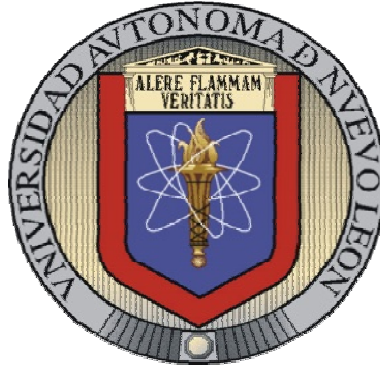


Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



INFLUENCIA DE LA COMPETENCIA EN EL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO  
NORMAL EN LOS BOSQUES DE LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE  
DURANGO

POR

JOSÉ GUADALUPE COLÍN

Como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

Junio, 2008

José Guadalupe Colín

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

Influencia de la competencia en el crecimiento en el diámetro normal en los  
bosques de la región noroeste del estado de Durango.

TESIS DE MAESTRIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

JOSÉ GUADALUPE COLÍN

COMITÉ DE TESIS

  
Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

Presidente



Dr. Eduardo J. Treviño Garza

Asesor



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Asesor

Junio, 2008

## **AGRADECIMIENTOS**

**Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón asesor de mi tesis, así como al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza y a los doctores Enrique Jurado Ybarra y Benedicto Vargas Larreta por formar parte del comité de tesis, por sus valiosas sugerencias e interés en la revisión del presente trabajo.**

**Al Consejo de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de mis estudios.**

**A la Facultad De Ciencias Forestales De La Universidad Autónoma De Nuevo León por darme la oportunidad de realizar mis estudios.**

**A mi familia por el apoyo moral que siempre me ha brindado y a todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de este trabajo.**

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**DEDICATORIA**

**A dios por haberme dado el don de la vida e iluminarme día con día.**

**A mi hija Norma Itzel por darme la fuerza de seguir adelante frente a cualquier obstáculo de mi vida.**

**A mi esposa Irma Norma Correa Cepeda por su amor y su apoyo incondicional.**

**A mi madre Irene Colín por su infinito amor, enseñables consejos, por sus incansables sacrificios y por ser siempre mi ejemplo.**

**A mis hermanos Sergio, José Ángel, Anselmo, Felipe y Alfredo por su apoyo, comprensión y confianza.**

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**C O N T E N I D O**

I INTRODUCCIÓN .....	11
II HIPÓTESIS .....	17
III OBJETIVOS .....	17
3.1 Objetivos específicos .....	17
IV ANTECEDENTES .....	18
V METODOLOGÍA .....	25
5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	25
5.1.1 Ubicación geográfica .....	26
5.1.2 Edafología .....	26
5.1.3 Clima .....	27
5.1.4 Fisiografía .....	28
5.1.5 Ubicación hidrológica .....	28
5.1.6 Tipo de vegetación .....	28
5.1.7 Fauna .....	32
5.2 MÉTODOS .....	32
5.2.1 Datos .....	32
5.2.2 Descripción dasométrica .....	34
5.3 INDICES DE COMPETENCIA ANALIZADOS .....	39
5.3.1 Índices de competencia independientes de la distancia .....	39
5.3.2 Índices de competencia dependientes de la distancia .....	41
5.3.3 Criterios de selección de competidores.....	45
5.3.4 Efecto de borde .....	50
5.4 Modelos DE INCREMENTO EN DIÁMETRO utilizados .....	51
5.5 Muticolinealidad, autocorrelación y heterocedasticidad.....	53
5.6 Comparación y selección de modelos .....	54
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
6.1. Selección del modelo base .....	56
6.2. Criterios de selección de competidores.....	62
6.3. Modelos de incremento en diámetro .....	63
6.3.1. Índices de competencia independientes de la distancia .....	63
6.3.2 Modelo de incremento en diámetro para <i>Pinus teocote</i> .....	65
6.3.3 Modelo de incremento en diámetro para <i>Pinus arizonica</i> .....	68

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

6.3.4 Modelo de incremento en diámetro para <i>Pinus durangensis</i> .....	73
6.3.5 Modelo de incremento en diámetro para <i>Pinus leiophylla</i> .....	77
6.3.6 Modelo de incremento en diámetro para <i>Pinus engelmannii</i> .....	81
6.4 DISCUSIÓN GENERAL.....	87
VI. Conclusiones.....	90
VII. BIBLIGRAFIA.....	92

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**LISTA DE TABLAS**

Tabla	Página
I. Valores promedio de los datos utilizados. ....	34
II. Expresión matemática de los índices de competencia independientes de la distancia Analizados. ....	35
III. Expresión matemática de los índices de competencia dependientes de la distancia. ....	37
IV. Estimaciones de los parámetros y estadísticos de ajuste de los distintos modelos de incremento en diámetro. ....	52
V. Número de competidores del árbol objetivo dependiendo de su criterio de selección. ....	55
VI. Resultados de ajuste del modelo (25) empleando los índices de competencia Independientes de la distancia. . . . .	56
VII. Parámetros y valores de los estadísticos de ajuste para el modelo de incremento en diámetro para la especie 3. ....	60
VII. Resultados del ajuste del modelo lineal (25), empleando los índices de Competencias dependientes de la distancia combinados con los criterios de selección de competidores para la especie 1 . . . . .	62
IX. Parámetros y valores de los estadísticos de ajuste para el modelo de Incremento en diámetro para la especie 1 ( <i>Pinus arizonica</i> ). . . . .	64

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- X. Resultados del ajuste del modelo lineal (25), empleando los índices de competencia Dependientes de la distancia combinados con los criterios de selección de competidores para la especie 2 (*pinnus durangensis*) . . . . . 66
- XI. Parámetros y valores de los estadísticos de ajuste para el modelo de incremento en diámetro para la especie 2 (*pinnus durangensis*). . . . . 68
- XII. Resultados del ajuste del modelo lineal (25) empleando los índices de competencia dependientes de la distancia combinados con los criterios de selección de competidores para la especie (*Pinnus leiophylla*). . . . . 70
- XIII. Parámetros y valores de los estadísticos de ajuste para el modelo de incremento en diámetro para la especie 4 (*Pinnus leiophylla*) . . . . . 72
- XIV. Resultados del ajuste del modelo lineal (25) empleando los índices de competencia dependientes de la distancia combinados con los criterios de selección de competidores para la especie 5 (*pinnus engelmannii*) . . . . . 75
- XV. Parámetros y valores de los estadísticos de ajuste para el modelo de incremento en diámetro para la especie 5 (*pinnus engelmannii*). . . . . 77



Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

LISTA DE FIGURAS

Figura	Páginas
1. Ubicación del área de estudio .....	23
2. Esquema general para el establecimiento del SPIS.....	30
3. Criterios de selección de competidores C4.....	41
4. Criterios de selección de competidores C5 .....	42
5. Criterios de selección de competidores C6. ....	44
6. Representación de la metodología de selección de competidores según el concepto de ángulo de eliminación de competencia. ....	45
7. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo (29) incluyendo El índice de competencia IC1 para <i>Pinus teocote</i> . ....	59
8. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia C1 para <i>Pinus teocote</i> . ....	60
9. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo (30) y la Combinación IC 15 –C5 para <i>Pinus arizonica</i> . ....	64
10. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia C15 para <i>Pinus Arizonica</i> . ....	65
11. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo (31) y la combinación IC17 – C5 para <i>pinnus durangensis</i> . ....	68
12. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia C17 para <i>pinnus durangensis</i> . ....	69

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

13. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo (32) y la combinación IC15 –C5 para *pinus leiophylla*. . . . . 72
14. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia IC15 para *pinus leiophylla*. . . . . 73
15. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo (33) y la combinación IC15-C5 para *pinus engelmannii*. . . . . 77
16. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia IC14 para *pinus engelmannii*. . . . . 78

# Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

## RESUMEN

El presente trabajo presenta los efectos de la competencia en el crecimiento en diámetro en las cinco especies más representativas del bosque de pino de la región noroeste del estado de Durango. Los datos fueron obtenidos de una red de 66 parcelas permanentes de investigación silvícola del Ejido San Diego de Tezains, del municipio de Santiago Papasquiado, Durango, en los cuales se utilizaron seis índices de competencia dependientes de la distancia y once índices de competencia independientes de la distancia con once criterios de selección de competidores. Se encontró que los mejores resultados para la especie de *Pinus teocote* fue el índice de competencia independiente de la distancia  $IC_1$  (Fracción de cabida cubierta (FCC)), Para las demás especies, los índices de competencia dependientes de la distancia fueron los que mejor resultado proporcionaron por lo que para las especies de *Pinus arizonica* y *P. leiophylla* (especies 1 y 4), el índice  $IC_{15}$  de Biging y Dobberting (1992) combinado con el criterio  $C_5$  fue el que mejores resultados proporcionó. Para *Pinus durangensis* (especie 2) el índice  $IC_{17}$  desarrollado por Valles *et al.* (1998), también combinado con el criterio  $C_5$  fue el que mejor bondad de ajuste presentó, mientras que para *Pinus engelmanni* (especie) 5 el índice que mejor explicó el efecto de la competencia en el incremento en diámetro fue el  $IC_{14}$  Braathe (1980) citado por Pukkala y Kolström (1987).

Palabras clave: Competencia, índices de competencia, criterios de selección, Crecimiento.

## I INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los árboles es resultado de dos factores opuestos (Zeide, 1993): por una parte está la tendencia intrínseca hacia un crecimiento ilimitado, que depende del potencial biótico del individuo, de sus actividades fotosintéticas, de la absorción de nutrientes, de los procesos anabólicos y catabólicos, etc.; y en lado opuesto se encuentran las restricciones al crecimiento impuesto por el entorno en el que se desenvuelve dicho individuo (competencia con otros individuos, limitación de los recursos, procesos respiratorios y estrés) y por la propia condición de ser vivo (mecanismos de autorregulación del crecimiento y envejecimiento). A pesar de que los factores que regulan el crecimiento de un árbol son complejos y aún poco conocidos, es aceptado universalmente que uno de los que más influye sobre el mismo es la interacción espacial con otros árboles cercanos. El término que suele emplearse para definir dicha interacción espacial es el de competencia, sin embargo, la interacción no es únicamente un proceso antagónico, como parece indicar el término competencia, sino que también provoca situaciones que favorecen a todos los individuos afectados, como la protección o adaptación mutua al medio (Trepl, 1994).

La competencia puede definirse como el efecto negativo que un organismo ejerce sobre otro debido al consumo o al control que realiza sobre el acceso a un determinado recurso (luz, agua o nutrientes) de disponibilidad limitada (Keddy, 1989). El efecto de la competencia puede llevar hacia una reducción en la supervivencia, el crecimiento o la reproducción del individuo afectado (Begon *et al.*, 1986), siendo una de las fuerzas fundamentales en la evolución y funcionamiento de los ecosistemas (Keddy, 1989).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Según Ford y Sorrensen (1992) esta relación entre el crecimiento y competencia se puede sintetizar en cinco axiomas básicos:

- Las plantas modifican su entorno al crecer, reduciendo los recursos disponibles para otras plantas con las que compiten.
- El principal mecanismo de competencia es la interacción espacial.
- Como consecuencia de la disminución de recursos, las plantas van reduciendo su crecimiento y el efecto final de la competencia es la muerte.
- Las plantas se adaptan a los cambios de su entorno, responden a la competencia y modifican la naturaleza de la competición.
- En los procesos de competición hay diferencias entre especies.

Todavía no se conocen bien los mecanismos que regulan los procesos de competencia y adaptación de los árboles a ésta, aunque se acepta universalmente que uno de los efectos de la competencia que más afecta al crecimiento de un árbol es la interacción espacial con otros árboles (Gadow *et al.*, 2001). Una forma de medir esta interacción es a través de la utilización de índices. Un índice de competencia es cualquier índice que estima la competencia total a la que se ve afectado el crecimiento de un árbol (Biging y Dobbertin, 1992).

La literatura señala varias clasificaciones sobre índices de competencia, aunque gran parte de éstas coinciden en que la división clásica de Munro (1974) es una de las más aceptadas. Según este autor, los índices de competencia se pueden agrupar en dos categorías:

- Índices independientes de la distancia. Estos índices no tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles, por lo que no requieren la

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

obtención de las coordenadas de los mismos. Los efectos de la competencia se introducen a través de funciones simples de las variables de masa o de dimensiones de los individuos.

- Índices dependientes de la distancia. Estos índices tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles. Consideran que las variables de masa y las dimensiones de los individuos no son suficientes para explicar la competencia ejercida por los árboles vecinos y requieren seleccionar los árboles que compiten con el árbol objetivo y determinar en qué grado lo hacen.

Los índices dependientes de la distancia se pueden dividir en tres grupos (Doyle, 1983): 1) índices basados en razones de tamaños ponderados por las distancias, 2) índices basados en la superposición de las copas o de las zonas de influencia de cada árbol y 3) índices basados en el espacio disponible para el crecimiento. A estos tres grupos se puede añadir un cuarto (Vanclay, 1994): 4) índices basados en el efecto de la sombra y la constricción sobre el crecimiento de un árbol.

La necesidad de predecir el crecimiento de las masas forestales y su respuesta a los tratamientos silvícolas ha sido uno de los objetivos fundamentales de la investigación forestal, ya que la clave para un manejo correcto se fundamenta en un profundo conocimiento de los procesos de crecimiento. En este sentido, los modelos de crecimiento son una herramienta muy valiosa para los responsables de la toma de decisiones y gestores forestales, al permitir predecir el desarrollo de una masa y, por tanto, facilitar la selección de las mejores alternativas de manejo en función de los objetivos fijados para cada situación específica, anticipándose a las consecuencias que una determinada acción tiene sobre el sistema (Castedo-Dorado, 2004).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

La mayoría de los modelos de crecimiento forestal pueden ser organizados en tres tipos, los cuales representan un amplio espectro de clases de modelos: modelos de rodal, modelos de clases de tamaños y modelos de árbol individual (García, 1998; Erviti, 1991; Vanclay, 1994; Davis *et al.*, 2001). El tipo de modelo a desarrollar depende tanto de los propósitos de su aplicación como de los recursos disponibles. Estos factores determinan también los datos necesarios y la exactitud de las estimaciones (Diéguez-Aranda, 2004).

Los modelos de masa o de rodal proporcionan directamente resultados por unidad de superficie, mientras que en los otros tipos de modelos los resultados de masa se obtienen agrupando los resultados de las clases diamétricas o de los árboles individuales.

Los objetivos del manejo forestal determinan en gran medida el tipo de modelo de crecimiento y producción a desarrollar, la metodología más adecuada para su elaboración y, consecuentemente, los datos necesarios y la resolución para las estimaciones (Vanclay, 1994). Los modelos de masa son, generalmente, los primeros en desarrollarse cuando se programa el estudio del crecimiento para una determinada especie y zona geográfica. Estos modelos utilizan variables de masa (p. ej. edad, índice de sitio, área basal, número de individuos por hectárea, etc.) como variable de partida, mientras que por lo menos alguna de las variables de partida en un modelo de árbol son variables de árbol individual, como el diámetro normal o la altura.

En el caso de los modelos de árboles independientes de la distancia, no se requiere ninguna información de la distribución espacial de los árboles. Sin embargo, los modelos de árbol dependientes de la distancia, incluyen o precisan una medición espacial de la competencia. La competencia entonces es expresada normalmente en función de la distancia entre un árbol determinado y sus vecinos, así como la talla de

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

dichos vecinos. Los modelos independientes de la distancia pueden usar variables predictivas que miden la densidad de la masa y, de esta forma expresan la competencia total en la misma (Pukkala, 1988, 1989; Vanclay, 1994; Van Laar y Akça, 1997).

Según Gadow y Hui (1999) y Schröder (2000), la cuantificación del efecto de la competencia es uno de los factores indispensables para la construcción de un modelo de árbol individual. La naturaleza del índice de competencia empleado va a definir el modelo de crecimiento obtenido.

En este trabajo se busca obtener una combinación de un índice de competencia y un método de selección de competidores de sencilla aplicación que sean integrados en un modelo de árbol individual que permita simular el crecimiento en diámetro de las principales especies comerciales de la región de Santiago Papasquiari, Durango.



## II HIPÓTESIS

Los modelos de crecimiento que incorporan índices de competencia dependientes de la distancia presentan un mejor comportamiento frente a aquellos que incluyen índices independientes de la distancia al predecir el incremento en diámetro normal en los bosques de la región de Santiago Papasquiari, Durango.

## III OBJETIVOS

- i) Comparar la capacidad predictiva de los índices independientes de la distancia frente a los dependientes de la distancia, e
- ii) Identificar el mejor índice de competencia y/o la mejor combinación índice de competencia-método de selección de competidores. El método de selección no deberá requerir mediciones de campo excesivas y ser fácil de incorporar en un modelo de árbol individual de incremento en diámetro.

### 3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un modelo de crecimiento en diámetro que incorpore la competencia para las principales especies del género *Pinus* en los bosques de la región de Santiago Papasquiari, de Durango.
- Seleccionar el mejor índice que describa el efecto de la competencia en el incremento en diámetro
- Definir el criterio de selección de competidores más apropiado para la cuantificación de la competencia

#### **IV ANTECEDENTES**

Desde hace varias décadas, el estudio de la influencia de la competencia en el crecimiento de árboles individuales y de masas forestales ha llamado la atención de los investigadores forestales. A través del tiempo se han propuesto varios índices de competencia, algunos de ellos con métodos muy complejos para su estimación. En ese sentido, Lorimer (1983) y Martín y Ek (1984) consideran que el área basal es una variable de gran utilidad en la determinación de los índices de competencia; por ejemplo, el índice independiente de la distancia de Glover y Hool (1979) transformado por Valles *et al.* (1998) para *Pinus cooperi*, y que utiliza el área basal, a aportado información muy valiosa en la cuantificación de la competencia en rodales puros de esta especie, ya que se han presentando buenas correlaciones con el crecimiento y la mortalidad, por encima de otros índices como el de área basal de Spurr (1962) y el de distancia tamaño de Hegyi (1974).

Los índices basados en las características de la copa de los árboles fueron propuestos por Biging y Dobbertin (1992), quienes encontraron que estos índices permiten realizar estimaciones aceptables de la competencia, especialmente para especies intolerantes.

Opie (1968), utilizó datos provenientes de parcelas de muestreo de rodales coetáneos de *Eucaliptus oblicua*, L.Herit y *E. viminalis* Labill. para analizar diferentes métodos para la estimación de la competencia basado en las zonas de influencia., para lo cual empleó modelos de crecimiento del árbol individual. Este autor comparó siete índices de competencia que consideran el área basal, encontrando que en dichas

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

especies estos índices pueden explicar hasta 82% de la variabilidad del incremento en área basal.

Daniels (1976), comparó índices de competencia de área de sobreposición, área de sobreposición por peso y relación tamaño–peso, basados en la distancia, analizando además la correlación entre el índice de competencia con el incremento anual en diámetro y el crecimiento en altura. El autor concluyó que cuando los competidores son seleccionados por técnicas de medición de ángulos las correlaciones con el crecimiento son mayores. Menciona además, que los índices de competencia que incluyen mediciones para estimar el nivel de competencia se puede realizar por medio de una zona de influencia alrededor del árbol sujeto con los árboles competidores.

En 1979, Alder desarrolló un modelo de simulación de incremento en diámetro para *Cupressus lusitánica*, *Pinus patula* y *Pinus radiata* en Kenya, Tanzania, Uganda y Malawi, evaluando la competencia sin considerar la ubicación de los árboles pero incluyendo el efecto del índice de sitio y la edad. Por otra parte, Martin y Ek (1984), evaluaron índices de competencia dependientes e independientes de la distancia a través de modelos de crecimiento en diámetro y en altura. Estos autores encontraron que los modelos con índices independientes de la distancia presentan buenos ajustes y que son exactos al proyectar el crecimiento en diámetro y altura. Señalan además, que los índices de competencia dependientes de la distancia requieren la especificación de restricciones en cuanto a la distancia máxima hacia los árboles considerados como competidores para el árbol objetivo.

Daniels *et al.* (1986), realizaron una comparación de medidas de competencia para predecir crecimiento en árboles de *Pinus taeda* utilizando datos de 16 parcelas ubicadas en el norte de Louisiana. Los índices estudiados fueron un índice

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

independiente de la distancia base-tamaño y cuatro índices dependientes de la distancia: índice de traslape de área de influencia, índice de relación tamaño-peso-distancia, índice de densidad puntual de Spurr y el índice de área potencialmente disponible (APA). Los autores encontraron una correlación significativa del crecimiento del área basal con todos los índices de competencia analizados, destacando que los índices independientes de la distancia presentan ventaja sobre los dependientes de la distancia al cuantificar la competencia, y que el índice de densidad de Spurr y el de área potencialmente disponible (APA) predicen significativamente mejor el crecimiento.

Brand y Magnussen (1989), formularon hipótesis sobre los procesos de competencia en bosques manejados de pino rojo de edad uniforme. Establecieron experimentos de densidades, estudiando la tasa de crecimiento para árboles individuales en rodales con diferente densidad. Ellos encontraron que la competencia muestra una tendencia asimétrica, observando que los árboles más pequeños crecen más rápidamente que los árboles grandes. Por otro lado, los árboles más grandes afectan a los árboles más pequeños, pero en algún grado los árboles más pequeños también causan reducción del crecimiento en grandes vecinos.

Nance *et al.* (1987), evaluaron índices de competencia en el noreste de Mississippi. Los datos fueron obtenidos por separado estudiando la situación de cada árbol en cada experimento, apoyados en el programa de cómputo FORTRAN 77, formulado para conocer el borde o límite del polígono a una edad dada. Los autores desarrollaron un nuevo índice de competencia (APA2) basado en modificaciones al índice de área potencialmente disponible (APA), encontrando que el nuevo índice APA2 difiere del índice APA, en el área o tamaño del polígono que puede ser construido, mejorando la predicción del incremento en área basal del rodal.

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Tome y Burkhart (1989), desarrollaron y modificaron índices de competencia dependientes de la distancia para predecir el crecimiento en árboles individuales en plantaciones de *Eucalyptus globulus* y utilizaron para ello datos de 10 parcelas permanentes establecidas en 1975 en Portugal. Los autores presentaron nuevas formulaciones para los índices de relación tamaño–distancia y a los de sobre posición de área, comparándolos con índices publicados anteriormente, concluyendo con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), que el índice APA y especialmente los índices transformados son los que muestran la mejor correlación con el crecimiento de los árboles individuales.

En su trabajo sobre la comparación de índices de competencia dependientes de la distancia y su efecto en el crecimiento en área basal de árboles individuales de coníferas,

Biging y Dobbertin (1992), describen la capacidad predictiva de nueve índices de competencia dependientes de la distancia, siete índices de relación tamaño -distancia, uno de volumen y otro de superficie de copa relativa peso–distancia, usados para modelar el crecimiento en altura y diámetro para especies mixtas de coníferas del Norte de California. Los autores encontraron que la eficiencia del índice varía con la especie, dado que cada especie tiene diferente dinámica de crecimiento, que también es mejor cuando se elige el competidor mediante el ángulo en base a la altura total que con el diámetro normal.

Por su parte, Makinen (1996), estudió el efecto de competencia en la producción de biomasa, comparando datos de cinco variedades de pino escocés (*Pinus sylvestris* L). El efecto de competencia fue descrito por la modificación del índice de competencia de Hegyi (1974). Los resultados indican que el volumen total del árbol, así como el volumen del tallo e incremento de la masa, disminuye con el aumento en el valor del

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

índice de competencia. Además, el autor no encontró diferencias significativas entre variedades, y demostró que la densidad básica de la madera es afectada por la competencia.

En conclusión, son muchos los trabajos que se han realizado para analizar el efecto que la competencia ejerce sobre el crecimiento de los árboles, así como también son numerosas las investigaciones sobre la identificación de los árboles competidores sobre un árbol objetivo (Clark y Evans, 1954; Alemdag, 1978; Lorimer 1983; Tomé y Burkhart, 1989; Biging y Dobbertin, 1995; Bachmann, 1998).

Estos estudios se han realizado en varios países y para diferentes especies y en la mayoría de éstos se han encontrado mejoras en la estimación del crecimiento en diámetro cuando se ha incluido un índice de competencia en el modelo de árbol individual, en comparación con modelos simples que no los incluían (Bella, 1971; Pukkala y Kolström, 1987; Tomé y Burkhart, 1989; Biging y Dobbertin, 1992; Pretzsch *et al.*, 2002). Para una revisión más detallada, se recomienda consultar , entre otros, Makinen y Colin (1999), Miina y Pukkala (2000) y Ledermann y Stage (2001), Woodall *et al.* (2003), Hynynen y Ojansuu (2003), Álvarez *et al.* (2003), Canham *et al.* (2004) y Crecente-Ocampo' (2007).

De estos trabajos, destaca de manera particular el realizado por Álvarez *et al.* (2003) y Crecente-Ocampo (2007). Los primeros analizaron la influencia que tiene la competencia sobre el crecimiento en diámetro de árboles individuales de *Pinus radiata* en Galicia, España. Analizaron 14 índices de competencia distintos, nueve de ellos dependientes de la distancia y cinco independientes de la distancia, encontrando como los mejores índices para cuantificar la competencia a los independientes de la distancia principalmente el BAL (Basal área in larges trees) y el BAL modificado (BALMOD). Por su parte, Crecente (2007), desarrolló un modelo de incremento

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

anual en diámetro para plantaciones de *Pinus patula* D. Don, también en Galicia. Analizó el efecto de la competencia con el empleo de siete índices independientes de la distancia y once dependientes de la distancia, concluyendo al igual que los anteriores, que el BALMOD es el índice de competencia más adecuado para cuantificar la competencia y ser incluir en un modelo de incremento en diámetro para la especie mencionada.

En México, y específicamente en Durango, los trabajos sobre competencia son todavía escasos, sin embargo, es de destacar el realizado por Corral-Rivas *et al.* (2005), sobre la influencia de la competencia en el crecimiento en sección de *Pinus cooperi* Blanco en los bosques de la región de El Salto, Durango. Este estudio integra el índice de competencia en un modelo de crecimiento en área basal de árbol individual. Los resultados obtenidos con este modelo se compararon con los obtenidos con un modelo que no incluye ningún índice de competencia, con el objetivo de cuantificar la aportación de éste en la capacidad estimativa del modelo. De los 18 índices de competencia probados, seis de ellos eran independientes de la distancia y doce dependientes de la distancia utilizando doce criterios de selección de competidores, concluyendo que el mejor índice de competencia fue el independiente de la distancia BALMOD.

Romero (1993), estudió los niveles de competencia en plantaciones de *Pinus patula* en Huayacocotla, Veracruz, en función de mediciones de la copa y variables relacionadas con el tamaño del árbol. Como índice de competencia analizó la relación de la altura total de un árbol con su altura de fuste limpio, y concluye que el área foliar (AF) es la variable de mayor relación con el tamaño del árbol en diámetro, altura y volumen. Por otra parte al analizar la competencia, observó que la longitud de copa expuesta es la variable más significativa, ya que en forma multiplicativa, con

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

la distancia promedio de un árbol y sus competidores, explico el 70% de la variación total en área del follaje.

Valles (1994), evaluó nueve índices de competencia dependientes de la distancia para predecir el crecimiento de árboles individuales con datos provenientes de 36 sitios permanentes del Área Experimental “Cielito Azul”, ubicada en bosques del predio Veredas Lote 4, del municipio de San Dimas, en el Estado de Durango, evaluando todos los índices a través de dos modelos de incremento en diámetro, dos de incremento en altura y un modelo de mortalidad. Con base en los resultados, los índices de densidad puntual de Spurr, el área basal de Glover y Hool, el de pesos ponderados y el de espacio de crecimiento fueron altamente significativos para predecir el crecimiento en diámetro, mientras que para la predicción del incremento en altura, los índices de área basal de Glover y Hool y el de espacio de crecimiento-altura con radio variable presentaron los mejores resultados. Con base en el modelo de mortalidad este autor señala que el índice de densidad puntual de Spurr, el de área basal de Glover y Hool, el de relación de pesos ponderados y el de densidad puntual de Spurr con radio fijo, fueron los mejores para predecir la mortalidad. Finalmente, encontró a través de un análisis cualitativo que el índice de área basal modificado mostró ser superior a todos los demás.

De igual forma, Valles *et al.* (2003) evaluaron 11 índices de competencia independientes de la distancia en la misma área experimental “Cielito azul”. Los índices se derivaron del índice de área basal de Glover y Hool (1979). Los autores encontraron que el índice de diámetro cuadrático (IDC) y el índice de longitud de copa (ILC) fueron los mejores para predecir el crecimiento en diámetro.

Finalmente, Valdez (2003) evaluó 12 índices de competencia independientes de la distancia para predecir el crecimiento de árboles individuales en 12 sitios



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

permanentes del sitio experimental “ Mesa Verde”, ubicado en bosques del Ejido Vencedores, del municipio de San Dimas, Durango. Los 12 índices fueron desarrollados con base en el índice de área basal de Glover y Hool (1979). El autor menciona que todos los índices se evaluaron a través de modelos de incremento en diámetro e incremento en altura. Los resultados obtenidos por este autor, indican que el índice de amplitud de copa por densidad fue altamente significativo para predecir el crecimiento en diámetro. Sin embargo, en la predicción del incremento en altura los índices de área basal y el de diámetro cuadrático presentaron una correlación más alta.

## **V METODOLOGÍA**

### **5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El trabajo se llevó a cabo en el ejido San Diego de Tezains, municipio de Santiago Papasquiario, Durango, México, el cual se ubica geográficamente en las siguientes coordenadas:  $105^{\circ} 53' 36''$  y  $106^{\circ} 12' 40''$  Longitud Oeste y  $24^{\circ} 48' 16''$  y  $25^{\circ} 13' 32''$  Latitud Norte. Se localiza en la región noroeste del Estado de Durango, en la Sierra Madre Occidental a 105 km de la ciudad de Santiago Papasquiario. El acceso al área de estudio se da por la carretera Los Herrera - Topia, desviándose en Altares por el camino Altares - Nuevo San Diego, el cual tiene una distancia de 16 km (fig. 1).

# Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango



Figura 1. Ubicación del área de estudio

## 5.1.1 Ubicación geográfica

El ejido San Diego de Tezains está comprendido dentro de los municipios de Santiago Papasquiario, Tepehuanes, Topia, Canelas y Otáez, la mayor parte de su territorio está dentro del municipio de Santiago Papasquiario, Durango. Las cordilleras montañosas de la Sierra Madre Occidental, están dispuestas en direcciones variables, pero predominan las exposiciones noroeste y en segundo lugar las exposiciones noreste. La altitud media es de aproximadamente 2,400 m, siendo la mayor altura de 3,006 m sobre el nivel del mar, y la más baja de 800 m (Ejido San Diego de Tezains, 2006).

## 5.1.2 Edafología

Los principales grupos de suelo que se encuentran en el ejido son el cambisol, litosol, luvisol, regosol y feozem, según la clasificación de unidades FAO/UNESCO (1970), modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (cita).

La descripción de las unidades que forman las asociaciones de suelos es la siguiente:

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Suelo	Descripción
Litosol (I)	es un suelo de distribución muy amplia, se encuentra en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Son suelos sin desarrollo, con profundidad menor de 10cm, tiene características muy variables, según el material que lo forma. La susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentren pudiendo ser de moderada a alta.
Regosol éútrico (Re)	se caracteriza por no presentar capas distintas, son claros y se parecen a la roca que les dio origen, se puede presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación, su susceptibilidad a la erosión es muy variable y depende del terreno en que se encuentren.
Cambisol (B)	es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima menos de zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación, en el subsuelo tiene una capa con terrones que presentan un cambio con respecto al tipo de roca subyacente, con alguna acumulación de arcilla, calcio, etc., la susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.
Feozem (H)	tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutriente, se encuentra en algunos bajíos y mesetas de la zona. En condiciones naturales tiene casi cualquier tipo de vegetación, se encuentran en terrenos desde planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno de donde se encuentren. En la región se combina con Regosoles y Cambisoles
Luvisol (L)	son suelos lavados, tienen acumulación de arcilla en el subsuelo, localizado en zonas templadas y semitropicales lluviosas, la vegetación que sustentan es selva baja subcaducifolia y bosques; son suelos rojos o claros, moderadamente ácidos y de susceptibilidad alta a la erosión.

### 5.1.3 Clima

Según la clasificación de climas de Köppen modificada por Enriqueta García (UNAM, 1970), los tipos de climas que se presentan en el Ejido de San Diego de Tezains son los siguientes:

- (A)C(w<sub>2</sub>) Es un clima semicálido templado subhúmedo con lluvias en verano
- Aw1 Es un clima cálido subhúmedo, lluvias de verano del 5 al 10.2 % anual.
- C(w<sub>1</sub>) Es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano del 5 al 10.2 % anual.

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- C(W<sub>2</sub>) Es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano del 5 al 10.2 % anual
- Cb'(w<sub>2</sub>)x' Es un clima templado semifrío con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias en verano mayores al 10.2 % anual.

### **5.1.4 Fisiografía**

Las unidades fisiográficas del predio están compuestas por sierras, mesetas y profundos cañones, donde ocasionalmente se encuentran pequeñas mesetas, valles y llanos generalmente menores de 100 ha. La sierra constituye la parte alta de las cuencas, de donde nacen los cañones y cañadas que dan vida a arroyos y ríos que desembocan en el estado de Sinaloa particularmente en los ríos San Lorenzo y Culiacán.

### **5.1.5 Ubicación hidrológica**

El ejido San Diego de Tezains se ubica en la región hidrológica Sinaloa (10) que comprende parte de la cuenca Río San Lorenzo (B) y parte de la cuenca Río Culiacán (C). Para el predio en cuestión, la cuenca Río San Lorenzo comprende tres subcuencas: quebradas de las vueltas (c) con una microcuenca y cuatro submicrocuencas, Río San Gregorio (d) con ocho microcuencas y 59 submicrocuencas, y Río de Los Remedios (e) con dos microcuencas y cuatro submicrocuencas. La Cuenca Río Culiacán abarca la subcuenca Río de Los Lobos (f) que comprende cuatro microcuencas y 16 submicrocuencas.

### **5.1.6 Tipo de vegetación**

En el Ejido San Diego de Tezains existe una gran diversidad de especies vegetales representadas por estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo. El primero está

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

representado por diferentes géneros y especies pero predominan *Pinus arizonica*, *P. durangensis*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii*, *P. herrerae*, *P. lumholtzii*, *P. ayacahuite*, *Juniperus deppeana*, *Cupressus sp*, *Pseudotsuga menziesii*, *Abies duranguensis*, *Quercus durifolia* Seeman, *Q. eduardii* Trel, *Q. conzattii* Trel, *Q. coccolobifolia* Trel, *Q. sideroxila* Humb Bonpl, *Q. candicans* Nee, *Q. resinosa* Liebm, *Q. rugosa* Nee, *Q. crassifolia* Humb Bonpl, *Arbutus xalapensis*, *Arbutus chapensis*, encontrándose también de manera aislada *Alnus acuminata* y *Populus alba* existe amplia dominancia de las especies de pino sobre las demás que se citan en la mayor parte de la superficie el ejido.

En el estrato arbustivo predominan las especies del género *Quercus*, *Arbutus* y *Juniperus* citadas arriba pero en su fase arbustiva, además se encuentran las especies *Quercus castanea* Nee, *Quercus grisea* y *Quercus chihuahuensis*, además de *Arctostaphylos pungens*, principalmente.

Las principales asociaciones vegetales presentes en el área de estudio son:

### ***i) Bosque de pino***

Este tipo de vegetación está constituido por especies arbóreas de fuste recto, de talla baja y mediana, altura de 8 a 25 m, excepcionalmente más de 35 m, hoja acicular en fascículos, perenne, caracterizado por la dominancia del género *Pinus* y su distribución es amplia en todas las cadenas montañosas del país (INEGI, 1992). El grueso de la masa forestal de pinos mexicanos se desarrolla a altitudes entre 1,500 y 3,000 m, aunque también se les ha registrado en áreas de clima caliente a 150 m sobre el nivel del mar, y a niveles superiores de más de 4,000 m (Rzedowski, 1978). El grosor de los fustes comúnmente varía entre 20 y 60 cm.; la densidad de estos

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

bosques es también variable según la región de que se trate, composición, desarrollo de la masa arbórea, etc.

Este grupo de vegetación constituye uno de los recursos naturales renovables de mayor importancia en el estado, tanto por la magnitud de su distribución como por el valor económico que representa.

### **ii) Bosque de pino - encino**

La fisonomía característica se la imprime la dominancia de especies perennifolias pertenecientes a los géneros *Pinus* y *Quercus*, siendo por ello una comunidad vegetal arbórea con un estrato superior de 20 m de alto. Los componentes florísticos en el estrato arbóreo está representado por diferentes especies de pino: *Pinus arizonica*, *P. durangensis*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, *P. ayacahuite*, *P. engelmannii*, así como por diferentes especies de encino: *Quercus rugosa*, *Q. Sideroxyla*, *Q. crassifolia*, *Q. striatula*, *Q. durifolia*, *Q. laeta* y *Q. coccolobifolia*, existen además varias especies de madroño: *Arbutus bicolor*, *A. madrensis*, *A. tessellata*, *A. arizonica*, *A. xalapensis*, encontrándose también de manera aislada *Prunus serotina* y *Alnus acuminata*; hay dominancia de las especies de pino sobre las especies de encino. Este tipo de vegetación se presenta en la mayor parte de la región.

### **iii) Bosque de encino - pino**

Comunidad de árboles de los géneros *Quercus* y *Pinus*, con dominancia del primero. Se desarrolla en diferentes condiciones ecológicas, siendo frecuente en áreas forestales muy explotadas, en condiciones de disturbio del bosque de pino o de pino encino y por altitud del terreno. Principalmente este tipo de bosque se presenta en las partes donde la cobertura vegetal es pobre.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**iv) Bosque de encino**

Bosque formado por individuos del género *Quercus* (encino, roble) en muy diferentes condiciones ecológicas, que abarcan desde cerca del nivel del mar hasta los 2,800 m sobre el nivel del mar.

**v) Selva baja caducifolia**

Esta comunidad vegetal se caracteriza por la abundancia de individuos donde la mayoría (75 – 100%) tiran las hojas en la época seca; sus componentes florísticos son los siguientes: *Bursera excelsa*, *Bursera fagaroides*, *Bernardia mexicana*, *Cerba acuminata*, *Lysiloma divarigata*, *Jacarita mexicana*, *Ipomoea murocoides*, *Ipomoea spp*, *Pithecelobium dulce*, *Prosopis juliflora*, *Acacia primgley*, *A. pennatula*, *Erithryna spp*, *Ceiba acuminata*, *Cordia spp*, *Echinocereus poyacanthus*, *Yuca spp*, *Agave asperrima*, *Feracactus pringlei*, *Mamillaria magnimamma*, *Origanum vulgare*, *Capsicum frutescens*.

**vi) Estrato arbustivo**

Dominan las siguientes especies: *Juniperus depeana*, *Arctostaphylos pungens*, *Quercus aff. bipedallis*, *Pithecellobium leptophyllum*, y de manera escasa *Rhamnus microphylla* y *Ceanothus ochraceus*.

**vii) Estrato herbáceo**

Las especies de herbáceas que se presentan con mayor frecuencia en el ejido son; margariton, lanten (*Plantago major*), fresa silvestre (*Fragaria vesca*), helecho (*Pteridium aquilinum*), hoja de gallina, yerbaniz, zacate navajilla (*Bouteloua hirsuta*), zacate pajon (*Mulenbergia rigida*), zacate liendrilla (*Mulenbergia emerslevy*), manzanilla (*arctostaphylos pungens*), poleo, zarzamora (*Rubus sp*),

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

laurel hiedra, oreganillo, jarilla (*Bacharis salicifolia*), madreSelva (*Lonicera pilosa*) y peyote (*ariocarpus fissauratus*), principalmente.

### 5.1.7 Fauna

El área de estudio presenta una variedad considerable de fauna silvestre, la cual varía dependiendo del tipo de bosque y de su hábitat, Las especies de fauna reportadas son; aves, anfibios, mamíferos, reptiles entre otros.

## 5.2 MÉTODOS

### 5.2.1 Datos

Los datos empleados en este trabajo provienen de 66 Sitios Permanentes de Investigación Silvícola (SPIS) parcelas permanentes instaladas en masas irregulares de la región noroeste del estado de Durango. En el establecimiento de los SPIS se consideraron aspectos sobre las condiciones ecológicas en que habitan las especies forestales, su distribución, los tipos de exposición y las condiciones topográficas, así como las distintas clases de desarrollo de las especies en estudio bajo distintos tratamientos silvícolas. Se buscó que el área donde se establecieran las parcelas permanentes tuviera como mínimo un periodo de 5 años sin ser intervenida silvícolamente. Para su establecimiento se utilizó la metodología desarrollada por Manzanilla (1993); no obstante, ésta fue modificada en cuanto a las dimensiones del sitio. El diseño de los sitios fue de la siguiente manera:

El trazo de los sitios fue cuadrado, de 50\*50 m (2500 m<sup>2</sup>), con un cuadrado interior de 30\*30 m (900 m<sup>2</sup>) (fig 2). En la parte del cuadro exterior se realizaron mediciones generales y tuvo la función de franja de protección.



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

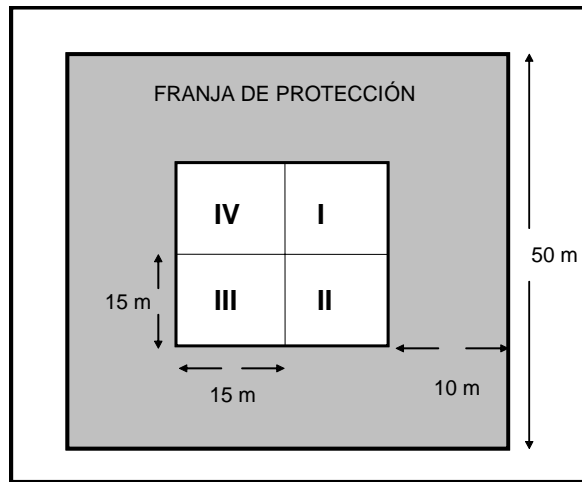


Figura 2. Esquema general para el establecimiento del SPIS

El cuadrado interior, el cual está dividido en cuatro cuadrantes numerados en el orden del sentido de las manecillas del reloj, es básicamente el área que contempla las mediciones, es decir, donde se tomó la información ecológica y de control, silvícola y dasométrica, sobre generación natural e información de incrementos;. Para realizar el trazo, primeramente se localizó el centro del sitio, teniendo cuidado de que éste no presentara señales de disturbio; para la elección del lugar se consideró la productividad de los rodales, índice de sitio, pendiente. Después se procedió a la determinación de los rumbos francos (Norte, Sur, Este y Oeste) y a partir del centro del sitio se fijaron distancias de 15 metros, posteriormente se fijaron los vértices bisectando ángulos de  $45^\circ$  al Noreste, Noroeste, Suroeste y Sureste, de tal manera que se conformaran los cuatro cuadrados donde posteriormente se realizarían todas las mediciones. A cada árbol dentro del sitio se le midió el diámetro normal con ayuda de cinta métrica (cm); la altura total (m) y la altura del fuste limpio (m) utilizando el hipsómetro digital Vertex III; el diámetro de copa en cruz con cinta métrica (cm), el espesor de corteza con calibrador de corteza (mm) y el crecimiento radial sin corteza de los últimos cinco años con barrena de Pressler (mm). Además, en cada parcela se determinaron otras variables como edad,

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

altura media y dominante, densidad, área basal, diámetro medio cuadrático, diámetro medio aritmético, diámetro dominante, estimadas de la siguiente manera:

### **5.2.2 Descripción dasométrica**

#### ***i) Edad media***

Esta variable ha sido calculada a partir del conteo de muestras extraídas con el taladro de Pressler.

#### ***ii) Número de árboles por hectárea***

La densidad expresada como el número de árboles por hectárea, se determinó a partir de los datos del número de árboles vivos e inventariables en cada parcela y la superficie en proyección horizontal de la misma, empleando la siguiente relación:

$$N = \frac{10000 * n}{s} \quad [1]$$

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

#### ***iii) Área basal***

El área basal se calculó trasladando a valores por hectárea la suma de las secciones normales de todos los árboles inventariables presentes en la parcela. Este valor engloba la sección aportada por los árboles de diámetro normal mayor de 5 cm y que se encontraron vivos en el momento de realizar el inventario.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

$$G = \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot \frac{10000}{S} \quad [2]$$

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

**iv) Diámetro medio cuadrático**

El diámetro medio cuadrático es el diámetro normal correspondiente al árbol de área basal media, su valor por tanto se puede determinar a partir del área basal de la parcela y a partir de la densidad:

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad [3]$$

Donde:  $d_g$  es el diámetro medio cuadrático (cm),  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  (cm),  $n$  es el número de árboles por parcela,  $N$  el número de árboles por ha y  $G$  es el área basal ( $m^2/ha$ ).

**v) Diámetro medio aritmético**

Esta variable se puede calcular a partir de la distribución diamétrica como media de los diámetros de los árboles de cada clase diamétrica o de forma más exacta, directamente a partir de los diámetros de todos los arboles inventariables de la parcela, según la siguiente expresión:

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [4]$$

Siendo:  $d_m$  el diámetro medio (cm),  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  (cm) y  $n$  el número de árboles por parcela.

**vi) Varianza diamétrica**

La varianza diamétrica se define como la media de los cuadrados de las desviaciones del diámetro de cada árbol con respecto al diámetro medio. La varianza de la muestra  $S^2$  se ha calculado como:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - d_m)^2}{n} \quad [5]$$

donde  $S^2$  es la varianza ( $\text{cm}^2$ ),  $d_i$  es diámetro normal del árbol  $i$  (cm),  $d_m$  el diámetro medio (cm) y  $n$  el número de árboles inventariables en la parcela

**vii) Altura media**

La altura media  $H_m$  se calculó como la media aritmética de las alturas totales de todos los árboles inventariables en cada parcela.

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad [6]$$

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

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

### **viii) Altura dominante**

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

$$H_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} h_{oi}}{n_o} \quad [7]$$

Donde:  $H_o$  es la altura dominante (m),  $h_{oi}$  es la altura del árbol dominante  $i$  y  $n_o$  es el número de árboles dominantes medidos en la parcela, cuyo valor depende de la superficie de la misma.

### **ix) Diámetro dominante**

Es la media de los diámetros correspondientes a los 100 árboles más gruesos por hectárea:

$$D_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} d_{oi}}{n_o} \quad [8]$$

Donde:  $D_o$  es el diámetro dominante (cm),  $d_{oi}$  es el diámetro correspondiente a un árbol dominante  $i$  (cm) y  $n_o$  es el número de árboles dominantes medidos en la parcela.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

La tabla I se presenta los valores promedio de los datos utilizados en el presente estudio.

**TABLA I**  
**VALORES PROMEDIO DE LOS DATOS UTILIZADOS**

<b>Descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
Densidad	156	1378	607
Diámetro cuadrático	15	35	25
Diámetro medio	15	30	20
Altura media	5	15	10
Altura dominante	5	25	15
Diámetro dominante	15	70	30

### **5.3 INDICES DE COMPETENCIA ANALIZADOS**

El concepto de competencia ha sido estudiado por un gran número de autores desde hace más de medio siglo y para distintas especies (Clark y Evans, 1954; Arney, 1973; Alemdag, 1978; Lorimer, 1983; Tomé y Burkhart, 1989; Reynnols y Smith, 1993; y Biging y Dobbertin, 1995) y se a cuantificado mediante los llamados “índices de competencia”, que tratan de asignar un valor a la influencia que sobre el espacio vital de un árbol de referencia ejercen los individuos que lo rodean.

En este estudio se utilizó la clasificación de índices de competencia de Munro (1974), los cuales se describen a continuación.

#### **5.3.1 Índices de competencia independientes de la distancia**

Los índices independientes de la distancia no tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles y evalúan la competencia con variables de masa, por lo que se asume que todos los árboles compiten entre sí.

La expresión matemática de los índices independientes de la distancia analizados en el presente trabajo se presenta en la tabla II. Algunos de estos índices han proporcionado buenos resultados en estudios previos (Pukkala y Kolström, 1987; Tomé y Burkhart, 1989; Biging y Dobbertin, 1992; Valles *et al.*, 1998; Bachmann, 1998; Schröder y Gadow, 1999; Álvarez *et al.*, 2003; Corral *et al.*, 2004; Calama y Montero, 2005).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**TABLA II**  
**EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE LOS ÍNDICES DE COMPETENCIA INDEPENDIENTES**  
**DE LA DISTANCIA ANALIZADOS**

Índice	Origen	Expresión
<b>IC<sub>1</sub></b>	Fracción de cabida cubierta (FCC)	$\left( \sum_{i=1}^n (\pi \cdot d_{copa_i}^2) / 4 \right) / S$
<b>IC<sub>2</sub></b>	Krajicek et al. (1961)	$\left( \sum_{i=1}^n (\pi \cdot d_{copa\ max_i}^2) / 4 \right) / S$
<b>IC<sub>3</sub></b>	Wykoff et al. (1998) (BAL)	$\sum_{i=1}^n (\pi \cdot d_{mayor_i}^2) / 4 = BAL_i$
<b>IC<sub>4</sub></b>	Schröder y Gadow (1999) (BALMOD)	$(1 - [1 - (BAL_i / G)]) / I.Hart$
<b>IC<sub>5</sub></b>	Relación diámetro/diámetro medio cuadrático	$d_i / d_g$
<b>IC<sub>6</sub></b>	Relación área basal /área basal de la parcela	$g_i / g_g$

Donde:

$d_{copa_i}$ : diámetro de copa del árbol seleccionado (m).  $S$ : superficie de la parcela ( $m^2$ ).  $d_{copa\ max_i}$ :



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

---

diámetro de copa máximo ( en crecimiento libre) del árbol seleccionado (m).  $d_{mayor_i}$ : diámetro normal de los arboles mayores que el árbol seleccionado (cm). I. Hart: índice de Hart de la parcela.  $d_i$ : diámetro del árbol seleccionado (cm).  $g_i$ : área basal del árbol seleccionado ( $m^2$ ).  $G_i$ : área basal de la parcela ( $m^2$ ).

**IC<sub>1</sub>** Es la fracción de cabida cubierta (FCC), que expresa el área de las copas, proyectada sobre el plano horizontal, como una fracción de área total de la parcela.

**IC<sub>2</sub>** Representa el factor de competencia de copas (CCF), definido como el porcentaje del área de crecimiento que es ocupada por la proyección de copas, asumiendo que cada árbol crece libremente (sin competencia).

**IC<sub>3</sub>** Calcula la suma de las áreas basales de los árboles de mayor tamaño que el árbol seleccionado (BAL).

**IC<sub>4</sub>** Es una modificación del índice anterior, propuesta por Schröder y Gadow (1999), que incluye el área basal y el índice de Hart.

**IC<sub>5</sub>** e **IC<sub>6</sub>** son respectivamente los ratios entre el diámetro del árbol seleccionado y el diámetro medio cuadrático de la parcela, y entre su área basal y el área basal de la parcela.

---

### 5.3.2 Índices de competencia dependientes de la distancia

Los índices dependientes de la distancia tienen en cuenta la distribución espacial de los árboles. Se basan en considerar que las variables de masa no son suficientes para explicar la competencia ejercida por los árboles vecinos, y su empleo requiere la definición de un criterio que establezca qué árboles compiten realmente con el árbol analizado y en qué grado lo hacen. La expresión matemática se expresa en la tabla III.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

TABLA III

EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE LOS ÍNDICES DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA

Índice	Origen	Expresión
$IC_T$	Staebler (1951)	$\sum_{i \neq j} L_{ij}$
$IC_E$	Gerrard(1969)	$\sum_{i \neq j} o_{ij}/z_i$
$IC_N$	Bella (1971)	$\sum_{i \neq j} (o_{ij}d_j)/(z_i d_i)$

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

<b>IC<sub>10</sub></b>	Hegyí (1974)	$\sum_{i \neq j} d_j / (d_i \text{Dist}_{ij})$
<b>IC<sub>11</sub></b>	Alemdag (1978)	$\sum_{i \neq j} \left\{ \pi [(Dist_{ij} d_i) / (d_i + d_j)]^2 (d_j / Dist_{ij}) / \sum (d_j / Dist_{ij}) \right\}$
<b>IC<sub>12</sub></b>	Martin y Ek (1984)	$\sum_{i \neq j} (d_j / d_i) \exp \left\{ (16 Dist_{ij}) / (d_i + d_j) \right\}$
<b>IC<sub>13</sub></b>	Daniels <i>et al.</i> (1986)	$(d_i^2 n) / \sum_{i \neq j} d_j^2$
<b>IC<sub>14</sub></b>	Braathe (1980) citado POR Pukkala y Kolström (1987)	$\sum_{i \neq j} h_j / (h_i Dist_{ij})$
<b>IC<sub>15</sub></b>	Biging y Dobbertin (1992)	$\sum_{i \neq j} CC_j / (CC_i (Dist_{ij} + 1))$
<b>IC<sub>16</sub></b>	Valles <i>et al.</i> (1998)	$\sum_{i \neq j} \left[ (d_j / d_i) + (h_j / Dist_{ij}) + \left( \sqrt{\frac{CC_j}{CC_i}} \right) + (h_j / h_i) \right] / n$
<b>IC<sub>17</sub></b>	Valles <i>et al.</i> (1998)	$n CC_i / \sum_{i \neq j} \sqrt{CC_j} / \pi$

**Donde:**  $L_{ij}$ : Longitud del segmento que une los centros del árbol seleccionado y su competidor, incluida en el área de solapamiento de sus zonas de influencia (m).  $Z_i$ : Área de la zona de influencia del árbol seleccionado ( $m^2$ ).  $d_i$ : Diámetro normal del árbol seleccionado (cm).  $d_j$ : Diámetro normal del árbol competidor (cm).  $Dist_{ij}$ : Distancia en proyección horizontal entre el árbol seleccionado y el árbol competidor (m).  $CC_i$ : Superficie de la copa en proyección horizontal del árbol seleccionado ( $m^2$ ).  $CC_j$ : Superficie de la copa en proyección horizontal del árbol competidor ( $m^2$ ).  $n$ : número de árboles competidores.

$h_i$ : Altura total del árbol seleccionado (m).  $h_j$ : Altura total del árbol competidor (m).  $O_{ij}$ : Área de solapamiento entre las zonas de influencia del árbol seleccionado y del árbol competidor ( $m^2$ ), calculada según la ecuación propuesta por Lee y Gadaw (1997)

y,

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

$$O_{ij} = r^2 \cdot \left\{ \left( \frac{t^2 + r^2 - R^2}{2tR} \right) - \frac{t^2 + r^2 - R^2}{4t^2R^2} [4t^2r^2 - (t^2 + r^2 - R^2)]^{\frac{1}{2}} \right\} + R^2 \cdot \left\{ \arccos \left( \frac{t^2 - r^2 - R^2}{2tR} \right) - \frac{t^2 - r^2 + R^2}{2tR} [4t^2R^2 - (t^2 - r^2 + R^2)]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad [9]$$

Los primero tres índices IC<sub>7</sub> (Staebler, 1951), IC<sub>8</sub> (Gerrard, 1969) e IC<sub>9</sub> (Bella,1971) son índices basados en la superposición de las zonas de influencia, y consideran que existe una zona de influencia alrededor de cada árbol que determina sus posibilidades de crecimiento. En general se asume que el área de influencia es un círculo que representa el área, en proyección horizontal, en la cual el árbol compite por los recursos con los árboles que lo rodean. El radio de este círculo depende del tamaño del árbol, de forma que cuando mayor es éste más grande es su zona de influencia. Para su cálculo se supone que el árbol crece sin competencia y se utiliza la ecuación [10]

$$\ln dcm_i = -0.530 + 0.565 \ln d_i + 0.0007 \ln h_i + 0.272 h_i \quad [10]$$

donde  $\ln$  es el logaritmo neperiano,  $dcm_i$  es el diámetro de copa máximo (m) alcanzado si un árbol crece sin competencia, y  $d_i$  y  $h_i$  son el diámetro (cm) y la altura (m) del árbol seleccionado, respectivamente.

Los índices basados en razones de tamaños ponderados por las distancias, consideran que la competencia sobre un árbol ejercen los individuos que lo rodean, aumenta cuando se incrementa el tamaño de éstos y se reduce la distancia que los separa. Los índices restantes (IC<sub>10</sub> a IC<sub>17</sub>) son de este tipo. Los cuatro primeros utilizan el

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

diámetro normal como indicador de tamaño:  $IC_{10}$  (Hegyi, 1974),  $IC_{11}$  (Alemdag, 1978),  $IC_{12}$  (Martin y Ek, 1984) e  $IC_{13}$  (Daniels *et al.*, 1986).  $IC_{14}$  (Braathe, 1980; citado en Pukkala y Kolström, 1987) utiliza la altura total como indicador del tamaño de cada individuo e  $IC_{15}$  la superficie de copa en proyección horizontal, asumiendo que el crecimiento está relacionado con el área foliar del árbol (Kramer, 1988; Biging y Dobbertin, 1992; Nagel *et al.*, 2002). Los índices  $IC_{16}$  e  $IC_{17}$  fueron desarrollados por Valles *et al.* (1998) para analizar los efectos de competencia en masas de *Pinus cooperi* Blanco en México; el primero incluye variables del árbol y de masa, mientras que el segundo solamente la superficie de copa en proyección horizontal.

### 5.3.3 Criterios de selección de competidores

El valor de un índice de competencia depende tanto de su formulación matemática como del método utilizado para definir los vecinos como competidores (Bigging y Dobbertin, 1992). Se han propuesto varios métodos para elegir los árboles que compiten con un árbol determinado. Algunos de ellos consideran competidores a todos los árboles incluidos en un círculo de radio fijo centrado en el árbol objetivo (Hegyi, 1974). Otros métodos se basan en radios variables, normalmente ponderados por las dimensiones del árbol objetivo y sus competidores, por ejemplo el diámetro o la altura (Daniels, 1976, Ford y Diggle, 1981), y otros combinan dos o más criterios diferentes (Biggin y Dobbertin, 1992).

En este trabajo se han probado once criterios de selección de competidores denominados con los códigos  $C_1$  a  $C_{11}$  y que ya han sido ampliamente utilizados en trabajos de similares características (Martinez y Madrigal, 1982; Pukkala y

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Kolstrom, 1987; Holmes y Reed, 1991; Biging y Dobbertin, 1992; Mäkinen, 1997, Schröder y Gadow, 1999; Alvarez *et al.*, 2003; Corral-Rivas *et al.*, 2005).

El criterio C<sub>1</sub> selecciona como árboles competidores todos aquellos en una parcela móvil de Bitterlich con centro en el árbol objetivo y con un factor de área basal (FAB) igual a 4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Según esto, para que un árbol sea considerado como competidor del árbol objetivo su distancia a éste no puede ser superior a 25 veces su propio diámetro.

El criterio C<sub>2</sub> considera como árboles competidores todos los seleccionados con el criterio C<sub>1</sub> y además los árboles más cercanos que se localicen dentro de cada uno de los cuadrantes definidos por los cuatro puntos cardinales.

El criterio C<sub>3</sub> selecciona como competidores los cuatro árboles más cercanos al árbol objetivo.

El criterio C<sub>4</sub> propuesto por Biging y Dobbertin (1992), se basa en considerar competidores activos aquellos árboles cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base del árbol control con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal (Fig. 3).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

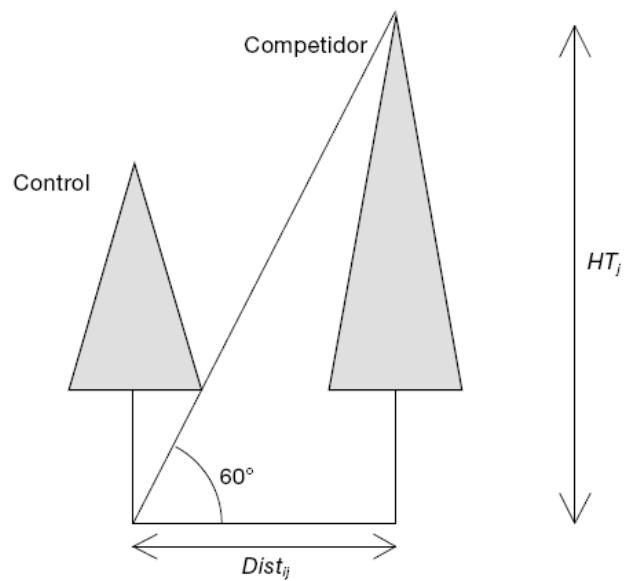


Figura 3. Criterio de selección de competidores C<sub>4</sub>

De la figura anterior se deduce que la relación entre distancias y altura que determina si un árbol se selecciona como competidor activo es la siguiente:

$$\operatorname{tg}60^{\circ} = \frac{HT_j}{Dist_{ij}} = 1.73 \rightarrow Dist_{ij} \leq \frac{HT_j}{1.73} \quad [11]$$

Donde:

**$Dist_{ij}$** : Distancia en proyección horizontal entre el árbol seleccionado y el árbol competidor (m). HT: altura total (m).

El criterio C<sub>5</sub> es parecido al anterior aunque en este caso la recta inclinada tiene su origen en la copa del árbol objetivo (Fig. 4).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

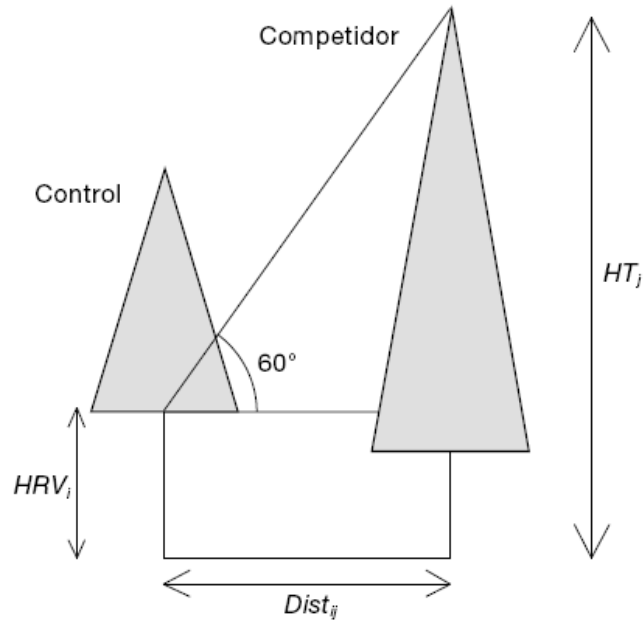


Figura 4. Criterio de selección de competidores C<sub>5</sub>

La relación entre la distancia y las alturas que determina si un árbol se selecciona como competidor activo:

$$\operatorname{tg}60^{\circ} = \frac{HT_j - HRV_i}{Dist_{ij}} = 1.73 \quad \rightarrow \quad Dist_{ij} \leq \frac{HT_j - HRV_i}{1.73} \quad [12]$$

donde:

**$Dist_{ij}$** : distancia en proyección horizontal entre el árbol seleccionado y el árbol competidor (m),  **$HT_j$** : altura total del árbol competidor (m),  **$HRV_i$** : altura del fuste limpio del árbol objetivo (m).

El criterio C<sub>6</sub> se basa en el concepto de zona de influencia, inicialmente propuesto por Staebler (1951). La zona de influencia potencial de un árbol está totalmente definida por un círculo cuyo centro está en la base de dicho árbol y cuyo radio depende del tamaño del mismo. Se consideran competidores activos todos aquellos



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

individuos cuya zona de influencia se solape con la zona de influencia del árbol objetivo (Fig. 5), en este trabajo se ha considerado como radio de la zona de influencia el valor máximo que podía alcanzar en el radio de la copa del árbol si estuviese creciendo sin competencia, determinado mediante la ecuación (10).

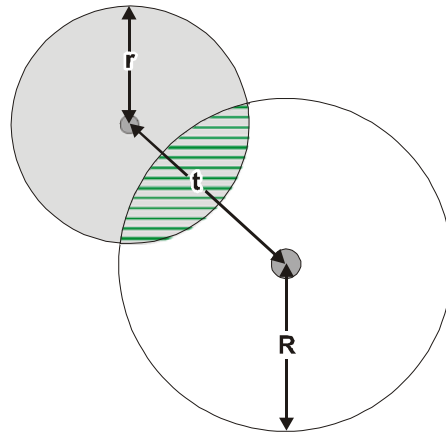


Figura 5. Criterio de selección de competidores  $C_6$ ,  $t$  es el área de solapamiento entre las zonas de influencia del árbol objetivo y del árbol competidor

El criterio  $C_6$  es el único que se puede emplear con los índices de competencia basada en el concepto de la zona de influencia:  $IC_7$ ,  $IC_8$  e  $IC_9$ .

Los criterios  $C_7$  a  $C_{11}$  tienen en cuenta el concepto de ángulo de eliminación de competencia (Lee y Gadaw, 1997), según el cual se selecciona como primer competidor activo el individuo más cercano al árbol objetivo. A continuación se delimita un sector singular con un ángulo determinado y cuya bisectriz es la línea que une el árbol objetivo y el seleccionado. Todos los árboles incluidos en dicho sector singular que se sitúan detrás del árbol seleccionado se descartan como posibles competidores activos. El proceso continúa con la selección del siguiente individuo más cercano al árbol objetivo y situado fuera del primer sector circular, repitiendo el proceso hasta identificar todos los competidores activos (Fig. 6). El número de competidores activos disminuye a medida que aumenta el ángulo de eliminación de

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

competencia. Se han utilizado ángulos de eliminación de competencia de 90, 75, 60, 45 y 30 grados, que definen los criterios  $C_7$  a  $C_{11}$ , respectivamente.

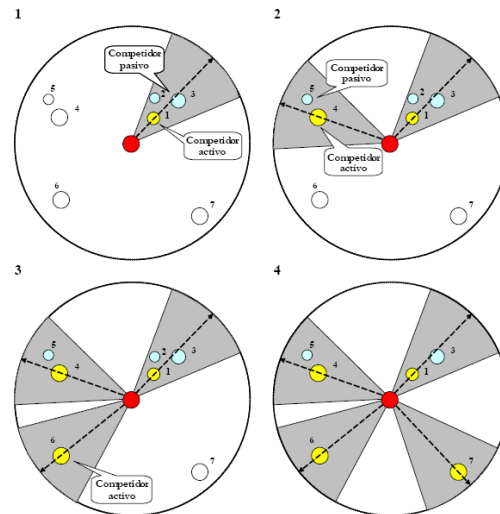


Figura 6. Representación de la metodología de selección de competidores según el concepto de ángulo de eliminación de competencia

Independientemente del criterio de selección de competidores empleado, ha de cumplirse la restricción de que no pueden ser seleccionados como competidores aquellos árboles que se encuentren a una distancia del árbol objetivo mayor o igual que la suma de los radios de copa máximos del árbol objetivo y del árbol competidor (suponiendo que los árboles crecen sin competencia y calculados con la ecuación [10]).

### 5.3.4 Efecto de borde

Los árboles que se encuentran al borde de la parcela posiblemente tienen competidores fuera de ésta por lo que no se pueden considerar como árboles objetivos en el cálculo de los índices de competencia. Para evitar sesgos con este tipo de árboles los índices de competencia se calcularon únicamente para aquellos árboles cuyos competidores estaban dentro de la parcela inventariada, y el modelo se ajustó

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

únicamente con estos datos. Esto se aseguró estableciendo un *buffer* o zona de amortiguación en los bordes de la parcela, de forma que sólo se seleccionaron como árboles objetivo los situados a una distancia del borde de la parcela mayor o igual a la suma de su radio de copa máximo y del radio de copa máximo del mayor árbol de la parcela, en condiciones de no competencia, calculados ambos con la ecuación [10].

### **5.4 MODELOS DE INCREMENTO EN DIÁMETRO UTILIZADOS**

El crecimiento en diámetro de un árbol depende de un gran número de factores, entre los que se pueden citar el tamaño del árbol, la edad, el tamaño de copa, características ambientales (definidas por alguna medida de la calidad de estación como el índice de sitio), características genéticas y la competencia entre individuos por luz, agua, nutrientes y espacio de crecimiento. Un modelo de incremento en diámetro de árbol individual debe considerar todos estos factores, lo que resulta difícil.

Normalmente los árboles no se remiden todos los años. Si alguien pretende conseguir un cálculo preciso del patrón de crecimiento a lo largo del tiempo, los árboles deberían remedirse en intervalos cortos (Parresol, 1995). En este trabajo, se utilizaron datos de incremento en diámetro provenientes del análisis de virutas de incrementos, en las cuales se midió el grosor de los últimos cinco anillos.

Se ajustaron diferentes tipos de modelos para predecir el incremento en diámetro de árbol individual mediante la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) y la utilización del software estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2004). La expresión matemática básica de los modelos analizados es la siguiente:

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

$$\Delta d_i = X\alpha \quad [13]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 d_i^{\alpha_2} e^{\alpha_3 t} \quad [14]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 d_i^{\alpha_2} t^{\alpha_3} \quad [15]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 d_i^{\alpha_2} e^{\alpha_3 d_i} \quad [16]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 d_i^{\alpha_2} t^{\alpha_3} e^{\alpha_4 t^5} \quad [17]$$

$$\Delta d_i = e^{-\alpha_1 IC^{\alpha_2}} (\alpha_3 IS^{\alpha_4} d_i^{\alpha_5} - \alpha_6 d_i) \quad [18]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 e^{(d_i^{\alpha_2} t^{\alpha_3} - \alpha_4 IC^2)} \quad [19]$$

$$\Delta d_i = \alpha_1 t^{\alpha_2} d_i^{\alpha_3} IS^{\alpha_4} N^{\alpha_5} \quad [20]$$

Donde  $X$  es un vector de variables independientes que caracterizan el estado de la competencia (p. ej. número de árboles por unidad de superficie, área basal, índice de sitio, edad),  $e$  es la base del logaritmo neperiano,  $IC$  es un índice de competencia, los  $\alpha_i$  son los parámetros a estimar en el ajuste y  $\alpha$  es un vector de parámetros también a estimar en el ajuste.

La ecuación [13] es una ecuación lineal que incluye variables de árbol y de masa para explicar el crecimiento en diámetro. Las distintas variables se incluyeron en el modelo mediante el procedimiento “*stepwise*” de regresión lineal.

Las ecuaciones [14], [15], [16] y [17] fueron propuestas por Zeide (1993), como generalización de algunas de las ecuaciones de crecimiento más ampliamente utilizadas: Hossfeld IV (Peschel, 1938), Gompertz (Gompertz, 1825), logística (Verhulst, 1838), Bertalanffy-Richards (Bertalanffy, 1957; Richards, 1959).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

El modelo [18] es un modelo semi-empírico propuesto por Martín y Ek (1984) para modelizar el incremento en diámetro de *Pinus resinosa* Ait. en Wisconsin (EEUU).

El modelo [19] fue utilizado por Schoröder y Gadow (1999) para modelar el incremento en área basal de masas de *Pinus pinaster* Ait. en la provincia de Pontevedra, España.

El modelo [20] fue propuesto por Álvarez *et al.* (2003) para modelizar el incremento en sección normal en árboles de *Pino radiata* en Galicia, España, añadiendo a la misma un término potencial o exponencial ( $IC^{\alpha}$  ó  $e^{\alpha IC}$ ) que incluye un índice de competencia. También se analizó el efecto de la inclusión de otras variables de masa en este modelo.

### **5.5 MUTICOLINEALIDAD, AUTOCORRELACIÓN Y HETEROCEDASTICIDAD**

Existen varios problemas asociados con el ajuste de ecuaciones que incluyen diversas variables explicativas, así como relaciones entre éstas, que violan los principios fundamentales del método de mínimos cuadrados, de independencia e igual distribución de los errores, con media cero y varianza constante: multicolinealidad, autocorrelación y heterocedasticidad son tres de las más importantes. Aunque las estimaciones por mínimos cuadrados de los coeficiente son insesgadas y consistentes bajo la presencia de multicolinealidad, autocorrelación y heterocedasticidad, no son eficientes (Myers, 1990). Estos problemas pueden afectar al error estándar de los coeficientes, invalidando las pruebas estadísticas que usan distribuciones *t* o *F* y los intervalos de confianza (Neter *et al.*, 1996; Rawlings *et al.*, 1998) por ello se deben utilizar procedimientos estadísticos apropiados en el ajuste de los modelos para evitar

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación en los errores, y se deben seleccionar modelos con baja multicolinealidad siempre que sea posible (Kozak, 1997).

La multicolinealidad se refiere a la existencia de alta intercorrelación entre las variables independientes en el análisis de regresión lineal o no lineal múltiple, porque algunas de las variables representan o miden fenómenos similares. Para evaluar la presencia de multicolinealidad entre las variables en los modelos analizados, se utilizó el índice o número de condición ( $CN$ ), que se define como la raíz cuadrada del radio del mayor al menor autovalor de la matriz de correlaciones. De acuerdo con Belsey (1991), si el número de condición está entre 5 y 10 la colinealidad no es un problema grave, si está entre 30 y 100 entonces hay problemas asociados con la colinealidad, y si está entre 1000 y 3000 hay serios problemas asociados con la colinealidad. Myers (1990) propuso un número de condición de la matriz de correlaciones mayor que  $\sqrt{1000}$  como indicador de problemas asociados con multicolinealidad.

En cuanto a los problemas de heterocedasticidad, estos se determinan mediante el análisis gráfico de los residuos. Con este análisis se deduce si es necesaria alguna transformación de la variable dependiente, o si no existen problemas de este tipo.

### **5.6 COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DE MODELOS**

El análisis de la capacidad de ajuste de los modelos se basó en comparaciones numéricas y gráficas de los residuos. Así, se calcularon los siguientes estadísticos: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la raíz del cuadrado medio del error (REMC) y criterio de información de Akaike (1973) en diferencias (AICd). Aunque existen opiniones fundamentadas que planean dudas en relación con el empleo del  $R^2$  en la

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

selección de modelos, este estadístico da una idea bastante intuitiva de la variabilidad que explica; no obstante, nunca debe utilizarse como único criterio para elegir el mejor modelo (Myers, 1990). El estadístico REMC resulta útil porque está expresado en las mismas unidades que la variable dependiente, por lo que da una idea del error medio que se comete con el modelo; además, penaliza los modelos con mayor número de parámetros, de acuerdo con el principio general de simplicidad científica. El AICd es un índice para la selección del mejor modelo, basado en la minimización de la distancia de Kullback-Liebler (Burnham y Anderson, 1998) Las expresiones de estos estadísticos son las siguientes:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [21]$$

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad [22]$$

$$AICd = n \log \hat{\sigma}^2 + k - \min (n \log \hat{\sigma}^2 + 2k) \quad [23]$$

Donde  $y_i, \hat{y}_i$  e  $\bar{y}$  son valores medidos, predichos y medio de la variable dependiente;  $n$  es el número total de observaciones usadas para el ajuste del modelo;  $p$  es el número de parámetros del modelo;  $k = p + 1$  y  $\hat{\sigma}^2$  es el estimador de la varianza del modelo, obtenido con la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

Si se pretende comparar la capacidad predictiva de varios modelos, se debe tener en cuenta que los residuos ordinarios permiten evaluar la calidad del ajuste, no la de una predicción futura (Myers, 1990). Para este proceso debe realizarse una validación del modelo. En este proceso, sólo un nuevo conjunto de datos puede ser de alguna utilidad (Kozak y Kozak, 2003). Como generalmente no se dispone de datos independientes se han propuesto varios métodos alternativos, por ejemplo, dividir la muestra en dos subconjuntos y utilizar una para el ajuste y otra para la validación, o realizar una doble validación cruzada, aunque raramente proporcionan información adicional en comparación con los respectivos estadísticos obtenidos directamente de los modelos ajustados con los conjuntos de datos (Kozak y Kozak, 2003). Por tal motivo se decidió no hacer nada con respecto a la validación del modelo (considerando que un modelo bien desarrollado se comportará bien) hasta que se cuente con un nuevo conjunto de datos que permitan valorar la calidad de las predicciones.

## VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. SELECCIÓN DEL MODELO BASE

El ajuste de los modelos [13] – [20] proporcionó en muchos de los casos resultados poco satisfactorios para las especies analizadas *Pinus arizonica* (especie 1), *Pinus durangensis* (especie 2), *Pinus teocote* (especie 3), *Pinus leiophylla* (especie 4) y *Pinus engelmannii* (especie 5), además de problemas de multicolinealidad. Por tal



Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

motivo, se decidió variar dichos modelos incluyendo nuevas variables de masa en los mismos. Los modelos que mejores resultados proporcionaron fueron los siguientes.

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) \quad [25]$$

$$id = d_i t^{\beta_1} G^{\beta_2} N^{\beta_3} \exp(\alpha_4) \quad [26]$$

$$id = \beta_1 d_i \exp(\beta_2 d_i + \beta_3 t + \beta_4 G + \beta_5) \quad [27]$$

$$id = \exp(\beta_1) (G^{\beta_2} t^{\beta_3} d_i - \beta_4 d_i) \quad [28]$$

Donde: id= es el incremento en diámetro normal en cinco años;  $\beta_i$ = parámetros estimados;  $d_i$ = diámetro normal; G= área basal por hectárea; N= número de árboles por hectárea; t= edad.

Los parámetros estimados para estos modelos, así como los estadísticos de ajuste aparecen en la tabla IV. Todos los parámetros resultaron significativos a un nivel del 5%.

**TABLA IV**  
**ESTIMACIONES DE LOS PARÁMETROS Y ESTADÍSTICOS DE AJUSTE DE LOS**  
**DISTINTOS MODELOS DE INCREMENTO EN DIÁMETRO**

Modelo	Especie	Parámetros		Error Estándar	CN	REMC	R <sup>2</sup>	AICd
[25]	1	$\beta_1$	-0.02959	0.00205	14.25	0.590	0.25	0
		$\beta_2$	-0.00562	0.00137				

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

		$\mu_3$	-0.00005	0.00004				
		$\beta_4$	0.01557	0.00077				
		$\beta_5$	3.65953	0.06980				
	2	$\beta_1$	-0.00487	0.00248	19.16	0.656	0.17	0
		$\beta_2$	0.00263	0.00140				
		$\beta_3$	0.00008	0.00005				
		$\beta_4$	0.00676	0.00094				
		$\mu_5$	2.58966	0.08630				
	3	$\beta_1$	-0.01828	0.00372	15.09	0.675	0.09	0
		$\beta_2$	-0.02030	0.00334				
		$\beta_3$	0.00083	0.00010				
		$\beta_4$	0.01139	0.00112				
		$\beta_5$	3.09379	0.14230				
	4	$\beta_1$	0.00185	0.00397	23.12	0.460	0.30	86.32
		$\mu_2$	0.00528	0.00269				
		$\beta_3$	0.00039	0.00009				
		$\beta_4$	0.00183	0.00163				
		$\beta_5$	2.28750	0.13120				
	5	$\beta_1$	-0.05384	0.00609	19.14	0.503	0.44	0
		$\beta_2$	-0.01395	0.00327				
		$\beta_3$	-0.00045	0.00014				
		$\mu_4$	0.02295	0.00282				
		$\beta_5$	4.96211	0.19310				

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

[26]	1	$\beta_1$	-0.74358	0.01490	29.28	0.622	0.17	380.52
		$\beta_2$	-0.24090	0.01970				
		$\beta_3$	0.17506	0.01040				
		$\beta_4$	-0.02485	0.00456				
	2	$\beta_1$	-0.73675	0.01770	34.22	0.667	0.14	150.79
		$\beta_2$	-0.02441	0.02160				
		$\beta_3$	0.05359	0.01300				
		$\beta_4$	-0.02156	0.00497				
	3	$\beta_1$	-0.73627	0.02330	37.13	0.698	0.03	100.85
		$\beta_2$	-0.48128	0.04550				
		$\beta_3$	0.28727	0.02340				
		$\beta_4$	-0.02797	0.00842				
	4	$\beta_1$	-0.75828	0.02770	40.56	0.477	0.25	184.69
		$\beta_2$	-0.05269	0.03350				
		$\beta_3$	0.096900	0.02050				
		$\beta_4$	-0.03815	0.00700				
	5	$\beta_1$	-1.07759	0.04340	28.73	0.539	0.35	85.63
		$\beta_2$	-0.16882	0.04780				
		$\beta_3$	0.29019	0.02430				
		$\beta_4$	0.03779	0.00621				

**TABLA IV (Continua)**

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Modelo	Especie	Parámetros		Error Estándar	CN	REMC	R <sup>2</sup>	AICd
[27]	1	$\beta_1$	0.25356	0.00597	10.82	0.624	0.17	402.15
		$\beta_2$	-0.01526	0.00090				
		$\beta_3$	-0.01309	0.00051				
		$\beta_4$	-0.00645	0.00069				
	2	$\beta_1$	0.16814	0.00447	12.76	0.672	0.13	229.27
		$\beta_2$	-0.01282	0.00107				
		$\beta_3$	-0.01189	0.00057				
		$\beta_4$	0.00161	0.00075				
	3	$\beta_1$	0.28636	0.01290	10.88	0.693	0.04	77.79
		$\beta_2$	-0.02781	0.00176				
		$\beta_3$	-0.00861	0.00074				
		$\beta_4$	-0.00974	0.00169				
	4	$\beta_1$	0.17610	0.00627	12.05	0.447	0.34	0
		$\beta_2$	-0.01627	0.00106				
		$\beta_3$	-0.01347	0.00063				
		$\beta_4$	0.00782	0.00131				
5	$\beta_1$	0.38801	0.01870	11.16	0.533	0.37	70.16	
	$\beta_2$	0.00146	0.00232					
	$\beta_3$	-0.02970	0.00164					
	$\beta_4$	-0.01307	0.00192					
[28]	1	$\beta_1$	0.00007	0.00002	41.24	0.630	0.15	472.18
		$\beta_2$	-0.09565	0.00872				
		$\beta_3$	-0.43472	0.01360				

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

		$\mu_4$	0.06666	0.00574				
	2	$\beta_1$	0.00008	0.00004	41.86	0.668	0.14	168.43
		$\beta_2$	0.01892	0.01640				
		$\beta_3$	-0.62344	0.02110				
		$\beta_4$	0.01842	0.00389				
	3	$\beta_1$	0.00053	0.00006	34.91	0.706	0.01	138.74
		$\beta_2$	-0.22193	0.01960				
		$\mu_2$	-0.40633	0.01790				
		$\beta_4$	0.05084	0.00747				
	4	$\beta_1$	0.00065	0.00005	40.77	0.464	0.29	105.55
		$\beta_2$	-0.09073	0.02100				
		$\beta_3$	-0.63242	0.02600				
		$\beta_4$	0.01778	0.00350				
	5	$\beta_1$	0.00005	0.00008	306.77	0.546	0.35	90.52
		$\mu_2$	-0.05234	0.02220				
		$\beta_3$	-0.27086	0.10090				
		$\beta_4$	0.22612	0.13080				

Los estadísticos de ajuste indican que el mejor modelo es el modelo [25] para la mayoría de las especies, dado que presenta los menores valores de la raíz del error medio cuadrático (REMC), los valores más altos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y los valores más bajos del criterio de información de Akaike (AICd), excepto

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

para la especie 4 donde el mejor modelo es el [27], sin embargo dado que las diferencias en los valores de REMC y  $R^2$  entre ambos modelos no son significativas se optó por utilizar el modelo lineal [25] también para la especie 4 (*Pinus leiophylla*). El modelo [25] incluye el diámetro normal, área basal  $ha^{-1}$ , la densidad y la edad como variables independientes y fue seleccionado para posteriores análisis. Los resultados del ajuste de los modelos [26] y [28] resultaron aceptables sólo para las especies 4 y 5, para el resto de las especies los estadísticos de ajuste para este modelo fueron muy bajos.

### 6.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COMPETIDORES

En tabla V se presenta un ejemplo del número de competidores que es seleccionado para un árbol objetivo por cada criterio de selección. Se puede observar que el mismo árbol objetivo (árbol) tiene diferentes competidores (árbol1) dependiendo de cada criterio de selección; en este caso se ejemplifica con el árbol número 6 del sitio 1. El criterio  $C_6$ , que se basa en el concepto de zona de influencia potencial de un árbol, es el que menor número de competidores selecciona, considerando sólo tres árboles. Este criterio considera competidores activos aquellos individuos cuya zona de influencia se traslape con la zona de influencia del árbol objetivo, en este caso los árboles 4, 5 y 8. Por otra parte, el criterio  $C_{11}$  es el que selecciona el mayor número de competidores (8), seguido de los criterios  $C_4$  y  $C_{10}$  con siete competidores; después se ubican los criterios  $C_2$  y  $C_9$  con seis competidores y  $C_1$ ,  $C_5$  y  $C_8$  con cinco competidores, destacando que los árboles 5 y 8 fueron considerados competidores activos por todos los criterios de selección.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

TABLA V

NÚMERO DE COMPETIDORES DEL ÁRBOL OBJETIVO DEPENDIENDO DE SU CRITERIO DE SELECCIÓN

Criterio	Sitio	Árbol	Arbol1
C1	1	6	8,3,12,5, y 4
C2	1	6	8, 9, 3, 12, 5 y 4
C3	1	6	8, 11, 5 y 4
C4	1	6	8, 9, 11, 10, 12, 5 y 4
C5	1	6	8, 11, 12, 5 y 4
C6	1	6	8, 5 y 4
C7	1	6	3, 5, 8, 9 y 11
C8	1	6	3, 5, 8, 9 y 11
C9	1	6	37,3 , 5, 8, 9 y 11
C10	1	6	3, 5, 8, 9, 11, 13 y 37
C11	1	6	2, 3, 5, 8, 9, 11, 13 y 52

### 6.3. MODELOS DE INCREMENTO EN DIÁMETRO

En los apartados siguientes se presentan los resultados del ajuste del modelo base seleccionado [25], modificado con la inclusión de los diferentes índices de competencia dependientes e independientes de la distancia para cada especie.

#### 6.3.1. Índices de competencia independientes de la distancia

En la tabla VI muestran los valores de los estadísticos de ajuste para el modelo lineal [25] modificado con la introducción de los diferentes índices de competencia independientes de la distancia analizados.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

TABLA VI

RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO EMPLEANDO LOS ÍNDICES DE COMPETENCIA INDEPENDIENTES DE LA DISTANCIA

Especie	Índice de Competencia	REMC	R <sup>2</sup>	AICd
1	IC <sub>1</sub>	0.633	0.22	3272.96
	IC <sub>2</sub>	0.634	0.22	3274.41
	IC <sub>3</sub>	0.591	0.25	0.71
	IC <sub>4</sub>	0.591	0.26	0
	IC <sub>5</sub>	0.634	0.22	3273.43
	IC <sub>6</sub>	0.634	0.22	3274.29
2	IC <sub>1</sub>	0.680	0.13	3337.80
	IC <sub>2</sub>	0.680	0.13	3337.58
	IC <sub>3</sub>	0.655	0.17	26.86
	IC <sub>4</sub>	0.654	0.18	0
	IC <sub>5</sub>	0.680	0.13	3340.18
	IC <sub>6</sub>	0.681	0.12	3341.97
3	IC <sub>1</sub>	0.637	0.17	0
	IC <sub>2</sub>	0.639	0.17	15.54
	IC <sub>3</sub>	0.671	0.10	1003.540
	IC <sub>4</sub>	0.674	0.10	1004.93
	IC <sub>5</sub>	0.641	0.16	1006.97
	IC <sub>6</sub>	0.641	0.16	1007.25
4	IC <sub>1</sub>	0.535	0.32	0
	IC <sub>2</sub>	0.538	0.31	1858.86
	IC <sub>3</sub>	0.460	0.30	1857.66
	IC <sub>4</sub>	0.460	0.30	2166.62
	IC <sub>5</sub>	0.541	0.30	2166.62
	IC <sub>6</sub>	0.540	0.31	2166.62
5	IC <sub>1</sub>	0.537	0.28	701.94
	IC <sub>2</sub>	0.543	0.26	705.37
	IC <sub>3</sub>	0.486	0.48	0
	IC <sub>4</sub>	0.498	0.45	28.81
	IC <sub>5</sub>	0.543	0.26	705.52
	IC <sub>6</sub>	0.513	0.34	687.78

Los índices de competencia independientes de la distancia que sólo incluyen variables de masa (densidad, área basal) no resultaron adecuados para estimar el incremento en diámetro de árboles individuales. Estos resultados son similares a los obtenidos por Biging y Dobbertin (1995) para masas mixtas de coníferas en California, quienes encontraron que estos índices de competencia presentaban un porcentaje muy bajo (e incluso negativo) de reducción del error medio cuadrático comparado con un modelo base que no incluía índice de competencia.



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Para las especies 1, 2 y 5 se obtuvieron los mejores resultados agregando al modelo lineal [25] los índices de competencia BALMOD y BAL (explicaron más del 35% de la variabilidad observada en el crecimiento en diámetro, con valores de REMC inferiores a 0.53 cm). Resultados similares son reportados por Schröder y Gadow (1999), Biging y Dobbertin (1995), Álvarez *et al.* (2003), Corral-Rivas *et al.* (2005) y Vázquez (2006) quienes también encontraron que la inclusión de los índices BAL y BALMOD producía mejoras significativas en el ajuste y en las estimaciones de los modelos.

Para las especies 3 y 4 los índices de competencia que mejores resultados presentaron fueron el índice de Fracción de Cobertura (FCC) y el de Krajicek *et al.* (1961), para la especie 3 (*Pinus teocote*) el peor índice de competencia fue el BALMOD, mientras que para la especie 4 el peor índice de competencia resultó ser el BAL.

Los índices de competencia con los cuales se obtuvieron los peores ajustes fueron el índice de Krajicek *et al.* (1961) para la especie 1 (*Pinus arizonica*); el índice IC<sub>6</sub> para la especie 2 (*Pinus durangensis*) y el IC<sub>5</sub> para la especie 5 (*Pinus engelmannii*).

### 6.3.2 Modelo de incremento en diámetro para *Pinus teocote*

Para la especie 3 (*Pinus teocote*) los mejores ajustes para el modelo lineal [25] se obtuvieron con el índice de competencia independiente de la distancia IC<sub>1</sub>, con valores de R<sup>2</sup> de 0.17 y de REMC de 0.637 cm. Estos resultados son significativamente superiores a los obtenidos con los mejores índices de competencia dependientes de la distancia IC<sub>12</sub> e IC<sub>17</sub>, que fueron los que proporcionaron los

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

mejores estadísticos de ajuste, con valores de  $R^2$  máximos de 0.11 y de REMC mínimos de 0.68 cm. A continuación se situó el índice  $IC_2$ , que igualmente proporcionó buenos resultados. El índice  $IC_4$  fue el que presentó los peores resultados.

Comparando con los mejores índices dependientes de la distancia con la utilización de los índices independientes de la distancia se obtiene una reducción del error de 7.3%, mientras que los valores de  $R^2$  aumentan un 45%.

El mejor ajuste del modelo [25] incluyendo el índice  $IC_1$  se pudo constata con los valores del Criterio de Información de Akaike (AICd), donde se obtuvieron los valores más bajos para este índice.

La figura 7 muestra los valores predichos contra los residuales estimados el modelo [29] utilizando el mejor índice de competencia independiente de la distancia ( $IC_1$ ) para la especie 3 (*Pinus teocote*), donde se observa una distribución homogénea de los errores alrededor de la línea del cero.

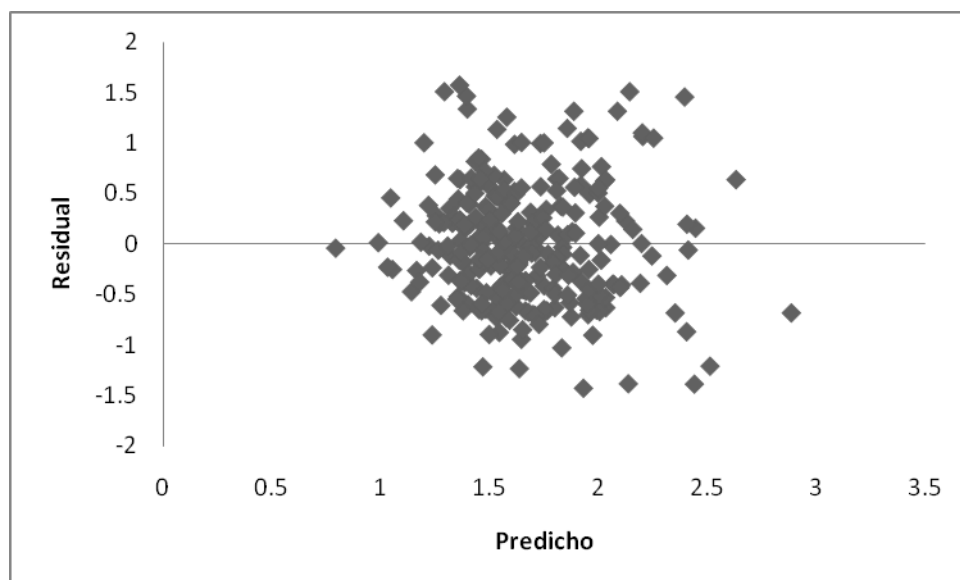


Figura 7. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo [29] incluyendo el índice de competencia  $IC_1$  para *Pinus teocote*

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

A continuación se presenta la forma general del modelo con el que se obtuvieron los mejores resultados para la predicción del diámetro (id) así como el valor de los parámetros y los estadísticos de ajuste.

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) + \beta_6 IC_1 \quad [29]$$

**TABLA VII**

**PARÁMETROS Y VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PARA EL MODELO DE INCREMENTO EN DIÁMETRO PARA LA ESPECIE 3 (*Pinus teocote*)**

PARAMETROS		REMC	R <sup>2</sup>
$\beta_1$	-0.01466	0.637	0.17
$\beta_2$	-0.02186		
$\beta_3$	0.000139		
$\beta_4$	0.009118		
$\beta_5$	3.186281		
$\beta_6$	-0.62921		

La figura 8 muestra el efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro empleando el modelo [29], estimada ésta con el mejor índice de competencia independiente de la distancia (IC<sub>1</sub>) para la especie 3 (*Pinus teocote*).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

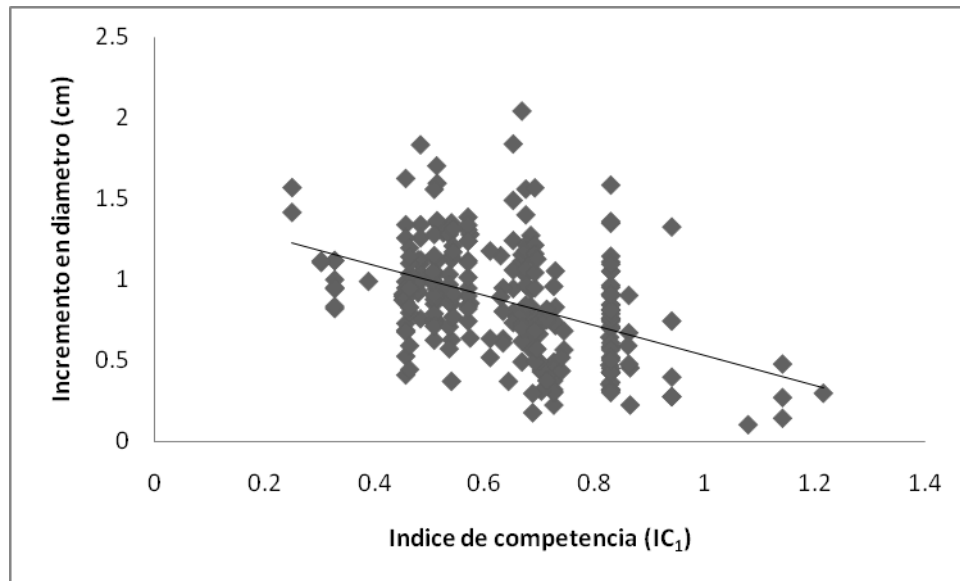


Figura 8. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia  $IC_1$  para *Pinus teocote*

El efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro de *Pinus teocote* es, como era de esperarse, negativo. En la figura anterior se observa claramente que conforme aumenta el valor del índice  $IC_1$  el incremento disminuye de manera notable. El signo negativo del parámetro  $\beta_6$  permite comprobar que el modelo [31] proporciona resultados biológicamente plausibles.

### 6.3.3. Índices de competencia dependientes de la distancia

En las tablas VIII ala XV muestran los valores de los estadísticos de ajuste para el modelo lineal [25] modificado con la introducción de los diferentes índices de competencia dependientes de la distancia analizados.

### 6.3.4 Modelo de incremento en diámetro para *Pinus arizonica*

Para esta especie (*Pinus arizonica*) los mejores ajustes se obtuvieron con los índices de competencia dependientes de la distancia  $IC_{10}$  al  $IC_{17}$ , con valores promedio de  $R^2$  de 0.31 y de REMC de 0.55 cm. Destaca sin embargo, que el índice  $IC_{15}$  combinado

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

con el criterio de selección  $C_5$  fue el que mejores resultados de ajuste proporcionó. A continuación se situó el índice  $IC_{12}$ , que proporcionó buenos resultados en combinación con los criterios  $C_1$  y  $C_5$ , mientras que los índices  $IC_{10}$  e  $IC_{11}$  combinados con los criterios  $C_7$  y  $C_8$  fueron los que presentaron los peores ajustes. Estos resultados son significativamente superiores a los obtenidos con los índices de competencia independientes de la distancia BALMOD y BAL, que fueron los que proporcionaron los mejores estadísticos de ajuste para esta especie.

**TABLA VIII**

**RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL [25], EMPLEANDO LOS ÍNDICES  
DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA COMBINADOS CON LOS  
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COMPETIDORES PARA LA ESPECIE 1 (*Pinus  
arizonica*)**

<i>Pinus arizonica</i>												
Índice	Estadísticos	Criterios de selección de competidores										
		$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
$IC_7$	REMC											
	$R^2$	0.595										
	AICd	0.255										
$IC_8$	REMC											
	$R^2$	0.594										
	AICd	0.256										
$IC_9$	REMC											
	$R^2$	0.596										
	AICd	0.253										
$IC_{10}$	REMC	0.601	0.597	0.598	0.597	0.550	0.597	0.599	0.599	0.599	0.599	0.598
	$R^2$	0.252	0.251	0.249	0.250	0.305	0.251	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249
	AICd	43.9	54.8	52.3	51.9	0	54.9	49	49	49.1	49.2	52.4
$IC_{11}$	REMC	0.601	0.597	0.598	0.598	0.549	0.597	0.599	0.599	0.599	0.599	0.598
	$R^2$	0.250	0.249	0.249	0.249	0.308	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249
	AICd	43.4	54.3	52.2	51.4	0	54.3	49	49	49	49	52.2
$IC_{12}$	REMC	0.599	0.594	0.598	0.595	0.546	0.594	0.598	0.598	0.597	0.597	0.597
	$R^2$	0.257	0.256	0.249	0.256	0.315	0.258	0.250	0.250	0.254	0.254	0.252
	AICd	46.2	57.4	52.3	54.7	0	58.1	49.6	49.7	51.4	51.6	53.8
$IC_{13}$	REMC	0.601	0.597	0.597	0.598	0.549	0.597	0.599	0.599	0.599	0.599	0.598
	$R^2$	0.250	0.250	0.252	0.249	0.306	0.250	0.249	0.249	0.250	0.249	0.249
	AICd	43.4	54.3	53.7	51.4	0	54.4	49	49.2	49.4	49.1	52.4
$IC_{14}$	REMC	0.600	0.596	0.598	0.597	0.549	0.596	0.599	0.598	0.598	0.598	0.597
	$R^2$	0.252	0.251	0.250	0.251	0.308	0.253	0.250	0.250	0.252	0.252	0.252

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

	AICd	44.3	55	52.5	52.3	0	55.7	49.5	49.8	50.4	50.4	53.5
IC <sub>15</sub>	REMC	0.595	0.592	0.596	0.593	0.545	0.591	0.596	0.596	0.594	0.594	0.594
	R <sup>2</sup>	0.265	0.263	0.254	0.262	0.319	0.264	0.256	0.256	0.261	0.261	0.259
	AICd	49.9	63.6	54.7	57.4	0	61.0	52.3	52.6	54.7	54.8	56.8
IC <sub>16</sub>	REMC	0.600	0.596	0.598	0.596	0.549	0.596	0.597	0.597	0.597	0.597	0.596
	R <sup>2</sup>	0.253	0.252	0.250	0.253	0.306	0.253	0.253	0.254	0.254	0.253	0.254
	AICd	44.5	55.7	52.6	53.3	0	56.0	50.9	51.3	51.4	51.2	54.4
IC <sub>17</sub>	REMC	0.598	0.595	0.597	0.596	0.550	0.595	0.598	0.598	0.598	0.597	0.596
	R <sup>2</sup>	0.257	0.254	0.252	0.253	0.306	0.254	0.252	0.250	0.252	0.253	0.253
	AICd	46.5	56.5	53.4	53.4	0	56.4	50.3	49.7	50.6	51.1	54.0

Comparado con los mejores índices de competencia independientes de la distancia, la utilización de los índices dependientes de la distancia significa una reducción del error de 13%, mientras que los valores del coeficiente de determinación R<sup>2</sup> aumentan en promedio 10%.

El criterio de selección C<sub>6</sub> también proporcionó buenos resultados al combinarse con los índices IC<sub>7</sub> a IC<sub>9</sub>, con valores de R<sup>2</sup> de 0.25 y REMC de 0.59 cm. El índice IC<sub>15</sub> combinado con cualquier criterio de selección de competidores proporcionó los mejores resultados de ajuste y en las estimaciones del incremento en diámetro, pero en general la combinación IC<sub>15</sub> – criterio C<sub>5</sub> es la que presentó los estadísticos de ajuste más elevados. Esto se puede constatar además, con los valores del Criterio de Información de Akaike (AICd), donde se obtuvieron los valores más bajos para esta combinación.

Los criterios de selección de competidores que mejores resultados proporcionaron fueron C<sub>1</sub> y C<sub>5</sub>, los cuales se basan en seleccionar como árboles competidores aquellos que contengan mayor área basal que el árbol objetivo (C<sub>1</sub>), y aquellos cuya altura supere una línea imaginaria inclinada de 60<sup>0</sup> con respecto a la horizontal desde la base de la copa (C<sub>5</sub>). Estos criterios pueden ser utilizados con cualquiera de los índices de competencia analizados con la certeza de que el número de competidores seleccionados permitirá realizar estimaciones adecuadas de la competencia a la que es sometido el árbol objetivo. El siguiente criterio que presentó resultados satisfactorios fue el C<sub>6</sub> que se basa en la zona de influencia. El criterio C<sub>3</sub> que

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

selecciona el árbol más cercano por cuadrante como competidor fue el que presentó los peores resultados para la mayoría de los índices de competencia.

A continuación se presenta la forma general del modelo con el que se obtuvieron los mejores ajustes para la predicción del diámetro ( $d$ ), así como el valor de los parámetros y de los estadísticos de ajuste (Tabla IX).

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) + \beta_6 IC_{15} \quad [30]$$

La figura 9 muestra los valores predichos contra los residuos utilizando el mejor índice de competencia dependiente de la distancia ( $IC_{15}$ ) combinado con el mejor criterio de selección de competidores ( $C_5$ ) para la especie 1 (*Pinus arizonica*).

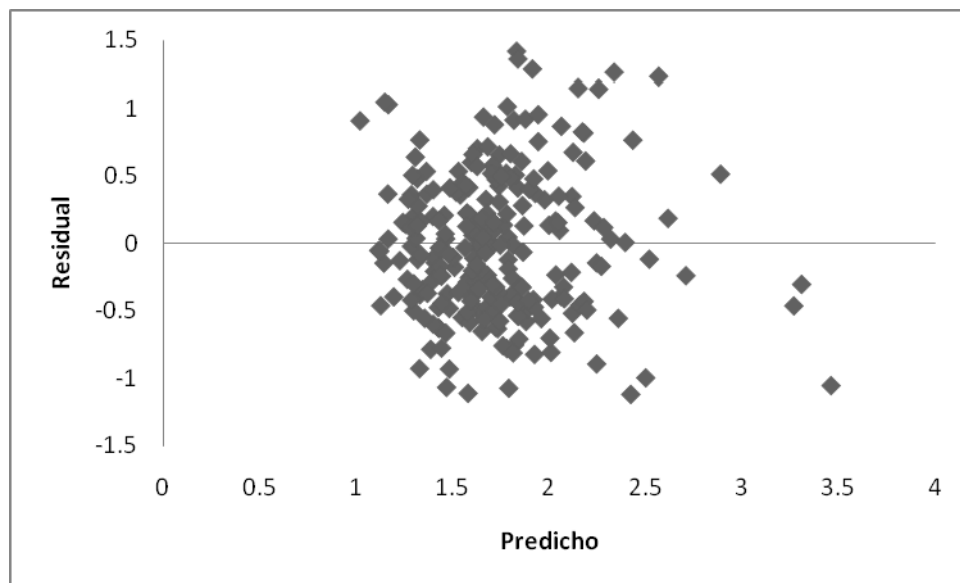


Figura 9. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo [30] y la combinación  $IC_{15} - C_5$  para *Pinus arizonica*.

La distribución de los residuos que se observa en la figura 9 no indica un incumplimiento de las hipótesis de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de errores.

**TABLA IX**

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

PARÁMETROS Y VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PARA EL MODELO DE INCREMENTO EN DIÁMETRO PARA LA ESPECIE 1 (*Pinus arizonica*).

PARAMETROS		REMC	R <sup>2</sup>
$\beta_1$	-0.03762	0.545	0.32
$\beta_2$	-0.0041		
$\beta_3$	-0.00011		
$\beta_4$	0.018856		
$\beta_5$	3.835655		
$\beta_6$	-0.03684		

La figura 10 muestra el efecto de la competencia en el incremento en diámetro empleando el índice de competencia seleccionado (IC<sub>15</sub>) combinado con el mejor criterio de selección de competidores (C<sub>5</sub>) para la especie 1.

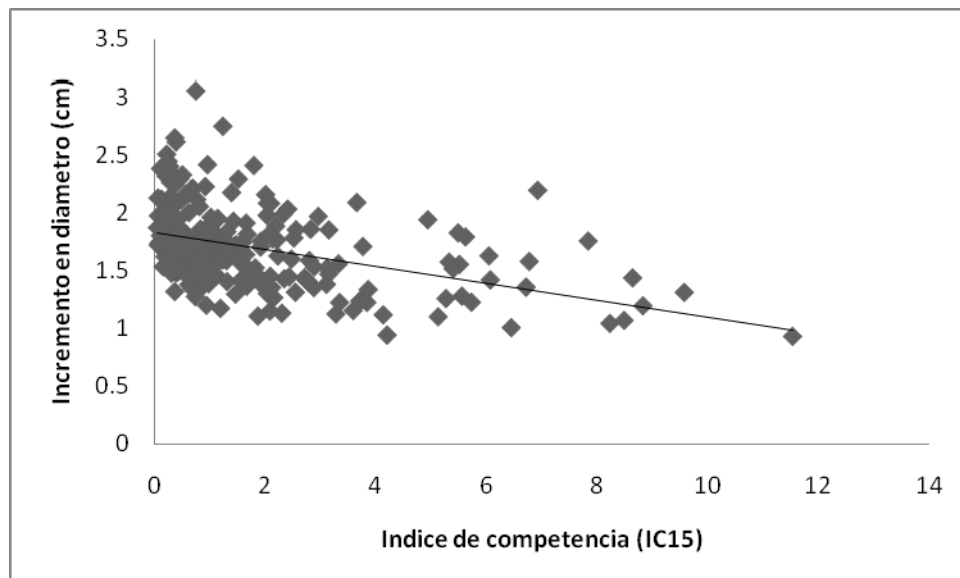


Figura 10. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia C<sub>15</sub> para *Pinus arizonica*



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

En la figura anterior se observa claramente el efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro, toda vez que conforme aumenta el valor del índice IC<sub>15</sub> el incremento disminuye de manera considerable. Esta tendencia puede ser constatada con el valor negativo del parámetro ( $\beta_6$ ), que acompaña a la variable IC<sub>15</sub> en el modelo [30] (Tabla IX).

### 6.3.5 Modelo de incremento en diámetro para *Pinus durangensis*

Para la especie 2 (*Pinus durangensis*) se obtuvieron buenos ajustes para el modelo [25] con los índices de competencia dependientes de la distancia IC<sub>10</sub> al IC<sub>17</sub>, combinados con el criterio C<sub>5</sub>, con valores promedio de R<sup>2</sup> de 0.19 y de REMC de 0.61 cm. Al igual que para la especie 1, estos resultados son superiores a los obtenidos con los índices de competencia independientes de la distancia BALMOD y BAL, que fueron los índices que proporcionaron los mejores estadísticos de ajuste para esta especie al incluirlos en el modelo [25]. En general, el índice IC<sub>17</sub> combinado con el criterio de selección C<sub>5</sub> fue el que mejores resultados de ajuste proporcionó (R<sup>2</sup> = 0.21, REMC = 0.62). A continuación se situó el índice IC<sub>16</sub>, que también proporcionó buenos resultados combinado con el criterio C<sub>5</sub>. El índice IC<sub>11</sub> combinado con los criterios C<sub>7</sub> y C<sub>8</sub> fueron los que presentaron los peores resultados.

**TABLA X**

**RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL [25], EMPLEANDO LOS ÍNDICES DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA COMBINADOS CON LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COMPETIDORES PARA LA ESPECIE 2 (*Pinus durangensis*)**

<i>Pinus durangensis</i>												
Índice	Estadísticos	Criterios de selección de competidores										
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

IC <sub>7</sub>	REMC	0.662											
	R <sup>2</sup>	0.167											
	AICd	71.8											
IC <sub>8</sub>	REMC	0.662											
	R <sup>2</sup>	0.167											
	AICd	72.0											
IC <sub>9</sub>	REMC	0.662											
	R <sup>2</sup>	0.168											
	AICd	72.4											
IC <sub>10</sub>	REMC	0.663	0.662	0.663	0.662	0.620	0.662	0.663	0.663	0.663	0.663	0.663	0.662
	R <sup>2</sup>	0.168	0.167	0.167	0.167	0.194	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
	AICd	69.0	71.9	70.2	72.0	0	71.9	70.2	70.3	70.2	70.1	70.1	71.8
IC <sub>11</sub>	REMC	0.663	0.662	0.663	0.662	0.619	0.662	0.663	0.663	0.663	0.663	0.663	0.662
	R <sup>2</sup>	0.168	0.167	0.167	0.167	0.196	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
	AICd	69.0	71.9	70.1	71.8	0	71.4	70.1	70.1	70.1	70.1	70.1	71.9
IC <sub>12</sub>	REMC	0.662	0.661	0.661	0.661	0.619	0.661	0.662	0.662	0.662	0.662	0.662	0.662
	R <sup>2</sup>	0.170	0.169	0.170	0.171	0.196	0.169	0.169	0.170	0.169	0.169	0.168	0.167
	AICd	69.9	73.1	72.0	73.9	0	73.2	71.1	71.7	71.3	70.6	72.2	
IC <sub>13</sub>	REMC	0.659	0.659	0.660	0.662	0.619	0.660	0.663	0.663	0.663	0.662	0.660	0.660
	R <sup>2</sup>	0.177	0.174	0.173	0.168	0.197	0.173	0.167	0.167	0.167	0.167	0.169	0.171
	AICd	73.8	75.6	73.2	72.5	0	75.3	70.1	70.1	70.3	71.2	74.1	
IC <sub>14</sub>	REMC	0.659	0.658	0.658	0.658	0.620	0.658	0.659	0.659	0.659	0.659	0.659	0.659
	R <sup>2</sup>	0.177	0.177	0.179	0.178	0.194	0.176	0.176	0.176	0.176	0.175	0.176	0.176
	AICd	74.1	77.5	76.6	78.1	0	77.0	75.2	75.2	75.1	74.8	76.7	
IC <sub>15</sub>	REMC	0.662	0.661	0.662	0.661	0.620	0.661	0.662	0.662	0.662	0.662	0.662	0.661
	R <sup>2</sup>	0.170	0.169	0.169	0.168	0.195	0.169	0.168	0.168	0.168	0.168	0.169	0.170
	AICd	70.3	73.0	71.2	72.4	0	72.9	70.8	70.8	70.9	71.1	73.5	
IC <sub>16</sub>	REMC	0.660	0.660	0.660	0.659	0.616	0.660	0.661	0.661	0.661	0.660	0.659	0.659
	R <sup>2</sup>	0.175	0.172	0.173	0.174	0.205	0.173	0.171	0.171	0.172	0.173	0.173	0.173
	AICd	72.8	74.7	73.3	75.8	0	75.0	72.4	72.4	72.9	73.7	75.4	
IC <sub>17</sub>	REMC	0.660	0.660	0.661	0.661	0.616	0.660	0.661	0.661	0.661	0.661	0.660	0.660
	R <sup>2</sup>	0.176	0.172	0.172	0.170	0.205	0.172	0.170	0.171	0.170	0.171	0.172	0.172
	AICd	73.2	74.6	72.9	73.8	0	74.5	72.0	72.4	72.0	72.6	74.7	

Comparando con los mejores índices independientes de la distancia, con la utilización de los índices dependientes se obtiene una reducción del error de 5.7%,

El criterio de selección C<sub>6</sub> también proporcionó buenos resultados al combinarse con los índices IC<sub>7</sub>, IC<sub>8</sub> e IC<sub>9</sub>, con valores de R<sup>2</sup> cercanos a 0.17 y REMC de 0.66 cm. El índice IC<sub>17</sub> combinado con cualquier criterio de selección de competidores proporcionó buenos resultados de ajuste, así como en las estimaciones del incremento en diámetro, pero en general la combinación IC<sub>17</sub> – criterio C<sub>5</sub> es la que presentó los estadísticos de ajuste más elevados.

Por otra parte, los valores del Criterio de Información de Akaike (AICd), permitieron confirmar que la combinación IC<sub>7</sub>-C<sub>5</sub> es la que permite obtener los ajustes más satisfactorios, ya que con esta combinación se obtienen los valores más bajos para este estadístico.

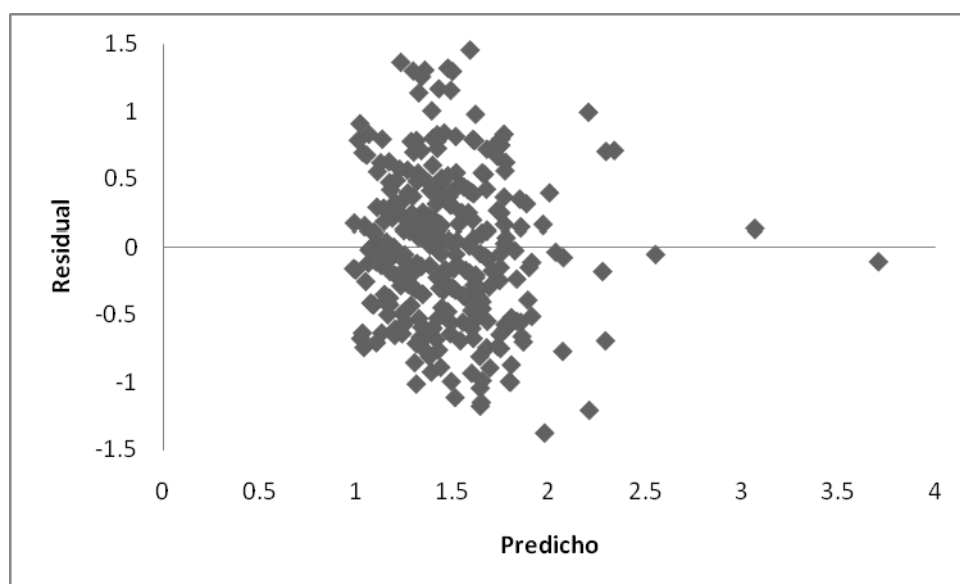
## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Al igual que para la especie 1, los criterios de selección de competidores que mejores resultados proporcionaron fueron  $C_1$  y  $C_5$ . Estos criterios pueden ser utilizados con cualquiera de los índices de competencia analizados, seguidos por el criterio  $C_2$  que se basa en la zona de influencia. Los criterios  $C_7$  y  $C_8$  que utiliza los ángulos de eliminación de competencia de  $90^\circ$  y  $75^\circ$ , respectivamente, fueron los que presentaron los peores resultados para la mayoría de los índices de competencia.

A continuación se presenta la forma general del modelo con el que se obtuvieron los mejores resultados para la predicción del diámetro ( $id$ ) así como el valor de los parámetros y los estadísticos de ajuste.

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) + \beta_6 IC_{17} \quad [31]$$

La figura 11 muestra los valores predichos contra los residuales obtenidos del ajuste del modelo [31] que incluye el mejor índice de competencia dependiente de la distancia ( $IC_{17}$ ) combinado con el mejor criterio de selección de competidores ( $C_5$ ) para la especie 2 (*Pinus durangensis*).



Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Figura 11. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo [31] y la combinación  $IC_{17} - C_5$  para *Pinus durangensis*.

El análisis gráfico de los residuos (Fig. 11) no indica problemas de violación de los supuestos de los mínimos cuadrados ordinarios, esto es, incumplimiento de las hipótesis de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia de errores.

**TABLA XI**

**PARÁMETROS Y VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PARA EL MODELO DE INCREMENTO EN DIÁMETRO PARA LA ESPECIE 2 (*Pinus durangensis*)**

PARAMETROS		REMC	R <sup>2</sup>
$\beta_1$	-0.0233	0.616	0.21
$\beta_2$	0.003961		
$\beta_3$	-0.00008		
$\beta_4$	0.009384		
$\beta_5$	0.009384		
$\beta_6$	-0.029235		

En la figura 12 se observa el efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro de *Pinus durangensis*, ya que conforme aumenta el valor del índice  $IC_{17}$  el incremento disminuye de manera constante. Esta tendencia puede ser corroborada con el valor negativo del parámetro  $\beta_6$  que acompaña a la variable  $IC_{17}$  en el modelo [31] (Tabla XI).

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

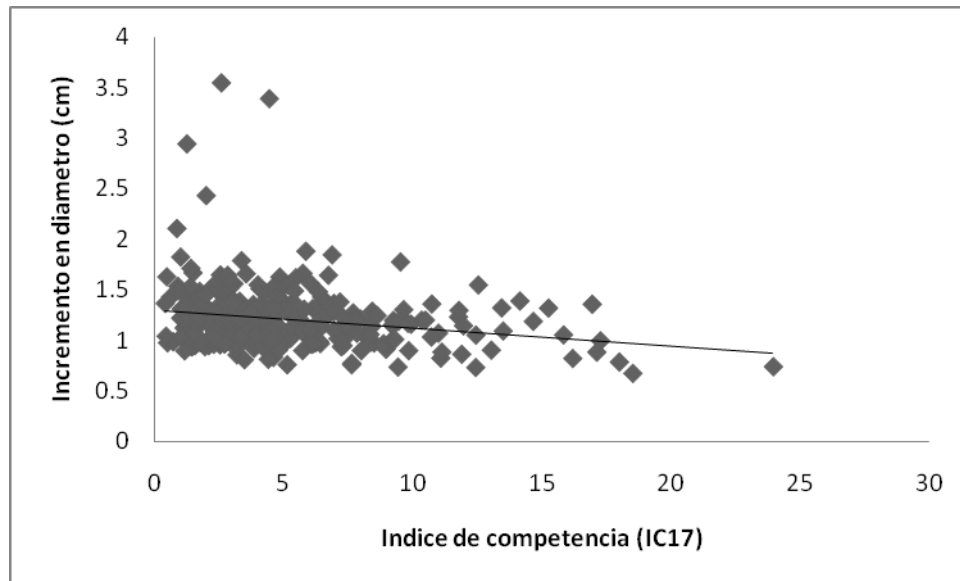


Figura 12. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia  $C_{17}$  para *Pinus durangensis*.

### 6.3.6 Modelo de incremento en diámetro para *Pinus leiophylla*

Para la especie 4 (*Pinus leiophylla*) los mejores ajustes se obtuvieron con los índices de competencia dependientes de la distancia, combinados con el criterio  $C_5$ , ya que la inclusión de éstos en el modelo permitió obtener valores promedio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.33 y de la raíz del error medio cuadrático (REMC) de 0.45 cm. Estos resultados son significativamente superiores a los obtenidos con los mejores índices de competencia independientes de la distancia BAL y BALMOD que fueron los que proporcionaron los mejores estadísticos de ajuste para esta especie.

El índice de competencia  $IC_{15}$  combinado con el criterio de selección  $C_5$  fue el que mejores resultados de ajuste proporcionó, con los valores más altos de  $R^2$  (0.36) y los más bajos de REMC (0.438). A continuación se situó el índice  $IC_{11}$ , que también proporcionó buenos resultados combinado con el criterio  $C_5$ . Los índices  $IC_{11}$  e  $IC_{16}$  combinado con los criterios  $C_1$  y  $C_{10}$  respectivamente fueron los que presentaron los peores resultados.

## TABLA XII

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL [25], EMPLEANDO LOS ÍNDICES

DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA COMBINADOS CON LOS

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COMPETIDORES PARA LA ESPECIE 4 (*Pinus*

*leiophylla*)

<i>Pinus leiophylla</i>												
Índice	estadísticos	Criterios de selección de competidores										
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>
IC <sub>7</sub>	REMC											0.470
	R <sup>2</sup>											0.301
	AICd											27.0
IC <sub>8</sub>	REMC											0.469
	R <sup>2</sup>											0.302
	AICd											27.3
IC <sub>9</sub>	REMC											0.461
	R <sup>2</sup>											0.325
	AICd											31.7
IC <sub>10</sub>	REMC	0.470	0.470	0.469	0.471	0.449	0.470	0.471	0.471	0.471	0.471	0.472
	R <sup>2</sup>	0.300	0.301	0.303	0.301	0.329	0.301	0.304	0.304	0.303	0.303	0.301
	AICd	26.9	27.0	27.4	25.1	0	27.0	25.1	25.1	25.0	24.9	24.6
IC <sub>11</sub>	REMC	0.471	0.470	0.470	0.471	0.446	0.469	0.469	0.469	0.471	0.472	0.472
	R <sup>2</sup>	0.298	0.299	0.299	0.300	0.338	0.302	0.308	0.307	0.303	0.300	0.299
	AICd	26.6	26.7	26.7	24.8	0	27.3	26.0	25.7	24.9	24.3	24.3
IC <sub>12</sub>	REMC	0.470	0.470	0.470	0.471	0.450	0.470	0.470	0.471	0.471	0.472	0.472
	R <sup>2</sup>	0.300	0.299	0.300	0.301	0.325	0.299	0.305	0.303	0.302	0.299	0.299
	AICd	26.9	26.8	27.0	25.1	0	26.7	25.3	25.0	24.7	24.2	24.1
IC <sub>13</sub>	REMC	0.471	0.471	0.471	0.471	0.450	0.470	0.471	0.472	0.472	0.472	0.472
	R <sup>2</sup>	0.299	0.299	0.299	0.301	0.325	0.301	0.301	0.300	0.299	0.299	0.299
	AICd	26.5	26.5	26.5	25.0	0	27.0	24.6	24.4	24.1	24.2	24.2
IC <sub>14</sub>	REMC	0.467	0.468	0.467	0.469	0.449	0.468	0.469	0.469	0.468	0.468	0.468
	R <sup>2</sup>	0.310	0.307	0.30	0.306	0.329	0.307	0.308	0.307	0.311	0.311	0.313
	AICd	28.7	28.2	28.4	26.0	0	28.2	25.9	25.7	26.4	26.5	26.8
IC <sub>15</sub>	REMC	0.466	0.465	0.457	0.466	0.438	0.465	0.453	0.453	0.453	0.458	0.461
	R <sup>2</sup>	0.313	0.314	0.339	0.314	0.359	0.314	0.355	0.355	0.354	0.341	0.332
	AICd	29.3	29.5	34.3	27.4	0	29.5	34.9	34.9	34.7	32.1	30.5
IC <sub>16</sub>	REMC	0.470	0.471	0.470	0.471	0.450	0.471	0.472	0.472	0.472	0.472	0.472
	R <sup>2</sup>	0.299	0.299	0.301	0.300	0.325	0.299	0.299	0.299	0.299	0.298	0.299
	AICd	26.7	26.6	27.0	24.8	0	26.6	24.3	24.2	24.1	24.1	24.1
IC <sub>17</sub>	REMC	0.469	0.470	0.469	0.470	0.450	0.470	0.471	0.472	0.472	0.472	0.472
	R <sup>2</sup>	0.302	0.301	0.302	0.303	0.325	0.301	0.301	0.300	0.300	0.301	0.301
	AICd	27.3	27.1	27.3	25.4	0	27.0	24.6	24.4	24.4	24.5	24.5

Comparado con los mejores índices dependientes de la distancia para esta especie, la utilización de los índices independientes de la distancia se traduce en una reducción del error de 17.97%, mientras que el valor de R<sup>2</sup> aumenta un 13.8%.

El criterio de selección C<sub>6</sub> también proporcionó buenos resultados al combinarse con los índices IC<sub>7</sub>, IC<sub>8</sub> e IC<sub>9</sub>, con valores promedio de R<sup>2</sup> de 0.31 y de REMC de 0.46 cm.

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

El índice  $IC_{15}$  combinado con cualquier criterio de selección de competidores proporciona resultados de ajuste aceptables, pero en general la combinación  $IC_{15}$  – criterio  $C_5$  es la que presentó los mejores estadísticos de ajuste. Los valores del Criterio de Información de Akaike (AICd) obtenidos para esta combinación fueron los más bajos.

Los criterios de selección de competidores que mejores resultados proporcionaron para esta especie fueron  $C_5$  y  $C_7$ , los cuales se basan en concepto de ángulo de eliminación de competencia, para este caso el ángulo de  $90^0$  ( $C_7$ ), y de  $60^0$  con respecto a la horizontal desde la base de la copa ( $C_5$ ). Estos criterios pueden ser utilizados con cualquiera de los índices de competencia analizados, seguidos por el criterio  $C_9$  que también se basa en el concepto de ángulo de eliminación de competencia, en este caso de  $45^0$ . Por otra parte, el criterio  $C_1$ , que selecciona como árboles competidores todos aquellos incluidos en una parcela móvil de Bitterlich con centro en el árbol objetivo y con un factor de área basal (BAF) igual a  $4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , fue el que presentó los peores resultados para la mayoría de los índices de competencia dependientes de la distancia probados para esta especie.

La figura 13 muestra los valores predichos contra los residuales utilizando el mejor índice de competencia independiente de la distancia ( $IC_{15}$ ) combinado con el mejor criterio de selección de competidores ( $C_5$ ) para la especie 4 (*Pinus leiophylla*). No se observa en la figura ninguna tendencia anómala de los residuos que indique la presencia de problemas de heterocedasticidad o de autocorrelación de los errores.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

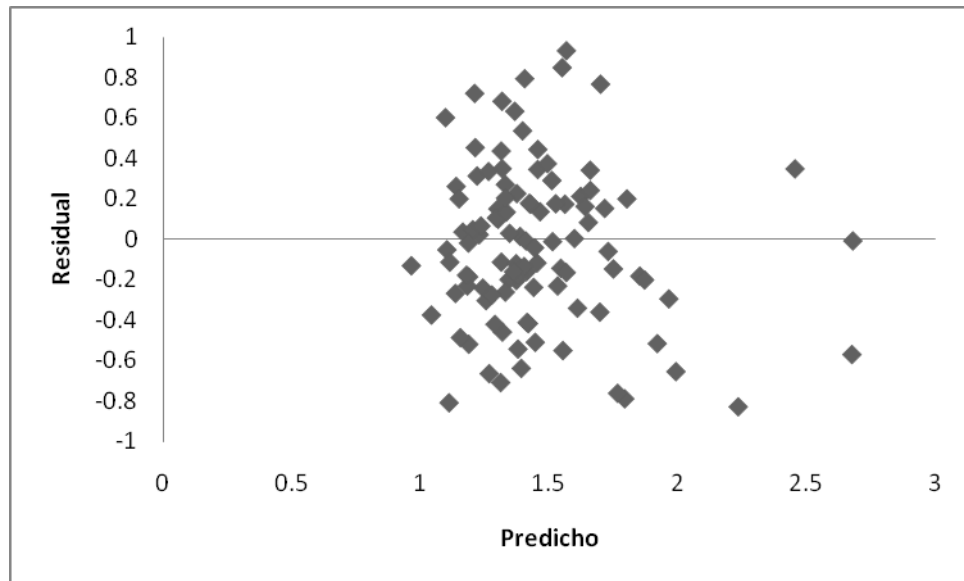


Figura 13. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo [32] y la combinación  $IC_{15}-C_5$  para *Pinus leiophylla*

La forma general del modelo de incremento en diámetro para *Pinus leiophylla* se presenta a continuación (modelo [32]), mientras que los parámetros estimados y los estadísticos de ajuste se muestran en la tabla XIII.

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) + \beta_6 IC_{15} \quad [32]$$

TABLA XIII

PARÁMETROS Y VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PARA EL MODELO DE INCREMENTO EN DIÁMETRO PARA LA ESPECIE 4 (*Pinus leiophylla*)

PARAMETROS	REMC	R <sup>2</sup>
$\beta_1$	0.001252	0.439
$\beta_2$	0.017136	
$\beta_3$	0.000425	
$\beta_4$	-0.00182	



Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

$\beta_5$	2.108893		
$\beta_6$	-0.04604		

La figura 14 muestra el efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro empleando el modelo [32], y utilizando el mejor índice de competencia dependiente de la distancia ( $IC_{15}$ ) combinado con el mejor criterio de selección de competidores ( $C_5$ ) para la especie 4 (*Pinus leiophylla*).

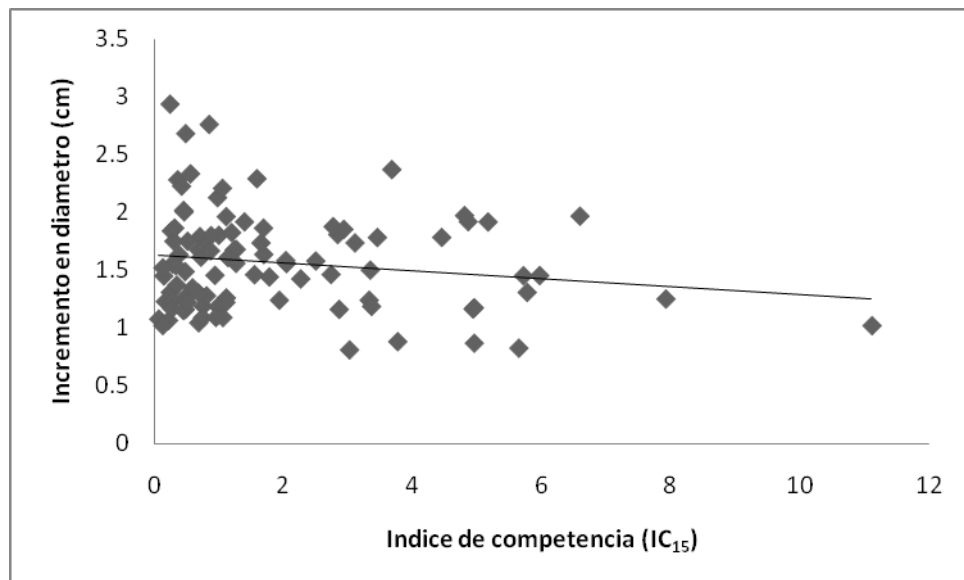


Figura 14. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia  $IC_{15}$  para *Pinus leiophylla*

En la figura anterior se observa claramente que conforme aumenta el valor del índice  $IC_{15}$  el incremento disminuye de manera notable. El signo negativo que acompaña el parámetro  $\beta_6$  permite comprobar que el modelo [32] proporciona resultados biológicamente razonables.

### 6.3.7 Modelo de incremento en diámetro para *Pinus engelmannii*

Para la especie 5 (*Pinus engelmannii*) los mejores ajustes se obtuvieron con los índices de competencia dependientes de la distancia, combinados con el criterio  $C_5$ ,

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

con valores promedio de  $R^2$  de 0.57 y de REMC de 0.44 cm. Estos resultados son muy superiores a los obtenidos con los índices de competencia independientes de la distancia BALMOD (IC<sub>4</sub>) y BAL (IC<sub>3</sub>) que fueron los que proporcionaron los mejores estadísticos de ajuste para esta especie. El índice IC<sub>14</sub> combinado con el criterio de selección C<sub>5</sub> fue el que proporcionó los mejores resultados. Este índice pertenece al grupo de índices basados en razones de tamaños ponderados por las distancias que consideran que la competencia sobre un árbol que ejercen los individuos que lo rodean, aumenta cuando se incrementa el tamaño de éstos y se reduce la distancia que los separa. En ese sentido, el IC<sub>14</sub> utiliza la altura total como indicador del tamaño de cada individuo.

El modelo explicó hasta 62% de la variabilidad en las predicciones del incremento en diámetro para *Pinus engelmannii*, mientras que el error medio (0.44 cm) y el Criterio de Información de Akaike (AICd) fueron los más bajos para esta combinación. A continuación se situó el índice IC<sub>17</sub>, que proporcionó buenos resultados para el criterio C<sub>11</sub>. El índice IC<sub>15</sub> combinado con los criterios C<sub>7</sub> y C<sub>8</sub> fue el que presentó los peores resultados.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**TABLA XIV**

**RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL [25], EMPLEANDO LOS ÍNDICES  
DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA COMBINADOS CON LOS  
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE COMPETIDORES PARA LA ESPECIE 5 (*Pinus  
engelmannii*)**

<i>Pinus engelmannii</i>												
Índice	estadísticos	Criterios de selección de competidores										
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>
IC <sub>7</sub>	REMC											0.462
	R <sup>2</sup>											0.571
	AICd											0
IC <sub>8</sub>	REMC											0.494
	R <sup>2</sup>											0.509
	AICd											7.9
IC <sub>9</sub>	REMC											0.510
	R <sup>2</sup>											0.477
	AICd											11.5
IC <sub>10</sub>	REMC	0.468	0.491	0.476	0.464	0.475	0.488	0.500	0.499	0.495	0.491	0.490
	R <sup>2</sup>	0.546	0.515	0.546	0.554	0.571	0.521	0.498	0.499	0.508	0.516	0.518
	AICd	3.2	7.2	3.5	2.3	13.6	6.5	9.2	9.1	8.0	7.1	6.9
IC <sub>11</sub>	REMC	0.475	0.471	0.478	0.485	0.494	0.483	0.484	0.485	0.479	0.481	0.481
	R <sup>2</sup>	0.532	0.554	0.541	0.514	0.534	0.531	0.529	0.527	0.539	0.536	0.535
	AICd	4.9	2.5	4.1	7.1	17.7	5.3	5.6	5.8	4.4	4.7	4.8
IC <sub>12</sub>	REMC	0.508	0.530	0.517	0.505	0.514	0.528	0.530	0.529	0.529	0.529	0.530
	R <sup>2</sup>	0.465	0.435	0.464	0.472	0.497	0.440	0.436	0.439	0.438	0.439	0.436
	AICd	12.4	15.9	13.0	11.7	21.5	15.4	15.9	15.6	15.6	15.6	15.9
IC <sub>13</sub>	REMC	0.488	0.527	0.526	0.485	0.474	0.531	0.519	0.523	0.528	0.529	0.532
	R <sup>2</sup>	0.508	0.443	0.445	0.514	0.573	0.435	0.458	0.452	0.441	0.438	0.433
	AICd	7.8	15.1	15.0	7.1	0	16.0	13.5	14.2	15.4	15.7	16.2
IC <sub>14</sub>	REMC	0.469	0.486	0.481	0.465	0.449	0.476	0.490	0.470	0.478	0.476	0.476
	R <sup>2</sup>	0.545	0.526	0.536	0.552	0.615	0.545	0.519	0.557	0.542	0.544	0.546
	AICd	3.3	5.9	4.7	2.5	0	3.6	6.8	2.1	4.0	3.7	3.5
IC <sub>15</sub>	REMC	0.503	0.527	0.525	0.503	0.505	0.527	0.533	0.533	0.530	0.533	0.531
	R <sup>2</sup>	0.477	0.443	0.447	0.476	0.513	0.443	0.429	0.429	0.436	0.430	0.435
	AICd	11.2	15.1	14.8	11.3	0	15.2	16.6	16.5	15.8	16.5	16.0
IC <sub>16</sub>	REMC	0.491	0.508	0.513	0.498	0.505	0.519	0.505	0.505	0.502	0.513	0.512
	R <sup>2</sup>	0.502	0.481	0.472	0.486	0.514	0.460	0.488	0.489	0.494	0.471	0.474
	AICd	8.5	11.1	12.1	10.2	0	13.4	10.3	10.3	9.7	12.2	11.9
IC <sub>17</sub>	REMC	0.462	0.470	0.468	0.459	0.477	0.466	0.471	0.471	0.463	0.463	0.461
	R <sup>2</sup>	0.557	0.556	0.560	0.563	0.567	0.563	0.555	0.554	0.569	0.569	0.573
	AICd	1.9	2.2	1.7	1.1	0	1.3	2.4	2.5	0	0	0

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Comparado con los mejores índices independientes de la distancia, la utilización de los índices dependientes de la distancia permiten reducir el error promedio del modelo en 8.3%, mientras que los valores de  $R^2$  aumentan un 32%.

El criterio de selección  $C_6$  también proporcionó buenos resultados al combinarse con todos los índices independientes de la distancia, con valores de  $R^2$  que oscilaron entre 0.43 y 0.57, mientras que el valor máximo de REMC fue 0.47 cm.

Los criterios de selección de competidores que mejores resultados proporcionaron fueron  $C_4$  y  $C_5$ , los cuales se basan en considerar competidores aquellos árboles cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base del árbol objetivo con una inclinación de  $60^\circ$  con respecto a la horizontal ( $C_4$ ), y ( $C_5$ ), que es parecido al anterior aunque en este caso la recta inclinada tiene su origen en la base de la copa del árbol; seguidos por el criterio  $C_9$ , el cual se basa en el concepto del ángulo de eliminación de competencia, que para este caso es de  $60^\circ$ . El criterio  $C_7$  que selecciona los árboles competidores teniendo en cuenta el concepto de ángulos de eliminación de competencia de  $90^\circ$  fue el que presentó los peores resultados para la mayoría de los índices de competencia.

El modelo [33] muestra la forma general del modelo de incremento en diámetro para las especie 5, y la tabla XVI presenta los parámetros estimados así como los estadísticos de ajuste.

$$id = \beta_1 d_i + \beta_2 G + \beta_3 N + \beta_4 t + \beta_5 \left( \frac{d_i}{t} \right) + \beta_6 IC_{14} \quad [33]$$

La figura 15 muestra los valores predichos contra los residuales utilizando el mejor índice de competencia independiente de la distancia ( $IC_{14}$ ) combinado con el mejor criterio de selección de competidores ( $C_5$ ) para la especie 5 (*Pinus engelmannii*).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

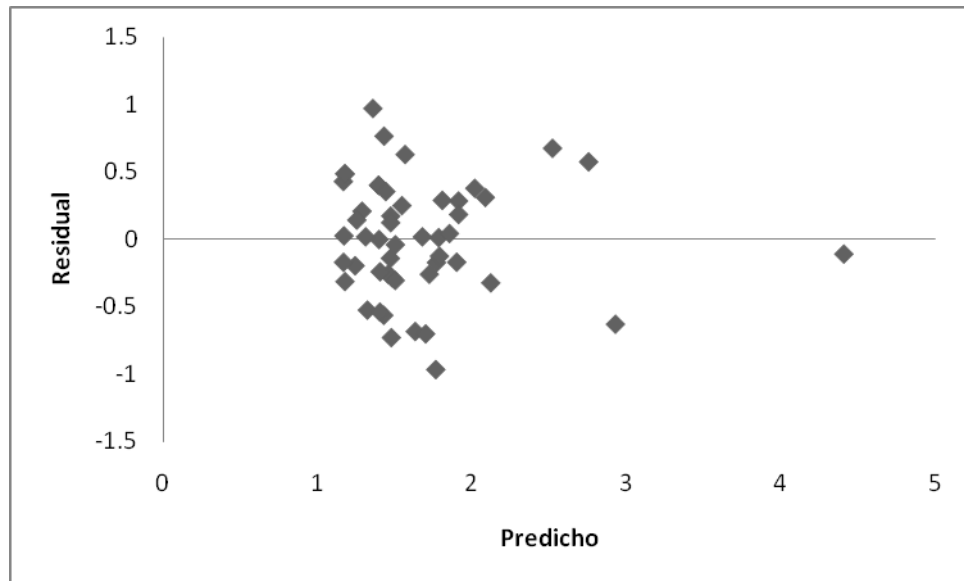


Figura 15. Valores predichos contra residuales estimados con el modelo [33] y la combinación IC<sub>14</sub>- C<sub>5</sub> para *Pinus engelmannii*

TABLA XV

PARÁMETROS Y VALORES DE LOS ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PARA EL MODELO DE INCREMENTO EN DIÁMETRO PARA LA ESPECIE 5 (*PINUS ENGELMANNII*)

PARAMETROS		REMC	R <sup>2</sup>
$\beta_1$	-0.05239	0.449	0.62
$\beta_2$	-0.00371		
$\beta_3$	-0.00072		
$\beta_4$	0.02507		
$\beta_5$	4.35952		
$\beta_6$	-0.10248		

El efecto de la competencia sobre el incremento en diámetro de *Pinus engelmannii* es negativo. En la figura 16 se observa que conforme aumenta el valor del índice IC<sub>14</sub> el

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

incremento disminuye de manera notable. El signo negativo del parámetro  $\beta_6$  permite comprobar que el modelo [33] (Tabla XV) proporciona resultados biológicamente razonables.

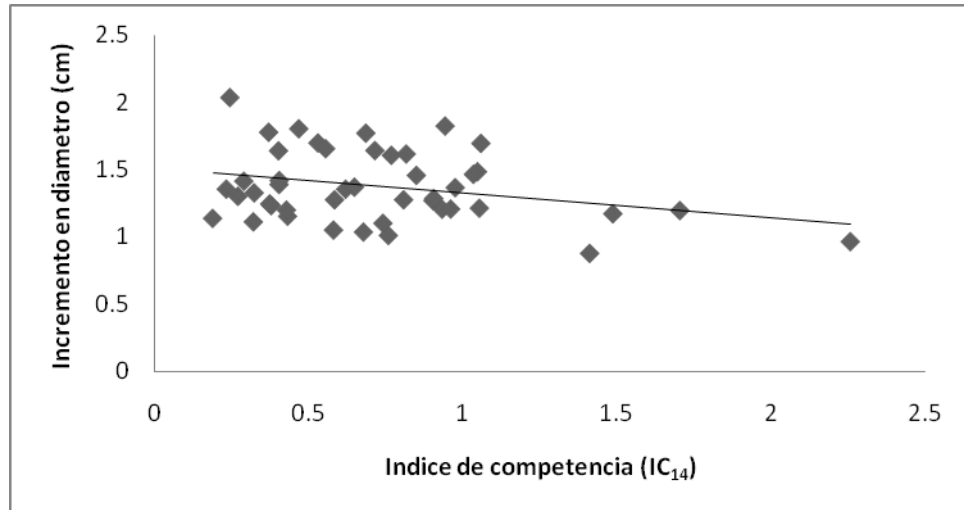


Figura 16. Relación entre el incremento individual en diámetro y el índice de competencia  $IC_{14}$  para *Pinus engelmannii*

## 6.4 DISCUSIÓN GENERAL

Los índices de competencia dependientes de la distancia entre árboles resultaron adecuados para estimar el incremento en las especies de pino estudiadas, a excepción de *Pinus teocote*. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Crecente-Ocampo (2007), quien encontró que estos índices de competencia presentaban un porcentaje muy bajo de reducción del error medio cuadrático. Resultados similares han sido reportados por Biging y Dobertin (1995), Álvarez *et al.* (2003), Corral-Rivas *et al.* (2005) y Vázquez (2006). Sin embargo, es importante señalar que los trabajos mencionados fueron realizados para masas puras, en las cuales se avaluó la competencia entre individuos de la misma especie. En el presente trabajo en cambio, los índices dependientes de la distancia explicaron adecuadamente, además de la competencia entre árboles de la misma especie, la competencia entre especies.

Por lo anterior, los resultados encontrados en este estudio difieren de lo señalado por Opie (1968), Moore *et al.* (1973), Alemdag (1978) y Mäkinen (1997), quienes afirman que todos los árboles considerados en el sitio contribuyen de igual manera en la estimación de la competencia, independientemente del tamaño o proximidad.

Los modelos de incremento en diámetro que incluyeron índices de competencia dependientes de la distancia presentaron valores de  $R^2$  de hasta 0.61, y valores de la raíz del error medio cuadrático de hasta 0.44 cm. A pesar de ser ciertamente bajos, estos resultados son consistentes con otros estudios, ya que se encuentran dentro de los intervalos de valores de  $R^2$  reportados para modelos de incremento en diámetro. En este contexto, Nagel (2002) reporta valores del coeficiente de determinación de 0.31 a 0.81, Monserud y Sterba (1996) de 0.20 a 0.63, Andreassen y Tomter (2003) 0.26 a 0.55 y Crecente-Ocampo (2007) 0.67. De igual manera, Palahí *et al.* (2003)

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

reporta valores de  $R^2$  de 0.24, mientras que Hessenmöller (2001) obtuvo resultados entre 0 y 0.65. Álvarez *et al.* (2003) y Corral-Rivas *et al.* (2005) presentaron resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo.

Vargas-Larreta (2006), en un estudio realizado en bosques con las mismas especies que las estudiadas en este trabajo (excepto *Pinus arizonica*) en la región de El Salto, Durango, México, obtuvo estadísticos de ajuste para los modelos de incremento en diámetro muy similares, lo cual indica lo difícil que resulta el modelar el incremento en diámetro en rodales mezclados e irregulares. Este autor encontró, el igual que en esta investigación, que un modelo lineal resulta ser adecuado para predecir el incremento en diámetro.

Es posible que la bondad de ajuste del modelo que considera la relación del incremento en diámetro con el índice de competencia  $IC_{15}$ , se deba a que al considerar este índice las dimensiones de la copa y la separación entre árboles se esté incluyendo una relación de competencia más acorde con la heterogeneidad que presentan los bosques irregulares, ya que se toma en cuenta con esto, la presión lateral que ejercen los árboles vecinos sobre el árbol objetivo. Esta aseveración coincide con lo señalado por Valles *et al.* (2003), quienes mencionan que a medida que la masa es más irregular, la situación competitiva de cada árbol es igualmente más heterogénea, por lo que cuando se estima el nivel de competencia en un bosque irregular, es prudente incluir variables de tipo natural como la longitud de copa y con parámetros que estén relacionados con la irregularidad de las estructuras, por lo que índices con dichas características son eficientes para estimar la competencia.

Con respecto a los índices de competencia independientes de la distancia los índices que proporcionaron mejores resultados por la mayoría de las especies fueron el BAL y el BALMOD. Schröder y Gadow (1999), Biging y Dobertin (1995), Álvarez *et al.*



## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

(2003), Corral- Rivas *et al.* (2005) y Vázquez (2006) encontraron igualmente, que la inclusión de estos índices producían mejoras significancias en sus modelos de incremento en diámetro. Sin embargo, en el presente trabajo sólo se obtuvieron resultados satisfactorios con este tipo de índices para *Pinus teocote* (índice de Fracción de Cabida Cubierta).

Es importante recalcar, que la base de datos utilizada se caracterizó por incluir un alto porcentaje de arbolado maduro en la mayoría de las parcelas permanentes. Esto influyó en la bondad de los ajustes, ya que se encontraron datos de incremento de los últimos cinco años cercanos a cero, precisamente porque los árboles se encontraban en la etapa donde su crecimiento en diámetro es casi asintótico. Además, una gran cantidad de árboles con el mismo diámetro normal presentaron un rango de valores de incremento muy amplio, lo cual hizo que los ajustes fueron relativamente bajos; esta situación se reflejó en la alta varianza de los residuos.

Los mejores resultados para la mayoría de las especies se obtuvieron con el índice de competencia  $C_{15}$  de Biging y Dobbertin (1992), combinado con el criterio de selección de competidores  $C_5$  que se basa en considerar competidores activos aquellos árboles cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base de la copa del árbol. Este criterio de selección de competidores mostró de igual manera los mejores resultados en combinación con la mayoría de los índices dependientes de la distancia. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Crecente-Ocampo (2007).

## VI. CONCLUSIONES

Un modelo de tipo lineal resultó adecuado para predecir el incremento en diámetro de las cinco especies del género *Pinus* evaluadas.

Los mejores resultados se obtuvieron con los índices de competencia dependientes de la distancia, a excepción de la especie 3 (*Pinus teocote*), para la cual un índice independiente de la distancia (Factor de Cabida Cubierta) presentó los mejores ajustes.

Para *Pinus arizonica* y *P. leiophylla* (especies 1 y 4), el índice IC<sub>15</sub> de Biging y Dobberting (1992) combinado con el criterio C<sub>5</sub> fue el que mejores resultados proporcionó. Para *Pinus durangensis* (especie 2) el índice IC<sub>17</sub> desarrollado por Valles *et al.* (1998), también combinado con el criterio C<sub>5</sub> fue el que mejor bondad de ajuste presentó, mientras que para *Pinus engelmanni* (especie 5) el índice que mejor explicó el efecto de la competencia en el incremento en diámetro fue el IC<sub>14</sub>.

Los índices de competencia seleccionados significaron en todos los casos una reducción importante del error medio cuadrático, al ser incluidos en aquellos modelos de incremento en diámetro que no consideran el efecto de la competencia.

El criterio de selección de competidores que mejores resultados proporcionó fue C<sub>5</sub> para todas las especies. Este criterio que considera competidores activos aquellos árboles cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base de la copa del árbol resultó ser el criterio más razonable para definir los árboles vecinos como competidores activos para cuatro de las cinco especies consideradas en este estudio. Sin embargo, este criterio tiene la desventaja de no ser muy fácil de usar en campo, comparado con mejores índices independientes de la distancia obtenidos.

## Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

Los resultados indican que para *Pinus arizonica*, *P. engelmannii*, *P. durangensis*, *P. leiophylla* y *P. teocote*, los índices de competencia seleccionados son los más adecuados para ser incorporados en un modelo de incremento en diámetro en la región de Santiago Papasquiari, Durango, México.

Los modelos seleccionados explicaron hasta un 61% de la variabilidad observada en el incremento en diámetro, con errores entre 0.43 y 0.63 cm. Parte de la variación que no fue explicada por los modelos puede deberse a las diferencias en las condiciones del sitio donde ocurren estas especies, o a las características genéticas, que controlan en gran medida la capacidad y velocidad del crecimiento. Estos componentes que regulan la competencia sobre un árbol no son expresados en los índices empleados en este trabajo.

Para comprender con mayor profundidad los efectos de la competencia en la dinámica de crecimiento de los bosques irregulares, es necesario realizar investigaciones encaminadas a desarrollar medidas de competencia que incluyan los procesos fisiológicos que ocurren en un árbol.

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

**VII. BIBLIOGRAFIA**

- Alder, D. A distance independent tree model for exotic conifer plantation in East Africa. For Sci. 25 (1): 59-71. (1979).
- Alemdag.I.S. Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted White spruce. Can.for.serv.,Forest Manage. Inst., Inf. Rep.FMR-X-108. (1978).
- Álvarez, M.F.;Barrios, M; Gorgoso,J. y Álvarez, J.G. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12(2): 25-35. (2003).
- Álvarez J.C.; Castedo Dorado, F.; Ruíz González, A.D., Lopez Sánchez, C.A. y Gadow, K.v. A two-step mortality model for even-aged stand of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwestern Spanic). Ann. For. Sci. 61:439-448. (2004).
- Andreassen, K., Tomter, S.M., Basal area growth models for individual trees of Norway spruce, Scots pine, birch and other broadleaves in Norway. For. Ecol. Manag. 180: 11-24. (2003).
- Arney J.D. Tables for quantifying competitive tress on individual trees on individual trees. Can. For. Serv. Inf. Report BCX-78. (1973).
- Arney J.D. A modeling strategy for the growth projection of managed stands. Can.J. For. Res. 15:511-518. (1985).
- Bachmann M. Indizes zur Eufassung der Konkurrenz von Einzelbaumen. Methodische Untersuchung in Bergmischwaldern. Forstliche Forschungsberichte Munchen. Nr. 171, 245 S. (1998).
- Begon, M., Harper, J.L., Townsed, C.R. Ecology, Edition. Blackwell Science, Oxford. (1986).
- Bella I. E. A new competition model for indi vidual trees. For Sci 17:364-372. (1971).
- Bella I.E., A new competition model for individual tree. For. Sci. 17, 364-352. (1993).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Belsey, D.A. Conditioning diagnosis, collinearity and weakndata in regression. Johon Wiley & Sons, Inc., New York. (1991).
- Bergantiños, S. Estudios de índice de competencia para la especie *Pinus radiata* en los municipios de Friol, Lancara y Lugo. Proyecto Fin de Carrera. E.P.S. Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. (1999).
- Bertalanffy, L.v. Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol. 32:217-231. (1957).
- Biging G. S., Dobbertin M., A comparision of distance- dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees, For. Sci. 38 (3), 695-720. (1992).
- Biging, G.S. y Dobbertin, M. Evaluation of comperirion indices in individualntree growth models. For. Sci 41 (2):360-377. (1995).
- Brand, D.G. and S. Magnussen. Asymetric, two sided competition in even monocultures of red pine. Can. J. For. Res. 18:901-910. (1989).
- Burkhart, H. E. Suggestion for choosing an appropriate level for modeling forest stands. In Amaro., Reed, D. y Soares, P. (Eds.) Modelling Forest Systems, pp. 3-10. CAB Onternational, Wallingford. (2003).
- Canham D. C., LePage P. T., y Coates D. K. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effect of shading versus crowding. Can. J. For. Res. 34: 778-787. (2004).
- Clark, P.J. y Evans, F.C. Distance to nearest neighbor as a masure of spatial relationships in population. Ecology 35: 445-453. (1954).
- Corral J.J., JG. Álvarez, o. Aguirre y F.J. Hernández. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (México). (2004).
- Corral-Rivas,J.J.; Alvarez, J.G.; Aguirre, O. y Hernandez, F.J. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* blanco in Durango (Mexico). Eur.J. Fores Res. 124.133-142-. (2005).
- Crecente-Campo F. Elaboración de un modelo de incremento en diámetro para *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Universidad de Compostela. (2007).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Daniels, R.F. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. *For. Sci.* 22:b 454-456. (1976).
- Diéguez-Aranda, U., Burkhardt, H.E., Rodríguez-Soalleiro, R. Modelling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in north-western Spain. *For. Ecol. Manage.* 215, 271-284. (2005).
- Ek, A. R. and R.A. Monserud. Performance and comparison of stand growth models based on individual tree and diameter class growth. *Can. J. For. Res.* 9:231-234. (1974).
- Ford, E.D. y Diggle, P.J. Competition fir kught up a plant monoculture modeled as a spatial stochastic process. *Ann, Bot.* 48:481-500. (1981).
- Ford E.D., Sorrensen K.A. Theory and models of inter-plant competition as a spatial process. En: individual based models and approaches in ecolosystems. De Angelis, D.L.,Gross, L.J. eds. Chapman and Hall, London. (1992).
- García AA, González EMS. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología-CIIDIR-IPN. Durango, Dgo. México. (1998)
- García. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección de *Pinus radiata* D. Don. Proyecto Fin de Carrera. E.P.S. Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. (1999).
- Gerrard, D.I. Competition quotient: a new measure or the competition affecting individual forest trees. *Mich. State Univ. Agric. Res. Bull.* 20: 1-32. (1969).
- Gompertz, B. On the mature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phill. Transac. Roy. Soci. London* 115: 513-585. (1825).
- Gadow Kv.,Hui G. Modeling Forest Development, kluwer Academic Publishers. 213pp. (1999).
- Gerrard D.I. Competition quotient: a new measure for the competition affecting individual forest trees. Michigan State University Agricultural Research Station, Research Bulletin 20, 1-32. (1969).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Gorgoso, M.J. Estudio de índices de competencia para la especie *Pinus radiata* en los municipios de Guitiriz, Guntín y Lugo. Proyecto Fin de Carrera E.P.S. Lugo Universidad de Santiago de Compostela. (1999).
- Glover, G. R. and J.N. Hool. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. For. Sci. 25:275-282. (1979).
- Hegyí F., A simulation model for managing jackpine stands. Grow Models for Tree and Stand Simulation. Proc. IUFRO Meeting S4.01.04, Royal College of Forestry, Stockholm. pp 74-90. (1974).
- Hessenmöller, D. Modelle zur Wachstums-und Durchforstungssimulation im Göttinger Kalkbuchenwald. Diss. Forstliche Fakultät, Göttingen. 163 S. (2001).
- Hix, D. M. and C. G. Lorimer. Growth competition relationships in young hardwood stands on two contrasting sites in southwestern Wisconsin. For. Sci. 36(4): 1032-1049. (1990).
- Holmes MJ, Reed DD. Competition indices for mixed species Northern Hardwoods. For Sci 37(5):1.338-1.349. (1991).
- Hynynen J. y Ojansuu R. Impact of plot size on individual-tree competition measure for growth and yield simulators. Can. J. For. Res. 33: 455-465. (2003).
- Jonson, E.W. Relationship between point density and growth. Agric. Exp. Stn., Auburn Uni., Bull. 447. (1973).
- Keddy, P.A. Population and community biology. Competition. Chapman and Hall, London. (1989).
- Kozak, A. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. (1997).
- Kozak, A. y Kozak, R. Does cross validation provide additional information in the evaluation of regression models? Can. J. For. Res. 33:976-987. (2003).
- Lederman, T and A. R. Stage. Effects of competitor spacing in individual tree indices of competition. Can J. For. Ecol. Manage. . 6:343-360. (2001).
- Lorimer, C. G. Test of age-independent competition indices for individual tree in natural hardwood stands. For. Ecol. Manage. 6:343-360. (1983).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Lee D.T., Gadow K. V. Iterative bestimmung der konkurrenzbaume in *Pinus densiflora* Beständern. AFJZ 168 (3/4), 41-44. (1997).
- Lorimer, C.G. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. For. Ecol. Manage. 6:343-360. (1983).
- Mabvurira, D. y Miina, J. Individual-tree growth and mortality models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden plantations in Zimbabwe. For. Ecol. Manage. 161: 231-245. (2002).
- Magnussen, S. Effect and adjustments of competition bias in progeny trials with single-tree plots. For. sci. 35(2):532-547. (1989).
- Makinen, H. Effect of intertree competition on biomass production of *Pinus silvestris* (L) half sib families. For. Ecol. Manage. 86: 105-112. (1996).
- Makinen, H. y F. Colin. Predicting the number, death, and self pruning of branches in Scots pine. Can. J. For. Res. 29:1125-1236. (1999).
- Makinen H. Possibilities of competition indices to describe competitive differences between Scots pine families. Silva Fenn 31:43-52. (1997).
- Martín G.L., Ek A.R. A competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. For. Sci 30 (3), 731-743. (1984).
- Martinez Millán, F.J. y Madrigal, A. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección. Comunicaciones INIA. Series Recursos Forestales no. 13. (1982).
- Miina, J. y T. Pukkala. Using numerical optimization for specifying individual tree competition models. For. Sci. 46 (2): 277-283. (2000).
- Monserud, R.A. y Sterba, H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. For. Ecol. Manage. 80(1-3):57-80. (1996).
- Munro D.D. Forest growth models-a prognosis. Growth models for tree and stand simulation. Proc. IUFRO Meeting S4.01.04, Royal College of Forestry, Stockholm, Research Notes, N. 30, 7-21. (1974).
- Myers, R.H. Classical and Modern Regression with Applications. Second ed. Duxbury Press. Belmont. CA. (1990).



Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Nagel, J.; Albert, M. y Schmidt, M. Das waldbauliche Prognoseund  
Entscheidungsmodell BWINPro 6.1. Forst. U Holz. 57:486-493. (2002).
- Nance, W. L., J. E Grissom and W. R. Smith. A new competition index based on  
weighted and constrained area potentially available. IUFRO. Forest growth  
Modeling and prediction, conference. Minneapolis, MN. USDA. Gen Tech. Rep.  
NC-120. Pp. 134-142. (1987).
- Neter J., Kutner M.H., Nachtsheim C.J. y Wasserman, W. Appliedlinear statistical  
models, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, New York. (1996).
- Opie, J. E. Predictability of individual tree growth using various definitions of  
competing basal area. For. Sci. 14 (3):314-323. (1968).
- Palahí M., Pukkala T. Miina J., Montero G. individual-tree growth and mortality  
models for scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in north-east Spain. Ann. For. Sci. 60:  
1-10. (2003).
- Peschel, W. Die. mathematischend Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze  
von Baum und Bestan un die Ergebnisse ihrer Anwendun g. Tharandter  
Forstliches Jahrburch 89:169-247. (1938).
- Pretzsch H, Biber P, Dursky J. The single tree. Based stand simulator SILVA:  
construction, application and evaluation. For Ecol Manag 162:3-21. (2002).
- Pukkala, T. Studies on the effect of spatial distribution of trees on the diameter  
growth of Scots pine. Publications in Science No. 13. University of Joensuu.  
(1988).
- Pukkala, T. Predicting diameter growth in an even-aged Scots pine. Silva Fenn.  
23:101-116. (1989).
- Rawlings, J.O.; Pantula,S.G. y Dichey, D.A. Applied regression analysis: a research  
tool. Springer-Verlag, New York. (1998).
- Reineke, L.H. Prefecting a stand density index for even-aged forest. J. for. Res. 46:  
627-638. (1933).
- Rennols K., Smith W. R. Zone of influence models for inter tree forest competition.  
Stochastic Spatial Models in Forestry. Proc a IUFRO S4.11 Conf, held in  
Thessaloniki, Greece. pp 27-36. (1993).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Richards, F.J. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10:290-300. (1959).
- Rodriguez, F. C. Development of a competition index for *Pinus montezumae* Lamb. In a temperate Forest of Mexico. Ph. D. Thesis. Yale Univ. School of For . 200 p. (1987).
- Romero, G. Y. E. Análisis del crecimiento de *Pinus patula* Schl. Et Cham. En diferentes niveles de competencia intra-especifica en Huayacocotla, Ver. Tesis M.C. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Mex. 192 p. (1993).
- Schröder J., GADOW K. v. Testing a new competition index for maritime pine in northwestern Spain. *Can. J. For. Res.* 29, 280-283. (1999).
- Schröder J., Comparison of a spatial and non-spatial model for predicting basal area increment of individual maritime pine trees in Galicia. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen. (2000).
- Staebler G. R. Growth and spacing in an even-aged stand of Douglas – fir. Master's thesis, Univ. of Michigan. (1951).
- Spurr, S.H. A measure of point density. *For. Sci.* 8(1):816-831.
- Tomé M, Burkhart H.E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *For. Sci.* 35(3):816-831. (1989).
- Trepl. Competition and coexistence on the historical background in ecology and the influence of economy and social sciences. *Ecol. Modeling* 75/76, 99-110. (1994).
- Valles, G. A. G. Evaluación de índices de competencia para predecir el crecimiento de árboles individuales de *Pinus cooperi* en San Miguel de cruces Durango. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Mex. 98 p. (1994).
- Valles, G. A. G., R. F., Gallegos, I. A. y Torres, R. J. M. Navár, CH. J. J. y Rocha, F. M. Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia con modelos de crecimiento en diámetro en *Pinus cooperi* Blanco. Resumen VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. SOMEREF. UASLP. p 53-55. (2003).

Influencia De La Competencia En El Crecimiento En Diámetro Normal En Los  
Bosques De La Región Noroeste Del Estado De Durango

- Valles G.A.G, Torres RJM, Velázquez MA, Rodríguez FC. Relación de nueve índices de competencia con el crecimiento en diámetro de *Pinus cooperi* Blanco. *Agrociencia* 32(3):255-260. (1998).
- Vanclay, J. K. Modelling forest growth – applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, UK. (1994).
- Van Laar A, Akca A. Forest mensuration. Cuvillier, Gottingen, 418 p. (1997).
- Vargas-Larreta, B. 2006. Analyse und Prognose des Einzelbaumwachstums in Strukturreichen Mischbeständen in Durango, Mexiko. Univ. Göttingen, Deutschland. Diss. 173 p. (2006).
- Vázquez, E. Estudio comparativo de diferentes índices de competencia para *Pinus radiata* D. Don en Galicia, y su relación con el crecimiento en sección. Proyecto Fin de Carrera. E. P. S. Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. (2006).
- Woodall C. W., Fiedler C.E. y Milner K. S. Inter tree competition in uneven-aged ponderosa pine stands. *Can. J. For. Res.* 33: 1719-1726. (2003).
- Zeide B. Analysis of growth equations. *For. Sci.*39, 595-615. (1993).