campo *et al.*, 2007). Las muestras dendrocronológicas se etiquetaron y se empacaron de manera individual, asignándoles una clave para su identificación, para después analizarlas con el programa Windendro® en el Colegio de Postgraduados.

### Procesamiento inicial de la información

Después de la etapa de campo, en gabinete se utilizó el software Microsoft Excel® para la captura y ordenamiento de los datos de cada árbol y sitio evaluado. Después, se calcularon tres índices de competencia dependientes de la distancia para todos y cada uno de los árboles evaluados (Cuadro 3), los cuales se usaron posteriormente como una de las variables explicativas del crecimiento de los individuos.

Cuadro 3. Índices de competencia utilizados como variables del crecimiento

Índice de competencia	Formula
Hegyí (1974)	$\sum_{i \neq j} \frac{d_j}{d_i \cdot Dist_{ij}}$
Daniels <i>et al.</i> (1986)	$\frac{d_i^2 \cdot n}{\sum_{i \neq j} d_j^2}$
Martin & Ek (1984)	$\sum_{i \neq j} \frac{d_j}{d_i} \cdot \exp\left(\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{d_i + d_j}\right)$

$d_i$ : Diámetro normal del árbol objetivo (cm);  $d_j$ : Diámetro normal del árbol competidor (cm)  $Dist_{ij}$ : Distancia en proyección horizontal entre el árbol objetivo y el árbol competidor (m)  $n$ : número de árboles competidores

### 5.3 Procesamiento y análisis de muestras dendrocronológicas

Las muestras de núcleos de madera obtenidas de cada uno de los árboles objetivo se procesaron en gabinete para realizar su fechado, lo cual consiste en relacionar cada uno de los anillos de crecimiento con el año en que se formó. Se siguió el procedimiento estándar de “montado” de cada una de las muestras, que consiste en utilizar una base de madera a la cual se fija la muestra con pegamento blanco y cinta adhesiva para evitar su deformación mientras pierde humedad, los datos de identificación y procedencia se anotaron sobre la base de madera (Figura 4).



Figura 4. Montado y etiquetado de las muestras de núcleos de madera utilizadas en la evaluación del crecimiento radial de los árboles

Una vez que el pegamento secó y la muestra quedó fija a la base de madera, se procedió con el lijado, el cual se realizó con papel lija para madera; en principio, se inició con papel lija del número 80 hasta lograr una superficie plana en la parte superior de la muestra, posteriormente se utilizaron las lijas de número 120, 180, 240, y 320, de manera sucesiva. El número de lija que se emplea aumenta cada vez que se logra una superficie homogénea en la muestra, hasta que en la superficie lijada se vuelven perfectamente visibles los anillos de crecimiento (Figura 5).



Figura 5. Proceso de lijado de las muestras de madera

El análisis de las muestras se realizó con el programa WinDendro<sup>®</sup> con apoyo del programa COFECHA, para mejorar la calidad del fechado, y con el software Microsoft Excel para Windows<sup>®</sup> para el análisis gráfico de los anillos de crecimiento. Dado que se obtuvieron dos muestras de cada árbol objetivo, el fechado se realizó en ambas muestras de manera simultánea, para luego obtener el coeficiente de correlación del par de muestras buscando siempre el valor más alto, con ayuda del software Excel. Una vez que todas las muestras de un sitio se procesaron, se utilizó el programa COFECHA para identificar posibles errores en el fechado de los pares de muestras y corregir posibles errores.

Debido a que los árboles de los que se obtuvieron las muestras dendrocronológicas poseían características heterogéneas, tales como edad, diámetro, especie, y altura,

fue necesario estandarizar algunas de las variables para poder realizar una comparación apropiada y válida de los resultados. Como ejemplo, la tendencia decreciente del valor de ancho de anillo respecto al tiempo se estandariza al utilizar el incremento en área basal (IAB), variable que se comporta de manera más estable respecto al tiempo (edad).

Los datos de ancho total de anillo para cada muestra (*i.e.* series) se obtuvieron con el programa WinDendro<sup>®</sup>, información que se utilizó para calcular el Incremento en Área Basal (IAB), asumiendo anillos concéntricos. El IAB es una variable menos influenciada por la edad que el ancho de anillo (Martín-Benito *et al.*, 2010).

$$IAB = \pi (R_n^2 - R_{n-1}^2) \quad (1)$$

**Donde:**

**IAB** = Incremento en Área Basal

**R** = Radio del árbol

**n** = Año de formación del anillo

El IAB se calculó para cada anillo de cada muestra. Después, los datos del par de muestras de cada árbol objetivo se promediaron para obtener una serie de IAB para cada árbol objetivo muestreado. Se analizaron las tendencias de crecimiento mediante el IAB en los periodos 1993-2002 y 2004-2013; el primer periodo funge como testigo del crecimiento previo a la intervención, y el segundo periodo se establece como la respuesta en crecimiento que reflejará los efectos de la intervención. El periodo posterior a la intervención de aprovechamiento se dividió en dos quinquenios, de tal forma que se pudiera analizar el crecimiento más a detalle de los primeros años y los posibles efectos a corto plazo (menos a 10 años) en el crecimiento de algunos individuos (Kang *et al.* 2014; Jones *et al.*, 2009).

El IAB de cada anillo de crecimiento para un mismo año es relativo al diámetro de los individuos y para poder compararlos se calculó el “Porcentaje de Incremento en Área Basal” (PIAB), variable similar en otros estudios (Powers, 2009; Jones y Thomas, 2004), y que es independiente del diámetro al ser una tasa de crecimiento. Se calculó con la fórmula siguiente (2):

$$PIAB = [(C_2 - C_1)/C_1] \times 100 \quad (2)$$

**Donde:**

**PIAB** = Porcentaje de Incremento en Área Basal

**C<sub>1</sub>** = Periodo de crecimiento 1, correspondiente a los 10 años previos a la intervención silvícola (1993-2002)

**C<sub>2</sub>** = Periodo de crecimiento 2, correspondiente a los 10 años posteriores a la intervención silvícola (2004-2013)

El PIAB representa el porcentaje de incremento en área basal del arbolado residual de los diez años posteriores al año de aprovechamiento forestal maderable (realizado en 2003), con respecto al crecimiento en los diez años anteriores a la intervención silvícola. Algunos otros trabajos han utilizado la “Proporción de aumento en el Incremento en Área Basal”, la cual compara el crecimiento del rodal aclareado (comparable a C2) con un valor promedio de incremento esperado que funge como testigo (comparable a C1) (Jones y Thomas, 2004).

## 5.4 Análisis

Los datos de Porcentaje de Incremento en Área Basal (PIAB), la variable dependiente, se analizaron con la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, y debido a que no se cumplió el criterio de normalidad fue necesario realizar su transformación a “logaritmo natural”, con lo que se corrigió el problema. Se sumó un valor de 100 a todos

los datos de PIAB previo a la transformación a su valor de logaritmo natural, esto debido a que la variable original posee valores negativos que harían imposible su transformación.

Los datos (PIAB) de dos árboles mostraron un comportamiento atípico (*outliers*), su eliminación causaría alteración en los resultados y su permanencia provocaba que el supuesto de normalidad no se cumpliera. Diversos efectos son causados por la permanencia o eliminación de datos atípicos, y existen varios factores a considerar, tales como el tipo de desviación, el punto de la desviación, la magnitud del dato, y el tipo de proceso que se realice, principalmente (Trivez, 1994). Ante las contrastantes opciones, los dos datos atípicos detectados se redujeron a la mitad de su valor, con lo que se logró que el supuesto de normalidad se cumpliera y además se mantuviera el valor relativo y su influencia o efecto en la muestra.

#### **5.4.1 Análisis de regresión**

Con base en el número de variables biofísicas recolectadas en campo (*i.e.* independientes) se decidió utilizar el método de selección “Stepwise” (Hocking, 1976), para identificar las variables numéricas de mayor importancia en la explicación de la variabilidad del crecimiento del arbolado. El software SAS utiliza de manera predeterminada un valor  $\alpha=0.15$  para la discriminación de variables significativas; las variables que fueron ingresadas a verificación de significancia fueron diámetro normal, altura, distancia al tocón, edad, tres índices de competencia (Cuadro 3), diámetro de tocón, y elevación; las dos últimas son variables numéricas aunque se calcularon a nivel de sitio, por lo que el dato se repite para todos los árboles de un mismo sitio.

Las variables seleccionadas con el método Stepwise se utilizaron para modelar el logaritmo natural del Porcentaje de Incremento en Área Basal (Ln\_PiAB) mediante regresión lineal múltiple; la variable respuesta se analizó transformada en logaritmo

natural debido a que es en esta forma en que cumple con la propiedad de normalidad, y no así en su forma normal de PIAB; se utilizó un modelo con la estructura siguiente (3):

$$Ln\_PIAB = \beta + \alpha_n X_n + \varepsilon \quad (3)$$

Donde:

- B = Parámetro de intersección
- $\alpha$  = Parámetro de la variable "X"
- X = Variable del modelo
- n = Número de variable
- $\varepsilon$  = Error del modelo

Se realizó además un análisis de varianza de las variables categóricas, para la detección de diferencias significativas entre los grupos; las variables analizadas fueron especie, exposición, y pendiente promedio. El procesamiento y análisis de datos se realizó con el Programa SAS® University Edition" Copyright © 2012-2018, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Características dasométricas y de crecimiento de los árboles individuales

En los 30 sitios de estudio total se analizó un total de 204 individuos, con dos muestras de anillos en cada uno, y referidos aquí como árbol objetivo. Sin embargo, las muestras de siete árboles no se pudieron fechar adecuadamente, tres árboles eran muy jóvenes (menor a 24 años) y se descartaron por no abarcar la década antes del tratamiento 1993-2002. Así, se contó con una muestra final de 194 árboles objetivo, cuyas características se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Resumen del tamaño de muestra por especie y sus características dasométricas

Nº	Especie	Nº de árboles	DN		Altura (m)	
			Media	D.E.	Media	D.E.
1	<i>Pinus douglasiana</i>	49	37.6	13.96	27.9	6.99
2	<i>Pinus herrerae</i>	52	35.7	16.97	26.3	8.64
3	<i>Pinus lawsonii</i>	37	31.1	10.63	23.7	6.52
4	<i>Pinus leiophylla</i>	2	40.5	4.55	35.5	3.43
5	<i>Pinus oocarpa</i>	1	50	---	29.58	---
6	<i>Pinus pringlei</i>	20	35.3	18.88	26	8.89
7	<i>Pinus pseudostrobus</i>	33	36.2	13.80	27.1	8.66
<b>Total</b>		<b>194</b>	<b>35.5</b>		<b>26.4</b>	

DN= Diámetro normal (cm); D.E.= Desviación estándar

## 6.2 Patrones de incremento en área basal

Los resultados del análisis de las muestras dendrocronológicas con Windendro, permitieron visualizar patrones y/o tendencias de crecimiento de los individuos incluidos en la muestra (Cuadro 4). Sin embargo, dado que no se obtuvieron diferencias por especie (Figura 23), los análisis gráficos y estadísticos posteriores, se realizaron por medio de la identificación de patrones de crecimiento definidos a partir de la muestra global (completa) de dichos individuos, de la forma en que se detalla en los siguientes párrafos.

Al contrastar los periodos de crecimiento de los 10 años previos y posteriores a los aprovechamientos, se obtuvieron tres tipos de respuesta en el crecimiento de los árboles, aumento del IAB (grupo 1), sin cambio (grupo 2) y disminución (grupo 3) (Figura 6, Figura 7 y Figura 8).

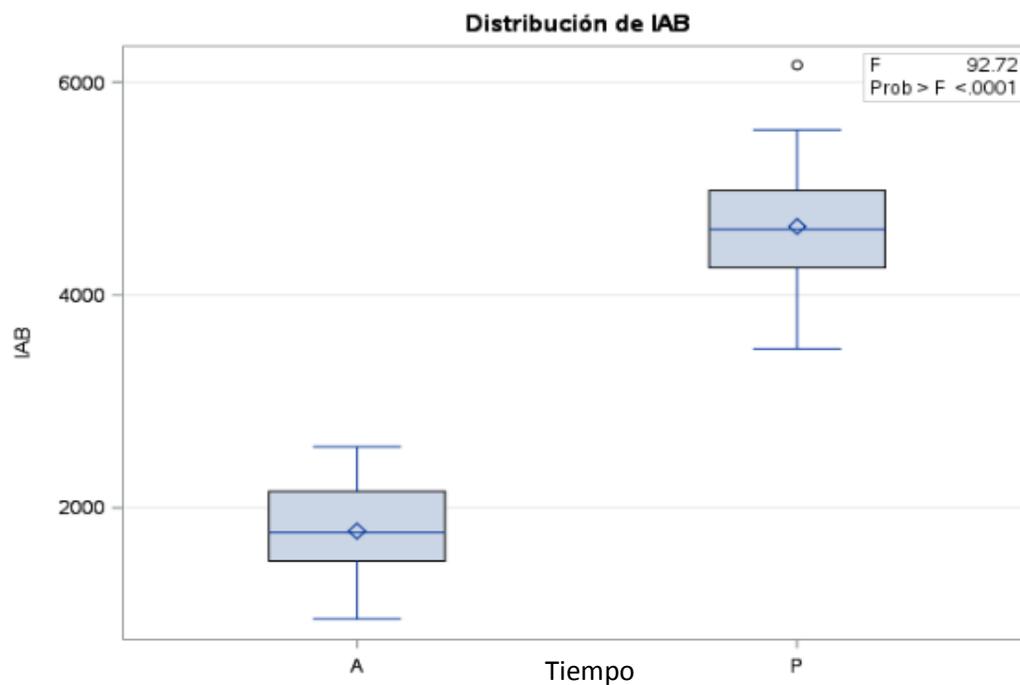


Figura 6. Aumento del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)

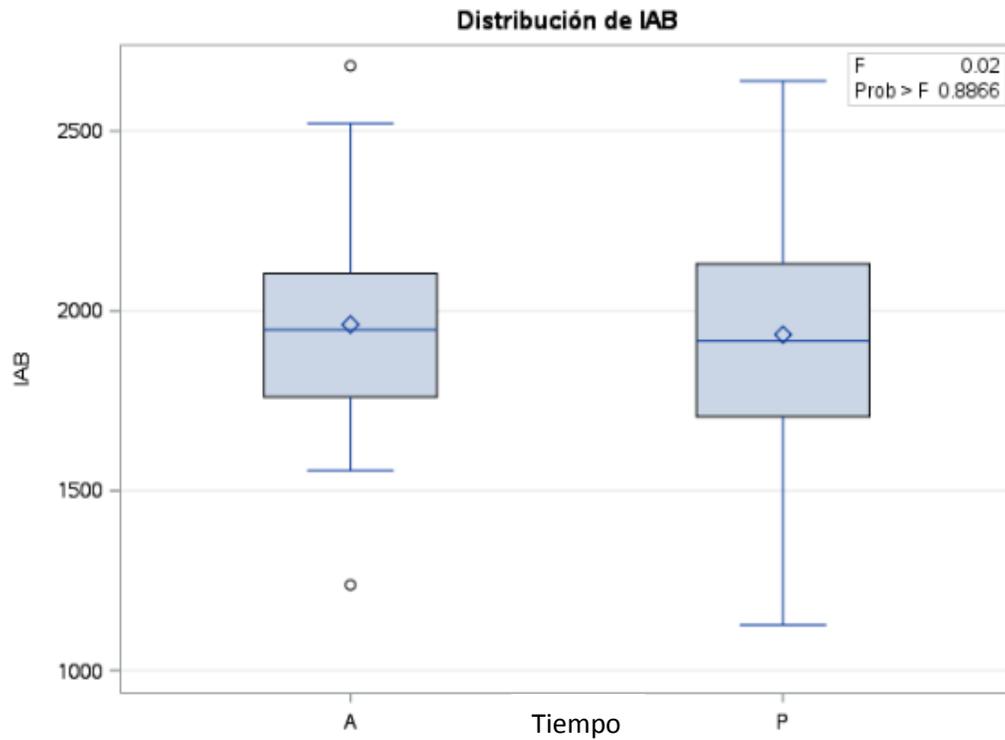


Figura 7. Crecimiento neutral del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)

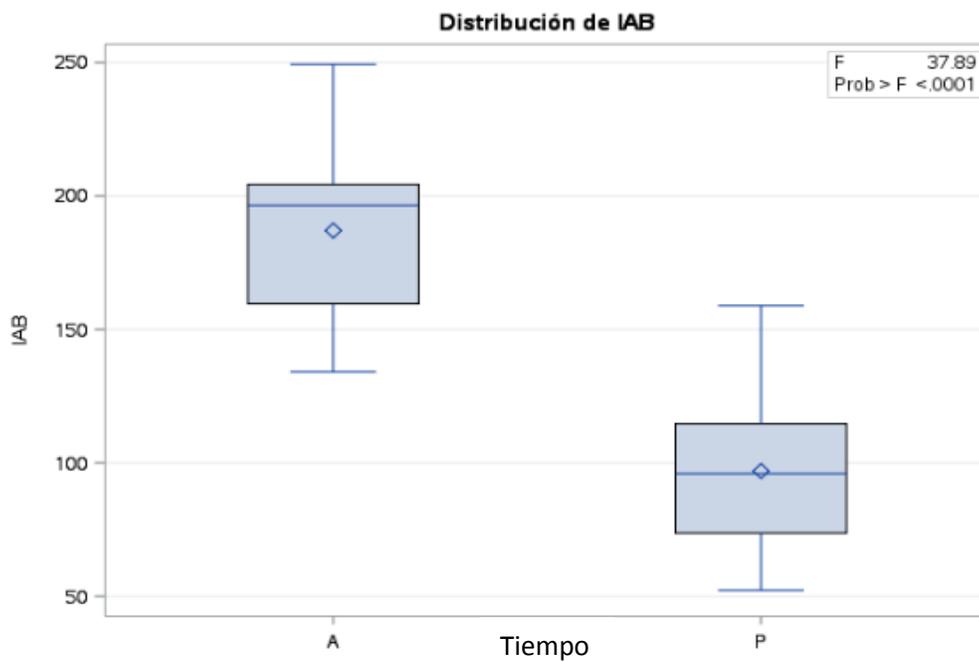


Figura 8. Disminución del IAB en el periodo post-cosecha (P) respecto al periodo pre-cosecha (A)

El grupo G1 (Figura 6), se caracteriza porque el crecimiento del periodo post-cosecha es significativamente mayor al periodo previo a la intervención; el grupo G2 (Figura 7) se caracteriza por un crecimiento sin diferencia significativa en el periodo post-cosecha respecto al periodo previo a la cosecha; por último, el grupo G3 (Figura 8), se caracteriza por que el IAB del periodo post-cosecha es significativamente menor al periodo previo a la cosecha. Los resultados de la agrupación de las tendencias de crecimiento G1, G2, y G3 se describen en el Cuadro 5. Cabe señalar, que los valores de la variable PIAB (ecuación 2) corresponden al promedio de los individuos pertenecientes a cada grupo.

Cuadro 5. Grupos de acuerdo a su respuesta en el crecimiento y su representatividad en la muestra

<b>Grupo</b>	<b>Individuos</b>		<b>PIAB</b>
	Cantidad	%	
<b>G1</b>	83	43	133
<b>G2</b>	74	38	4
<b>G3</b>	37	19	-43
<b>Total</b>	194	100	----

PIAB= Porcentaje de Incremento en Área Basal

El IAB se promedió de acuerdo a la respuesta en el crecimiento de cada individuo (G1, G2, G3), para cada año desde 1993 a 2013, que es el periodo evaluado y que se usó para obtener las series que se presentan en la Figura 9.

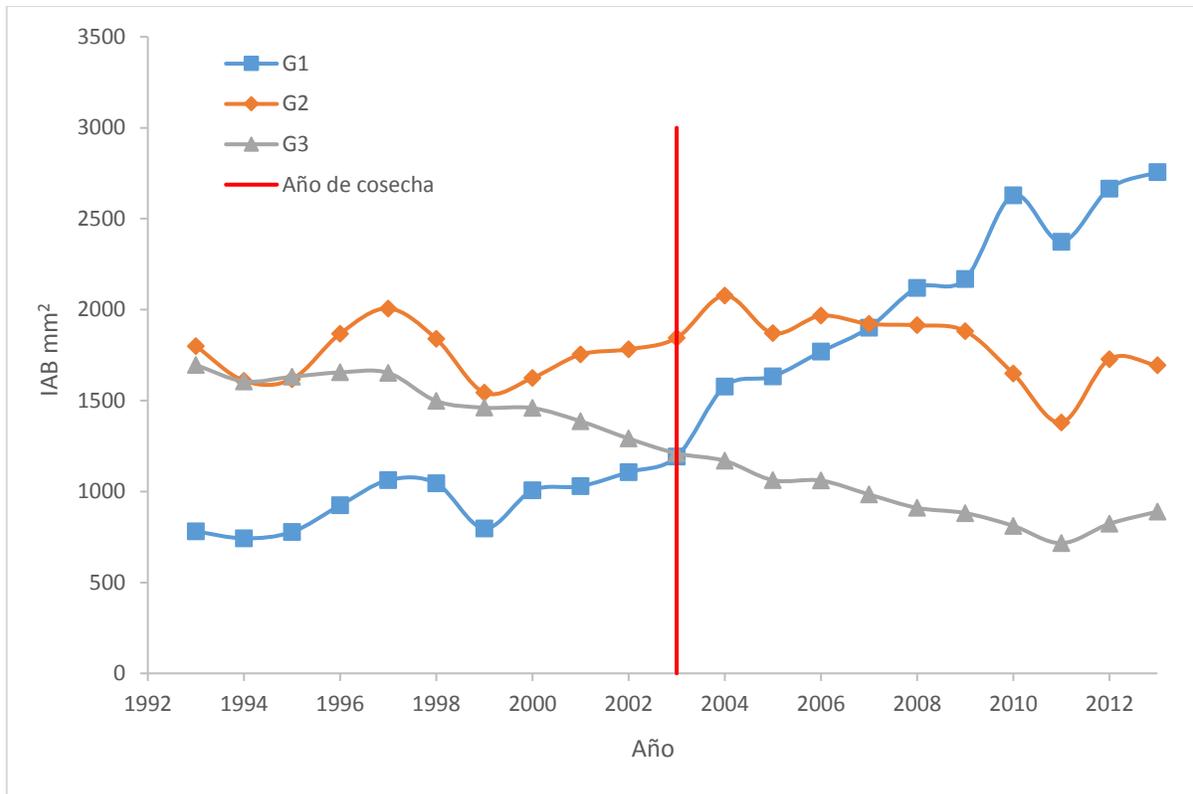


Figura 9. Tendencias en el incremento en área basal (IAB) de los árboles objetivo, de acuerdo con su agrupamiento basado en la respuesta en el crecimiento después de la corta

### 6.2.1 Análisis del crecimiento radial dentro de cada grupo

A partir del análisis de grupos, éstos se dividieron en función de los resultados de las pruebas de comparación de medias por quinquenios, de los cuales se obtuvieron 14 subgrupos que se presentan en el Cuadro 6. Se observa que la respuesta a las cortas varía dentro de cada grupo, por lo que es posible observar a mayor detalle el crecimiento de algunos individuos.

Los subgrupos con valor “1” mostraron aumento en el crecimiento (IAB), estadísticamente significativo en el primer quinquenio; este comportamiento se observa en cinco subgrupos, tres del grupo G1 y dos en el G2, que representan el 47% del total de la muestra; seis subgrupos muestran “0” en el primer quinquenio post-cosecha y representan 41 % del total de la muestra; por último, solo tres subgrupos

mostraron disminución en el crecimiento del primer quinquenio (valor de “-1”) y representa el 27% del total de la muestra (Cuadro 6). Los porcentajes agrupados varían respecto a los reportados en el Cuadro 5, debido a que los subgrupos muestran tendencias de crecimiento en un periodo menor a 10 años, con lo que es posible observar aumentos y descensos dentro de ese periodo, y no así en los grupos, donde dichas variaciones (aumentos y descensos en el crecimiento) se promedian y se cancelan. Los valores reportados de PIAB en el Cuadro 6 son el promedio del valor de los individuos adjudicados a cada subgrupo, y para obtenerlo se utilizó el valor obtenido de la ecuación 2 donde se comparó un periodo de crecimiento de 10 años antes y después del año de corta.

Cuadro 6. Grupos y subgrupos de árboles de acuerdo con sus patrones de crecimiento en respuesta a la corta

Grupo	Subgrupo	Quinquenio 1*	Quinquenio 2*	Número de Individuos	%**	PIAB
G1	G1.1	1	1	9	5	248
<b>G1</b>	<b>G1.2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>26</b>	<b>145</b>
G1	G1.3	1	-1	18	9	73
G1	G1.4	0	0	6	3	47
G2	G2.1	1	0	3	2	27
G2	G2.2	1	-1	9	5	12
G2	G2.3	0	1	4	2	22
<b>G2</b>	<b>G2.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>23</b>	<b>3</b>
G2	G2.5	0	-1	11	6	-7
G2	G2.6	-1	1	2	1	-13
G3	G3.1	0	0	5	3	-36
G3	G3.2	0	-1	7	4	-36
<b>G3</b>	<b>G3.3</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>-46</b>
G3	G3.4	-1	-1	7	4	-46

\*Los números representan la diferencia con respecto al grupo anterior, 1=crecimiento significativo positivo, 0=crecimiento no significativo, y -1= crecimiento significativo negativo; PIAB= Porcentaje de Incremento en Área Basal (ec.2) \*\*Porcentaje del total de la muestra

El crecimiento de los cuatro subgrupos dentro de G1 se presenta en la Figura 10; se observa que el subgrupo G1.2, incrementó sólo en el primer quinquenio, posee el mayor número de individuos del total de muestras con 26% (Cuadro 6) y también dentro del grupo G1; el mismo subgrupo presenta una respuesta positiva en el crecimiento durante el primer quinquenio y no significativo en el segundo quinquenio; el subgrupo G1.1, es el que presenta un aumento en su crecimiento en ambos quinquenios, aunque su crecimiento inicial posterior a la cosecha es el más bajo de todos los subgrupos; en el subgrupo G1.3 se observa que existe una respuesta en el crecimiento que dura aproximadamente cuatro años, y que en el quinto año se presenta una reducción; el subgrupo G1.4 posee una respuesta irregular del crecimiento aunque ésta es constante en ambos quinquenios.

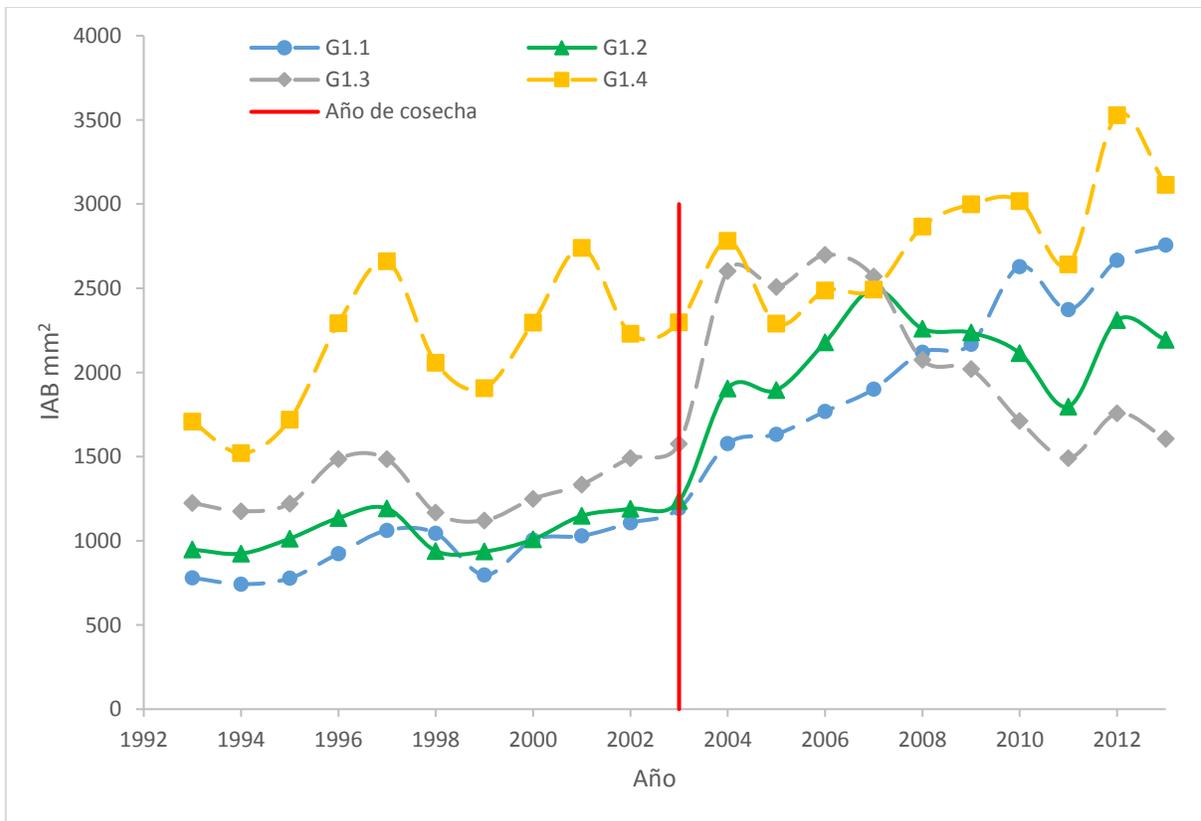


Figura 10. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G1

Los subgrupos del grupo G2 se presentan en la Figura 11, y pertenecen a aquellos individuos que no mostraron diferencias estadísticas significativas en sus patrones de respuesta en el crecimiento (IAB), al contrastar las décadas anterior y posterior al año de intervención por aprovechamiento. El grupo G2.4 representa el 23 % del total de muestras, y es el de mayor representación en el grupo G2 (Cuadro 6). Se observa que los subgrupos G2.1 y G2.2 presentaron un incremento en AB en el primer quinquenio, y un descenso en el segundo; el aumento en el crecimiento se presenta durante 4-5 años posteriores a la cosecha, aunque después se nota un descenso. Es evidente que el crecimiento ganado en un quinquenio se neutralizó con el crecimiento de otro quinquenio y por lo tanto el cambio neto del grupo es cero. El subgrupo G2.6, aunque solo es representado por dos individuos, presentó un descenso significativo del crecimiento en el primer quinquenio post-cosecha, del cual se recupera hasta el sexto año. El resto de subgrupos de crecimiento presentaron una tendencia relativamente estable en el crecimiento antes y después de la intervención.

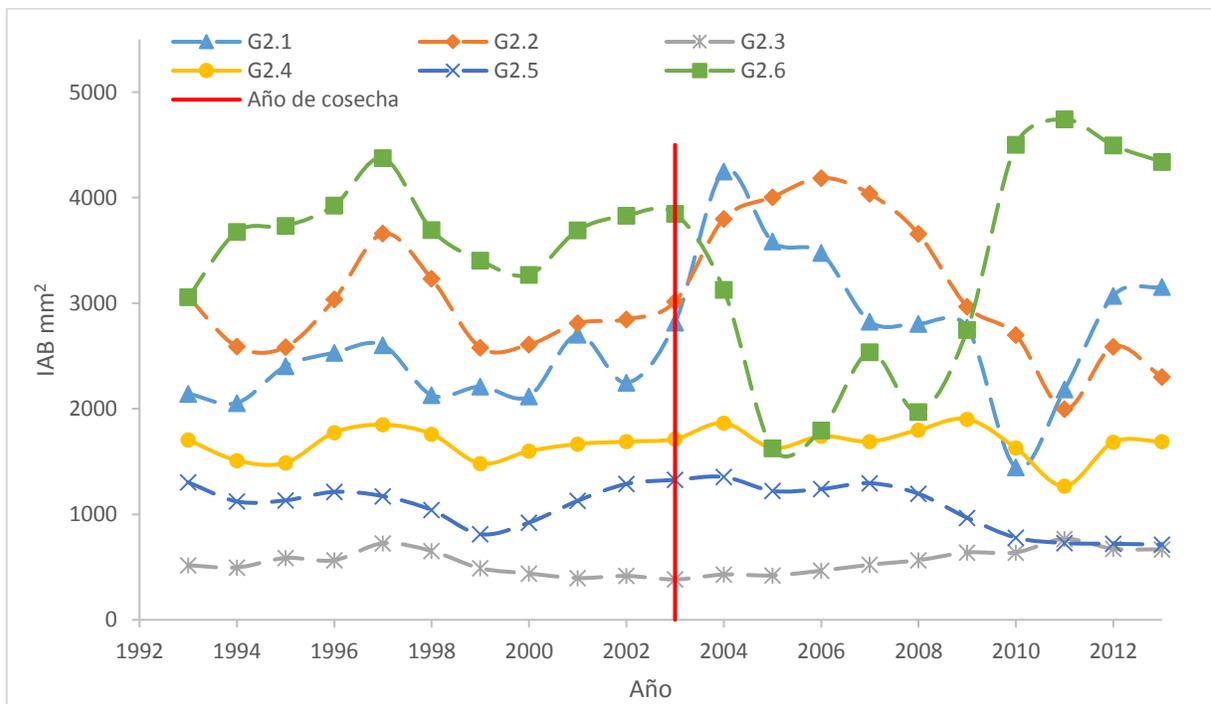


Figura 11. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G2

Los subgrupos identificados en el grupo G3 se presentan en la Figura 12; se observa que la tendencia general de este conjunto es de una respuesta negativa en el crecimiento (IAB), tanto antes como después de la corta. Sin embargo, el subgrupo G3.2 presentó una respuesta positiva en el crecimiento en los tres primeros años posteriores a la intervención, aunque dicho crecimiento no resultó significativo estadísticamente. Por otro lado, el subgrupo G3.4 se diferenció del resto por los altos valores de IAB en el periodo pre-cosecha, los cuales se pierden en los años posteriores a la cosecha hasta alcanzar valores semejantes al resto de los subgrupos. En general, los arboles del G3, mostraban ya una tendencia de reducción en el crecimiento previa al aclareo, la cual continuó posterior a la cosecha en todos los subgrupos.

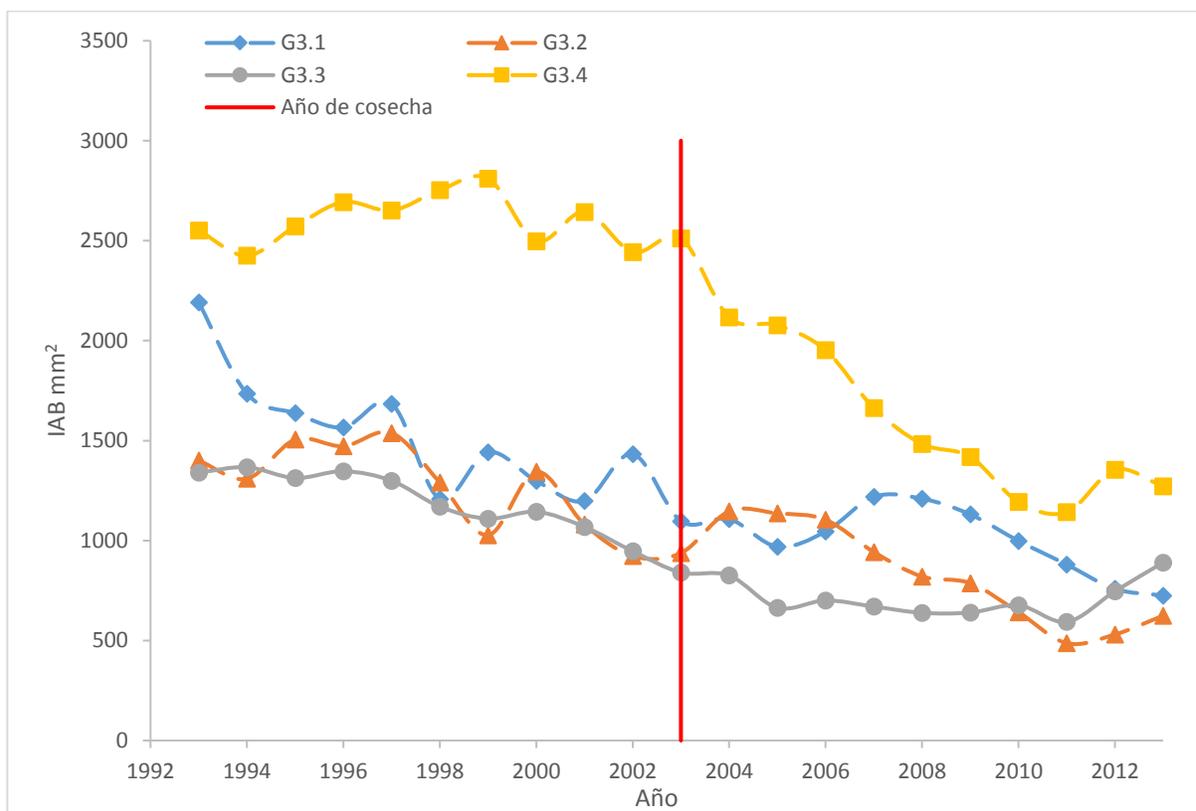


Figura 12. Patrones de respuesta en el crecimiento (IAB) en los subgrupos incluidos en el grupo G3

## 6.2.2 Variables seleccionadas para la evaluación de efectos de competencia

El análisis de los factores que influenciaron los patrones de respuesta en el crecimiento identificados previamente, se realizó sobre la base de los grupos identificados con base en dichos patrones, y para el total de muestras. De las nueve variables ingresadas al proceso “Stepwise” solo cinco resultaron significativas para el modelo total; las variables que resultaron significativas para cada uno de los grupos fueron diferentes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Significancia estadística durante la selección de variables por grupos de crecimiento. Se presenta la probabilidad de selección de variables obtenida por medio del procedimiento Stepwise en el programa SAS

<b>Variable</b>	<b>G1*</b>	<b>G2*</b>	<b>G3*</b>	<b>Total</b>
<b>Diámetro</b>	0.0036			0.0111
<b>Altura</b>				
<b>Elevación</b>				0.0889
<b>Edad</b>		0.0150		
<b>Diámetro del tocón</b>	0.0830			0.0002
<b>Distancia al tocón</b>	0.1375			0.0273
<b>IC Hegyi</b>	0.0506			0.0185
<b>IC Daniels</b>	0.0785			
<b>IC Martin &amp; Ek</b>		0.0714	0.0044	

\*Grupos con tendencias de respuesta en el crecimiento post-cosecha significativamente mayor (G1), no significativo (G2), y significativamente menor (G3);  $\alpha=0.15$

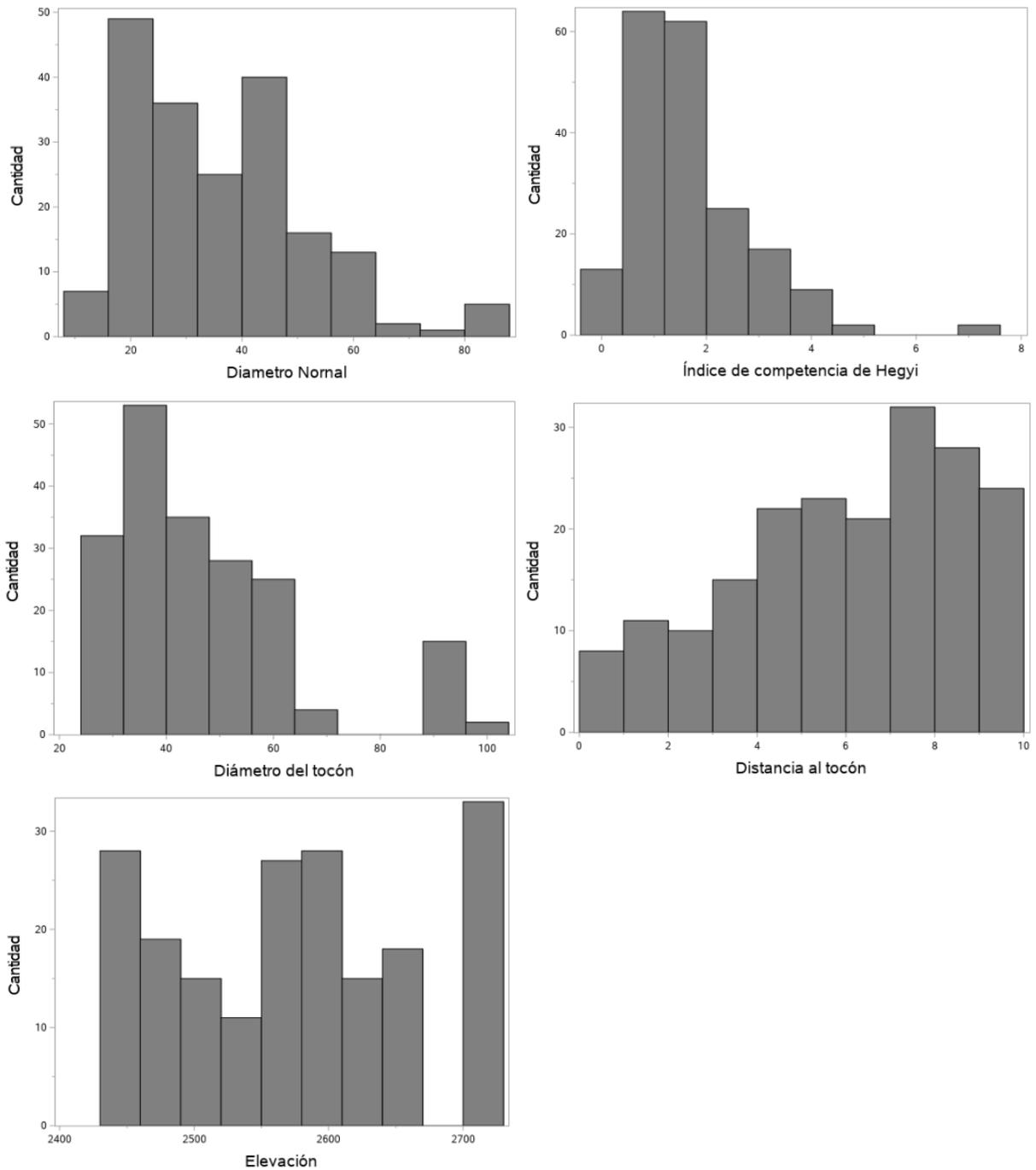


Figura 13. Distribución del rango de datos colectados de cada variable significativa en el proceso stepwise

La distribución de los datos de las cinco variables que resultaron significativas con el procedimiento stepwise, se presenta en la Figura 13, con la finalidad de establecer el rango de distribución de los datos obtenidos y analizados.

### 6.2.3 Análisis de regresión y modelo

Las cinco variables discriminadas con Stepwise para el total de muestras, se utilizaron para realizar un análisis de regresión lineal múltiple con el logaritmo natural del PIAB (ln\_PiAB) como variable dependiente, por ser ésta la que cumplió con los supuestos estadísticos de normalidad; los valores de los parámetros estimados de la regresión se presentan en el Cuadro 8. Aunque el procedimiento Stepwise seleccionó a la elevación del sitio (altitud) como importante para explicar la variación en IAB, dicha variable es la única que no resultó significativa para el modelo general. Se destaca también, que el “diámetro del tocón” es la única variable con un valor positivo junto con el intercepto, mientras que el resto de variables poseen valores negativos.

Cuadro 8. Parámetros estimados y estadísticos de la regresión lineal de las variables significativas discriminadas con Stepwise

Nº de variable	Nombre	Parámetros estimados( $\alpha$ )	Error estándar	Pr > F
	Intercepto	7.56019	1.24559	<.0001
1	Diámetro de tocón ( $X_1$ )	0.00915	0.00257	0.0005
2	Distancia al tocón ( $X_2$ )	-0.03267	0.01567	0.03840
3	Índice de competencia de Hegyi ( $X_3$ )	-0.18319	0.04653	0.0001
4	Diámetro normal ( $X_4$ )	-0.01326	0.00338	0.0001
5	Elevación ( $X_5$ )	-0.00085381	0.00049929	0.0889

$\alpha=0.05$ ;  $R^2$  ajustada = 0.1566; modelo:  $\ln\_PIAB = \alpha + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \epsilon$

Se observa que, si bien el modelo de regresión múltiple proporcionó resultados que permiten discernir la influencia de cada variable sobre el PIAB, el porcentaje de la variabilidad total que este modelo explica es más bien bajo ( $R^2=0.16$ ). Por lo anterior,

se realizó un análisis gráfico de las variables más importantes en el modelo general de manera individual, el cual se presenta en los siguientes párrafos.

### 6.2.4 Índice de competencia

La variable índice de competencia es la que resulta de mayor importancia para explicar el crecimiento junto con el diámetro normal (Cuadro 8); en la Figura 14 se observa el comportamiento del logaritmo del PIAB con respecto al índice de competencia de Hegyi; se muestra también la línea de “crecimiento cero” (*i.e.* valor en la escala de logaritmo donde la variable PIAB es cero) que se ubica en la escala de logaritmo con valor de “4.605” (línea roja). La línea de regresión interseca a la línea de “crecimiento cero” en el valor de 4.33, competencia a la cual el arbolado residual ya no responde a la liberación por cortas de selección.

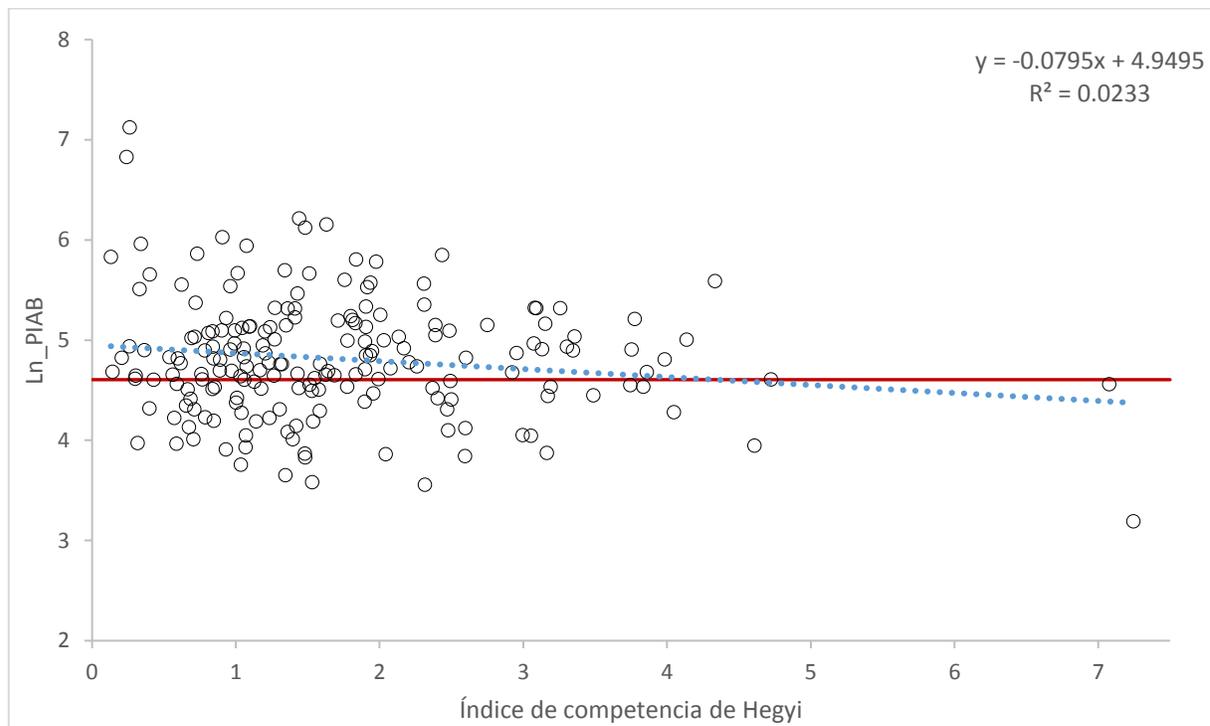


Figura 14. Relación del Ln\_PIAB con el Índice de competencia de Hegyi para el total de muestras analizadas

### 6.2.5 Diámetro normal

La relación entre el logaritmo del PIAB con el diámetro normal del arbolado se ilustra en la Figura 15, y se observa una tendencia negativa. La línea de regresión intersecta a la línea de crecimiento cero en 72 cm, valor promedio después del cual es probable que el individuo no responda a la liberación de espacio derivada de las cortas realizadas.

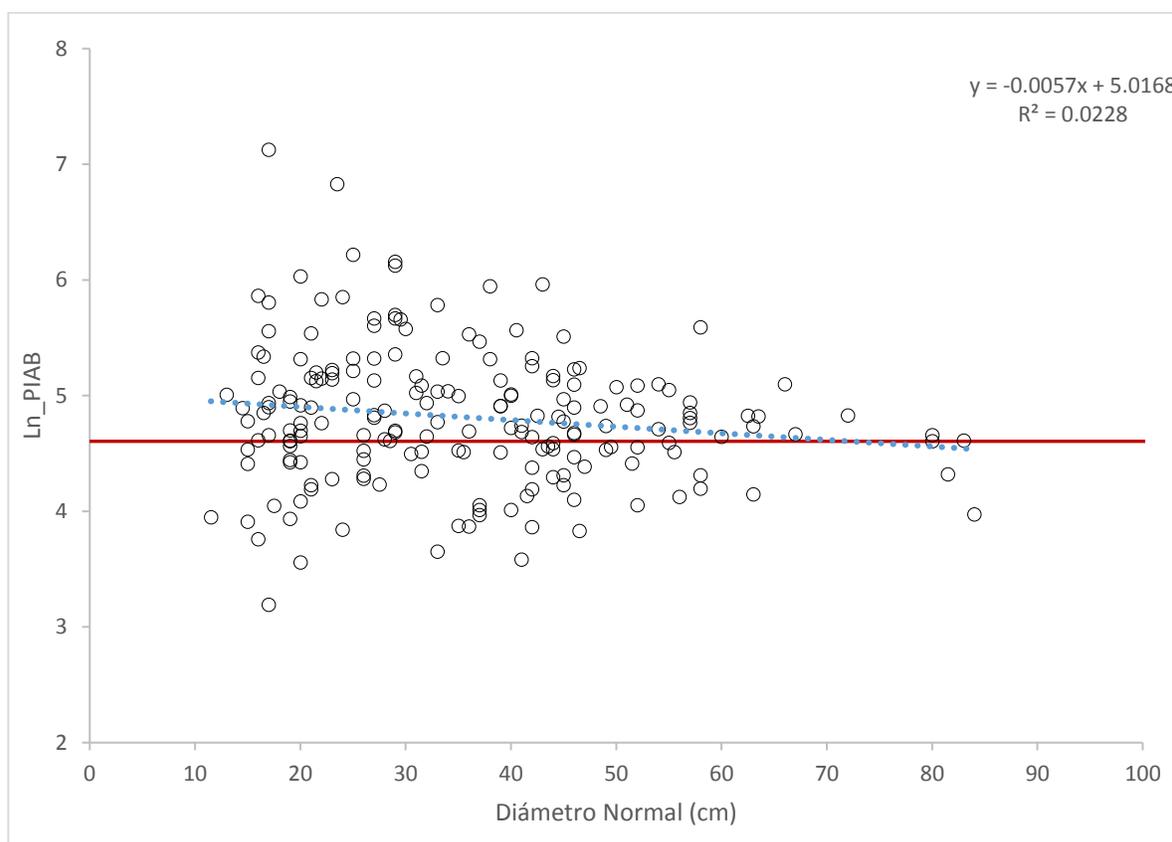


Figura 15. Relación entre el Ln\_PIAB y el diámetro normal para el total de muestras analizadas

### 6.2.6 Diámetro de tocón

Con base en el valor de probabilidad de la regresión lineal múltiple (Cuadro 8) el diámetro del tocón es la tercera variable de mayor importancia para explicar el crecimiento de los individuos. Existe una relación positiva entre el Ln\_PIAB y el diámetro del tocón, como se observa en la Figura 16. La línea de regresión intersecta al crecimiento cero en el valor de 21 cm, diámetro por debajo del cual es poco probable que el espacio de crecimiento que libera un ejemplar cortado impacte en el crecimiento del arbolado residual.

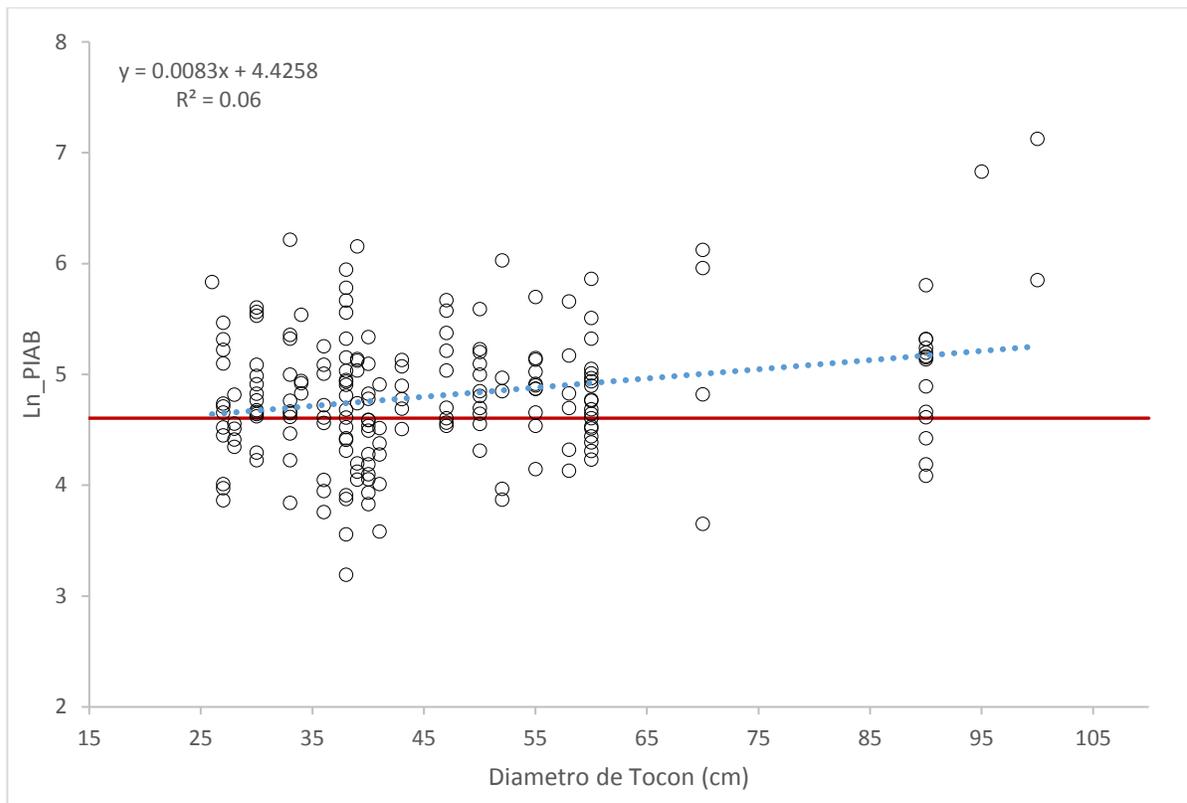


Figura 16. Relación entre el Ln\_PIAB y el diámetro del tocón para el total de muestras analizadas

### 6.2.7 Distancia al tocón

La cuarta variable en orden de importancia al explicar la respuesta en el crecimiento del arbolado residual es la variable distancia al tocón (Figura 17), la cual se relaciona con el Ln\_PIAB de manera negativa. La línea de regresión no intersecta al valor de crecimiento cero dentro del radio de muestreo establecido en la evaluación (10 m); sin embargo, fue posible proyectar la línea con los parámetros que se obtienen, presentándose dicha intersección a los 14.6 m, lo cual se interpreta como la distancia límite de influencia en la cual los arboles remanentes se ven influenciados por la corta de un individuo competidor.

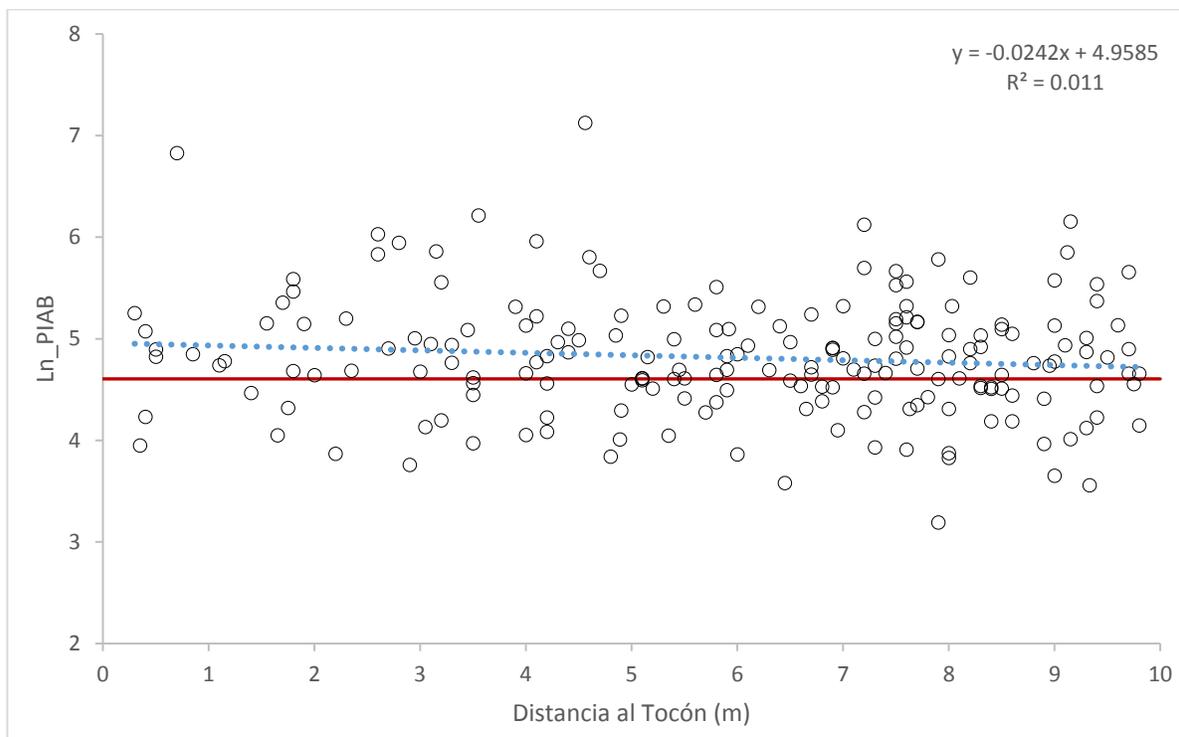


Figura 17. Relación entre el Ln\_PIAB y la distancia al tocón para el total de muestras analizadas

La distancia al tocón también se analizó de manera separada en forma categórica, agrupando los individuos en cada metro de lejanía al tocón (a manera exploratoria)

con lo que se obtuvo un total de 10 grupos (Figura 18). Del análisis se obtuvo un valor de probabilidad de 0.84 ( $\alpha=0.05$ ), lo que indica que ningún grupo resultó significativamente diferente en comparación con los demás.

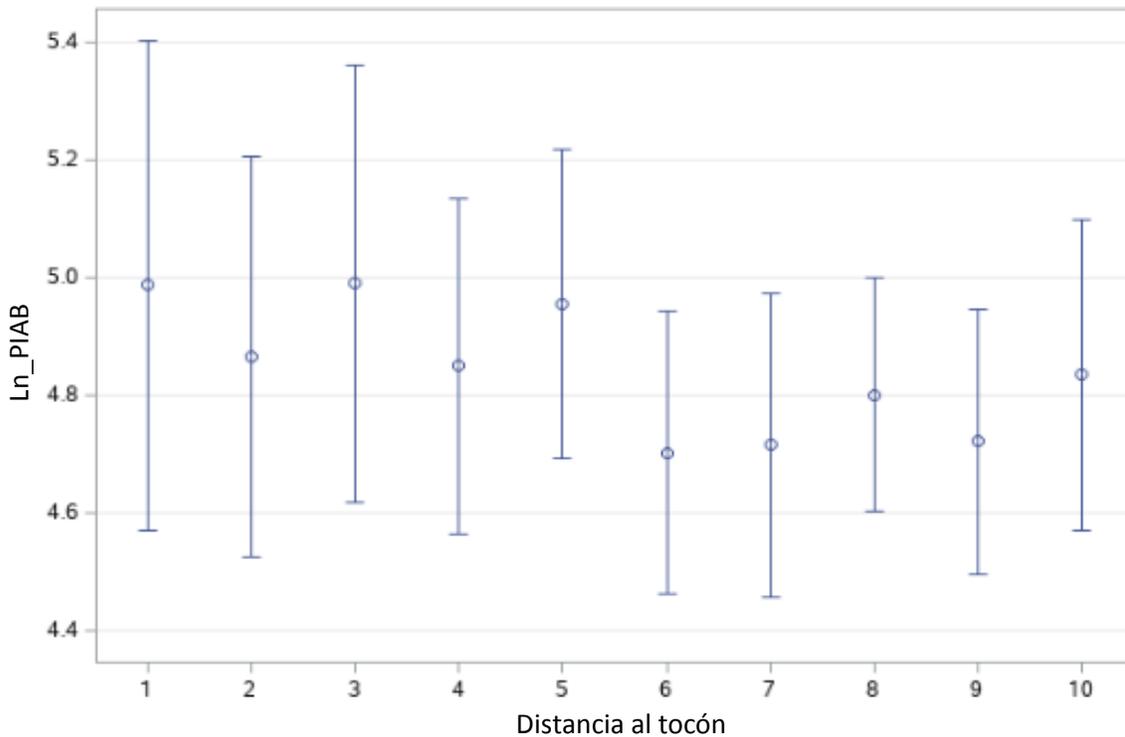


Figura 18. Comparación de medias del crecimiento (Ln\_PIAB) con la “distancia al tocón” agrupada en metros

### 6.2.8 Variables no significativas

Los datos de dispersión de las variables de edad y elevación se presentan en las Figura 19 y Figura 20, respectivamente. Aunque la elevación desplazó a la edad en el proceso stepwise, se observa de manera gráfica que no se presenta tendencia alguna del crecimiento con respecto a la elevación. Por otra parte, el crecimiento presenta una tendencia negativa conforme la edad aumenta. La línea de regresión de la edad intersecta el valor de crecimiento cero en 88 años, edad a la cual los individuos dejan

de responder a la liberación de competencia por cortas. Los datos dispersos de la edad podrían estar relacionados con la variación de la misma respecto al diámetro, variable que está más relacionada con el crecimiento (Figura 21).

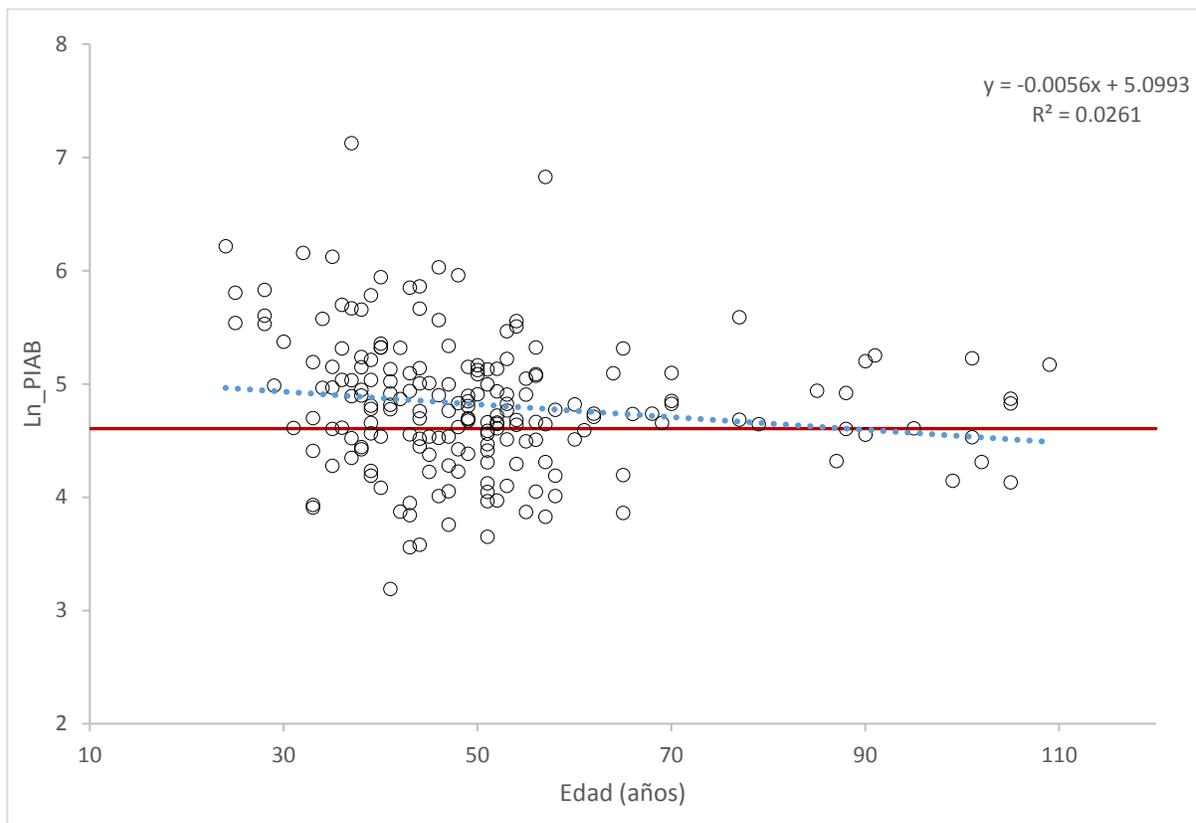


Figura 19. Relación entre el Ln\_PIAB y la edad para el total de muestras analizadas

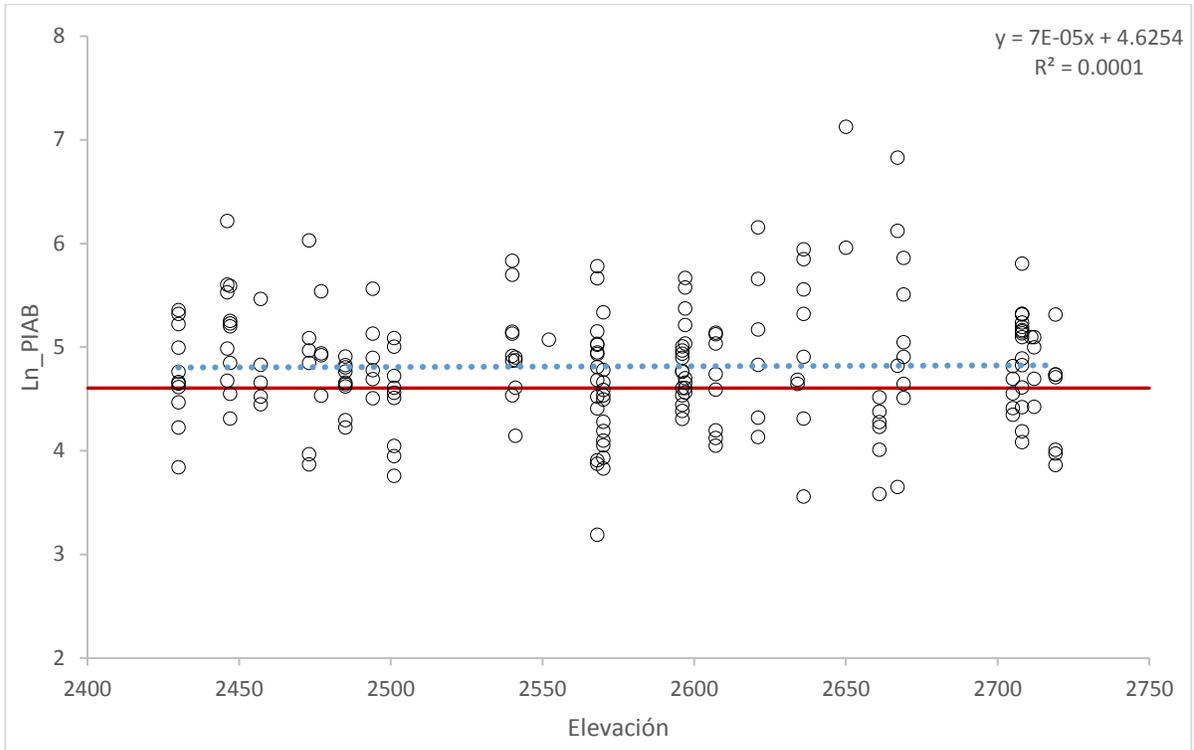


Figura 20. Relación entre el Ln\_PIAB y la elevación para el total de muestras analizadas

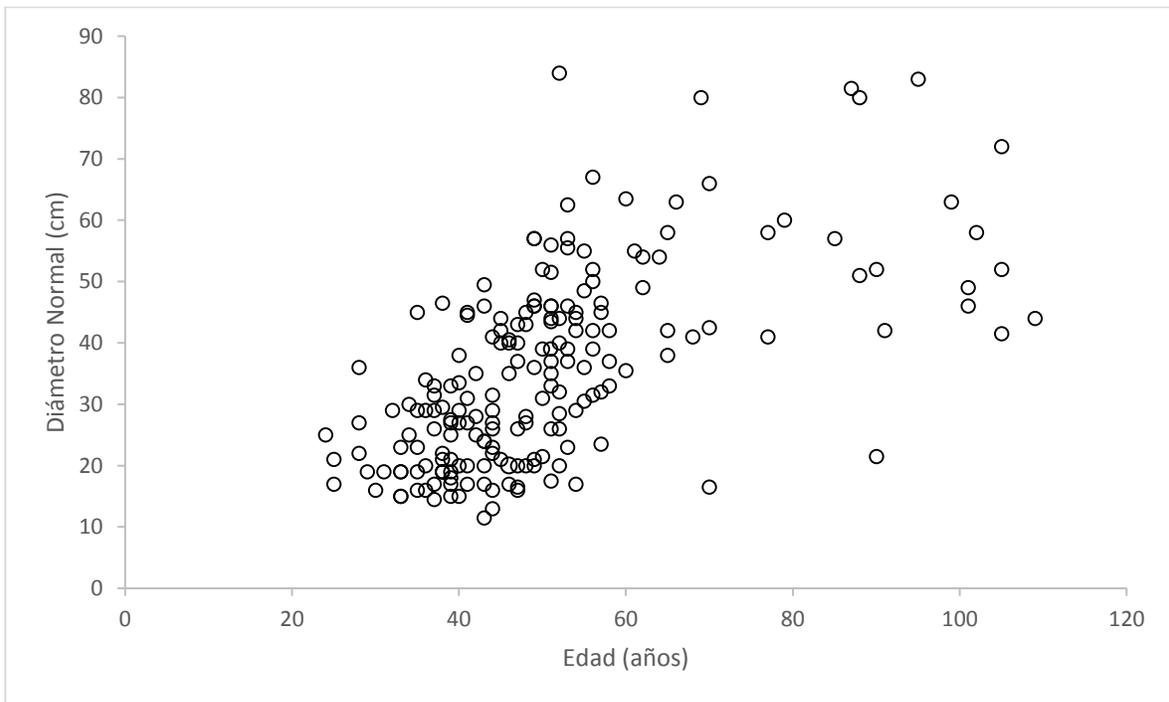


Figura 21. Relación Diámetro normal-Edad- del total de árboles muestreados

## 6.3 Influencia de las variables del sitio

### 6.3.1 Exposición

La influencia de la exposición de sitio sobre el logaritmo de PIAB fue analizada mediante prueba de comparación de medias, que se presenta en la Figura 22, la prueba resultó significativa para la variable exposición ( $p > 0.014$ ), y es la exposición SE la que difiere en su respuesta al crecimiento ( $\text{Ln\_PIAB}$ ) respecto a las demás categorías de exposición.

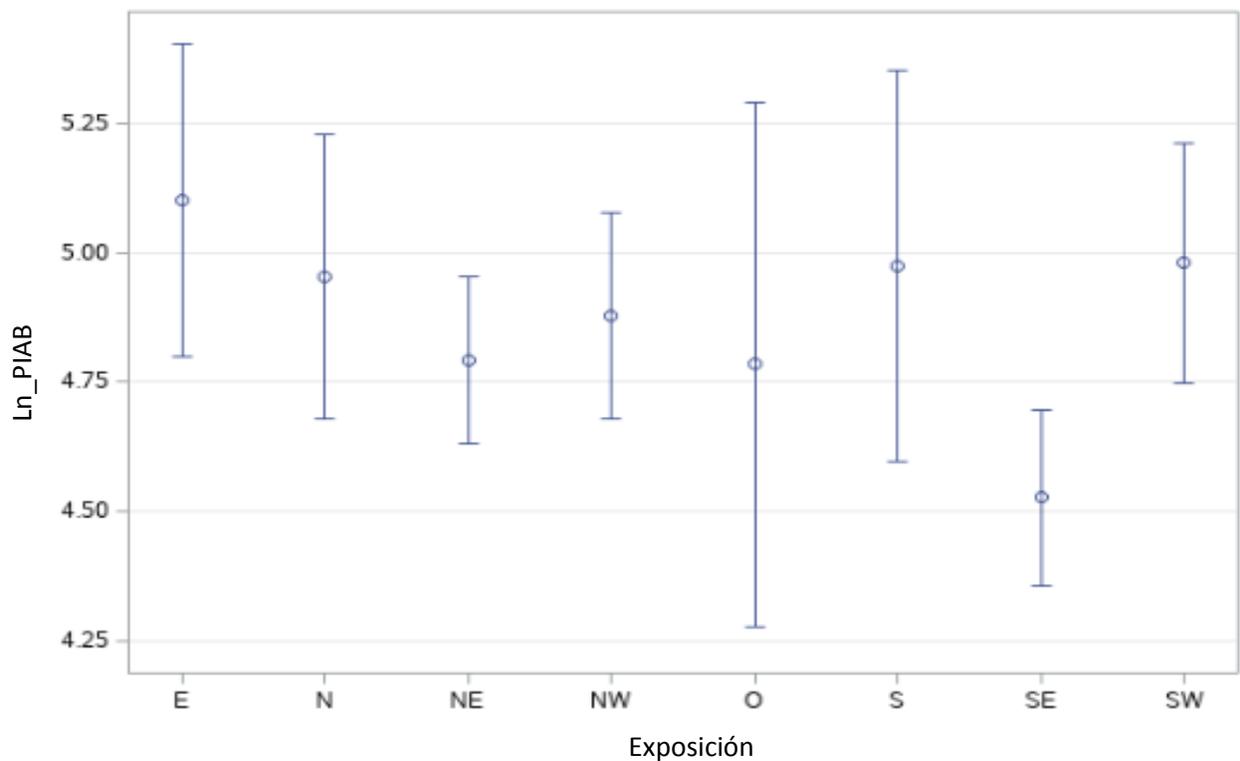


Figura 22. Comparación de medias del crecimiento con la exposición del sitio

### 6.3.2 Especie

El resultado de las pruebas de comparación de medias para la “especie” se presenta en la Figura 23; de manera general las especies no representan una variación significativa para el Ln\_PIAB ( $p > 0.1854$ ); *Pinus herrerae* es la única especie que resulta significativamente diferente cuando se compara con *Pinus lawsonii* y *Pinus pseudostrobus* con valores de probabilidad de  $p > 0.029$  y  $p > 0.022$ , respectivamente ( $\alpha = 0.05$ ).

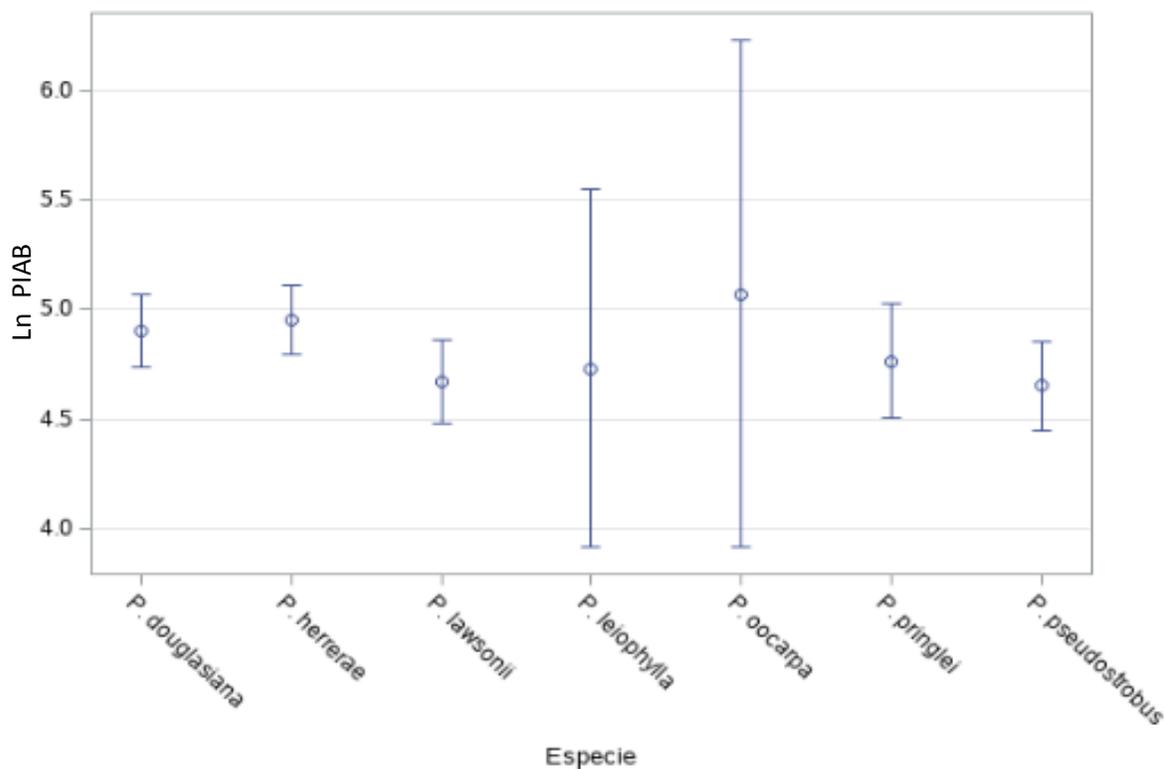


Figura 23. Comparación de medias para el crecimiento de la variable “especie”

### 6.3.3 Pendiente promedio de sitio

Por último, en la Figura 24 se presentan los valores promedio de la pendiente del sitio (grados), más que la comparación del valor de las medias, es notable la tendencia

decreciente del Ln\_PIAB conforme aumenta el valor de la pendiente, se presenta también una línea de regresión (azul) y otra de valor de referencia de crecimiento cero (rojo) en la escala de logaritmos, las cuales no se intersectan.

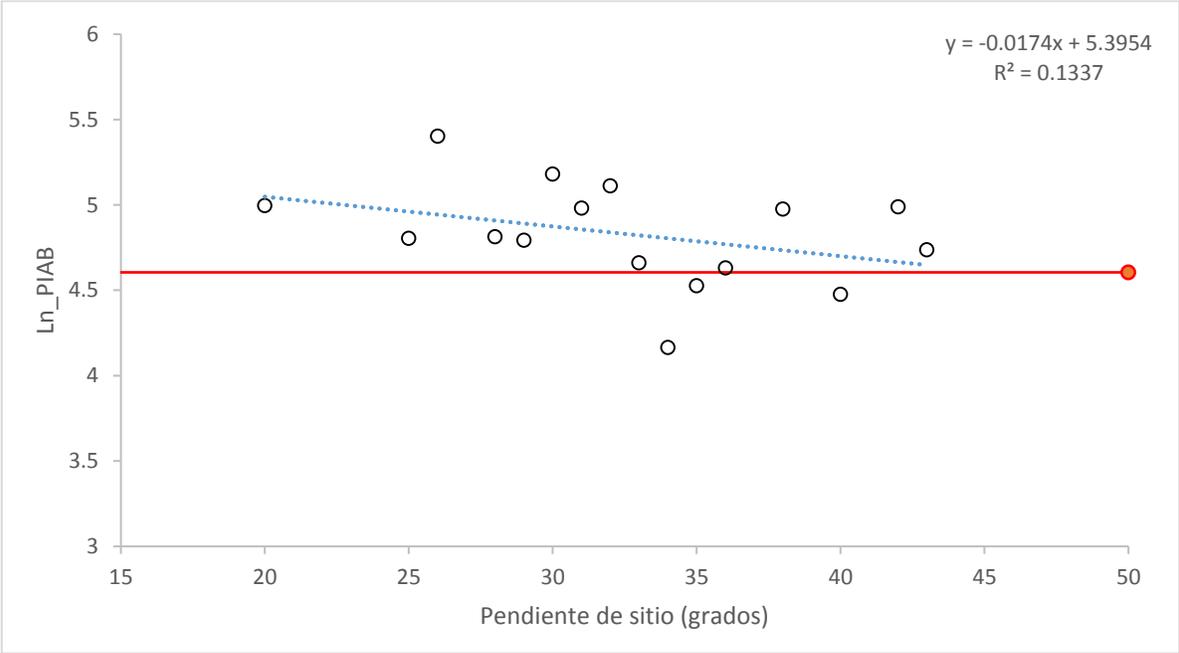


Figura 24. Regresión del LNPIAB contra los valores promedio la pendiente del sitio

### 6.3.4 Crecimiento a nivel sitio

La Figura 25 muestra el logaritmo del PIAB en función del área basal (AB) del sitio, el área basal del sitio es la suma del área basal de los individuos presentes en cada sitio. La línea de regresión intersecta al valor de crecimiento cero en 1.33 m<sup>2</sup>, valor después del cual el crecimiento promedio del sitio se nulifica por la competencia remanente. El promedio de crecimiento general de los 30 sitios es de 71 %.

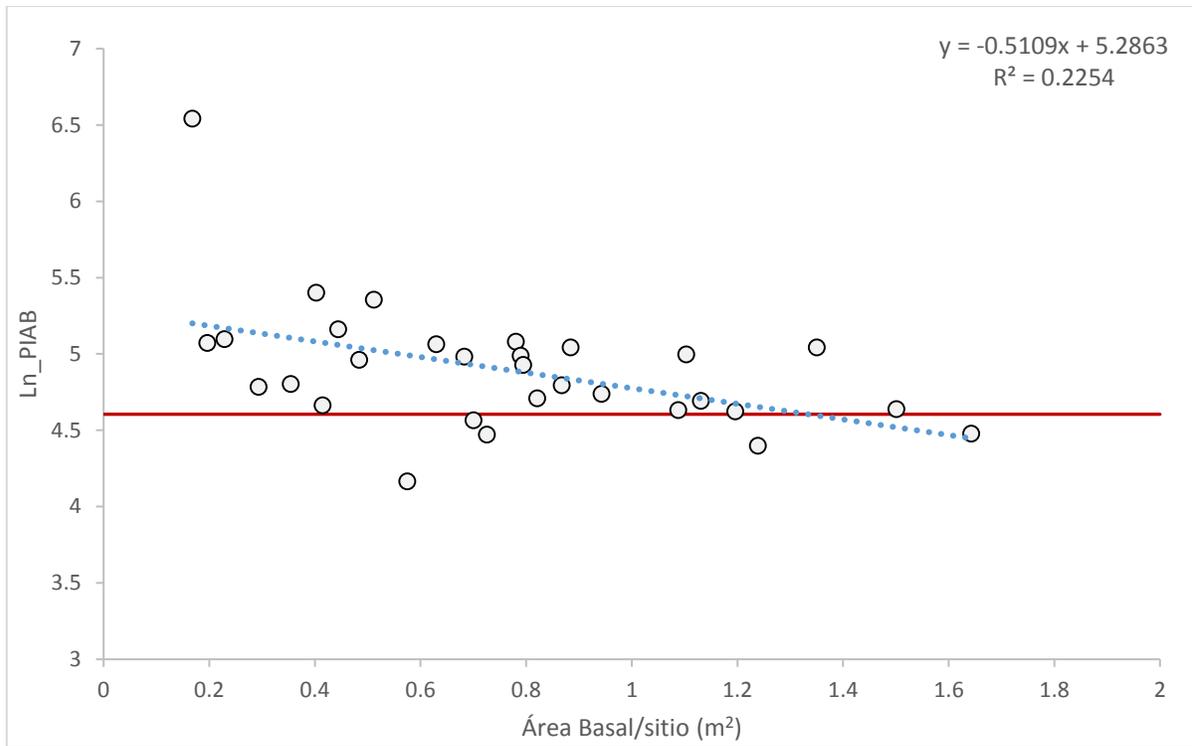


Figura 25. Crecimiento en función del área basal de los sitios de muestreo

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Crecimiento a nivel de árbol individual

Los resultados mostraron que existe una respuesta significativa del crecimiento del arbolado residual posterior a las actividades de cosecha en 47% del total de árboles evaluado, una respuesta que dura al menos cinco años; el restante 53% muestra crecimiento no significativo, lo cual no necesariamente implica que no hay respuesta al tratamiento, sino que, en algunos subgrupos como G1.3 y G2.2, el crecimiento se presenta en un periodo limitado de tiempo (4-5 años) y posteriormente el beneficio se neutraliza con la disminución de crecimiento en otros años dentro de la década posterior a la intervención. Es destacable que el lapso de 4-5 años coincide con lo reportado para especies del genero *Acer* y *Tsuga* en Ontario, Canadá, las cuales mostraron declinación en su crecimiento al quinto año después de la cosecha (Jones *et al.*, 2009), y con lo reportado por Kang *et al.* (2014) en un experimento de aclareos en *Pinus koraiensis*, en Corea del Sur, donde el crecimiento se observó en un periodo de 3-5 años después de los aclareos, y posteriormente existe disminución del crecimiento hasta alcanzar los niveles anteriores al tratamiento.

El patrón de crecimiento pre-cosecha del grupo G1, el cual presentó el mayor aumento en PIAB después del aprovechamiento, fue significativamente menor al de los otros dos grupos; esto podría ser explicado en mayor porcentaje por la competencia, lo que implica que los árboles suprimidos son los que respondieron de mejor manera a la liberación del espacio (Figura 9). Aunque no se tiene registro de estudios similares a éste, con evaluaciones de respuesta a aprovechamientos en el crecimiento al nivel de árboles individuales, estudios a nivel rodal han concluido que la respuesta en crecimiento se relaciona de forma positiva con la intensidad de la liberación (Kariuki, 2008; Sánchez-Hernández, 2016; Espinoza *et al.*, 1994), conclusión que podría complementar lo encontrado en este trabajo.

Aunque la respuesta del crecimiento a la cosecha puede observarse a partir del primer año posterior a ésta, el tiempo de respuesta en el crecimiento del arbolado a la corta es variable, tal y como se ha reportado en diversos estudios. Por ejemplo, la respuesta en el crecimiento del arbolado se presentó entre 1 a 2 años después de la corta en bosques dominados por *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia* y *Betula alleghaniensis* en el sur de Quebec, Canadá (Forget *et al.*, 2007); mientras que en otro estudio se menciona que la respuesta del arbolado se presenta entre 3 y 5 años posteriores a la intervención en bosques dominados por *Acer saccharum*, en Ontario Central, Canadá (Jones y Thomas, 2004); sin embargo, es conveniente señalar que esta variación podría deberse en parte al nivel latitudinal en que se realizaron los estudios citados, 46°18' N y 45° 13'N, respectivamente, lo que contrasta con el presente estudio realizado en la latitud 16°43' N (Figura 1).

El comportamiento representativo del grupo G1 está dado por el subgrupo G1.2 (Cuadro 6), el cual muestra un incremento significativo en el primer quinquenio y lo mantiene en el segundo; esto es importante debido a que se interpreta como un efecto positivo en el crecimiento de los individuos durante un periodo igual o mayor a 10 años después de la intervención; resultados semejantes fueron reportados para especies en Ontario Central, Canadá, que presentaron periodos de crecimiento de entre 10 (*Acer saccharum* y *Fagus grandifolia*) y 15 años (*Betula alleghaniensis*) posteriores al año de cosecha (Jones *et al.*, 2009). El factor más importante que definió el comportamiento de los tres grupos es la competencia (Cuadro 7); para el grupo G1 el segundo factor en orden de importancia es el diámetro del tocón, el cual puede considerarse como parte de la competencia que fue eliminada, corroborando así que dicho factor es de suma importancia para el crecimiento; este resultado es congruente con lo encontrado por diversos autores para *Picea Abies*, *Abies concolor*, *Abies magnifica*, *Calocedrus decurrens*, *Pinus lambertiana*, *Pinus sylvestris*, y especies de la familia *Dispterocarpaceae* (Pedersen *et al.*, 2012; Das, 2012; Sánchez-Salguero *et al.* 2015; King *et al.*, 2005).

El modelo de regresión para el total de datos mostró que las variables más importantes para explicar el PIAB son la competencia y el diámetro normal; el diámetro es representativo del tamaño del individuo más no de la edad, la cual resultó no significativa para explicar la variabilidad del crecimiento. Resultados semejantes fueron encontrados para los géneros *Betula* y *Larix*, donde se reporta a la competencia y al diámetro normal como variables de importancia y a la edad como variable no significativa (Dolezâl *et al.*, 2004). Otros trabajos también han concluido que la competencia es una variable muy importante que influencia el crecimiento arbóreo (King *et al.*, 2005), aunque también dichos autores reportan que el crecimiento mostró una relación más fuerte con características como el “índice de iluminación de copa” y el “índice de intercepción de luz”; sin embargo, en este estudio dichas variables no fueron consideradas.

La distancia al tocón es una variable que está relacionada con la intensidad de la competencia que ejercía el árbol que fue derribado, liberación que es “aprovechada” por el arbolado residual en el sitio. En México, no se han reportado estudios con metodología similar al presente; sin embargo, algunos estudios que evalúan el crecimiento en función de la competencia muestran resultados comparables a este estudio, ya que en ambos casos se determinan áreas o distancias máximas de influencia de la competencia de los individuos, en vida y derribados. Los resultados de este estudio muestran que la influencia de los árboles evaluados es de hasta 14.6 m de radio, cifra mayor a la reportada para *Castanopsis fargesii* y *Quercus fabri*, donde se reporta que radios de 5.5 – 6.5 m explican de mejor manera el crecimiento de los árboles evaluados (von Oheimb *et al.*, 2011); otros estudios reportan radios de influencia de 6.7, 7.3, 8, y 8.5 m en diferentes rodales dominados por *Picea abies* con presencia de *Betula pubescens*, *Salix caprea* y *Sorbus aucuparia* (Fraver *et al.*, 2014); por su parte, un estudio reportó un radio óptimo para evaluar competencia de 7 m, en rodales dominados por *Fraxinus nigra* (Looney *et al.*, 2016).

La diferencia en los resultados descritos puede deberse en parte al efecto del tamaño de los individuos evaluados, con base en lo discutido previamente respecto a la importancia del tamaño de los individuos como un factor muy importante para el crecimiento; en el estudio realizado por Fraver *et al.* (2014) no se reportan los datos del tamaño promedio del arbolado, aunque los autores describen que la especie de manera excepcional excede los 20 m de altura; von Oheimb *et al.* (2011) reportan 9.5 y 9.6 cm de diámetro promedio y 11.5 y 8.8 m de altura respectivamente para las dos especies evaluadas; Looney *et al.* (2016) por su parte, reportan un diámetro promedio para todos los sitios de  $22.2 \pm 15$  cm, lo cual contrasta con los individuos evaluados en el presente estudio, los cuales presentaron una media en diámetro de tocón de  $48.4 \pm 19.7$ ; a excepción de la evidente diferencia en la comparación del diámetro del tocón (0.3 m) en el presente estudio contra el DN (1.3 m) en los estudios citados, la diferencia en el tamaño puede ser la causa de la variación en el radio de influencia de la competencia de los individuos evaluados.

El crecimiento de los árboles en función de la distancia a un tocón es una relación que no se encontró reportada en algún estudio similar; sin embargo, es importante resaltar las tendencias que fueron encontradas en el análisis de comparación de medias agrupadas en metros para dicha variable (Figura 18). A reserva de lo estipulado en el párrafo anterior, en la gráfica de comparación de medias agrupadas por cada metro de distancia al tocón se observa la disminución en el crecimiento del Ln\_PIAB, esta tendencia pareciera estabilizarse en el sexto metro de distancia, aún con valores positivos en la respuesta en crecimiento; esto es importante de resaltar, ya que puede interpretarse como el área de mayor beneficio para el arbolado residual, aunque el área de influencia sea mayor, el crecimiento en respuesta a las cortas se acentúa en un radio de 6 m aproximadamente.

Por otro lado, aun cuando el procedimiento stepwise seleccionó a la “elevación del sitio” (Cuadro 7), en la Figura 20 se observa que la variable no presenta influencia en el crecimiento (Ln\_PIAB); esto contrasta con otros estudios, por ejemplo, en uno

realizado en ecosistemas subalpinos para *Abies fargesii*, donde se encontró relación negativa de variables climáticas (a su vez relacionadas con la elevación) con el crecimiento radial (Dang *et al.* 2007); otros estudios reportan un efecto positivo en la relación crecimiento-altitud para *Larix chinensis* en la parte central de China, aunque dicho efecto es atribuido al calentamiento global (Liu *et al.*, 2018). La diferencia con el presente estudio puede justificarse por el limitado intervalo de datos evaluados desde la perspectiva de su altitud (Figura 13) que es de aproximadamente 300 m de diferencia en altitud, contra los 1950 y 700 m de gradiente altitudinal evaluados en los estudios respectivamente citados.

Los resultados no mostraron la existencia de diferencias significativas en el crecimiento en función de las especies, a excepción de *Pinus herrerae* que es sensiblemente diferente al promedio de otras dos especies; en este sentido, algunos estudios no presentan una comparación explícita, aunque describen resultados similares de crecimiento en las especies analizadas (Huang *et al.* 2013; Das A. 2012), y otros trabajos reportan grandes diferencias en el crecimiento de las especies evaluadas (King *et al.*, 2005), lo cual posiblemente esté relacionado con la fisiología de las especies investigadas.

## **7.2 Crecimiento a nivel sitio**

El crecimiento del arbolado residual se observa solo en una fracción del total de muestras, y son variados los factores que influyeron en el resultado; sin embargo, los análisis permiten visualizar que, los sitios mostraron, en promedio, un crecimiento “superior” de 71% en los diez años posteriores a la corta de selección respecto al crecimiento de la década anterior al año de corta; esto es semejante a lo reportado en un estudio donde se obtuvieron incrementos en área basal del rodal de 25-50% en árboles pequeños (menos a 25 cm de DN), de 50 % en árboles medianos (25-35 cm de DN), y de hasta 25% en árboles grandes (35-45 cm de DN) (Jones y Thomas, 2004).

Por otra parte, se ha reportado un aumento en el crecimiento del arbolado residual de entre 45 y 50 % para tres especies dominantes de latifoliadas en el sur de Quebec, Canadá, en un aclareo de 29% de intensidad de corta (Forget *et al.*, 2007). Aunque los datos de incremento son comparables, el presente estudio acota el PIAB al área valuada en los 30 sitios y no a nivel rodal.

El AB promedio de los sitios evaluados en este estudio resultó ser una característica bastante robusta y útil para explicar el PIAB promedio de los árboles de cada sitio; se destaca que se identificó un umbral de 1.3 m<sup>2</sup> como límite de competencia en el sitio, después del cual la liberación de competencia por efecto de cortas no tiene influencia en el crecimiento del arbolado residual; la hipótesis en este caso es que la competencia remanente impide el desarrollo promedio de los individuos residuales.

Por otro lado, solo la exposición SE mostró diferencia significativa negativa aunque débil, con respecto a las otras exposiciones; otros estudios han encontrado diferencias significativas al comparar las características edáficas y climáticas de las exposiciones sur y norte (Mären *et al.*, 2015; Sidari *et al.*, 2008), y en función del crecimiento radial, siendo la exposición sur la más benéfica para el crecimiento (Li *et al.*, 2014); la diferencia con el presente estudio puede atribuirse al nivel latitudinal de los estudios siendo 28°, 38°, y 29° de latitud norte respectivamente al orden de las citas de este párrafo, contra los 16° en donde fue realizado el presente estudio.

Por último, se encontró una relación lineal negativa entre la pendiente del sitio con el crecimiento de los árboles (Figura 24); el análisis gráfico realizado sugiere que el crecimiento alcanza la línea de crecimiento cero aproximadamente en los 45° de pendiente; se ha reportado un parámetro negativo débil en la regresión de la pendiente-crecimiento radial promedio para *Quercus fabri*, aunque para *Castanopsis fargesii* resultó no significativo (von Oheimb *et al.*, 2011), lo cual es similar a lo encontrado en el presente estudio. La influencia negativa de la pendiente sobre el

crecimiento posiblemente no se deba a la condición física, sino a las condiciones edafo-climáticas que genera, pues se ha encontrado que el aumento de la pendiente se relaciona con la disminución en la calidad del sitio (Wanshnong *et al.*, 2013).

## 8. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que casi la mitad del arbolado residual aumentó su crecimiento como respuesta a las cortas de selección realizadas en el predio evaluado; los individuos suprimidos son los más beneficiados de dicha liberación, debido a que la competencia fue la variable que más influyó en el crecimiento, en conjunto con el tamaño del individuo evaluado. El tocón del árbol cortado también resulta importante en la respuesta en crecimiento del arbolado residual, así como la distancia al mismo, pues ambas integran una medida de liberación de competencia.

La elevación es una variable que resultó no significativa pero que se relaciona negativamente con el crecimiento. No hubo variación en la respuesta de las especies evaluadas. La variable "exposición del sitio" resultó significativa únicamente para la exposición SE, la diferencia es sensiblemente negativa, resultado que difiere de otros estudios. La variable pendiente promedio se relaciona de manera negativa con la respuesta en crecimiento y los datos sugieren que el efecto se neutraliza en pendientes mayores a 45°, lo cual puede explicarse por las condiciones de calidad de suelo y probablemente de disponibilidad de luz que se generan a mayores pendientes.

A nivel de sitio se obtuvo un aumento en el crecimiento de 71%, lo cual es consistente con diferentes estudios; sin embargo, este resultado se reserva aplicable solo al área evaluada y no al rodal, ya que el porcentaje de incremento en el crecimiento podría obtenerse al conocer la cantidad de individuos extraídos en el rodal evaluado. La competencia promedio de los sitios, representada por la suma del AB, es un parámetro que explica el incremento en crecimiento promedio, siendo los 1.3 m<sup>2</sup> de área basal residual el umbral después del cual el efecto del crecimiento promedio se hace nulo.

La complejidad de las mediciones, procesamiento y análisis de datos, así como las interacciones de todas las variables evaluadas hacen difícil la labor de concluir de una manera más sólida; sin embargo, el presente estudio presenta datos de tendencias, límites y umbrales en ciertas variables que pueden ser útiles en la toma de decisiones del manejo forestal. La metodología que se diseñó y aplicó fue útil para evaluar el efecto de las cortas de selección en los rodales evaluados, aunque es posible implementar mejoras en los criterios de selección de árboles competidores así como en la elección de índices de competencia dada la importancia de dicha variable. Las variables climáticas a nivel local también podrían mejorar el entendimiento de las tendencias generales de crecimiento.

Con base en los resultados se resumen las siguientes recomendaciones para la planeación de cortas de selección. Aunque varias de ellas ya se han identificado en la práctica, se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Recomendaciones considerando las variables de importancia para el crecimiento

<b>Variable por orden de importancia</b>	<b>Efecto sobre crecimiento</b>	<b>Sugerencia para los aclareos</b>
<b>Competencia</b>	Negativo	Procurar que las cortas sean lo suficientemente intensas para que el arbolado residual se vea beneficiado por efecto de la liberación
<b>Diámetro normal</b>	Negativo	Las categorías diamétricas mayores son poco sensibles al aclareo, por lo que se recomienda no dejar muchos árboles con estas características cuando el crecimiento del rodal sea un objetivo primordial
<b>Diámetro tocón</b>	Positivo	Remover arbolado de los mayores diámetros
<b>Distancia Tocón</b>	Negativo	Procurar un espaciamiento regular en la masa residual para maximizar la distancia entre individuos

## 9. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Taboada M. F., Barrio-Anta M., Gorgoso Varela J., Álvarez-González J. G. 2003. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12 (2), 25-35.
- Bose A. K., Weiskittel A., Kuehne C., Wagner R. G., Turnblom E., Burkhart H. E. 2018. Does commercial thinning improve stand-level growth of the three most commercially important softwood forest types in North America?. Forest Ecology and Management 409: 683–693.
- Cabon A., Mouillota F., Lempereur M., Ourcival J-M., Simioni G., Limousin J-M. 2018. Thinning increases tree growth by delaying drought-induced growth cessation in a Mediterranean evergreen oak coppice. Forest Ecology and Management 409: 333–342.
- Cambrón-Sandoval V. H., Suzán-Azpíri H., Vargas-Hernández J. J., Sánchez-Vargas N. M., Sáenz-Romero C. 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia. Revista Fitotecnia Mexicana 36(1): 71-79.
- Cattaneo N. 2015. Crecimiento y competencia en una masa mixta de *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus pinea* L. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. 43 pp.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2001. Programa Estratégico Forestal para México 2025. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Consulta: 10 de Marzo del 2018]. Disponible en: [http://era-mx.org/biblio/PEF\\_2025.pdf](http://era-mx.org/biblio/PEF_2025.pdf)

Crecente-Campo F., Vázquez-Gómez E., Rodríguez-Soalleiro R., Diéguez-Aranda U. 2007. Influencia de la competencia en el crecimiento individual de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Sociedad Española de Ciencias Forestales* 23: 167-174.

Dang H., Jiang M., Zhang Q., Zhang Y. 2007. Growth responses of subalpine fir (*Abies fargesii*) to climate variability in the Qinling Mountain, China. *Forest Ecology and Management* 240: 143–150.

Daniels R. F., Burkhart H. E., Clason T. R. 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1230-1237.

Das A. 2012. The effect of size and competition on tree growth rate in old-growth coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research* 42: 1983-1995.

Dolezâl J., Ishii H., Vetrova V. P., Sumida A., Hara T. 2004. Tree Growth and Competition in a *Betula platyphylla*–*Larix cajanderi* Post-fire Forest in Central Kamchatka. *Annals of Botany* 94: 333–343.

Espinosa B. M., García S. M., Valeria E. O. 1994. Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata. *Bosque* 15 (1): 55-65.

- Fernández-Tschieder E., Binkley D. 2018. Linking competition with Growth Dominance and production ecology. *Forest Ecology and Management* 414: 99–107.
- Forget E., Nolet P., Doyon F., Delagrangé S., Jardon Y. 2007. Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 242: 764-765.
- Forrester D. I. 2013. Growth responses to thinning, pruning and fertilizer application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions. *Forest Ecology and Management* 310: 336–347.
- Fraver S., D'Amato A. W., Bradford J. B., Jonsson B. G., Jönsson M., Esseen P-A. 2014. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. *Journal of Vegetation Science* 25: 374-385.
- Gadow K. V., Sánchez-Orios S., Aguirre-Calderón O. A. 2004. Manejo forestal con bases científicas. *Madera y bosques* 10(2): 3-16.
- Goche-Téllez J. R. 2007. Influencia de los aclareos sobre la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 90 p.
- Hegyí, F. 1974. A simulation model for managing Jack-pine stands. In *Growth models for tree and stand simulation*. In: J. Fries. Ed. Royal College of Forestry, Stockholm. Sweden. 74-90.

- Hernández-Díaz J.C., Corral-Rivas J. J., Quiñonez-Chávez A., Bacon-Sobbe J. R., Vargas-Larreta B. 2008. Evaluación del manejo forestal regular e irregular en bosques de la Sierra Madre Occidental. *Madera y Bosques* 14(3): 25-41.
- Hocking R. R. 1976. The analysis and selection of variables in linear regression. *Biometrics* 32(1): 1-49.
- Huang J-G., Stadt K. J., Dawson A., Comeau P. G. 2013. Modelling growth-competition relationships in Trembling Aspen and White Spruce mixed boreal forests of western Canada. *Plos One* 8(10):1-14.
- Jones T. A., Domke G. M., Thomas S. C., 2009. Canopy tree growth responses following selection harvest in seven species varying in shade tolerance. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 430-440.
- Jones T. A., Thomas S. C., 2004. The time course of diameter increment responses to selection harvests in *Acer saccharum*. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1525–1533.
- Kang J.-S., Shibuya M., Shin C.-S. 2014. The effect of forest-thinning Works on tree growth and forest environment. *Forest Science and Technology* 10(1): 33-39.
- Kariuki M. 2008. Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia. *Forest Ecology and Management* 256: 2007–2017.

Kings D. A., Davies S. J., Nur-Supardi M. N., Tan S. 2005. Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia. *Functional Ecology* 19: 445-453.

Kuehne C., Weiskittel A., Pommerening A., Wagner R. G. 2018. Evaluation of 10-year temporal and spatial variability in structure and growth across contrasting commercial thinning treatments in spruce-fir forests of northern Maine, USA. *Annals of Forest Science* 2018: 2-11.

Li Y., Härdtle W., Bruelheide H., Nadrowski K., Scholten T., von Wehrden H., von Oheimb G. 2014. Site and neighborhood effects on growth of tree saplings in subtropical plantations (China). *Forest Ecology and Management* 327: 118–127.

Lin J-C., Chiu C-M., Lin Y-J., Liu W-Y. 2018. Thinning effects on biomass and carbon stock for young Taiwan plantations. *Scientific Reports* 8: 1-7.

Liu B., Liang E., Liu K., Camarero J. J. 2018. Species- and Elevation-Dependent Growth Responses to Climate Warming of Mountain Forests in the Qinling Mountains, Central China. *Forests* 9:1-11.

Looney C. E., D'Amato A. W., Fraver S., Palik B. J., Reinikainen M. R. 2016. Examining the influences of tree-to-tree competition and climate on size-growth relationships in hydric, multi-aged *Fraxinus nigra* stands. *Forest Ecology and Management* 375: 238–248.

Lorimer, C.G., 1983. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management* 6: 343–360.

- Mären I. E., Karki S., Prajapati C., Yadav R. K. 2015. Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley?. *Journal of Arid Environments* 121: 112-123.
- Martín-Benito D., Del Rio M., Heinrich I., Helle G., Cañellas I. 2010. Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecology and Management* 259: 967–975.
- Metz J., Seidel D., Schall P., Scheffer D., Schulz E-D., Ammer C. 2013. Crown modeling by terrestrial laser scanning as an approach to assess the effect of aboveground intra- and interspecific competition on tree growth. *Forest Ecology and Management* 310: 275–288.
- Olivier M-D., Schneider R., Fournier R. A. 2016. Response of sugar maple (*Acer saccharum*, Marsh.) tree crown structure to competition in pure versus mixed stands. *Forest Ecology and Management* 374: 20–32.
- Pedersen R. O., Bollandsås O. M., Gobakken T., Næsset E. 2012. Deriving individual tree competition indices from airborne laser scanning. *Forest Ecology and Management* 280: 150–165.
- Peng C. 2000. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. *Forest Ecology and Management* 132: 259-279.
- Powers M. D., Pregitzer K. S., Palik B. J., Webster C. R. 2009. Wood d13C, d18O and radial growth responses of residual red pine to variable retention harvesting. *Tree Physiology* 30: 326-334.

Puettmann K. J., Coates K. D., Messier C. 2010. A critique of Silviculture: Managing for Complexity. Island Press. Washington D.C., U.S.A. 189 p.

Pukkala T., Lähde E., Laiho O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 258: 207–216.

Quicaño-Silvano J. 2017. Competencia por espacio de la regeneración natural de un bosque secundario de tierra firme en la parcela de corta anual I, bloque II de la comunidad nativa Santa Mercedes, Río Putumayo, Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ciencia Forestales. Iquitos, Peru. 63 p.

Reineke, L.H., 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forest. *J. Agric. Res.* 46, 627–638.

Rodríguez-Ortiz G., González-Hernández V. A., Aldrete A., De los Santos-Posadas H. M., Gómez-Guerrero A., Fierros-González A. M. 2011. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(3): 205-212.

Sánchez-Hernández M. 2016. Crecimiento e incremento de un rodal de *Pinus rudis* Endl. como respuesta a diferentes intensidades de aclareo en San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis de licenciatura. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 77 p.

- Sánchez-Salguero R., Linares J. C., Camarero J. J., Madrigal-González J., Hevia A., Sánchez-Miranda A., Ballesteros-Cánovas J. A., Alfaro-Sánchez R., García-Cervigón A. I., Bigler C., Rigling A. 2015. Disentangling the effects of competition and climate on individual tree growth: A retrospective and dynamic approach in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 358:12–25.
- Sharma R. P., Vacek Z., Vacek S. 2016. Individual tree crown width models for Norway spruce and European beech in Czech Republic. *Forest Ecology and Management* 366: 208–220.
- Sherman L. A., Page-Dumroese D. S., COLEMAN M. D. 2018. Idaho forest growth response to post-thinning energy biomass removal and complementary soil amendments. *GCB Bioenergy* 10: 246–261.
- Sidari M., Ronzello G., Vecchio G., Muscolo A. 2008. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European Journal of Soil Biology* 44: 364–372.
- Tomé M., Burkhart H. E. 1989. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science* 34(3): 816-831.
- Torres-Rojo J. M. 2000. Sostenibilidad del volumen de cosecha calculado con el Método Mexicano de Ordenación de Montes. *Madera y Bosques* 6(2): 57-72.
- Trivez F. J. 1994. Efectos de los distintos tipos de *outliers* en las predicciones de los Modelos ARIMA. *Estadística Española* 36(135): 21-58.

von Oheimb G., Lang A. C., Bruelheide H., Forrester D. I., Wäschea I., Yu M., Härdtlea W. 2011. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighborhood competition. *Forest Ecology and Management* 261: 499–507.

Wanshnong R. K., Thakuria D., Sangma C. B., Ram V., Bora P. K. 2013. Influence of hill slope on biological pools of carbon, nitrogen, and phosphorus in acidic alfisols of citrus orchard. *Catena* 111: 1-8.