

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA

Efecto de un aclareo, sobre propiedades de la madera e incremento en diámetro, de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Por :

HECTOR SANCHEZ CERANO

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

Ingeniero Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Efecto de un aclareo, sobre propiedades de la madera e incremento en diámetro, de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

POR:

HECTOR SANCHEZ CERANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para
Obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

Asesor principal
Agronomía
M.C. Salvador Valencia Manzo

Coordinador de la División de
M.C. Reynaldo Alonso Velasco

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Octubre de 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Efecto de un aclareo, sobre propiedades de la madera e incremento en diámetro, de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

POR:

HECTOR SANCHEZ CERANO

Que se somete a consideración del H. Comité de Tesis como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

Asesor principal
M.C. Salvador Valencia Manzo

Sinodal
Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo
Castro

Sinodal
M.C. J. Armando Nájera

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Octubre de 2000

No malgastes el tiempo, pues es la sustancia de la que está formada la vida.

Benjamin Franklin.

SI SE PUEDE

*Hay muchos que declaran: no se puede
y derrota anticipan totalmente.
su avanzar de inmediato retrocede*

y dejan de luchar cobardemente.

*Otros bregan con voluntad de acero,
fijan metas de honor valientemente
con devoción y anhelo justiciero.*

*Enfrentan el dolor serenamente,
cumpliendo su deber con gran esmero
y elevando con dignidad la frente.*

*Quiero tener la habilidad que sepa,
imitar al valiente que no cede,
al que sudando la montaña trepa,
diciendo con su ejemplo: **¡sí se puede!***

Plutarco Guzmán.

DEDICATORIA

A las dos personas mas importantes en mi existencia, por darme el regalo mas grande que puede existir. La vida.

A MIS PADRES

Sra. Guillermina Cerano Vázquez

Por ser la señora mas linda, comprensiva y cariñosa, porque sin tu apoyo, y palabras de ánimo la etapa que hoy se concluye en mi vida, simplemente nunca habría empezado. Mamá te amo.

Sr. Ramón Sánchez Ayala

Porque eres la guía de mis pasos, el respaldo y apoyo incondicional, por ser el padre que enseña con hechos el camino a sus hijos. Papá te amo y admiro.

A MIS HERMANOS

Por el gran amor apoyo y comprensión que nos tenemos.
Salvador, por ser la alegría, ejemplo a seguir, por tu apoyo incondicional y sobre todo por tener los mismos ideales.

Azucena, por ser como mi segunda madre y estar en todo momento pendiente de mi bienestar sin escatimar esfuerzos.

Enrique, por tu inmenso apoyo, solidaridad y por que sin ti el presente que hoy tengo no seria el mismo.

Elva , porque contigo encuentro la ternura, amor y comprensión y sobre todo por ser la compañera de travesuras y juegos de mi niñez.

A MIS SOBRINOS:

Los futuros profesionales de la familia

Michelle

Miguel Angel

Edgar

Jorge Miguel

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por darme la fuerza y capacidad de terminar el presente trabajo.

Al **Pueblo de México**, que con el pago de sus impuestos hace posible la existencia de universidades publicas.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por ser la institución en la cual realicé una importante meta de mi vida.

A mi querido **Centro de Educación y Capacitación Forestal No 1**. por enseñarme que en la vida los logros se conquistan con disciplina.

De manera especial quiero agradecer al M.C. **Salvador Valencia Manzo**, por el gran apoyo y dedicación en la realización del presente trabajo.

Al Ph. D. **Eladio H. Cornejo Oviedo**, por el interés y acertadas sugerencias en la realización del presente trabajo.

Al M.C. **J. Armando Nájera Castro**, por revisar el presente escrito.

A **Erika Maria Reyna Olvera**, Por el invaluable apoyo en la etapa de laboratorio y por tener siempre palabras de aliento y comprensión.

A **Miguel Aguilar** por el gran apoyo palabras de animo y sobre todo por ser un gran amigo.

A **Josie** porque siempre has demostrado lo mucho que te importamos.

A **Julián Cerano, Omar Delgado, Jose Juan Ochoa, Saúl Colín, Mario Jarillo, Salvador Cortez, Luis Manuel Martínez y Francisco Calvillo** por su gran apoyo y solidaridad en el levantamiento de la información de campo.

A **Julián Cerano** por la gran amistad y ser el compañero inseparable en mi formación académica.

A **Raúl Martell, Efraín Lopez, Simey Cruz, Marío Jarillo y Saúl Colín**, por brindarme su amistad

A **María de Jesús Sánchez y Leticia Cortés** laboratoristas del Departamento de Ciencias Básicas, por las facilidades brindadas para la realización del presente estudio.

El presente estudio se realizó como parte de los Proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: “Determinación de la calidad de sitio en bosques de las porciones Norte de la Sierra Madre Oriental y central de la Sierra Madre Occidental” (Clave: 02.05.0906.2446) y “Estudio de la variación en características de la madera en coníferas de la porción Norte de la Sierra Madre Oriental (Clave: 02.05.0906.2600).

INDICE DE CONTENIDO

	Págin
a	
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vii
1 INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
2 REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Competencia	4
2.2. Densidad de la madera	5
2.2.1 Importancia de la densidad de la madera	7
2.2.2 Control de la densidad de la madera	8
2.2.3 Métodos para la estimación de la densidad de la madera	9
2.3 Aclareos	11
2.3.1 Tipos de aclareo	12
2.3.2 Efecto de los aclareos	12
2.3.2.1 Efecto de los aclareos sobre la calidad de la madera	13

2.3.2.2 Efecto de los aclareos sobre el crecimiento en altura y el desarrollo de la copa	14
2.3.2.3 Efecto de los aclareos sobre el crecimiento en diámetro	15
3 MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Ubicación geográfica	17
3.2 Descripción general del área	17
3.2.1 Fisiografía	17
3.2.2 Hidrología	17
3.2.4 Geología y suelos	19
3.2.3 Clima	19
3.2.5 Vegetación	19
3.2.6 Descripción silvícola de los rodales aclareados	19
3.3 Metodologías	20
3.3.1 Trabajo de campo	20
3.3.1.1 Diseño y tamaño de muestra	20
3.3.1.2 Medición de la vegetación	22
3.3.2 Trabajo de laboratorio	23
3.3.2.1 Seccionado de las muestras	24
3.3.2.2 Medición de anillos	24
3.3.2.3 Densidad de la madera	24
3.3.3 Procesamiento de datos	25
3.3.3.1 Incremento corriente anual en diámetro	26
3.3.3.2 Proporción de madera tardía	26
3.3.3.3 Area basal actual	26
3.3.3.4 Area basal del año 1981	27
3.3.3.5 Area basal extraída	28
3.3.3.6 Area basal original	28
3.3.3.7 Intensidad de aclareo	29
3.4 Análisis estadístico	29
3.4.1 Correlaciones	31

4 RESULTADOS Y DISCUSION	33
4.1 Caracterización de los rodales de estudio	33
4.1.1 Caraterísticas dasométricas del arbolado	33
4.1.2 Area basal e intensidad de aclareo	34
4.1.3 Densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal	35
4.2 Efecto de los aclareos sobre la densidad de la madera proporción de madera tardíae incremento corriente anual en diámetro normal	44
4.3 Inicio y duración del efecto de los aclareos, sobre la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal	66
4.4 Densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal y su relación con variables dasométricas	66
5 DISCUSION GENERAL	73
6 CONCLUSIONES	76
7 RECOMENDACIONES	78
8 LITERATURA CITADA	79
9 APENDICES	83

INDICE DE CUADROS

	Página
1. Ubicación geográfica de rodales de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga Coahuila.	
17	
2. Superficie en hectáreas, número de sitios, área basal por hectárea y poblacional, desviación estandar y varianza, con base en el premuestreo por rodal de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila	
21	
3. Número de árboles taladrados por rodal y categoría diamétrica (CD) de <i>Pinus rudis</i> , en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	23
4. Promedio de los valores y error estandar del diámetro normal (DN), grosor de corteza(GC), diámetro de copa (DC), altura total (AT), altura	

de fuste limpio (AFL) y edad para <i>Pinus rudis</i> en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	33
5. Valores de área basal original (AB ₀), área basal extraída (AB _E), área basal residual del año 1981 (AB ₈₁), área basal actual (AB _A), por hectarea e intensidad de aclareo, para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	35
6. Valores de densidad de la madera (DM), por rodal, para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	35
7. Valores de densidad de la madera (DM), por categoría diamétrica (CD), para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	36
8. Valores de densidad de la madera, por categoría diamétrica dentro de cada rodal, para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	37
9. Valores de correlaciones entre densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT), e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) por categoría diamétrica para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	43
10. Correlaciones de diámetro normal, grosor de corteza, diámetro de copa, cobertura, edad (ACP 1), y altura total y altura de fuste limpio (ACP 2) con densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT), e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para <i>Pinus rudis</i> en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	67

INDICE DE FIGURAS

	Págin
a	
1. Localización geográfica del área de estudio	18
2. Comportamiento de la proporción de madera tardía (PMT) en tres rodales de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	39

3. Comportamiento del incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), en tres rodales de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga Coahuila.	41
4. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera (DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 15 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	45
5. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 20 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	49
6. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 25 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	53
7. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 30 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	57
8. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 35 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	60
9. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual C) en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 40 cm de <i>Pinus rudis</i> en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	63

}

	Pági
na	
10. Diagrama de dispersión de diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad (ACP 1) con densidad de la madera (DM), por rodal para <i>Pinus rudis</i> , en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	70
11. Diagrama de dispersión de diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad (ACP 1) con proporción de madera tardía, (PMT) por rodal para <i>Pinus rudis</i> , en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	71
12. Diagrama de dispersión, de diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad (ACP 1) con incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), por rodal para <i>Pinus rudis</i> , en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.	72

RESUMEN

De los tratamientos silvícolas que se aplican en México, los aclareos es una de las prácticas más comunes en los rodales naturales. Con el objetivo de conocer el efecto de los aclareos sobre la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro y la relación de estas con variables dasométricas se muestrearon tres rodales de edad uniforme de *Pinus rudis* Endl., en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila, entre los paralelos 25°15'40" y 25°17'11" de latitud Norte y los meridianos 100°27'16" y 100°28'55" de longitud Oeste. En dos rodales se aplicaron aclareos en 1981 y el restante se encuentra sin aclareo. Se levantaron un total de 36 sitios circulares de 500 m² dentro de los cuales se taladraron dos árboles por categoría diamétrica por dos de sus lados en sentido perpendicular a la pendiente, para extraer las virutas y se tomó la información de sus variables dasométricas

En el laboratorio las virutas fueron divididas en dos secciones de 16 anillos antes del aclareo y 16 anillos después del aclareo, estas secciones a su vez se dividieron en muestras de cuatro anillos cada una. A cada una de estas últimas se les midió con un estereoscopio y una lente micrométrica, con una precisión de 0.09 mm, el ancho total de cada uno de los anillos y el ancho de la madera tardía. Con base en la longitud total de los anillos y longitud de madera tardía, se estimó la proporción de madera tardía. El incremento corriente anual en diámetro se calculó promediando la longitud de los 4 anillos de cada muestra. Después se determinó la densidad de la madera para cada una de las muestras por medio del método del máximo contenido de humedad.

La densidad de la madera resultó afectada por los aclareos en diferentes grados, dependiendo de la categoría diamétrica. En las categorías diamétricas de 20, 25 y 30 cm fue donde se encontraron los porcentajes más altos de disminución de esta variables (1.16 a

5.38%) y las categorías que menor grado de disminución tuvieron fueron las categorías de 15, 35 y 40 cm de diámetro (0.95 a 2.34%).

Para la proporción de madera tardía, las categorías diamétricas de 25, 30 y 35 cm disminuyeron 10, 16 y 13%, respectivamente, en los períodos inmediatos a la aplicación de los aclareos y las categorías que se vieron afectadas en menor grado fueron las de 15 con 3% y las categorías de 20 y 40 cm con una disminución de 6%.

Para el incremento corriente anual en diámetro normal, todas las categorías diamétricas evaluadas de los rodales aclareados aumentaron su crecimiento en diámetro después del aclareo desde un 40% hasta 70% en el primer y segundo periodo después de aplicado el aclareo a excepción de la de 20 cm que incremento de 15 a 25%.

La densidad de la madera, en forma general, se relaciona de manera positiva con la proporción de madera tardía ($r = 0.121$) ($P = 0.0368$). El incremento corriente anual en diámetro presenta una relación negativa con la proporción de madera tardía ($r = -0.651$) ($P = 0.0001$). La relación entre densidad de la madera e incremento corriente anual en diámetro normal se asocian de manera negativa únicamente en algunas categorías diamétricas.

El diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y la edad se relacionan de manera positiva con la densidad de la madera ($0.158 \leq r \leq 0.359$) y con los incrementos en diámetro ($0.39 \leq r \leq 0.54$), pero esas mismas variables se relacionan de manera negativa con la proporción de madera tardía ($-0.14 \leq r \leq 0.34$). Mientras que la altura total y altura de fuste limpio se relacionan de manera positiva únicamente con la densidad de la madera ($0.11 \leq r \leq 0.213$) y con la proporción de madera tardía ($r = 0.158$).

El efecto de los aclareos sobre la densidad de la madera se observa en un período de cuatro años posterior a la aplicación de éste y durando este efecto un tiempo aproximado de 4 años. La proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro,

respondieron a la aplicación del aclareo inmediatamente después de 1981 (año del aclareo) y este efecto duró aproximadamente 8 años.

La aplicación de los aclareos se manifiesta en mayor grado en el incremento corriente anual en diámetro en comparación con la densidad de la madera y la proporción de madera tardía, por lo que con la aplicación de los aclareos se estimula el crecimiento en diámetro y se conserva la densidad de la madera que se tenía antes de aplicado el aclareo.

1 INTRODUCCION

Las prácticas silvícolas en México, son en su mayoría adoptadas de otros países, o bien, en la mejor de las situaciones, adaptadas de manera uniforme a las condiciones tan heterogéneas de los bosques de México lo cual ha ocasionando el deterioro de los bosques y alteración del equilibrio ecológico en general, por lo que surge la necesidad de desarrollar métodos silvícolas para los bosques mexicanos. Sin embargo, estos métodos carecen de bases ecológicas lo suficientemente fuertes y justificadas para asegurar la preservación de los ecosistemas forestales. Aunado a lo anterior, en muchos de los casos, el personal encargado de aplicar los sistemas silvícolas, carece de ética y conocimiento de la ecología de las especies por lo que las cortas no se aplican de la manera más adecuada, de tal manera que se tienen serias repercusiones en el equilibrio ecológico, en la economía de los poblados cercanos al recurso forestal y en las propiedades de la madera del arbolado que queda en pie después del aprovechamiento (Jardel, 1985).

Los aclareos constituyen una de las prácticas silvícolas intermedias, que se aplican en los bosques de coníferas de edad uniforme, con la finalidad de aprovechar de manera parcial los recursos maderables generados por el bosque y controlar la densidad del arbolado (Daniel *et al.*, 1982). Sin embargo, la información que actualmente se conoce

sobre los efectos que causan la aplicación de los aclareos sobre las características y calidad de la madera y en particular sobre la densidad de la madera, es contradictoria, confusa e insuficiente (Hernández *et al.*, 1996) por la cantidad de factores tanto ambientales como propios de cada especie que influyen en la formación de la madera (Zobel y Talbert, 1988). Además la mayoría de los estudios realizados se han desarrollado en plantaciones forestales, donde el espaciamiento y tamaño del arbolado es más homogéneo que en rodales naturales donde se tiene una gran variabilidad en las características y espaciamiento del arbolado (Oliver y Larson, 1996).

Pinus rudis Endl. es una especie de amplia distribución en México por lo que se encuentra en una gran variedad de condiciones ambientales, asimismo, es una especie maderablemente muy importante, dadas sus características anatómicas y físicas de su madera. Estudios realizados sobre la densidad de la madera de esta especie coinciden en concluir que la madera de *Pinus rudis* es recomendable en la producción de pulpa para la elaboración de papel además de recomendarla para uso en la construcción y en la fabricación de muebles (Ibarra, 1999; Valencia y López, 1999)

Dada la importancia que representa el conocimiento de la densidad de la madera y la especie, el presente trabajo se desarrolló sobre rodales naturales de *Pinus rudis* donde fue aplicado un aclareo en el año de 1981. Para conocer las intensidades de corta aplicadas se realiza una reconstrucción del arbolado extraído por medio de regresión lineal. En este estudio se analiza el efecto del aclareo sobre la densidad de la madera, proporción de la madera tardía e incremento corriente anual en diámetro a 1.3 m de altura, así como la relación que guardan estas características con las variables dasométricas del arbolado.

1.1 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

a) Conocer el efecto de un aclareo en la densidad de la madera, la proporción de la madera tardía e incremento corriente anual en diámetro de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

b) Identificar el inicio y duración del efecto de un aclareo en la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro.

c) Identificar la relación que guardan la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro, entre ellas y con las características dasométricas del arbolado.

1.2 Hipótesis

La hipótesis propuesta para el presente estudio fue que la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro son afectados por la aplicación del aclareo. Por lo tanto las hipótesis estadísticas del presente estudio son:

Hipótesis nula

Ho: El aclareo no tiene efecto significativo sobre la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Hipótesis alterna

Ha: El aclareo afecta la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

2 REVISION DE LITERATURA

2.1 Competencia

El bosque es una integración compleja de organismos tanto vegetales como animales que se encuentra en una constante interacción y que ocupan un mismo ambiente, por lo que estos organismos están en una lucha por recursos como el agua, luz aire y nutrientes que son de vital importancia para su subsistencia y desarrollo. La competencia es provocada por un constante crecimiento y demanda por espacio y recursos. En rodales de

edad uniforme la competencia por la luz, la humedad y los nutrientes dependen en gran medida de la densidad de dicho rodal (Spurr y Barnes, 1982).

En los bosques fuertemente poblados es inevitable la competencia por los recursos disponibles entre árboles con arbustos y plantas herbáceas. Por lo que, plantas y árboles tienen una fuerte lucha por la existencia y esto tiene como consecuencia la reducción de la tasa de crecimiento, inhibición de la fotosíntesis, árboles suprimidos, así como el abastecimiento insuficiente de carbohidratos (Kozłowski *et al.*, 1991).

La competencia por el agua y nutrientes en los bosques envuelve múltiples organismos y complejas interacciones. En los niveles más altos de nutrientes, el crecimiento es más rápido y existe una baja diversidad de especies, de tal manera que la tasa de crecimiento es fuertemente influenciada por la competencia intraespecífica e interespecífica dependiendo del estado y manejo del rodal; sin embargo, muchos de los contratiempos en el desarrollo del rodal pueden ser eliminados mediante prácticas silvícolas y una de las maneras más efectivas de incrementar la producción del sitio es mediante el control de las malas hierbas que rodean al arbolado y una aplicación correcta de las prácticas silvícolas como son los aclareos (Nambiar y Sands, 1993).

En los bosques los árboles compiten por tres recursos principalmente, luz, agua y nutrientes. La cantidad de luz disponible por debajo del estrato principal es restringida por la cobertura del dosel principal, por lo que la transmisión de luz a los estratos inferiores está determinada por la densidad, el área de índice foliar, espaciamiento de los árboles, cierre de las copas y área basal existente en el sitio; la competencia por el agua en rodales densos, puede ser disminuída por la aplicación de prácticas silvícolas como son los aclareos, ya que éstos incrementan potencialmente el agua aprovechable y por último la lucha por los nutrientes del suelo aumenta conforme aumenta el número de individuos por unidad de superficie (Kozłowski *et al.*, 1991).

El efecto de la competencia es observable en la copa, en el crecimiento del cámbium, crecimiento en altura, crecimiento en diámetro y reproducción del arbolado. En rodales de edad uniforme, la competencia puede originar que el arbolado, de acuerdo al tamaño de su copa, pueda ser dominante, codominante, intermedio o suprimido, de tal manera que el tamaño de la copa es de gran interés en el desarrollo del arbolado y en la producción de madera. Ya que la posición de la copa determina la capacidad del arbolado por competir por los recursos disponibles. Cuando la competencia incrementa, la producción de madera y el ancho de los anillos anuales de crecimiento son reducidos significativamente, por lo que el crecimiento del cámbium es mucho más sensible que el crecimiento en altura, dada la relación que guarda el cambium con el tamaño de la copa. La competencia tiende a reducir la extensión, profundidad, forma y densidad de las raíces, de tal manera que el crecimiento de la raíz se incrementa conforme se desarrolle la copa del árbol (Kozłowski *et al.*, 1991).

La competencia puede ser controlada por intervenciones silvícolas, desde el momento de iniciación del rodal hasta su cosecha final, estas intervenciones tienen la función de acelerar el proceso natural por medio del cual unos árboles suprimen a otros menos competitivos y así se evita la competencia, se aprovechan materiales útiles y se

reduce en gran medida el riesgo de agentes perjudiciales como incendios forestales, principalmente (Meson y Montoya, 1993).

2.2 Densidad de la madera

Es relevante entender el significado de la densidad de la madera y peso específico. La densidad de la madera es el peso de ésta expresado en gramos sobre volumen de la misma y el peso específico también llamado gravedad específica, es una relación entre la densidad de la madera y la densidad de una sustancia de referencia, por lo general el agua, la cual se considera para fines prácticos tiene una densidad de 1 g cm^{-3} . El peso específico carece de unidades. De tal manera que el peso específico y la densidad son formas de expresar la cantidad de sustancia de madera que esta presente en un determinado volumen (Zobel y Talbert, 1988).

Algunos autores mencionan que la densidad de la madera es una medida de la calidad y cantidad de la sustancia de madera y ésta puede variar con la especie, parte del árbol y edad (Larson, 1964; Ifju, 1969; Meson y Montoya 1993). Dentro de un mismo árbol la densidad de la madera aumenta a medida que aumenta la edad, el porcentaje de madera tardía y el grosor de la pared celular (Larson, 1964; Ifju, 1969; Brown, 1970).

La herencia, la fisiología, acciones mecánicas y las condiciones ambientales actúan sumándose u oponiéndose sobre la calidad de la madera, por lo tanto sobre la densidad de la madera (Kollman, 1959). Por lo que, la madera no es homogénea sino que presenta una gran variabilidad y discontinuidades de tipos de células (Bidwell, 1983).

Lo anterior se refleja en los anillos anuales de crecimiento, dado por las etapas de crecimiento y reposo del arbolado (Kollman, 1959). En las coníferas, la constitución de los anillos es evidente. La madera de primavera o temprana se reconoce por tejidos leñosos porosos, formados por células grandes y pared celular delgada. Mientras que la madera de verano o tardía se reconoce por presentar tejidos leñosos más estrechos con células pequeñas y paredes gruesas (Kollman, 1959; Bidwell, 1983). Asimismo, Gregg *et al.*

(1988) mencionan que la formación de la madera esta influenciada tanto por la genética como por los factores ambientales.

El ancho de los anillos de crecimientos se ve afectado por numerosos factores como lo son la disponibilidad de nutrientes, humedad, calidad del suelo, fotoperíodo y temperatura (Kollman, 1959; Larcher, 1995), así como por el ataque de parásitos, consumo de animales y absorción de contaminantes (Larcher, 1995).

De acuerdo con Zobel y Talbert (1988) la densidad de la madera está determinada por la cantidad de madera de verano (madera tardía), el tamaño de la células y el grosor de la pared celular, para coníferas. Daniel *et al.* (1982) mencionan que la densidad de la madera para latifoliadas depende del espesor de las paredes celulares, de las fibras, contenido de celulosa y lignina y de la proporción de vasos presentes.

La madera de *Pinus rudis* esta caracterizada como una madera dura, resistente y con altos contenidos de resina. El color de la madera es amarillo claro (Perry,1990)

La madera de esta especie, en la región de Arteaga, Coahuila presenta una densidad media de 0.53 g cm^{-3} con valores que van de 0.38 g cm^{-3} hasta 0.69 g cm^{-3} , la cual es caracterizada como una madera pesada (Valencia y López, 1999). Por su parte Echenique y Becerra (1969) mencionan que en la Cordillera Neo-volcánica esta misma especie presenta una densidad de la madera de 0.49 g cm^{-3} .

Ibarra (1999) menciona que la madera de *Pinus rudis* es considerada de muy buena calidad para la elaboración de pulpa para papel, por sus características de longitud de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular.

2.2.1 Importancia de la densidad de la madera

Diversos autores coinciden en señalar que la densidad de la madera es el principal indicador de calidad y resistencia de la madera, así como en producción por unidad de volumen en la elaboración de pasta para papel (Ifju, 1969; Daniel *et al.* 1982; Jozsa y Brix, 1989).

Hocker (1984) destaca esta característica como la que determina el uso, calidades del maquinado en la fabricación de muebles y el rendimiento de celulosa. Bidwell (1983) menciona que la calidad de la madera para propósitos comerciales depende principalmente de su densidad y resistencia.

La productividad total de la biomasa no puede ser determinada sin conocer la densidad de la madera, ya que cuando la producción en volumen se determina a través de medidas volumétricas se obtienen estimaciones imprecisas sobre la productividad debido a la variación existente en el contenido de humedad y en la densidad de la madera por lo que esta característica debería incluirse para determinar el potencial biológico de la productividad de los sitios forestales (Zobel y Talbert, 1988).

La densidad de la madera tiene gran importancia en programas de plantaciones forestales comerciales con mejoramiento genético forestal, ya que presenta un patrón hereditario más o menos establecido y una alta heredabilidad, con un grado de variación suficiente y es factible de manipular genéticamente (Zobel y Talbert, 1988).

2.2.2 Control de la densidad de la madera

La densidad de la madera puede ser manejada, mediante el espaciamiento, selección genética y fertilización (Daniel *et al.*, 1982).

El espacio dentro de un bosque influye directamente sobre la densidad de la madera juvenil. Ya que a mayor espacio el ancho de las copas de los árboles aumenta y viceversa. La cantidad de madera juvenil y madera madura esta relacionada con el tamaño de la copa, es decir, a mayor tamaño de la copa mayor cantidad de madera juvenil. Por lo tanto, ésta puede ser reducida mediante un espaciamiento menor, pero esto trae consigo una menor tasa de crecimiento en diámetro, ya que la copa viva de los árboles y la posición de ésta ejerce una fuerte influencia sobre la cantidad de madera juvenil, la proporción de

madera temprana y tardía y la posición dentro del tallo del máximo espesor de los anillos (Daniel *et al.*, 1982).

Gregg *et al.* (1988), Jozsa y Brix (1989) y Larocque y Marshall (1995) han encontrado correlaciones negativas entre el espaciamiento y la densidad de la madera, es decir, la densidad de madera disminuye cuando el espacio aumenta. Por lo tanto, el espaciamiento entre árboles tiene sustancial influencia en el ancho de los anillos y en el porcentaje de madera tardía (Smith, 1977). De acuerdo con Dutilleul *et al.* (1998) y Thor (1965) el ancho de los anillos y la densidad de la madera dependen de la tasa de crecimiento y se correlacionan de manera negativa ya que a mayor tasa de crecimiento mayor ancho de anillos y por ende menor densidad de la madera.

Zobel y Talbert (1988) mencionan que la tasa de crecimiento y las propiedades de la madera guardan una relación confusa debido al gran número de factores que están involucrados en el crecimiento del arbolado.

Debido a lo anterior, los silvicultores deben esforzarse por obtener la proporción de crecimiento más rápido posible y obtener una buena forma del arbolado para una mejor utilización del sitio (Brown, 1970).

Brown (1970) menciona que el acercamiento más práctico para controlar genéticamente las características de la madera es mediante la reducción de los rangos de variación del árbol individual. El autor menciona que a través de la selección de las propiedades de la densidad de la madera y longitud de traqueidas deseables es posible obtener un material más uniforme.

Schmidting y Ambugey (1977) y Yang (1998) han encontrado que la fertilización incrementa el crecimiento en diámetro. El incremento en diámetro depende principalmente del efecto que tenga la fertilización sobre el follaje (Brix, 1983). La fertilización aplicada de manera continua acelera el crecimiento y, la calidad de la madera es afectada fuertemente de manera negativa, principalmente la madera juvenil (Schmidting y

Ambugey, 1977; Brix, 1983), tal es el caso que señalan Jozsa y Brix (1989) quienes encontraron que la fertilización disminuyó un 20% la densidad de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco durante un período de 8 años después de aplicada la fertilización.

2.2.3 Métodos para la estimación de la densidad de la madera

La estimación de la densidad de la madera se puede realizar a partir de muestras de madera extraídas con un taladro de Pressler, y mediante la toma de muestras de árboles derribados utilizando la metodología de los análisis troncales. Entre los diferentes instrumentos y métodos que se tienen para estimar la densidad de la madera son: a) el durómetro; b) el pilodyn; c) método empírico; d) método de desplazamiento de agua; e) rayos X; y f) el método de máximo contenido de humedad. De los cuales enseguida se describen las principales características.

a) El durómetro es un instrumento portátil, que introduce un alfiler dentro de la madera activado e impulsado por un resorte, éste no puede ser introducido más de 20 mm. Este instrumento ofrece una alternativa viable y rápida para estimar la densidad de la madera de la periferia del diámetro de árboles vivos y es un aparato versátil y de bajo costo comparado con el pilodyn (Godfrey y Gartwaite, 1984).

b) El pilodyn es un instrumento que al igual que el durómetro consta de un alfiler y un resorte mecánico que provoca la penetración en la madera del alfiler y la penetración de este elemento punzante tiene una correlación inversa con la densidad de la madera (Notivol *et al.*, 1992). Este instrumento tiene una eficiencia alrededor de un 80% y es recomendable su uso para arbolado joven y para estimar la densidad de la madera por grupos o clases de árboles (Taylor, 1981; Sprague *et al.*, 1983).

c) Método empírico, este método fue propuesto por Valencia y Vargas (1997) consiste en obtener muestras de madera mediante la utilización del taladro de Pressler. La muestra se considera como un cilindro perfecto y al momento de obtenerla, la fibra se

encuentra saturada, basta con solo medir el largo para calcular el volumen verde (volumen de la muestra saturada). Posteriormente, se obtiene el peso anhidro de la misma muestra a través del secado en estufa. El valor de la densidad de la muestra esta dado por la siguiente relación:

$$\text{Densidad de la madera (g cm}^{-3}\text{)} = \text{Peso anhidro/Volumen verde.}$$

d) Método de desplazamiento de agua en este método las muestras primeramente son saturadas en agua. Después se introducen en un recipiente con agua. El recipiente deberá estar sobre una balanza analítica y la muestra no debe tocar las paredes ni el fondo del recipiente. El peso del agua desplazada corresponderá al volumen de la muestra considerándose la densidad del agua como la unidad (1 g cm^{-3}) (Valencia y Vargas, 1997).

e) Rayos X de acuerdo con Heger *et al.* (1974) la técnica consiste en los siguientes cuatro pasos:

- i) Se produce una imagen negativa de la sección de la muestra de madera, proyectada por el rayo X, a través de la madera para ser filmada sobre una lámina de papel.
- ii) Se desarrolla el filme asegurándose que cumpla con los estándares de homogeneidad entre las diferentes exposiciones.
- iii) La radiografía o filme es escaneada en el densitómetro para realizar la conversión del filme en densidad de la madera, mediante la delineación y digitalización de los anillos y su variación.
- iv) Los datos obtenidos son convertidos en el densitómetro en densidad de la madera.

El uso de los rayos X con el densitómetro permite de manera rápida y automática la estimación de la densidad de la madera y ancho de anillos de muestras de madera. Además este método permite estimar la variación de la densidad de la madera a nivel de anillos anuales asegurando los diferentes valores a través de la sección de la madera, es decir, la heterogeneidad de la densidad de madera (Heger *et al.*, 1974).

f) Método del máximo contenido de humedad. La relación entre la densidad de la madera de una pieza de ésta y su máximo contenido de humedad ofrece un método para determinar la densidad de la madera de pequeñas muestras, lo anterior ha sido demostrado por el Dr. Keylwerth. De acuerdo con Smith (1954) para obtener la densidad de la madera por este método es necesario conocer el peso verde o peso de saturación de fibra así como el peso seco o peso anhidro, mediante la siguiente ecuación:

$$D.M. = \frac{1}{\frac{P_s - P_a}{P_a} + \frac{1}{k}}$$

Donde:

D.M. = Densidad de la madera (g cm^{-3}).

P_s = Peso saturado de la muestra (g).

P_a = Peso anhidro de la muestra (g).

$k = 1.53$ Cantidad promedio de sustancia de madera (varía de 1.50 a 1.56).

2.3 Aclareos

Los aclareos son prácticas por medio de las cuales se extrae arbolado de rodales de, antes de la cosecha principal o etapa de regeneración. Los aclareos tienen como objetivo estimular el crecimiento en los árboles de mejores características deseadas, aprovechar los productos que más tarde serán incorporados al suelo forestal, obtener una recuperación del capital invertido en un período de tiempo más corto y disminuir el riesgo de incendios forestales (Hawley y Smith, 1972; Ruth y Harris, 1979; Daniel *et al.* 1982; Marquis y Ernst, 1991; Meson y Montoya, 1993).

Los aclareos se basan en el sencillo principio de que el crecimiento de un rodal en una estación dada, mientras no varíen las condiciones de fertilidad, es independiente del número total de árboles en un amplio rango de variación (Meson y Montoya, 1993).

Los árboles residuales desarrollan copas más grandes, para ser capaces de aprovechar mejor los recursos del sitio, de igual manera ocurre con el sistema radical; sin

embargo, los nutrientes también pueden ser aprovechados por la vegetación secundaria y se pueden presentar plantas parásitas por la presencia de mayor cantidad de luz, así como también aumenta el riesgo de daños al arbolado residual (Ruth y Harris, 1979).

2.3.1 Tipos de aclareo

Ruth y Harris (1979), Daniel *et al.* (1982) y Meson y Montoya (1993) mencionan que los tipos de aclareos se refieren a la dominancia o calidad de los árboles removidos del rodal y son básicamente los siguientes:

- a) Aclareo por lo bajo. Consisten en remover o extraer los árboles suprimidos, muertos y en ocasiones algunos arboles codominates.
- b) Aclareo por lo alto o de copas. Este consiste en la remoción de árboles del dosel superior, por lo que los árboles que son extraídos son árboles dominantes y codominantes.
- c) Aclareo por selección. En este tipo de aclareo se extraen árboles tanto del estrato superior como del inferior, es decir, se remueven árboles de todas las clases.
- d) Aclareos mecánicos. A este tipo de aclareo también se le conoce como aclareo sistemático y consiste en seguir una norma rígida sobre el terreno para la extracción del arbolado, es decir, se toman árboles basándose en espaciamientos determinados y se practica principalmente en plantaciones.

2.3.2 Efecto de los aclareos

La respuesta de los árboles a los aclareos varía en función de la clase de copa, especie e información genética, edad y el tiempo en el que se realice. La respuesta de los árboles esta en función a la competencia y la supresión por los árboles vecinos. Los árboles dominantes de copas fisiológicamente eficientes tienen una pequeña respuesta al aclareo; no así los árboles suprimidos y de clases de copas bajas, los cuales demuestran una mejor respuesta al aclareo. Sin embargo, el resultado que se obtenga de la aplicación de los aclareos depende de la disponibilidad de la luz, humedad, suelo y nutrientes. Por lo que, se debe considerar al realizar un aclareo la especie, el tipo de suelo y el objetivo final del manejo del bosque (Kozlowski *et al.*, 1991).

En ocasiones los árboles residuales pueden exhibir respuestas negativas al aclareo como hojas cloróticas, reducción del crecimiento, producción de ramas en partes bajas del tallo y muerte de algunos árboles (Kozlowski *et al.*, 1991).

2.3.2.1 Efecto de los aclareos sobre la calidad de madera

La calidad de la madera está determinada por la naturaleza de los elementos producidos en el desarrollo de los anillos anuales de crecimiento, ya que el diámetro y el grueso de las paredes celulares así como las traqueidas sufren cambios estacionales, que influyen en gran medida la calidad de la madera (Brown, 1970). De manera que los árboles jóvenes que crecen en rodales cerrados no necesariamente tienen densidades de la madera más baja que árboles viejos (Resch y Arganbright, 1968).

Diversos estudios han demostrado que los aclareos disminuyen la densidad de la madera y se correlaciona negativamente con la proporción de madera tardía. Por lo que, a mayor intensidad de aclareo menor densidad de la madera y menor proporción de madera tardía (Smith, 1980; Larocque y Marshall, 1995; Hernández *et al.*, 1996). Sin embargo, Barbour *et al.* (1992) destacan que los aclareos precomerciales no tienen efectos adversos sobre la densidad de la madera. De manera contraria a lo anterior, Kozlowski *et al.* (1991) mencionan que el incremento en diámetro ocasionado por los aclareos forestales,

generalmente, mejora la calidad de la madera. Esto debido a que los incrementos se presentan en la parte exterior del tallo. Por lo que la madera es más resistente, presenta menor cantidad de nudos y la madera de la periferia del tallo es menos susceptible a torceduras que la madera del centro del tallo.

Smith (1980) menciona que el espaciamiento influye en importantes características de la calidad de la madera, como el ancho de los anillos anuales de crecimiento y el porcentaje de la madera tardía. El autor destaca que cuando el crecimiento en diámetro se da de manera acelerada, la densidad de la madera se ve reducida, la resistencia disminuye. Por lo que, la calidad del maquinado puede ser dañada y la obtención de pulpa por unidad de volumen es menor, por lo tanto el espaciamiento debe estar en función del uso de la madera. Lo anterior, es consistente con lo mencionado por Larocque y Marshall (1995) en el sentido de que la densidad de la madera es fuertemente afectada por la densidad del rodal.

2.3.2.2 Efecto de los aclareos sobre el crecimiento en altura y el desarrollo de la copa

Generalmente, los árboles crecen en espaciamientos irregulares, a menos que sean plantaciones, donde las mortalidades son muy pequeñas, de tal manera que el cierre de las copas ocurre más pronto en rodales muy densos donde los árboles vecinos están a menores distancias. Esto se traduce en un crecimiento de la copa desigual, por lo que la forma y superficie de la copa es definida por el total de los árboles dentro del rodal. (Oliver y Larson, 1996).

Smith (1980) menciona que la altura y el diámetro de la copa aumentan conforme aumenta el espaciamiento entre los árboles. De igual manera, Larocque y Marshall (1995) encontraron que a mayor espaciamiento, el diámetro de la copa aumentaba. Sin embargo, el tamaño de la copa no sólo depende del espaciamiento entre los árboles sino que también depende en gran medida de factores como la humedad, temperatura, radiación solar y nutrición (Brix, 1983).

El tamaño de la copa está fuertemente asociado con el diámetro a la altura del pecho, así como con el ancho de los anillos anuales de crecimiento y la proporción de la madera tardía dentro de éstos (Hall, 1965).

Paul (1957) menciona que una de las desventajas de los aclareos es la producción de árboles menos altos, ya que al eliminar los árboles vecinos no existe la competencia por luz y por ende se ve disminuido el crecimiento en altura. Los aclareos disminuyen significativamente el incremento periódico en altura (Yang, 1998). Sin embargo, Daniel *et al.* (1982) mencionan que el incremento en altura se puede dar cuando las poblaciones son muy densas y los árboles residuales aun tienen la capacidad de responder a la liberación.

El desarrollo de las copas de los árboles se estimula cuando la densidad del rodal disminuye, por lo que en rodales fuertemente poblados este cierre de copas es más rápido. Por lo tanto, la densidad inicial del rodal es el principal factor que condiciona el desarrollo de las copas del arbolado y sólo en arbolado joven el efecto de esta densidad es mínimo (Sterba y Amateis, 1998). Por su parte, Curtis y Reukema (1970) mencionan que el espaciamiento es el principal factor que determina el ancho de la copa, y que éste puede ser estimado en base al diámetro cuadrático medio a la altura del pecho. A su vez, Hocker (1984) menciona que la forma de la copa depende de las interacciones entre el componente genético del árbol y el ambiente en el cual éste se desarrolla, la edad, la composición del sitio, la densidad y los daños sobre el arbolado.

El desarrollo de las copas es una herramienta de gran importancia para el entendimiento del desarrollo y dinámica de los rodales forestales, además esta herramienta constituye un importante indicador de la respuesta del bosque a los tratamientos silvícolas, especialmente a los aclareos (Larocque y Marshall, 1994a, 1994b).

En general, el efecto de los aclareos se refleja en la expansión de la copa, ya que puede aumentar el número de ramas en las partes bajas del tallo, lo que demerita la calidad de la madera e incrementa el follaje (Smith *et al.*, 1997).

2.3.2.3 Efecto de los aclareos sobre el crecimiento en diámetro

Los aclareos afectan en forma drástica el crecimiento en diámetro, ésto en respuesta a la aceleración de la expansión de la copa (Smith *et al.*, 1997). El aumento de la tasa de crecimiento en diámetro se puede atribuir a la reducción del número de individuos del rodal y la duración de esta tasa de crecimiento depende de la rapidez con lo que los árboles vecinos vuelvan a cerrar sus copas (Daniel *et al.*, 1982).

Hocker (1984) señala que el crecimiento en diámetro de un árbol, en un año, depende de las condiciones climáticas del periodo actual y en ocasiones de las condiciones climáticas del año anterior y la calidad de estación del sitio.

Trabajos como los desarrollados por Paul (1957), Schmidting y Ambugey (1977), Smith (1977), Hernández *et al.* (1996) y Ruíz *et al.* (1996) han demostrado ampliamente que la aplicación de los aclareos a diferentes intensidades favorece el crecimiento en diámetro, es decir, a mayor espaciamiento la tasa de crecimiento en diámetro aumenta.

El objetivo de los aclareos en el crecimiento en diámetro es evitar parcialmente la reducción del ancho de los anillos anuales asociados con la edad y por consecuencia, evitar que baje drásticamente la tasa de crecimiento (Hernández *et al.*, 1996).

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación geográfica

El área de estudio se localiza dentro de la Sierra las Alazanas, ubicado al Noreste del poblado de San Antonio de las Alazanas, aproximadamente a 12 km en línea recta. Los rodales en estudio se ubican entre las coordenadas geográficas 25° 15' 40'' y 25° 17' 11'' de latitud Norte y 100° 27' 16'' y 100° 28' 55'' longitud Oeste (Cetenal, 1979a). La ubicación mas precisa de cada uno de los rodales se indica en el Cuadro 1 y la Figura 1

Cuadro 1. Ubicación geográfica de tres rodales de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Rodal	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	25° 16' 47'' - 25° 17' 11''	100° 28' 35'' - 100° 28' 55''
2	25° 15' 28'' - 25° 15' 40''	100° 27' 16'' - 100° 27' 47''
3	25° 15' 42'' - 25° 15' 55''	100° 27' 26'' - 100° 28' 50''

3.2 Descripción general del área

3.2.1 Fisiografía

El área esta ubicada dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental, en una meseta y pequeños valles, la altitud varía de 3100 a 3260 msnm; las pendientes dentro de los rodales de estudio se pueden encontrar de 2 a 35% y exposiciones Norte, Este y Suroeste (SPP, 1983)

3.2.2 Hidrología

El área se encuentra dentro de la región hidrológica Bravo-Conchos (RH 24) y la cuenca hidrológica Río Bravo-San Juan (SPP, 1983). Específicamente, dentro de los rodales se encuentran pequeños arroyos intermitentes y microcuencas cerradas.

3.2.3 Geología y suelos

Las rocas son de origen sedimentario, principalmente calizas, con estructura fracturada (Cetenal, 1976). Boul *et al.* (1981) menciona que este tipo de rocas se componen de 50% de carbonatos y el resto de arcillas, cuarzo hierro y otros minerales, además tiene una saturación de bases y pH altos. Los suelos son litosoles, con un horizonte B espódico y una textura media (Cetenal, 1977). Este tipo de suelos, son poco profundos (menores a 10 cm) sobre roca dura (Boul *et al.*, 1981).

3.2.4 Clima

De acuerdo con los datos registrados por la estación meteorológica de San Antonio de las Alazanas (25° 15' latitud Norte y 100° 59' longitud Oeste), el clima es semifrío con

verano fresco y largo y una temperatura media anual de 13.3°C; la temperatura media del mes más frío es de 9°C y la del mes más caliente es de 16.1°C; la precipitación media anual es de 498 mm, siendo julio el mes más lluvioso, el régimen de lluvias es de verano por lo que la fórmula climática del área de estudio es Cb(X')(Wo)(e)g (García, 1987).

3.2.5 Vegetación

El tipo de vegetación existente en el área de estudio es un bosque de pino, dominando *Pinus rudis* y en menor dominancia *Pinus ayacahuite* y *Pseudotsuga* sp, en el estrato arbóreo. En el estrato arbustivo se encuentran principalmente los géneros *Agave* y *Quercus*, y el estrato herbáceo lo constituyen principalmente algunas especies de las gramíneas y compuestas (Cetenal, 1979b).

3.2.6 Descripción silvícola de los rodales aclareados

En el año de 1981, el personal técnico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), del estado de Coahuila, realizó un aclareo sobre un bosque de *Pinus* en la Sierra las Alazanas con fines comerciales utilizando el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). Allí mismo se realizó un estudio sobre la estructura y crecimiento de este bosque después de aplicado dicho aclareo, y se encontró que la intensidad de aclareo promedio para este bosque fue de 51.08% y que las categoría diamétricas que se aprovecharon con una mayor intensidad fueron las de 15 y 20 cm de diámetro, no siendo así para las categorías de 10 y 45 cm de diámetro en las que se aplicó la menor intensidad de aclareo (Hernández, 1994).

3.3 Metodologías

La metodología del presente estudio consta de cuatro etapas principales como lo son trabajo de campo, trabajo de laboratorio, procesamiento de datos y análisis estadístico.

3.3.1 Trabajo de campo

Se realizaron recorridos de campo para la ubicación y delimitación de tres rodales, en dos de ellos se realizaron aclareos en el año de 1981 y en un tercero no se han aplicado aclareos pese a su alta densidad arbórea.

3.3.1.1 Diseño y tamaño de muestra

El tamaño de muestra se cálculo con base en un premuestreo donde se levantaron 15 sitios en los tres rodales. El área basal ($m^2 ha^{-1}$) de los sitios del premuestreo se utilizó para el cálculo de la varianza. Debido a que se detectó una alta heterogeneidad entre el área basal de los rodales, se decidió usar un diseño de muestreo aleatorio estratificado. Este tipo de muestreo permite agrupar a las unidades de la población de acuerdo a alguna característica en común, por lo que permite realizar estimaciones muestrales, separadas por grupos y después combinarlas para obtener un estimador aplicado a toda la población (Freese, 1969).

Una vez delimitados los rodales (estratos) en las fotografías aéreas se realizó una cuadrícula sobre estas superficies, con una equidistancia entre sitios de 100 m y entre líneas de 200 m, para conocer el número de sitios potenciales y después elegir aleatoriamente el número de sitios para el premuestreo. Las unidades de muestreo fueron de $500 m^2$ de forma circular de acuerdo con Avendaño (1991).

La variabilidad de cada uno de los estratos se estimó con base al área basal actual y de la cual se obtuvo la siguiente información (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie en hectáreas, número de sitios, área basal por hectárea y poblacional, desviación estándar y varianza, con base en el premuestreo por rodal de *Pinus rudis* de la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Rodal	Superficie	No.Sitios	AB/ha	S	S ²	AB Total	NS	NS ²
(#)	(ha)	del	($m^2 ha^{-1}$)			N		
		premuestreo						
1	18	3	40.55	4.0	16.02	729.9	2919.6	11692.9

2	25.31	5	24.54	7.6	57.84	540.11	4104.8	31234.5
3	33.18	7	17.19	3.08	9.52	570.36	1756.7	5429.82

AB = Área basal; S = Desviación estándar; S^2 = Varianza; y N= Población (AB total de los tres rodales)

De acuerdo con Herrera (1980) cuando el tamaño de los estratos es diferente y la variabilidad es diferente se utiliza la asignación Neyman, ya que esta asignación distribuye la muestra a los estratos de acuerdo a la variabilidad y tamaño de cada estrato.

El tamaño de muestra está dado por las siguientes ecuaciones:

Tamaño de muestra para la población.

$$n = \frac{(\sum NS)^2}{N^2 D^2 + \sum NS^2}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

N = Población (AB total de los tres rodales)

S = Desviación estándar del área basal

D = Precisión o error deseado

y el tamaño de muestra por estrato esta dado por la siguiente expresión:

$$ni = \frac{NS}{\sum NS} * n$$

Donde:

ni = Tamaño de muestra para cada uno de los estratos.

El tamaño de muestra para los tres rodales fue de 36 sitios, con una precisión de $\pm 0.8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal. El tamaño muestra total para cada uno de los rodales, considerando los sitios levantados en el premuestreo fue de 12, 16 y 8 sitios para los rodales 1, 2 y 3, respectivamente.

3.3.1.2 Medición de la vegetación

A continuación se presentan las variables dasométricas evaluadas de la vegetación arborea y la forma y secuencia en las que estas fueron medidas.

a) Diámetro normal (1.3 m). Se midió el diámetro con una cinta diamétrica de todo el arbolado dentro del sitio.

b) Extracción de virutas. Mediante el taladro de Pressler se extrajeron virutas de dos árboles (*Pinus rudis*) por categoría diamétrica. La extracción de las virutas se hizo por dos de sus lados a 1.3 m de altura, en sentido perpendicular a la pendiente. Los árboles fueron elegidos siguiendo el sentido de la manecillas del reloj a partir del rumbo Norte. Se muestrearon los dos primeros individuos que ocurrieron de cada categoría. Las virutas se guardaron en un popote de plástico y se identificaron con base al número de rodal, número de sitio y número de árbol.

c) Diámetro a 0.30 m. Se midió el diámetro a 0.3 m de altura con una cinta diamétrica únicamente de los árboles taladrados.

d) Diámetro de copa. Se realizó la medición del diámetro máximo y mínimo de copa del arbolado taladrado, con una cinta métrica de 20 m.

e) Grosor de corteza. Se midió el grosor de corteza con un medidor de corteza en los árboles taladrados.

f) Altura total. Se estimó la altura total con una pistola Haga, sólo en aquellos árboles taladrados.

g) Altura de fuste limpio. Utilizando una pistola Haga se midió la altura de fuste limpio, utilizando como criterio hasta donde apareciera la primer rama verde mayor a un diámetro aproximado de 5 cm.

h) Se midió el diámetro a 0.3 m de cada uno de los tocones dentro del sitio, utilizando una cinta diamétrica.

Con la presente metodología de campo y siguiendo los lineamientos del muestro antes descritos, el número de árboles taladrados por rodal y categoría diamétricas se presentan a continuación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de árboles taladrados por rodal y categoría diamétrica (C.D.) de *Pinus rudis* de la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

C.D.	Arboles/ Rodal 1	Arboles/ Rodal 2	Arboles/ Rodal 3	Total / C.D.
15	21	21	5	47
20	21	29	10	60
25	19	29	10	58
30	8	28	16	52
35	4	20	14	38
40	2	12	7	21
Total	75	139	62	276

3.3.2 Trabajo de laboratorio

En el laboratorio las muestras fueron introducidas dentro de un refrigerador para evitar su deshidratación durante su proceso. Antes de la etapa de seccionado de la viruta se obtuvo la edad contando el número de anillos presentes en las virutas a partir del centro de la viruta. Asimismo, fue necesario antes de seccionar las virutas precisar el año del aclareo para establecer los criterios del seccionado. Un estudio realizado por Hernández (1994) en el área que ocupa el presente trabajo, menciona que en el año de 1981 se realizó un aclareo en dos de los rodales de estudio. Sumado a esto antes de realizar el seccionado se realizó la medición del ancho de los anillos para posteriormente graficarlos y de acuerdo al comportamiento de éstos fue posible identificar un cambio en el ancho de los anillos a partir del año de 1981, lo que coincide con lo reportado por Hernández (1994).

3.3.2.1 Seccionado de las muestras

Las virutas fueron divididas en dos secciones, antes y después del aclareo, cada sección de 16 anillos antes y 16 anillos después. Además cada sección se dividió en 4 muestras de 4 anillos cada una.

3.3.2.2 Medición de anillos

Se midió el ancho total y ancho de la madera tardía, utilizando un microscopio estereoscópico y una lente con una reglilla micrométrica con una aproximación de 0.09 mm.

3.3.2.3 Densidad de la madera

Se utilizó el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954). Por lo que, es necesario conocer el peso verde o saturado de la muestra y peso seco o anhidro de la muestra. Por lo tanto, la densidad de la madera se determina mediante la siguiente fórmula:

$$D.M. = \frac{1}{\frac{P_s - P_a}{P_a} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

$D.M.$ = Densidad de la madera (g cm^{-3}).

P_s = Peso saturado.

P_a = Peso anhidro.

1.53 = Cantidad promedio de sustancia de madera (varía de 1.50 a 1.56).

Para obtener el peso saturado se introdujeron las muestras en recipientes con agua hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra, es decir, hasta que las muestras ya no variaron en su peso. Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g. Se comprobó la saturación de fibra de las muestras mediante la variación del peso de 160 muestras de las virutas elegidas aleatoriamente. Para comprobar la saturación de las muestras se pesaron a los días después de introducirlas en los recipientes con agua.

Las muestras se secaron en una estufa a 100°C por 36, horas después se dejaron durante media hora en un desecador. Una vez concluido el proceso de secado se determinó el peso anhidro.

Cabe mencionar que desde la etapa de seccionado hasta la obtención de los valores de la densidad de la madera, las muestras fueron clasificadas e identificadas con el número de rodal, número de sitio, número de árbol, categoría diamétrica, lado, sección de la viruta (antes y después del aclareo) y número de muestra.

3.3.3 Procesamiento de datos

El proceso de datos y el análisis estadístico se realizó mediante el programa estadístico para computadora SAS (Statistical Analysis System 6.08), en el cual se crearon bases de datos de la información dasométrica del arbolado así como de la información generada durante la etapa de laboratorio.

Es importante mencionar que cada una de las muestras representa periodos de tiempo de cuatro años por lo que el presente estudio comprende un período de treinta y dos (de 1965 a 1996). Las muestras se dividieron en ocho períodos de cuatro años cada uno, de tal manera que se analiza el comportamiento de la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro, 16 años antes del aclareo y 16 años después del aclareo.

3.3.3.1 Incremento corriente anual en diámetro

El incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) se obtuvo del promedio de la longitud de cuatro anillos, en las ocho muestras obtenidas de cada una de las virutas, cuatro muestras antes del aclareo y cuatro después del aclareo, para el cálculo del incremento corriente anual en diámetro se empleó la siguiente fórmula:

$$ICA = \text{Longitud de 4 anillos} / 4$$

3.3.3.2 Proporción de madera tardía

La proporción de madera tardía (PMT) se obtuvo al dividir la longitud de la madera tardía entre la longitud total, en cada anillo. Para realizar el análisis estadístico se utilizó un promedio por cada cuatro anillos, que corresponden a los períodos de tiempo que se manejaron para la densidad de la madera (DM) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN).

3.3.3.3 Area basal actual

El área basal actual para cada rodal se obtuvo mediante la sumatoria del área basal individual del diámetro a 1.30 m de altura de cada uno de los árboles dentro del sitio de 500 m² y posteriormente se hizo el cálculo por hectárea. La fórmula utilizada es la de la superficie de un círculo y para el cálculo del área basal individual utilizada fue la siguiente:

$$AB = (DN)^2(0.7854)$$

Donde:

AB = Area basal individual de cada árbol a 1.3 m de altura (m²)

DN = Diámetro normal a 1.3 m de altura (cm)

0.7854 = Constante. Obtenida de $\pi/4$

3.3.3.4 Area basal del año 1981

Para conocer el área basal de 1981 de *Pinus rudis*, es decir después de aplicado el aclareo se resto el ICA en área basal, de 19 años al área basal actual sin corteza. Posteriormente se calculó el grosor de corteza por medio de regresión lineal con base en la relación que existe entre el diámetro normal a 1.3 m de altura y el grosor de corteza (Apéndice 2), para así obtener el diámetro normal con corteza y el área basal con corteza del año 1981.

$$AB_{81} = AB_A - ICA \quad (19)$$

Donde:

AB₈₁ = Area basal del año de 1981 para *Pinus rudis* (m² ha⁻¹)

AB_A = Area basal actual (m² ha⁻¹)

ICA = Incremento corriente anual en diámetro normal a 1.3 m de altura para *Pinus rudis*

Para conocer el área basal del año 1981 de *Pinus ayacahuite*, debido a que no se obtuvieron los incrementos en diámetro de esta especie, se estimó por medio de regresión lineal simple utilizando los incrementos de *Pinus rudis*, (Apéndice 2), dado que el número de árboles esta especie se presenta en una proporción relativamente baja. Por lo tanto, para conocer el área basal por hectárea de los rodales donde se encuentra presente esta especie, del año de 1981 fue necesario restar el incremento en diámetro a 1.3 m del cual fue calculado por medio del siguiente modelo:

$$ICA = \beta_0 + \beta_1(DN)$$

Donde:

ICA = Incremento corriente anual en diámetro

β_0 y β_1 = Coeficientes de regresión

DN = Diámetro normal a la altura del pecho de *Pinus ayacahuite*

Por lo tanto el área basal para el año 1981 de cada uno de los rodales se obtuvo al restar el ICA de 19 años de *Pinus ayacahuite* al área basal actual

3.3.3.5 Area basal extraída

El área basal extraída de los rodales intervenidos se estimó mediante un modelo de regresión lineal simple, que se construyó con base en la correlación que existe entre el diámetro a 30 cm y el diámetro normal a 1.30 m de altura de los árboles residuales. De tal manera que el área basal extraída fue estimada con base en el diámetro y número de tocones presentes en cada sitio, éstos, sumados, y referidos posteriormente a la hectárea. El modelo utilizado para estimar el diámetro normal a 1.30 m partir del diámetro de los tocones a 30 cm de altura del arbolado también fue generado mediante regresión lineal (Apéndice 2)

$$DN = \beta_0 + \beta_1 (D_{30})$$

Donde:

DN = Diámetro normal estimado a 1.3 m de altura

β_0 y β_1 = Coeficientes de regresión

D_{30} = Diámetro a 30 cm de altura de los tocones

3.3.3.6 Area basal original

Esta área basal se refiere a la existente antes de aplicarse el aclareo y se obtuvo sumando al área basal del año 1981 el área basal extraída por la corta de aclareo, de la siguiente manera:

$$AB_O = AB_{81} + AB_E$$

Donde:

AB_O = Area basal original ($m^2 ha^{-1}$)

AB_{81} = Area basal del año 1981 ($m^2 ha^{-1}$)

AB_E = Area basal extraída ($m^2 ha^{-1}$)

3.3.3.7 Intensidad de aclareo

La intensidad de aclareo fue calculada por sitio y referida a la hectárea, para posteriormente obtener un promedio por rodal. Por lo tanto la intensidad de aclareo por rodal está dada por la siguiente fórmula:

$$IA = (AB_E/AB_O)100$$

Donde:

IA = Intensidad de aclareo en porcentaje

3.4 Análisis estadístico

Para las variables de área basal original (AB_O), área basal extraída (AB_E), intensidad de aclareo (IA), área basal del año 1981 (AB_{81}) y área basal actual se realizaron análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, donde cada rodal corresponde a un tratamiento. Cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la observación del i-ésimo rodal

μ = Efecto de la media general de los tres rodales

τ_i = Efecto del i-ésimo rodal

ε_{ij} = Efecto del error experimental

Debido a que a que los rodales no presentan el mismo número de categorías diamétricas se decidió igualar el número de categorías diamétricas en los tres rodales de tal manera que las categorías consideradas en los análisis son 15, 20, 25, 30, 35 y 40 cm de diámetro normal y las categorías no contempladas debido a que no se encontraban presentes en los tres rodales fueron las categorías de 10 y 45 cm de diámetro normal.

El análisis estadístico se realizó considerando las siguientes tres variables:

- a) Densidad de la madera (DM)
- b) Proporción de madera tardía (PMT)
- c) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN)

Para las variables, densidad de la madera(DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) se realizaron análisis de varianza y pruebas Tukey de separación de medias en diferentes niveles. Para conocer las diferencias entre rodales y categorías diamétricas se empleó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + CD_j + R*CD_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la respuesta del i-ésimo rodal, de la j-ésima categoría diamétrica, en su k-ésima repetición (árbol)

μ = Efecto de la media general de los tres rodales

R_i = Efecto de i-ésimo rodal

CD_j = Efecto de la j-ésima categoría diamétrica

$R*CD_{(ij)}$ = Efecto de interacción entre el i-ésimo rodal y la j-ésima categoría diamétrica

ε_{ijk} = Error experimental

Cuando no se presentaron interacciones entre rodal por categoría diamétrica y con él propósito de conocer el comportamiento de cada categoría diamétrica, en cada rodal, se realizaron análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar, donde la categoría diamétrica corresponde al tratamiento. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor de la observación de la i -ésima categoría diamétrica

μ = Efecto de la media general de las seis categorías diamétricas

τ_i = Efecto de la i -ésima categoría diamétrica

ε_{ij} = Efecto del error experimental

Finalmente, para conocer la respuesta de cada rodal en cada categoría diamétrica y en cada período de tiempo, se realizaron análisis de varianza con un diseño completamente al azar donde el rodal corresponde al tratamiento.

3.3.1 Correlaciones

Se realizaron correlaciones en dos diferentes aspectos:

a) Correlaciones entre densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN). Para estas tres variables se realizó el análisis en los siguientes niveles:

i) Los tres rodales se consideraron como una población para conocer la relación que guardan estas variables entre ellas sin distinguir el antes y después del aclareo y posteriormente, con la finalidad de conocer el efecto de los aclareos sobre estas relaciones

se realizaron correlaciones en forma separada para cada periodo de antes y después de aplicado el aclareo.

ii) Por categoría diamétrica, estas correlaciones se realizaron para cada una de las categorías diamétricas sin separarlas por rodal, es decir, considerando los tres rodales como una sola población y agrupando y promediando los valores de las muestras.

iii) Por categoría diamétrica agrupando el antes y después del aclareo dentro de cada rodal, es decir siguiendo la misma metodología del inciso anterior sólo que en estas correlaciones se agruparon y promediaron los valores de antes y por separado los valores después de aplicado el aclareo

b) Correlaciones de densidad de la madera proporción de la madera tardía e incremento corriente anual en diámetro con variables dasométricas del arbolado

Para realizar la correlación de estas variables con las características dasométricas del arbolado, por la cantidad de éstas y debido a que algunas características se asocian siguiendo una misma tendencia, se realizó un análisis de componentes principales, por medio del cual se eligieron los dos principales componentes, que agrupan el mayor número de variables. Cada uno de los componentes principales representan las siguientes variables:

Componente principal No 1 (ACP 1).

- a) Diámetro normal a 1.3 m de altura
- b) Diámetro de copa
- c) Cobertura
- d) Grosor de corteza
- e) Edad

Componente principal No 2 (ACP 2)

- a) Altura total
- b) Altura de fuste limpio

Estos componentes principales se correlacionaron con la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal

(ICA-DN), de manera general incluyendo los tres rodales como una sola población. Esta correlación se llevó a cabo en tres formas: La primera agrupando las ocho muestras; la segunda, agrupando las cuatro muestras antes del aclareo y cuatro después del aclareo; la tercera, correlacionando en forma separada cada una de las muestras (períodos de tiempo de 4 años) después del aclareo

4 RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de los rodales de estudio

Los rodales se caracterizaron tomando en cuenta las características dasométricas del arbolado (diámetro normal a 1.3 m, diámetro a 0.3m de altura, altura total, altura de fuste limpio, grosor de corteza, diámetro de copa y edad), las diferentes áreas basales de éstos a través del tiempo y las intervenciones silvícolas realizadas, además con base en los valores de densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal a 1.3 m de altura (ICA-DN).

4.1.1 Características dasométricas del arbolado

De manera general se aprecia que los rodales con aclareo (2 y 3) presentan valores mayores de diámetro normal (DN), grosor de corteza (GC), diámetro de copa (DC), altura total (AT), altura de fuste limpio (AFL) y edad. De acuerdo con los valores del error estándar los rodales aclareados tienen mayor variabilidad para la mayoría de las variables dasométricas con respecto al rodal 1 (no aclareado). La edad del rodal 1 presenta mayor variabilidad con respecto a los rodales 2 y 3 (Cuadro 4)

Cuadro 4. Valores promedio y error estándar del diámetro normal (DN), grosor de corteza (GC), diámetro de copa (DC), altura total (AT), altura de fuste limpio (AFL) y edad en tres rodales de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Rodal	Variable	DN (cm)		GC (mm)		DC (m)		AT (m)		AFL(m)		Edad (años)	
		\bar{X}	δ	\bar{X}	δ	\bar{X}	δ	\bar{X}	δ	\bar{X}	δ	\bar{X}	δ
1	n	19.43	7.02	14.75	4.45	3.23	1.11	12.63	2.52	7.08	2.15	46.29	14.69

2	16	24.00	8.03	16.30	5.13	4.10	1.57	14.59	2.76	7.79	2.30	51.52	10.46
3	8	28.17	8.08	14.87	4.6	4.83	1.66	15.04	2.85	8.29	3.00	51.53	6.06

n = Número de sitios por rodal \bar{X} = Media por rodal de la variable. δ = Error estándar de la variable, dentro del rodal.

Los rodales aclareados presentan mayores valores en las variables dasométricas, debido a que éstos posiblemente tienen menor competencia, ya que con el aclareo aplicado se liberaron espacios y como respuesta a este aclareo la copa de los árboles aumento su diámetro y por consecuencia las demás variables también aumentaron, a excepción de la edad.

El rodal sin aclareo (rodal 1) presenta una mayor variación en edad debido a que dentro de este rodal existen árboles de mucha mayor edad, los cuales por su edad y su distribución espacial posiblemente fueron los árboles padres del arbolado actual.

4.1.2 Area basal e intensidad de aclareo

De acuerdo con los análisis de varianza realizados para cada una de las variables antes mencionadas existen diferencias significativas ($P = 0.05$) entre los rodales para todas las áreas basales e intensidad de aclareo (Apéndice 3)

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias (Cuadro 5), muestra que el área basal original (ABo) (antes del aclareo) el rodal 2 presentaba estadísticamente mayor área basal que los rodales 1 y 3. Los rodales 2 y 3 presentan diferencias estadísticas con respecto al rodal 1 en área basal extraída e intensidad de aclareo, lo cual resulta lógico ya que el rodal 1 no se le aplicó el aclareo. En el área basal residual (AB₈₁) los tres rodales presentan diferencias estadísticas, esto resulta lógico ya que el rodal 1 no fue intervenido y los rodales 2 y 3 originalmente eran estadísticamente diferentes por lo que al aplicarles la misma intensidad de aclareo estas diferencias se conservan. Sin embargo, en el área basal actual el único rodal diferente es el rodal 1, al cual no se le aplicó el aclareo. Los rodales 2 y 3 aún cuando el área basal original (ABo) y el área basal residual (AB₈₁) presentaban diferencias estadísticas, en el área basal actual no son diferentes estadísticamente,

posiblemente, a que presentan diferentes tasas de crecimiento en diámetro normal después de aplicado el aclareo.

Cuadro 5 Valores de área basal original (AB_O), área basal extraída (AB_E), área basal residual del año de 1981 (AB_{81}), área basal actual (AB_A), por hectárea, e intensidad de aclareo (IA), para *Pinus rudis*, en tres rodales de la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Rodal	AB_O (m ² /ha)	AB_E (m ² /ha)	IA en %	AB_{81} (m ² /ha)	AB_A (m ² /ha)
1	16.65 b	0.0 b	0.0 b	16.65 a	30.29 a
2	20.47 a	8.14 a	39.06 a	12.33 b	20.95 b
3	16.94 b	7.26 a	41.88 a	9.68 c	18.04 b

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

La intensidad de aclareo (IA) aplicada a los rodales 2 y 3 estadísticamente es igual, sin importar que el área basal original (AB_O) sea estadísticamente diferente, por lo que resulta coherente que el área basal del año 1981 (AB_{81}) sea diferente entre los tres rodales.

4.1.3 Caracterización de la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal

a) Densidad de la madera

El análisis de varianza para la densidad de la madera (DM), mostró diferencias altamente significativas para el efecto rodal y categoría diamétrica ($P = 0.0001$), no así para la interacción rodal por categoría diamétrica ($P = 0.4416$) (Apéndice 3.D). La prueba Tukey

de separación de medias (Cuadro 6) determinó que los rodales aclareados (2 y 3) son estadísticamente iguales entre ellos, pero si presentan diferencias estadísticas con el rodal 1(sin aclareo). Los rodales con aclareo presentan valores superiores al rodal sin aclareo.

Cuadro 6. Valores de densidad de la madera (DM), por rodal, para *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Rodal	DM (g cm ⁻³)
1	0.402 b
2	0.444 a
3	0.439 a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

Lo anterior podría tener como explicación lo que señala Ruth y Harris (1979) quienes mencionan que el arbolado que crece bajo fuerte competencia no produce madera de manera eficiente ya que la producción de madera esta relacionada con la eficiencia de las copas del arbolado.

En el Cuadro 7 se muestran los valores de densidad de la madera por categoría diamétrica, considerando los tres rodales como una población.

Cuadro 7 Valores de densidad de la madera (D.M.), por categoría diamétrica (CD) para *Pinus rudis* en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

C.D.	D.M (g cm ⁻³)
15	0.409
20	0.427
25	0.429
30	0.438
35	0.442
40	0.443

El hecho de no encontrar diferencias entre categorías diamétricas de la variable densidad de la madera es posible que se deba a que los rodales son de edad uniforme y entre ellos presentan la misma clase de edad, por lo que a pesar de existir variación en el tamaño de los diámetros, éstos no cambian las características de la madera y de manera particular en la densidad de la madera. También podría deberse a que las diferencias que pudieran existir entre las diferentes categorías diamétricas, no se detecten por la variabilidad entre rodales y quizá se requiere un mayor tamaño de muestra.

Al realizar los análisis de varianza para conocer el efecto de las categorías diamétricas dentro de cada rodal, para la variable densidad de la madera (DM), los rodales 1 y 2 mostraron diferencias altamente significativas ($P = 0.01$), no así el rodal 3, el cual no presentó diferencias estadísticas ($P = 0.42$) (Apéndice 3.C).

De acuerdo con la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) la categoría diamétrica de 15 cm es significativamente diferente respecto a la densidad de la amadera (DM) de las categorías diamétricas de 40 y 30 cm. Las categorías diamétricas mayores de 15 cm no presentaron diferencias estadísticas en sus valores de densidad de la madera (DM). Similarmente como en el rodal 1, la categoría de diámetro de 15 cm es significativamente diferente a la densidad de la madera de las categorías de 25, 30, y 35 cm en el rodal 2. Asimismo, categorías diamétricas mayores de 15 cm no presentaron diferencias en sus valores de densidad de la madera (Cuadro 8).

Para los valores y las pruebas Tukey de separación de medias por categoría diamétrica dentro de cada rodal (Cuadro 8), de manera general se aprecia que la tendencia de la densidad de la madera es que a incrementar conforme aumenta la categoría diamétrica, este comportamiento es consistente para los tres rodales aún cuando el rodal 3 no presentó diferencias.

Cuadro 8 Valores de densidad de la madera por categoría diamétrica dentro de cada rodal para *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

C.D.	Densidad de la madera (g cm^{-3})		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
15	0.380 b	0.417 b	0.419
20	0.408 a b	0.437 a b	0.437
25	0.408 a b	0.445 a	0.432
30	0.436 a	0.449 a	0.449
35	0.412 a b	0.445 a	0.446
40	0.448 a	0.437 a b	0.448

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes con $\alpha = 0.05$

El comportamiento de la densidad de la madera, en las categorías diamétricas se debe a que las categorías diamétricas de menor tamaño tienen una mayor cantidad de

madera juvenil, que de madera madura, y viceversa en las categorías mayores. Además, las categorías diamétricas de mayor diámetro, generalmente, presentan una mayor proporción de madera tardía en los anillos anuales de crecimiento en comparación con que las categorías diamétricas de menor tamaño (Zobel y Talbert, 1988; Laroque y Marshall, 1995).

El rodal 3 no presenta diferencias estadísticas entre categorías diamétricas quizás debido a que el número de sitios levantados en el rodal 3 no fueron suficientes para detectar las variaciones entre categorías diamétricas.

b) Proporción de madera tardía.

En el caso de la proporción de la madera tardía (PMT) el análisis de varianza no mostró diferencias significativas para el efecto rodal ($P = 0.1610$), no así para el efecto de categorías diamétricas el cual mostró diferencia altamente significativas ($P = 0.0001$) y también el efecto de la interacción rodal por categoría diamétrica ($P = 0.0022$) (Apéndice 3.D).

El efecto de la interacción, rodal por categoría diamétrica, se atribuye a que en las categorías diamétricas de 25, 30 y 40 en rodal 1 presentan mayores proporciones de madera tardía (PMT) que los rodales 2 y 3 (con aclareo) (Figura 2). En el caso de las categorías diamétricas de 15 y 35 cm de diámetro los rodales con aclareo (2 y 3) presentan mayores proporciones de madera tardía que el rodal sin aclareo (rodal 1). La categoría diamétrica de 15 cm de diámetro del rodal 3 presenta valores de proporción de madera tardía muy por encima de todas las categorías en los rodales 1 y 2. En la categoría diamétrica de 40 cm el rodal 1 es el que presenta mayores valores de proporción de madera tardía que los rodales 2 y 3.

También es posible apreciar (Figura 2) que la categoría diamétrica de 15 cm es la que presenta mayor proporción de madera tardía ya que de manera general conforme las

categorías son de mayor diámetro la proporción de madera tardía disminuye excepto para la categoría diamétrica de 40 cm en el rodal 1.

Este comportamiento es coherente dado que los rodales estudiados son de edad uniforme y los árboles con diámetros menores corresponden a arbolado suprimido o en pocas ocasiones a arbolado intermedio, en los cuales los anillos anuales de crecimiento son angostos con respecto a los anillos anuales de crecimiento de árboles dominantes. Por lo tanto la proporción de madera tardía aumenta o disminuye de acuerdo a la cantidad de madera de primavera, ya que esta última se ve afectada en cantidad por la competencia y factores ambientales.

Es posible que las diferencias entre los valores de proporción de madera tardía entre las categorías diamétricas y la de los rodales 2 y 3 con respecto al rodal 1, se deba a la respuesta de la aplicación de los aclareos. Koslowski *et al.* (1991) mencionan que el arbolado puede manifestar diferentes grados de respuesta a la aplicación de los aclareos, tal es el caso de los rodales aclareados (rodales 2 y 3) en este estudio.

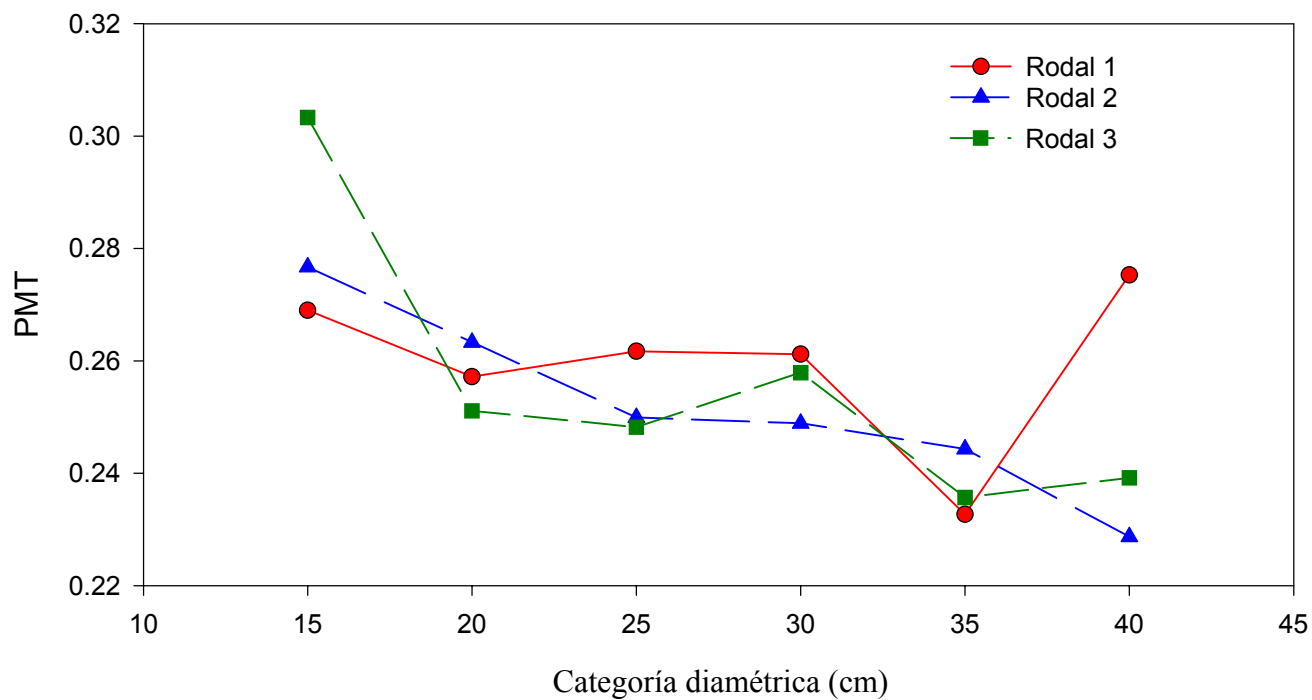


Figura 2 . Comportamiento de la proporción de madera tardía (PMT) en tres rodales de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

c) Incremento corriente anual en diámetro normal

El análisis de varianza para el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), mostró diferencias significativas para el efecto del rodal ($P = 0.0126$) (Apéndice 3.D), para categoría diamétrica mostró efectos altamente significativos ($P = 0.0001$) (Apéndice 3.D) y para la interacción rodal por categoría diamétrica mostró diferencias significativas ($P = 0.0154$). La interacción rodal por categoría diamétrica (Figura 3), muestra que el rodal 1 (sin aclareo) en la categoría diamétrica de 15 cm de diámetro presenta valores superiores de ICA-DN que los rodales 2 y 3 (aclareados), mientras que para las categorías de 20 y 25 cm la diferencia del rodal 1 continúa de manera más ligera con respecto a las mismas categorías en los rodales 2 y 3. Los incrementos del rodal 3 en las categorías diamétricas 30 y 35 cm son mayores a los incrementos de los rodales 1 y 2; y la categoría de 35 cm del rodal 3 presenta incrementos muy por arriba en comparación con los rodales 1 y 2 de esa misma categoría diamétrica.

En la Figura 3 se puede apreciar que en el rodal 1 (no aclareado), la pendiente de su curva es menor en comparación con los rodales 2 y 3 (aclareados). Pese a que el incremento corriente anual en diámetro en las categorías de 40 cm de diámetro normal en los rodales 1 y 3 disminuyen considerablemente, el valor del rodal 3 (aclareado) es aún mayor que el rodal 1 (no aclareado). Por otro lado, en el rodal 2 (rodal con aclareo) los incrementos en la mayoría de sus categorías diamétricas es menor con respecto a los rodales 1 y 3, el incremento de éste rodal no disminuye conforme se avanza en las categorías diamétricas.

En general a mayor diámetro, mayor incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) (Figura 3) y que una misma categoría diamétrica puede tener diferentes tasas de crecimiento dependiendo en el rodal donde se encuentre. Para este caso la categoría que presentó mayor incremento es la de 35 cm de diámetro normal, en el rodal 3.

Las categorías diamétricas 30, 35 y 40 cm en el rodal 3 y la categoría de 40 cm en el rodal 2, presentaron incrementos mayores que aquellas en el rodal 1. Esto es debido

seguramente a que el arbolado de esas categorías diamétricas en los rodales 3 y 2 manifestaron una mayor respuesta a la aplicación del aclareo en comparación con el resto de las categorías diamétricas de los rodales 2 y 3.

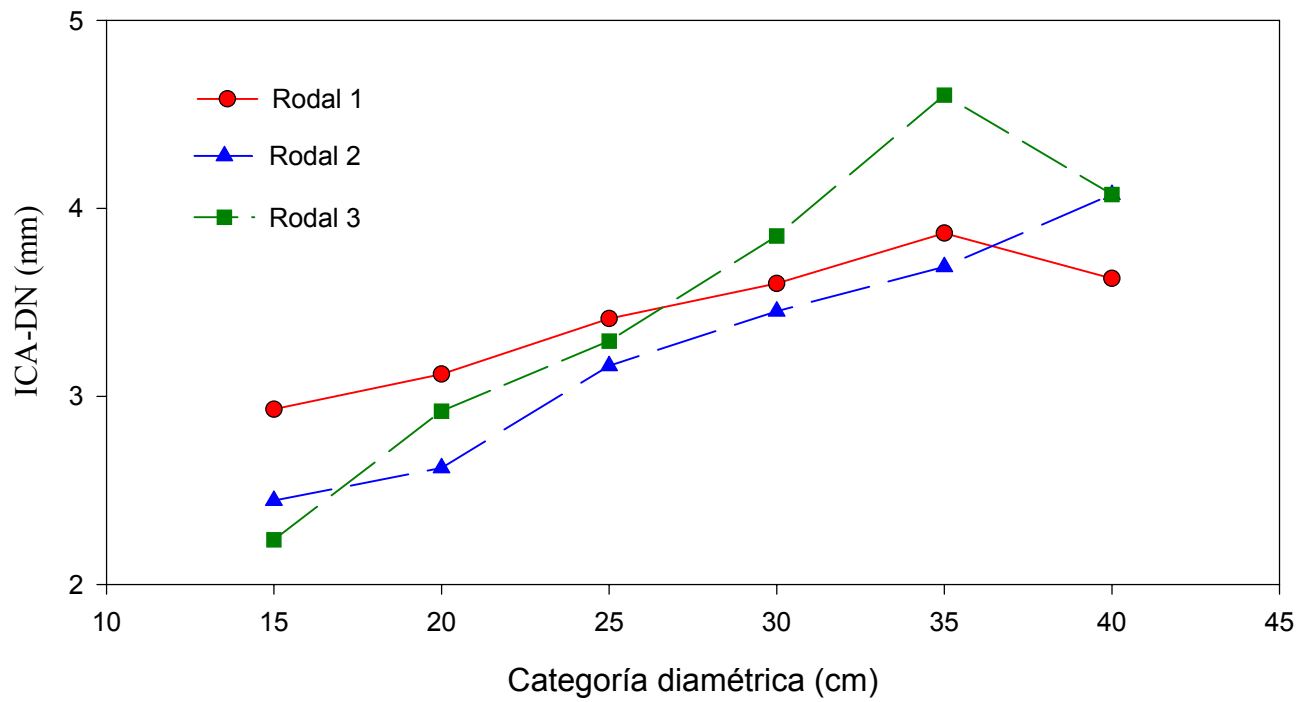


Figura 3. Comportamiento del incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) en tres rodales de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Al comparar las Figuras 2 y 3, se aprecia la relación negativa entre la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), es decir, a medida que el incremento corriente anual en diámetro y la categoría diamétrica aumenta, la proporción de madera tardía disminuye de manera consistente para todas las categorías diamétricas.

Los valores de densidad de la madera más bajos del rodal sin aclareo (rodal 1), con respecto a los rodales aclareados, se comportan de manera contraria en la variable densidad de la madera (DM) y coinciden para las variables de proporción de madera tardía (PMT) e incremento en diámetro (ICA-DN) con lo encontrado por Larocque y Marshall (1995) en un estudio realizado en una plantación de *Pinus resinosa* Ait. en Ontario, Canada, donde evaluaron el efecto de diferentes espaciamientos entre el arbolado (1.2, 1.5, 1.8, 2.4, 3.0, 4.3 y 6 m) y la edad (11 a 36 años) sobre la densidad de la madera, incremento en diámetro y crecimiento de la copa. Estos autores encontraron que a mayor espaciamiento menor densidad de la madera y menor proporción de madera tardía, mientras que el diámetro a la altura del pecho a mayor espaciamiento mayor incremento.

Sin embargo Jozsa y Brix (1989) en un estudio realizado en una plantación de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco de 24 años de edad encontró que las parcelas aclareadas presentaron mayores densidades de la madera que las parcelas no aclareadas. Los resultados encontrados por estos autores coinciden con los encontrados en el presente estudio. Además, con lo encontrado por Paul (1957) en una plantación de *Pinus resinosa* de 30 años de edad donde comparó la densidad de la madera de parcelas aclareadas y no aclareadas donde las parcelas aclareadas presentaron mayores densidades (0.4224 g cm^{-3}) con respecto a las no aclareadas (0.406 g cm^{-3}). Los resultados encontrados por este autor los atribuye a la vigorosidad y tamaño de la copa de las parcelas aclareadas.

De acuerdo con las correlaciones estimadas entre densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN). Se tiene lo siguiente: Entre la PMT e ICA-DN se encontró una correlación negativa significativa ($r = -0.651$) ($P = 0.0001$) y entre la DM y PMT se encontró una correlación positiva significativa ($r = 0.121$) ($P = 0.0368$). Lo anterior indica que a medida que aumenta

el incremento en diámetro, disminuye la proporción de madera tardía, esto resulta coherente ya que la cantidad de madera que se ve influenciada por la competencia o factores ambientales es la madera temprana por lo tanto la proporción de madera tardía es afectada por el crecimiento en la madera temprana. Las correlaciones estimadas por categoría diamétrica para la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal a 1.3 m de altura ICA-DN, que presentaron significancia ($P < 0.05$) se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Valores de correlaciones entre densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), por categoría diamétrica (CD), para *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

CD	Variables	PMT	ICA-DN.
15	DM	0.165	-0.174
	PMT		-0.433
20	DM	0.222	-0.181
	PMT		-0.494
25	DM	0.126	-0.122
	PMT		-0.533
30	DM	0.192	-0.105
	PMT		-0.588
35	DM	0.207	NS
	PMT		-0.529
40	DM	0.189	NS
	PMT		-0.512

NS = No significativo ($P > 0.05$)

De manera general se observa una relación inversa entre la tasa de crecimiento en diámetro y la densidad de la madera así como con la proporción de madera tardía. En las categorías de 35 y 40 cm no se encontraron correlaciones entre la densidad de la madera y el incremento en diámetro, esto se atribuye a que la correlación se realizó mezclando arbolado de los tres rodales.

4.2 Efecto de los aclareos sobre la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro por categoría diamétrica

a) Categoría diamétrica de 15.

Los análisis de varianza para los diferentes períodos de tiempo (1965 a 1996, de cuatro en cuatro años), mostraron diferencias estadísticas significativas ($0.0001 \leq P \leq 0.0436$) entre rodales, para los ocho períodos de tiempo de la variable densidad de la madera (DM) (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias antes del aclareo encontró que la densidad de la madera (DM) del rodal 1 fue significativamente diferente con la densidad de la madera (DM) del rodal 3 en el período de 1965-1968 y tanto el rodal 3 como el rodal 2 en el período de 1977-1980. En contraste, las diferencias se magnificaron después del aclareo, ya que la densidad de la madera (DM) en los rodales 2 y 3 se incrementó mientras que la densidad de la madera en el rodal 1 se muestra constante (Figura 4).

La densidad de la madera en los rodales 2 y 3 fue significativamente diferente con respecto a la densidad de la madera del rodal 1 en los períodos 1981-1984, 1985-1988 y 1993-1996. Solo la densidad de la madera en el rodal 3 fue significativamente diferente con aquella del rodal 1 en el período de 1989-1992 (Figura 4). Aún cuando el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P = 0.436$) entre rodales para el período de 1969-1972, la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) no mostró diferencias estadísticas.

Los dos rodales aclareados (2 y 3) presentan densidades de la madera más altas con respecto al rodal no aclareado (Figura 4). Sin embargo, el rodal 2 y 3, en el período de 1985-1988 (segundo período después de aplicado el aclareo), el valor de la densidad de la madera disminuye en 1.76 y 1.21%, (0.008 y 0.006 g cm^{-3}) respectivamente. Aunque los valores de esta variable en estos dos rodales aclareados son mayores que el rodal no aclareado, éste no presenta la disminución, de la densidad en ese período de tiempo (1985-1988), sino por el contrario en la Figura 4 se observa que la densidad de la madera aumenta conforme avanza la edad y con menor variación respecto a los rodales aclareados.

La disminución de la densidad de la madera en los rodales dos y tres se le atribuye a la respuesta de la aplicación del aclareo, ya que a mayor espacio menor densidad de la madera. Por otra parte los rodales aclareados presentan mayores densidades de la madera que el rodal no aclareado, desde antes de realizar el aclareo, lo cual no es debido a la aplicación de los aclareos sino se atribuye probablemente a factores ambientales o a cortas de aprovechamientos maderables realizadas de manera ilegal.

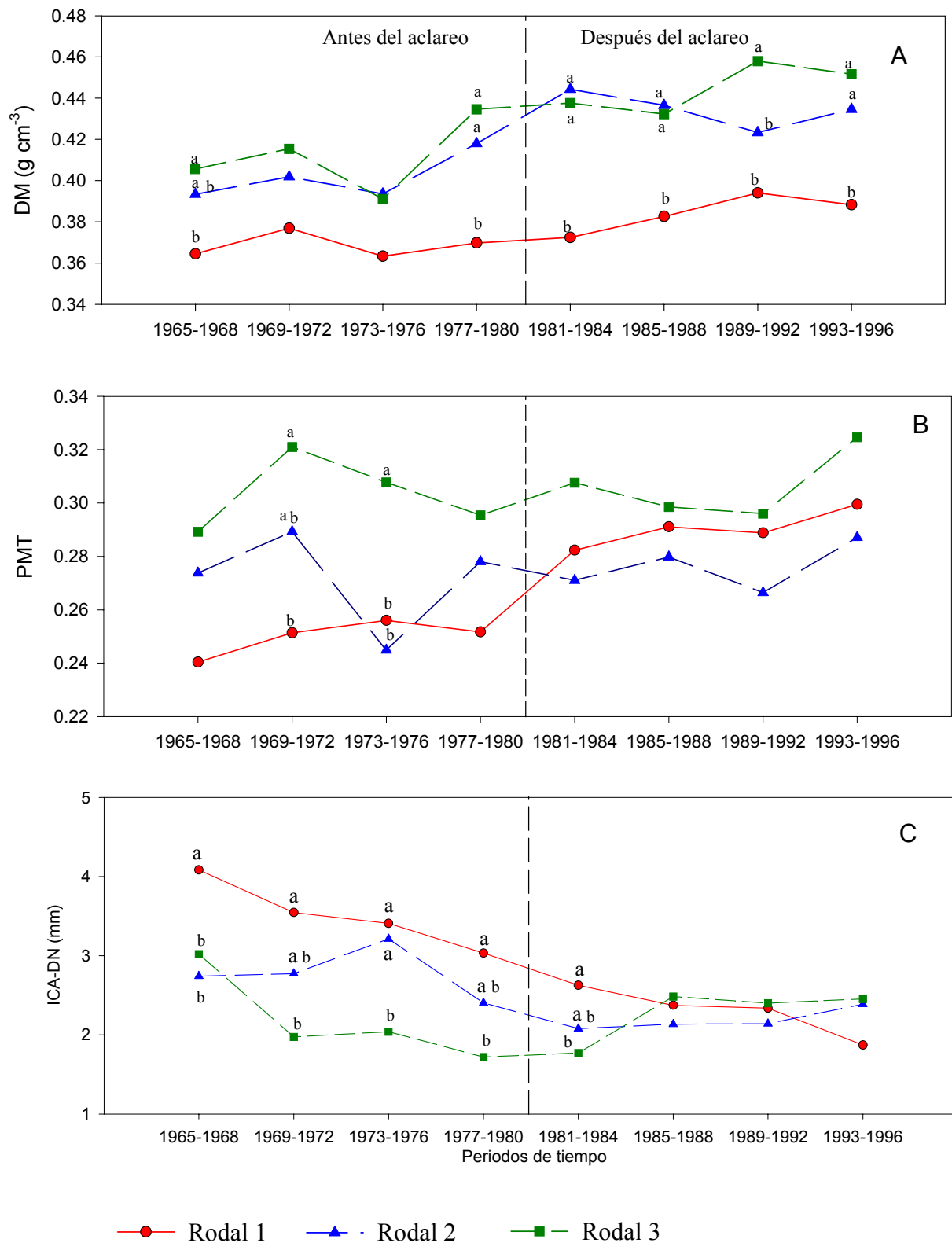


Figura 4. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera (DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 15 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

En la proporción de madera tardía (PMT) los análisis de varianza, mostraron diferencias significativas ($0.0056 \leq P \leq 0.0325$) entre rodales en el segundo y tercer período antes del aclareo, no así para los cuatro períodos después del aclareo en el cual no existió diferencia significativa ($0.2964 \leq P \leq 0.4446$) (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de comparación de medias antes del aclareo encontró que la proporción de madera tardía del rodal 3 fue estadísticamente diferente a la proporción de madera tardía del rodal 1 en el periodo de 1969-1972. En el período de 1973-1976 los rodales 1 y 2 presentan diferencias estadísticas en los valores de proporción de madera tardía con respecto al rodal 3 (Figura 4).

En la Figura 4, se aprecia que los rodales 2 y 3 antes del aclareo presentan las mayores proporciones de madera tardía (PMT) en comparación con el rodal 1. Después de aplicado el aclareo no se presentaron diferencias en la proporción de madera tardía debido a que los rodales 2 y 3 después del aclareo presentan una disminución en la PMT en el período de 1989-1992 de 2.52% (0.279 a 0.266) el rodal 2 y el rodal 3 disminuye 2.96% (0.308 a 0.298) en el período de 1985-1988.

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($0.002 \leq P \leq 0.0148$) en incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) en los cuatro períodos antes del aclareo. Después del aclareo únicamente mostraron significancia ($P = 0.0185$ y $P = 0.0324$) en los períodos de 1981-1984 y 1993-1996, respectivamente (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias antes del aclareo mostró que el incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) del rodal 1 es diferente al ICA-DN de los rodales 2 y 3 en el período de 1965-1968. En los períodos de 1969-1972 y 1977-1980 únicamente presentaron diferencias estadísticas los rodales 1 y 3 en los valores de incremento corriente anual en diámetro. Mientras que en el período de 1973-1976 el rodal 1 y 2 presentan diferencias en incremento corriente anual en diámetro, con respecto al rodal 3. Después de aplicado el aclareo el rodal 1 y 3 mostraron diferencias en los valores de incremento corriente anual en diámetro únicamente en el período de 1981-1984. En el

período de 1993-1996 el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P = 0.0324$) entre rodales, sin embargo, la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) no mostró diferencias significativas en dicho período de tiempo.

Para esta variable (ICA-DN) se puede notar (Figura 4) que en el período de 1985-1988 los rodales 2 y 3 presentaron un aumento de 2.74 y 40.42% (2.077 a 2.134 mm y 1.769 a 2.484 mm), respectivamente, en el incremento en diámetro, es decir, después de 4 años de aplicado el aclareo.

En la Figura 4 se observa que aunque en el periodo de 1985-1988 se presentó un muy buen incremento en diámetro para el rodal 3 y ligero para el rodal 2, no existe diferencia estadística con el rodal 1 (no aclareado) debido a que los incrementos en diámetro de los rodales 2 y 3 antes del aclareo son menores que los del rodal 1. Por lo que con los aclareos estos incrementos aumentan, lo que ocasiona que no se tengan diferencias entre rodales.

Las correlaciones encontradas para esta categoría entre la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT), e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) fueron: para la DM con PMT se tiene una asociación positiva ligera ($0.130 \leq r \leq 0.179$) ($P = 0.0191$ y $P = 0.0031$, respectivamente) DM con ICA-DN se relacionan de manera negativa ($r = -0.230$) ($P = 0.001$) y la relación que existe entre PMT con ICA-DN es negativa ($-0.342 \leq r \leq -0.445$) ($P = 0.0019$ y $P = 0.0001$, respectivamente).

Asimismo, las correlaciones encontradas para estas mismas variables por separado para antes y para después del aclareo únicamente se encontró correlación entre ICA-DN y PMT tanto antes como después del aclareo de $r = -0.572$ ($P = 0.0001$) y $r = -0.330$ ($P > 0.0219$), respectivamente.

De acuerdo con lo anterior se puede mencionar que para esta categoría diamétrica (15 cm) el efecto de los aclareos fue ligero, por lo tanto al aplicarse los aclareos, la

categoría de 15 cm es la que debe ser extraída, si la finalidad de dicho aclareo es la recuperación del volumen extraído en un período de tiempo relativamente corto.

b) Categoría diamétrica de 20.

Los análisis de varianza para la variable densidad de la madera (DM) únicamente mostraron diferencias significativas ($P = 0.0256$) en el período de 1973-1976 y después del aclareo mostraron diferencias estadísticas ($0.0014 \leq P \leq 0.0074$) en todos los períodos, excepto en el período de 1985-1988 en que no hubo diferencias ($P = 0.0605$) entre rodales (Apéndice 3 E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias en el período de 1973-1976 (antes del aclareo) no mostró diferencias estadísticas en los valores de densidad de la madera aún cuando el análisis de varianza mostró diferencias entre rodales para eses período de tiempo. Después de aplicado el aclareo la prueba Tukey mostró que los valores de densidad de la madera del rodal 1 son diferentes los valores de los rodales 2 y 3 en el período de 1981-1984. Para los períodos de 1989-1992 y 1993-1996 los valores de densidad de la madera del rodal 1 (sin aclareo) son diferentes a los valores del rodal 3 (con aclareo) (Figura 5).

De manera general se observa (Figura 5) que los valores de densidad de la madera son mayores en los rodales aclareados durante todos los períodos de tiempo evaluados. Sin embargo, en la Figura 5 es posible apreciar que en el período de 1985-1988 existe una disminución en la densidad de la madera en los rodales 2 y 3 (aclareados) de 0.005 a 0.015 g cm^{-3} (1.16 y 3.35%), respectivamente, y el rodal no aclareado (rodal 1) presenta un ligero aumento en la densidad de la madera en este mismo período de 0.006 g cm^{-3} (1.4%), por lo que para ese período no se presentan diferencias estadísticas entre rodales para la densidad de la madera.

Los análisis de varianza para el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), mostraron diferencias significativas ($0.0001 \leq P \leq 0.0233$) entre rodales antes

del aclareo a partir del año de 1969 y después del aclareo únicamente en el período de 1985-1988 no existió diferencia estadística ($P = 0.6316$) (Apéndice 3).

Sin embargo, en la Figura 5 se puede apreciar una mayor disminución en PMT en los rodales 2 y 3 (aclareados) de 1.16 y 3.35% (0.016 y 0.018) respectivamente en el período de 1985-1988 y el rodal 1 (no aclareado) también presenta una disminución de 0.010 en el mismo período la cual es ligeramente menor que el rodal 2.

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias para el período de 1973-1976 mostró que la proporción de madera tardía de los rodales 2 y 3 estadísticamente son diferentes (Figura 5).

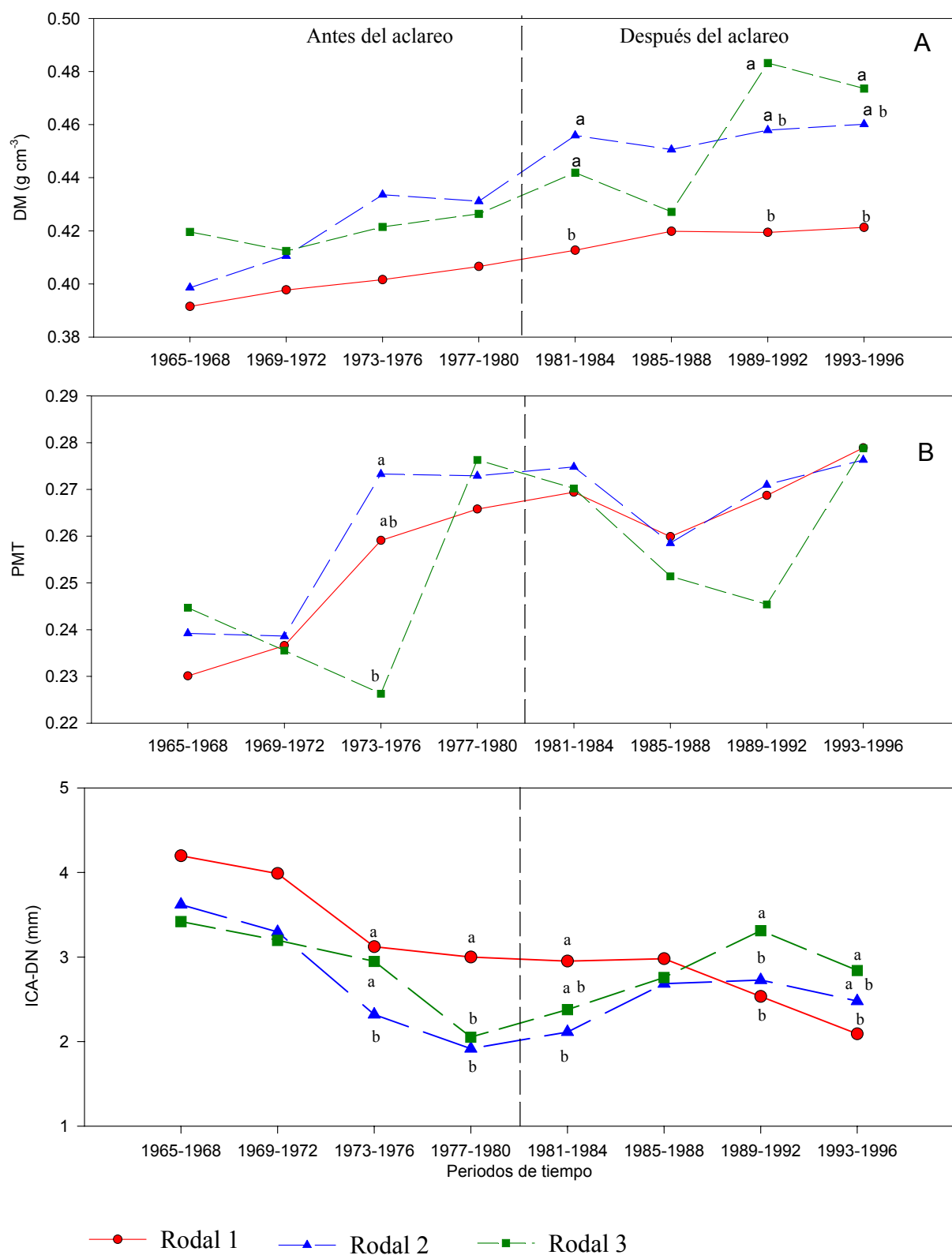


Figura 5. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera (DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 20 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

Las diferencias entre las tendencias de los valores de densidad de la madera en el período de 1985-1988, 1989-1992 y 1993-1996 posiblemente se deben a la aplicación de los aclareos en los rodales 1 y 2, ya que al tener más espacio disponible el diámetro de copa pudo haber aumentado, ocasionando la formación de madera en forma más eficiente.

La proporción de madera tardía (PMT) únicamente mostró diferencia estadística ($P = 0.0412$) en el período de 1973-1976. Después del aclareo los análisis de varianza no mostraron diferencia significativa ($0.28 \leq P \leq 0.90$) en los cuatro períodos de tiempo (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias encontró que antes del aclareo el incremento corriente anual en diámetro del rodal 2 es diferente a los valores de incremento corriente anual de los rodales 1 y 3 en el período de 1973-1976. En el período de 1977-1980 el valor del incremento corriente anual en diámetro del rodal 1 mostró ser diferente a los valores de los rodales 2 y 3. Después del aclareo el incremento en diámetro de los rodales 1 y 3 mostrarán diferencias significativas en el período de 1981-1984, mientras que en el período de 1989-1992 el valor del incremento corriente anual en diámetro del rodal 3 mostró ser diferente a los valores de los rodales 1 y 2 y en el período de 1993-1996 los rodales 1 y 3 mostraron diferencias entre ellos en los valores de incremento corriente anual en diámetro.

En la Figura 5 se muestra que el rodal 2 aumentó un 10 y 27% (0.198 y 0.571 mm) en el incremento en diámetro en los dos periodos inmediatos después del aclareo y el rodal 3 en estos mismos periodos presentó un aumento de 15.0 % (0.327 mm).

Se aprecia (Figura 5) que la tendencia en el incremento en diámetro del rodal no aclareado, es disminuir conforme avanza la edad. De igual forma, los rodales 2 y 3 presentaron la misma tendencia antes y después del aclareo. En el período de 1985-1988 que no hubo diferencia estadística, se debe probablemente que en este periodo los valores de los rodales aclareados (2 y 3) presentan mayores incrementos que el rodal 1 el cual disminuye conforme pasa el tiempo.

Las correlaciones encontradas para densidad de la madera (DM) y proporción de madera tardía (PMT) muestran una ligera asociación positiva entre estas variables ($0.177 \leq r \leq 0.303$) ($P = 0.0283$ y $P = 0.0001$ respectivamente). La densidad de la madera (DM) con el incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) presenta una relación negativa ($-0.168 \leq r \leq -0.192$) ($P = 0.0005$ y $P = 0.0002$ respectivamente.) y la PMT con ICA-DN se relacionan de manera negativa ($-0.363 \leq r \leq -0.510$) ($P = 0.0001$).

Antes del aclareo únicamente se encontró relación negativa ($r = -0.720$) ($P = 0.0001$). entre ICA-DN y PMT de Después del aclareo se encontraron correlaciones positivas ($r = 0.261$) ($P = 0.0438$) entre DM y PMT . Por ultimo la PMT con ICA-DN se relacionan de manera negativa ($r = -0.472$) ($P = 0.0001$).

En esta categoría diamétrica se presentan disminuciones ligeramente mayores en la densidad de la madera (DM) y proporción de madera tardía (PMT) y aumento en incremento en diámetro normal (ICA-DN) en comparación con la categoría diamétrica de 15 cm.

Por lo anterior se puede decir que el aclareo afectó la correlación entre las variables antes mencionadas por ello se debe la variación de las correlaciones de antes y después de aplicado el aclareo.

c) Categoría diamétrica de 25.

La densidad de la madera (DM), mostró diferencias significativas ($0.0024 \leq P \leq 0.0203$) entre rodales antes del aclareo, y en la mayoría de los períodos después del aclareo también mostró significancia ($0.0014 \leq P \leq 0.0422$) y sólo para el período de 1985-1988 no existió diferencia significativa ($P = 0.1772$) en esta variable (Apéndice 3.E).

Aún cuando los analisis de varianza mostraron diferencias singnificativas entre rodales en los periodos de 1969-1972, 1973-1976, 1977-1980 y 1989-1992 la prueba Tukey

($\alpha = 0.05$) de separación de medias no mostró diferencias. La prueba Tukey mostró diferencias antes del aclareo entre los valores de densidad de la madera de los rodales 2 y 3 con respecto al rodal 1 en el período de 1965-1968. Después del aclareo la densidad de la madera del rodal 2 resultó ser diferente a la densidad de la madera del rodal 3 en el período de 1981-1984. En el período de 1993-1996 la densidad de la madera del rodal 1 resultó ser diferente a la densidad de la madera de los rodales 2 y 3 (Figura 6).

En la Figura 6 se observa que únicamente el rodal 3 (que presenta una mayor intensidad de aclareo) fue el que presentó una disminución de la densidad de la madera de 5.38% (0.024 g

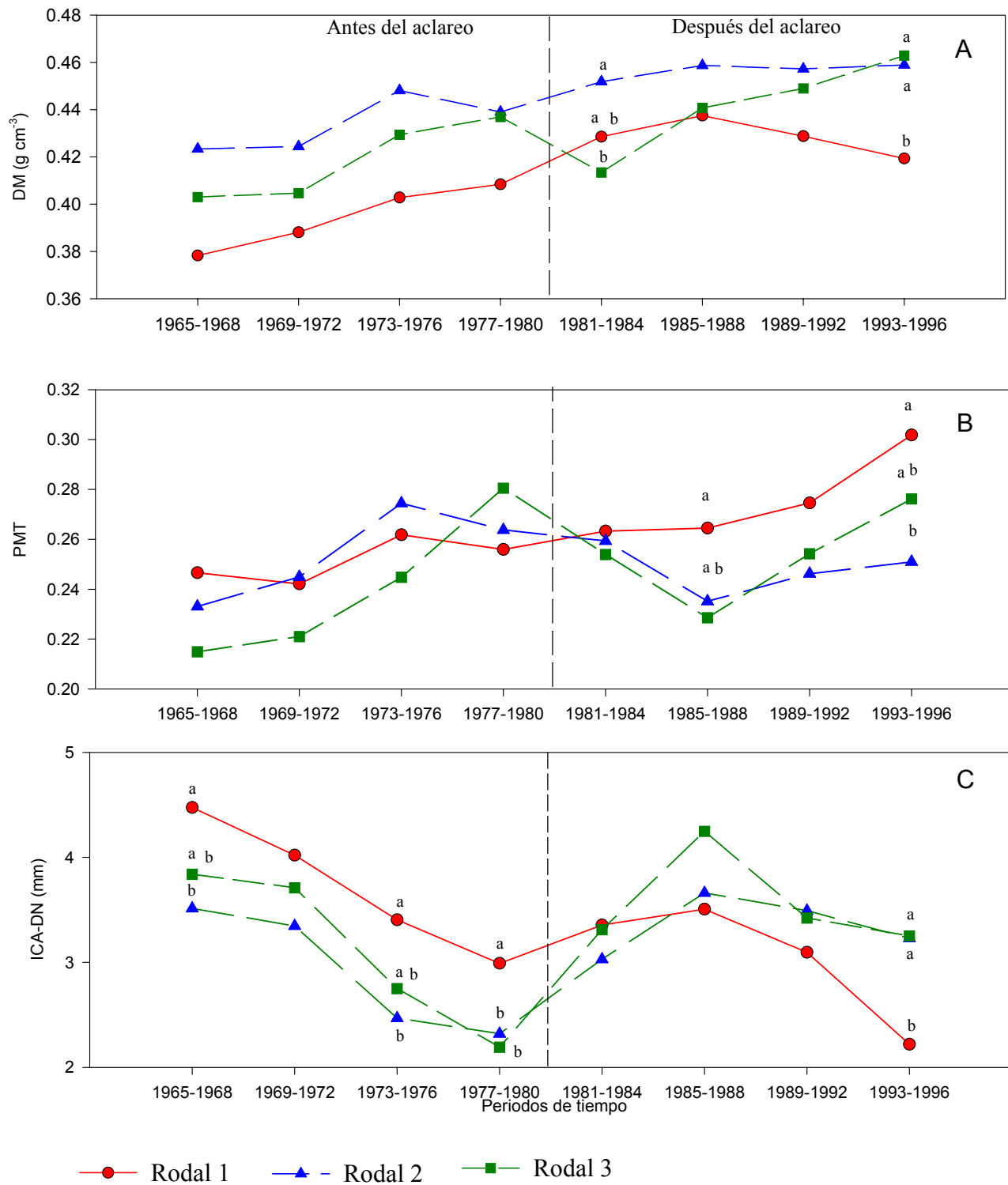


Figura 6. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera (DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 25 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

cm^{-3}) en el período de 1981-1984 y que en la mayoría de los períodos de tiempo, tanto antes como después del aclareo, los rodales 2 y 3 presentan valores de densidad de la madera superiores al rodal 1.

Para la proporción de madera tardía (PMT), de acuerdo a los análisis de varianza no existe diferencia estadística ($0.2979 \leq P \leq 0.3839$) en los cuatro períodos antes del aclareo, no así para

los últimos tres períodos después del aclareo en los cuales los análisis de varianza mostraron diferencia significativa ($0.0014 \leq P \leq 0.0496$) entre rodales (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) mostró que la proporción de madera tardía del rodal 1 es diferente a la proporción de madera tardía del rodal 3 en el período de 1985-1988 y diferente al rodal 2 para el período de 1993-1996. Esta prueba de separación de medias no detectó diferencias entre rodales en el período de 1989-1992, aún cuando el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P = 0.0496$) para ese período de tiempo.

Después de aplicado el aclareo se aprecia (Figura 6) que el rodal que presenta mayor proporción de madera tardía es el rodal 1 (no aclareado) ya que el rodal 2 presenta una disminución de 1.67 a 9.33% y el rodal 3 disminuye de 9.48 a 10%, en los períodos de 1981-1984 y 1985-1988, respectivamente.

Los análisis de varianza para el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) mostraron diferencias estadísticas ($0.0055 \leq P \leq 0.0074$) en el primer, tercer y cuarto períodos de tiempo antes de aplicado el aclareo y después del aclareo el ICA-DN mostró diferencias significativas ($P = 0.0001$) entre rodales únicamente en el último período (Apéndice 3).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias antes del aclareo mostró que el incremento corriente anual en diámetro del rodal 1 es diferente al incremento corriente anual en diámetro del rodal 2 en los períodos de 1965-1968 y 1973-1976 y en el período de 1977-

1980 el incremento en diámetro del rodal 1 es diferente al incremento de los rodales 2 y 3. Después del aclareo el incremento en diámetro de los rodales 2 y 3 (con aclareo) resulto ser diferente al rodal 1 (sin aclareo) en el período de 1993-1996 (Figura 6).

De manera genera (Figura 6) se observa que antes del aclareo el rodal 1 presenta mayores incrementos que los rodales 2 y 3 no así después del aclareo donde se observa que el rodal 2 aumento su crecimiento en diámetro (ICA-DN) un 30.62 y 20.83% y el rodal 3 aumento un 51.07 y 28.34% en los períodos de 1981-1984 y 1985-1988, respectivamente, mientras que el rodal no aclareado (rodal 1) la tendencia de sus incrementos es disminuir conforme avanzan los períodos de tiempo.

En esta categoría diamétrica las correlaciones encontradas entre la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) en los ocho períodos demuestran que la PMT con la DM se relacionan de manera positiva ($0.122 \leq r \leq 0.169$) ($P = 0.0393$ y $P = 0.0002$ respectivamente) por su parte la PMT con ICA-DN presentan una relación negativa ($-0.507 \leq r \leq -0.570$) ($P = 0.0001$) asimismo la DM con ICA-DN se relacionan también de manera negativa ($r = -0.151$) ($P = 0.0001$). Antes de aplicado el aclareo la PMT y la DM se correlacionan de manera significativa presentando una relación positiva ($r = 0.367$) ($P = 0.0043$), y la PMT con ICA-DN presentan una relación negativa ($r = -0.594$) ($P = 0.0001$). Después del aclareo únicamente se encontró correlación negativa entre la PMT con ICA-DN ($r = -0.556$) ($P = 0.0001$). Por lo que la aplicación de los aclareos afectó la correlación entre estas variables para esta categoría diamétrica.

En la presente categoría diamétrica es posible apreciar que el efecto del aclareo es mayor con respecto a las categorías de 15 y 20 cm de diámetro, es decir, el incremento en diámetro es mayor al igual que la disminución de la densidad de la madera (DM) y la proporción de madera tardía (PMT), por lo tanto esto permite visualizar hacia que tipo de arbolado dirigir la corta, dependiendo de los objetivos de ésta.

d) Categoría diamétrica de 30.

Para la densidad de la madera (DM), de acuerdo con los análisis de varianza no existe diferencia estadística ($0.1100 \leq P \leq 0.791$) entre rodales en los cuatro períodos de tiempo antes del aclareo. Después de aplicado el aclareo si existe diferencia ($0.0010 \leq P \leq 0.0456$) entre rodales, en los últimos tres períodos de tiempo (Apéndice 3.E).

De acuerdo con la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias, después del aclareo la densidad de la madera de los rodales 2 y 3 (con aclareo) es diferente estadísticamente a la densidad de la madera del rodal 1(sin aclareo) en los periodos de 1989-1992 y 1993-1996. Aún cundo los análisis de varianza muestran diferemcias estadísticas($P = 0.0456$) entre rodales en el período de 1985-1988, la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) no mostró diferencias estadísticas para es período de tiempo (Figura 7).

En la Figura 7, es posible observar que el rodal 1 (no aclareado) tiene menor densidad de la madera con respecto a los rodales aclareados (rodal 2 y 3). Sin embargo, en el periodo de 1985-1988 el rodal 3 presenta una disminución de la densidad de la madera de 5.17% (0.025 g cm^{-3}), el cual es mayor al rodal 2. Mientras que en el rodal 1, después de 1981 año en el que se aplico el aclareo la tendencia de la densidad de la madera es disminuir conforme avanza la edad y el rodal 2 presenta una tendencia ininterrumpida de incrementar la densidad de la madera conforme avanza la edad.

La proporción de madera tardía (PMT) únicamente mostró diferencias estadísticas ($P = 0.0021$) en el período de 1977-1980 (antes del aclareo). Después de aplicado el aclareo los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticas ($0.056 \leq P \leq 0.2770$) entre rodales para los cuatro períodos de tiempo (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias mostró que antes del aclareo la proporción de madera tardía del rodal 3 es diferente a la proporción de madera tardía de los rodales 1 y 2 en el período de 1977-1980.

La diferencia entre rodales para el año de 1977-1980 del rodal 1 y 2 con respecto al rodal 3 se debe a que el rodal 3 en ese período tiene un fuerte incremento en esta variable, como se aprecia en la Figura 7.

Después de aplicado el aclareo no existen diferencias entre rodales en todos los períodos de tiempo debido probablemente a que antes del aclareo los rodales aclareados (2 y 3) presentan mayores proporciones de madera tardía y después de aplicado el aclareo estos rodales presentan menores proporciones de madera tardía en comparación con el rodal 1 (no aclareado).

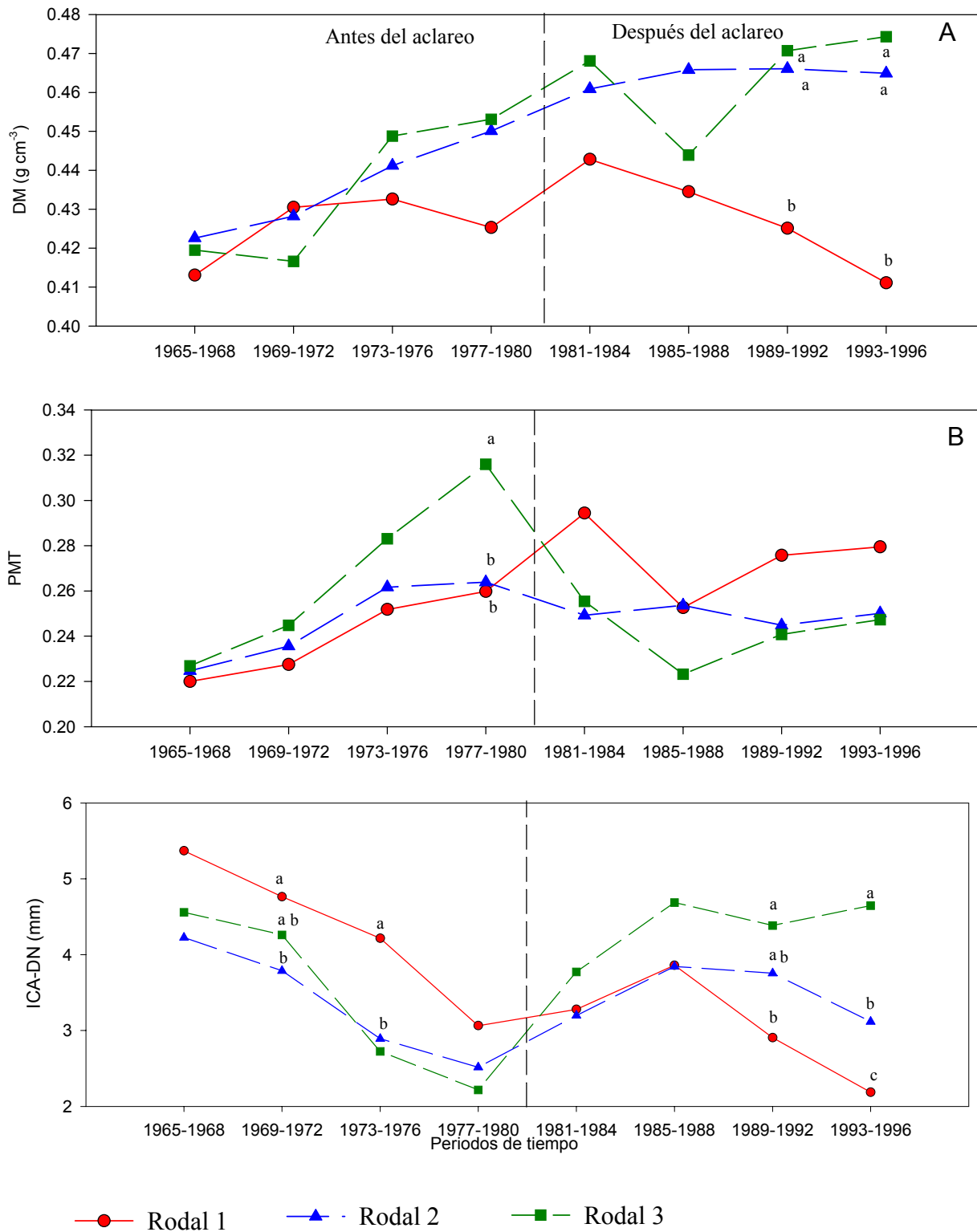


Figura 7. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 30 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

Después del aclareo el rodal 2 disminuyó su PMT en un 5.57% y el rodal 3 en los dos períodos posteriores a la aplicación del tratamiento silvícola disminuyó en un 19.19 y 12.61%. respectivamente.

Los análisis de varianza para el incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) mostraron diferencias significativas ($P = 0.0277$ y $P = 0.0016$,) entre rodales en los períodos de 1969-1972 y 1973-1976, respectivamente antes de aclareo. Después de aplicado el aclareo, los análisis de varianza mostraron diferencia estadística ($P = 0.0001$ y $P = 0.0220$) entre rodales en los dos últimos períodos de tiempo (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de comparación de medias antes del aclareo mostró que el incremento corriente anual en diámetro del rodal 1 es diferente al incremento corriente anual en diámetro del rodal 2 en el período de 1969-1972, mientras que en el período de 1973-1976 el incremento corriente anual del rodal 1 es diferente al incremento de los rodales 2 y 3. Después de aplicado el aclareo el incremento corriente anual en diámetro del rodal 3 es diferente al rodal 1 en el período de 1989-1992. En el período de 1993-1996 los valores de incremento corriente anual en diámetro son diferentes estadísticamente en los tres rodales (Figura 7).

Antes del aclareo el rodal 1 presenta incrementos mayores que los rodales 2 y 3, después de aplicado el aclareo el crecimiento en diámetro incrementó 27.21 y 20.17% en el rodal 2, y en el rodal 3 incremento el crecimiento un 70.14% y 24.26%, en los períodos 1981-1984 y 1985-1988, respectivamente (Figura 7).

La diferencia estadística de incremento en diámetro normal (ICA-DN) entre rodales, en los dos últimos períodos de tiempo, se debe a que la tasa de crecimiento en diámetro disminuye en forma menos pronunciada en los rodales aclareados en estos períodos con respecto al rodal 1 en menores porcentajes. Asimismo, antes del aclareo la curva de crecimiento en diámetro (Figura 7) del rodal 1 se ubica por encima de los rodales 2 y 3 y después del aclareo esta curva se ubica por debajo de los rodales antes mencionados, esto como resultado del aclareo en la estimulación del crecimiento en diámetro.

En esta categoría se encontró una correlación positiva entre la DM con la PMT ($0.163 \leq r \leq 0.319$) ($P = 0.0037$ y $P = 0.0002$), la DM con el ICA-DN se relacionan de manera negativa ($r = -0.132$) ($P = 0.0037$) y la PMT con ICA-DN se relacionan también de manera negativa pero en mayor grado ($-0.563 \leq r \leq -0.610$) ($P = 0.0001$ y $P = 0.0001$). En las correlaciones realizadas tanto antes como después del aclareo únicamente se encontró relación negativa entre el ICA-DN y la PMT ($r = -0.577$ y $r = -0.679$) ($P = 0.0001$) antes y después, respectivamente.

Nótese que las categorías diamétricas de 25 y 30 cm manifestaron mayor respuesta a la aplicación del aclareo con respecto a las categorías diamétricas de 15 y 20 cm y hasta esta categoría diamétrica (30 cm) la respuesta a la aplicación de los aclareos, en las tres variables (DM, PMT e ICAD-N) ha venido aumentando conforme aumenta la categoría diamétrica.

e) Categoría diamétrica de 35

Para la densidad de la madera (DM) los análisis de varianza mostraron que no existe diferencia estadística ($0.0834 \leq P \leq 0.5446$) entre rodales, para los cuatro períodos de tiempo antes de aplicado el aclareo. Después de aplicado el aclareo existe diferencia estadística ($P = 0.0021$ y $P = 0.001$) en los dos últimos períodos de tiempo respectivamente (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias mostró después del aclareo que la densidad de la madera de los rodales 2 y 3 (con aclareo) es diferente a la densidad de la madera del rodal 1 (sin aclareo) en los periodos 1989-1992 y 1993-1996 (Figura 8)

Al igual que en las otras categorías diamétricas las densidad de la madera de los rodales aclareados son mayores que en el rodal no aclareado, sin embargo en los rodales 2 y 3 (aclareados) la densidad de la madera disminuye 1.43 y 2.54%, respectivamente en el período de 1985-1988 como se muestra en la Figura 8.

Los análisis de varianza para la proporción de madera tardía (PMT) mostraron que no existe diferencia estadística ($0.1972 \leq P \leq 0.9287$) entre rodales en ningún período tanto antes como después de aplicado el aclareo (Apéndice 3.E).

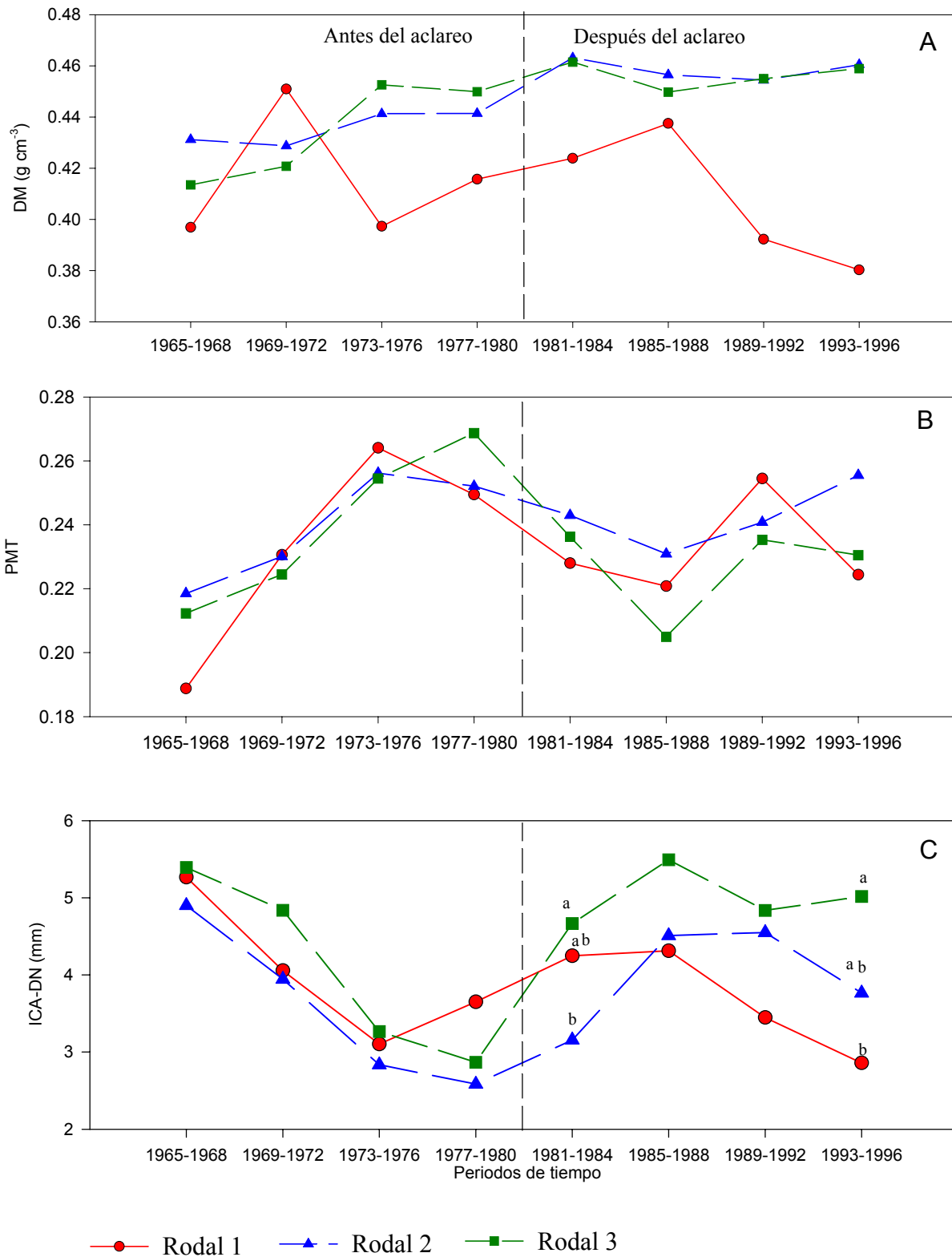


Figura 8. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 35 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

Sin embargo, los tres rodales disminuyeron en la PMT después del periodo 1977-1980, los rodales 2 y 3 presentaron en los dos periodos inmediatos a la aplicación del aclareo una disminución de 3.61% y 13.25% respectivamente, mayor al rodal 1 (no aclareado) (Figura 8) lo que se atribuye al efecto de la aplicación del aclareo.

El incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), de acuerdo con los análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas ($0.0899 \leq P \leq 0.5221$) entre rodales en los periodos correspondientes a antes de aplicado el aclareo. Después de aplicado el aclareo únicamente existe diferencia significativa ($P = 0.001$ y $P = 0.0022$) entre rodales en los periodos de tiempo de 1981-1984 y 1993-1996 respectivamente (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación medias después del aclareo mostró que el incremento corriente anual en diámetro de rodal 3 es diferente al incremento corriente anual en diámetro del rodal 2 en el periodo de 1981-1984, mientras que en el periodo de 1993-1996 el incremento corriente anual en diámetro del rodal 3 es diferente al incremento corriente anual del rodal 1 en el periodo 1993-1996 (Figura 8).

La Figura 8 muestra que la tendencia de los rodales 1, 2 y 3 antes de 1981 es disminuir conforme avanzan los periodos de tiempo. Sin embargo, después, de la aplicación del aclareo, el rodal 2 aumentó el incremento en diámetro un 22.18 y 42.84% y el rodal 3 de 62.78% y 17.68% en los dos periodos inmediatos a la aplicación del aclareo, para después disminuir el incremento en tasas menores a las descritas, pero aun presentando mayor ICA-DN que el rodal 1, el cual también presenta aumento en el incremento en diámetro pero éste inicia un periodo antes que los rodales dos y tres y en menores porcentajes.

De acuerdo con las correlaciones realizadas se encontró correlación positiva entre la densidad de la madera (DM) y la proporción de madera tardías (PMT) ($0.208 \leq r \leq 0.255$) ($P = 0.0002$) y el incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) con la proporción de madera tardía (PMT), presento una asociación negativa ($-0.607 \leq r \leq -0.505$) ($P = 0.0001$). en las correlaciones realizadas separando el antes y después de aplicado el aclareo,

únicamente se encontró correlación negativa entre el ICA-DN y la PMT tanto antes como después de aplicado el aclareo ($r = -0.348$ y $r = -0.606$, respectivamente) ($P = 0.0001$).

En la presente categoría diamétrica el incremento en diámetro (ICA-DN) fue la variable en la cual es posible apreciar una mayor respuesta a la aplicación de los aclareos mientras que la densidad de la madera (DM) y la proporción de madera tardía se ven menos influenciadas.

f) Categoría diamétrica de 40.

Los análisis de varianza para la variable densidad de la madera (DM) no mostraron diferencias estadísticas ($0.2755 \leq P \leq 0.9262$) entre rodales en los ocho períodos de tiempo (Apéndice 3).

En la Figura 9 se muestra que los tres rodales tienen la misma tendencia en cuanto al comportamiento de la densidad de la madera que es a mayor edad mayor densidad de la madera.

La proporción de madera tardía (PMT) de acuerdo con los análisis de varianza únicamente mostró diferencia estadística entre rodales en los períodos de 1965-1968 ($P = 0.0015$) y 1989-1992 ($P = 0.0273$) (Apéndice 3.E).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias antes del aclareo mostró que la proporción de madera tardía del rodal 1 es diferente estadísticamente al valor de la proporción de madera tardía del rodal 2 en el periodo 1965-1968. Después del aclareo la prueba Tukey de separación de medias mostró que la proporción de madera tardía del rodal 1 (sin aclareo) es diferente a la proporción de madera tardía de los rodales 2 y 3 (con aclareo) en el período 1989-1992 (Figura 9).

La variable ICA-DN únicamente mostró diferencias significativas ($P = 0.0162$ y $P = 0.0007$) entre rodales después del aclareo en los periodos 1989-1992 y 1993-1996, respectivamente (Apéndice 3.E).

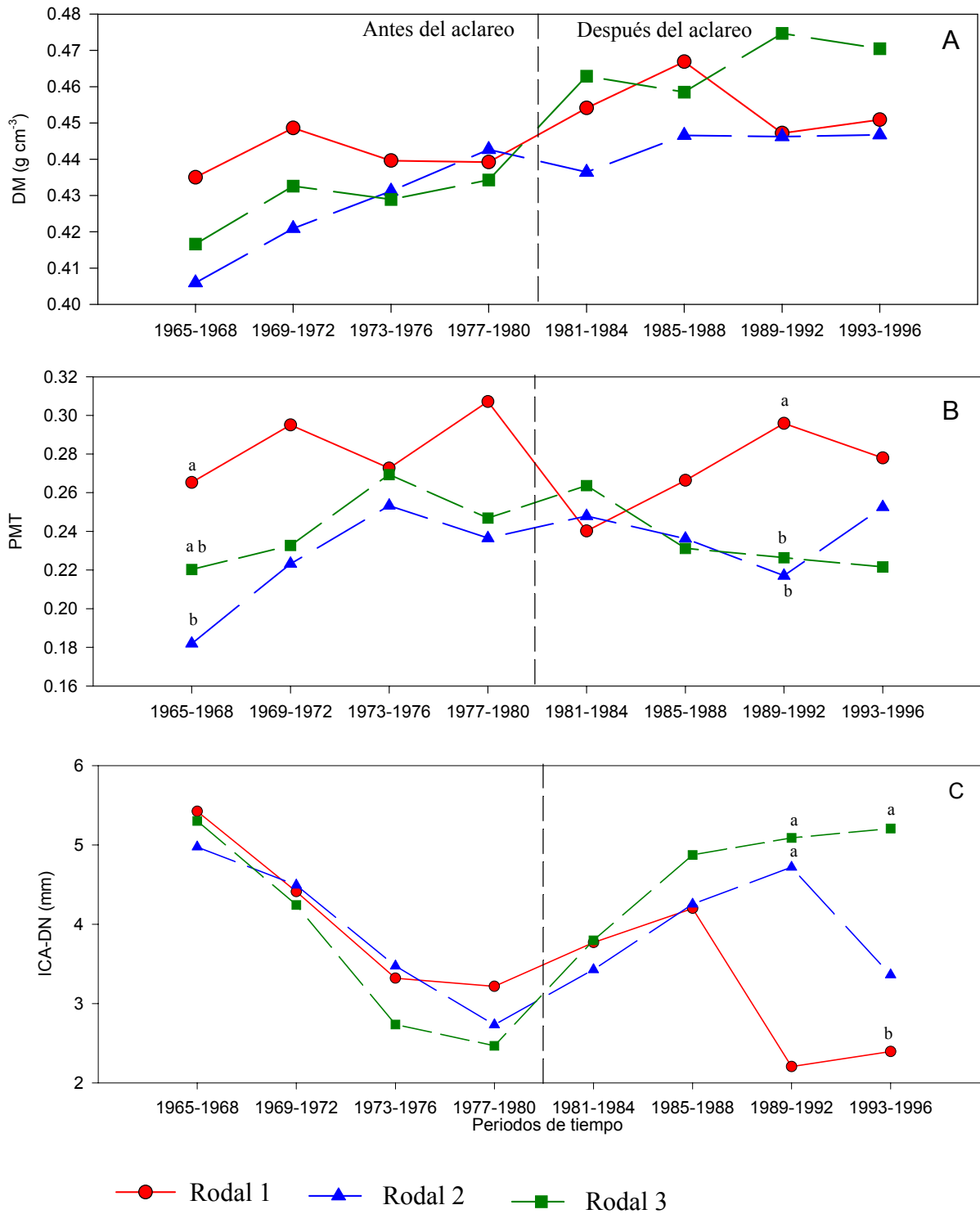


Figura 9. Comportamiento a través del tiempo de: A) Densidad de la madera(DM), B) Proporción de madera tardía (PMT), C) Incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), para la categoría diamétrica de 40 cm de *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

La prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) de separación de medias después del aclareo mostró que el incremento corriente anual de los rodales 2 y 3 (con aclareo) son estadísticamente diferentes al incremento corriente anual del rodal 1 (sin aclareo) en el período de 1989-1992. En el período de 1993-1996 el incremento corriente anual del rodal 3 es diferente al incremento corriente anual de los rodales 1 y 2 (Figura 9).

En la Figura 9 es posible observar que los rodales 2 y 3 (aclareados) presentan mayores tasas de crecimiento en diámetro con respecto al rodal 1 (no aclareado) esto es posible que se deba a la aplicación de los aclareos y que la respuesta a los aclareos en diámetros mayores (categorías 35 y 40 cm) se manifieste en periodos de tiempo más largos que en categorías de diámetros chicos.

Las correlaciones realizadas para esta categoría diamétrica entre la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) demuestran que la DM con PMT se relacionan de manera positiva ($0.281 \leq r \leq 0.478$) ($P = 0.012$ y $P = 0.006$). La DM con ICA-DN se relacionan de manera negativa ($r = -0.681$) ($P = 0.0001$) y la PMT con ICA-DN se relacionan de manera negativa ($-0.498 \leq r \leq -0.537$) ($P = 0.0001$ y $P = 0.001$). Antes de aplicado el aclareo la DM y la PMT se relacionan de manera positiva ($r = 0.571$) ($P = 0.0055$). En la DM con ICA-DN existe una correlación negativa ($r = 0.516$) ($P = 0.013$). Después de aplicado el aclareo únicamente se encontró una relación negativa entre la PMT con ICA-DN ($r = -0.6054$) ($P = 0.0001$).

En las categorías diamétricas de 35 y 40 cm de diámetro se aprecia una menor respuesta a la aplicación de los aclareos en las variables de densidad de la madera (DM) y en la proporción de madera tardía (PMT), no así para incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), en la cual es posible observar mayor respuesta, por lo tanto, en estas dos categorías diamétricas es posible tener altas tasas de crecimiento en diámetro sin modificar de manera significativa la densidad de la madera.

La respuesta de las diferentes categorías diamétricas (15 a 40 cm) a la aplicación del aclareo se manifestó en diferentes grados, esto se atribuye principalmente a la posición de sus copas o grado de dominancia, por lo que en el presente estudio las categorías diamétricas en las cuales se observó menor grado de respuesta fueron la categorías diamétricas de 15 y 40 cm. La primera por ser arbolado suprimido y no poder responder al aclareo y la segunda por ser arbolado dominante el cual recibe luz por toda su copa y tener el menor grado de competencia en comparación con las demás categorías diamétricas.

4.3 Inicio y duración del efecto de los aclareos, sobre la densidad de la madera, proporción de madera tardía, e incremento corriente anual en diámetro normal.

De acuerdo con las pruebas de separación de medias de Tukey entre rodales, para cada período de tiempo, y categoría diamétrica, además, mediante la interpretación de las tendencias de estos valores a través de las diferentes figuras para las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro, se puede señalar que el efecto de los aclareos en la densidad de la madera para *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, se manifestó en el segundo periodo después de aplicado el aclareo (1985-1988) durando este efecto únicamente dicho período; en la proporción de madera tardía e incremento en diámetro el efecto del aclareo se aprecia inmediatamente después de su aplicación, prolongándose este efecto por un periodo de 8 años. Por lo tanto, el aclareo influye en el crecimiento en diámetro, densidad de la madera y proporción de madera tardía; sin embargo, estos cambios no afectan la densidad de la madera.

Lo anterior es coherente con lo reportado por Yang (1998) quien encontró como respuesta a la aplicación de los aclareos un incremento en el crecimiento en diámetro después de 5 años, efecto que duró un período de 5 años, lo anterior fue resultado de la comparación entre parcelas aclareadas y no aclareadas en una plantación de *Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.

4.4 Densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal y su relación con variables dasométricas.

Se obtuvieron dos componentes principales cada uno de los cuales correlaciona un grupo de variables dasométricas con la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN).

El componente principal 1 (ACP 1) tiene correlación positiva con el diámetro a 1.3 m de altura, grosor de corteza, diámetro de copa, cobertura y edad; y el componente principal 2 (ACP 2) representa la altura total y la altura del fuste limpio, y ambos componentes (ACP 1 y ACP 2) se correlacionan con la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro.

En el período de 1965-1996, es decir, agrupando todos los periodos de tiempo, existe una correlación positiva entre el ACP 1 y la DM y el ICA-DN mientras que la correlación entre PMT con el ACP 1 es negativa (Cuadro 10). Por lo tanto, se puede decir que a medida que el arbolado presenta mayores tamaños en las variables dasométricas como el diámetro normal, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad, la densidad de la madera (DM) y el incremento corriente anual en diámetro aumentan (ICA-DN) mientras que la proporción de madera tardía (PMT) disminuye.

Cuadro 10. Correlaciones de diámetro normal, grosor de corteza, diámetro de copa, cobertura, edad (ACP 1) y altura total y altura de fuste limpio (ACP 2) con densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) a través del tiempo, en tres rodales de *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

ACP	Variable	CT 1965- 1996	CAA 1965- 1980	CDA 1981- 1996	CPDA 1981- 1984	CPDA 1985- 1988	CPDA 1989- 1992	CPDA 1993- 1996
	DM	0.359	0.240	0.319	0.307	0.297	0.279	0.158
ACP 1	PMT	-0.336	NS	-0.340	-0.209	-0.272	-0.221	-0.148
	ICA-DN	0.506	NS	0.540	0.394	0.512	0.510	0.296
	DM	0.213	NS	0.195	0.14	0.170	0.199	0.117

ACP	PMT	0.158	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2								
	ICA-DN	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

CT = Correlación total en los ocho períodos de tiempo. CAA = Correlación antes del aclareo. CDA = Correlación después del aclareo. CPDA = Correlación separada por períodos después del aclareo. NS = Correlación no significativa ($\alpha > 0.05$).

El análisis de correlaciones para el período antes de aplicado el aclareo (1965-1981), únicamente se mostró correlación positiva, significativa entre el ACP 1 y la densidad de la madera (Cuadro 10). También es posible apreciar que las correlaciones realizadas para después de aplicado el aclareo (1981-1996) las correlaciones presentan variaciones muy ligeras con respecto a las encontradas para el periodo 1965-1996 y sólo en el ACP 2 con la PMT no se encontró correlación significativa.

Lo anterior indica que a medida que aumenta el diámetro normal, grosor de corteza, diámetro de copa, cobertura y edad, se presentan valores de densidad de la madera e incrementos en diámetro más altos y proporción de madera tardía menores. Esto se debe a la relación que existe entre el tamaño de la copa, diámetro normal y ancho de anillos (Hall, 1965).

Se encontraron correlaciones negativas entre la proporción de madera tardía con el componente principal 1 (ACP 1) después de aplicado el aclareo y agrupando los ocho períodos de tiempo contemplados en el presente estudio, dichos períodos difieren ligeramente ($r = -0.340$ y $r = -0.336$ después y de manera conjunta, respectivamente). Lo anterior, indica que a mayores magnitudes de las características dasométricas, contempladas por el componente principal 1 (ACP 1), la proporción de madera tardía disminuye, esto resulta coherente, para algunas características como el diámetro de copa, diámetro normal, pero no para la edad ya que autores como Larocque y Marshall (1995) señalan que a mayor edad, mayor proporción de madera tardía.

En las tres variables (DM, PMT e ICA-DN) las correlaciones se comportaron de manera diferente a medida que transcurre la edad la densidad de la madera disminuye la correlación con el componente 1 (ACP 1), a medida que se aleja del año del aclareo; la

proporción de madera tardía no presenta una correlación consistente con respecto al año de la aplicación del aclareo; no así el incremento corriente en diámetro normal (ICA-DN) el cual aumenta la correlación con el componente 1 (ACP 1) a medida que se aleja del año del aclareo; sin embargo, en el último período esta correlación disminuye.

El componente principal 2 (ACP 2), tiene correlación positiva con la altura total y altura de fuste limpio. El ACP 2 se correlaciona y con la densidad de la madera (DM) después del aclareo y en forma conjunta, es decir, considerando los 8 periodos de tiempo. Lo anterior, demuestra que existe relación entre la densidad de la madera (DM) y proporción de madera tardía con la altura total y la altura del fuste limpio para *Pinus rudis* en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

De acuerdo con la tendencia de las correlaciones del Cuadro 10, los aclareos afectan estas correlaciones, aumentándolas durante un periodo de 12 años aproximadamente, para después disminuir, en la proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro no así en la densidad de la madera.

La nula correlación entre el Componente 2 y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) demuestran que este incremento no guarda ninguna relación con la altura total y altura de fuste limpio para *Pinus rudis* de la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Las Figuras 10,11 y 12 muestran el grado de relación del diámetro normal a 1.3 m, diámetro de copa, grosor de corteza, cobertura y edad (ACP 1) con la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), respectivamente, para cada uno de los rodales.

Únicamente se presenta el diagrama de dispersión de la DM, PMT e ICA-DN con el ACP 1, ya que este componente principal agrupa la mayoría de las variables dasométricas y éstas son las que presentan mayor relación significativa con la densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN).

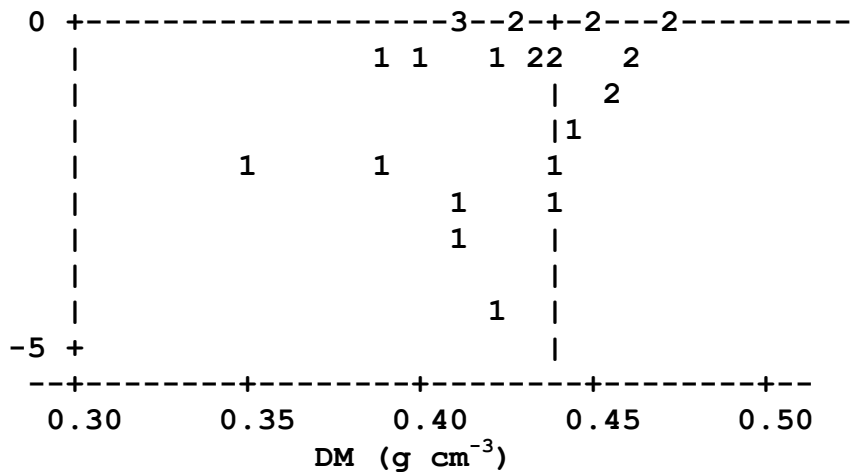


Figura 10. Diagrama de dispersión de diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad (ACP 1) con densidad de la madera (DM), por rodal, para *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

En el diagrama de dispersión (Figura 11) entre la proporción de madera tardía (PMT) y las variables dasométricas (ACP 1) se observa que el rodal 1 (sin aclareo) presenta un mayor rango de variación en comparación con los rodales 2 y 3 (con aclareo) en la variable de proporción de madera tardía (PMT). Los rodales aclareados (2 y 3) presentan en la mayoría de sus variables dasométricas mayores tamaños que el rodal 1. En la Figura 11 se aprecia que los rodales 2 y 3 (con aclareo) tienen variables dasométricas (ACP 1) de mayor tamaño que el rodal 1. De manera general, no se aprecia alguna tendencia de relación entre la proporción de madera tardía (PMT) y las variables dasométricas (ACP 1).

1 = Rodal

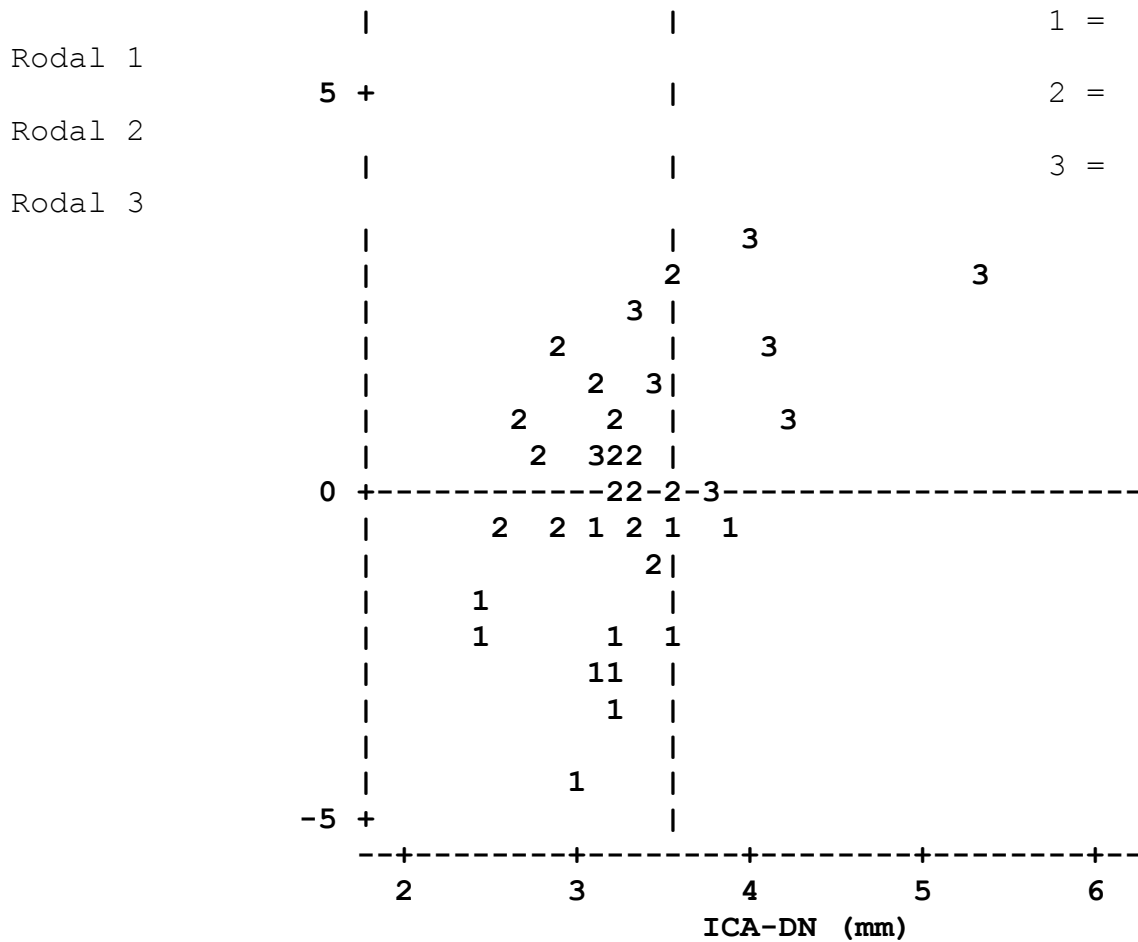


Figura 12. Diagrama de dispersión de diámetro normal a 1.3 m de altura, diámetro de copa, cobertura, grosor de corteza y edad (ACP 1), con incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) por rodal, para *Pinus rudis* en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

En las Figuras 10 y 12 es posible apreciar que los rodales aclareados presentan mayores valores de densidad de la madera (DM) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN), con respecto al rodal 1 (no aclareado). De acuerdo con la Figura 11 se puede mencionar que para la variable proporción de madera tardía (PMT) los tres rodales no presentan una tendencias clara de relación entre esta variable y las variables dasométricas (ACP 1)

5 DISCUSION GENERAL

El efecto del aclareo sobre la densidad de la madera influye en diferentes grados al arbolado dependiendo de la categoría diamétrica y condición del arbolado. En las categorías de 20, 25 y 30 cm de diámetro fue donde se encontraron los porcentajes más altos de disminución de la densidad de la madera (varían de 1.16 a 5.38%), y las categorías que menor efecto registraron en la densidad de la madera fueron 15, 35 y 40 cm de diámetro (entre 0.95 y 2.34%). Lo anterior es contrario a los resultados obtenidos por Jozsa y Brix (1989) quienes obtuvieron un incremento del 4% de la densidad de la madera en *Pseudotsuga menziesii* durante un período de 4 años; los autores lo atribuyen a la presencia de una temporada seca en este mismo periodo de tiempo. El hecho de encontrar resultados contrarios a los encontrados por Jozsa y Brix (1989) se puede atribuir a que en la densidad de la madera no únicamente influye el espaciamiento, sino una compleja interacción de factores (Zobel y Talbert 1989) como la especie, edad y las condiciones ambientales (Koslowski *et al.* 1991). Hernández *et al.* (1996) encontraron en rodales *Pinus patula* con aclareos una disminución de la densidad de la madera de 2 a 5% y estos cambios los atribuyen a la reducción de la competencia entre el arbolado.

El arbolado que presentó disminución en la proporción de madera tardía con un 10, 16 y 13% fueron las categorías diamétricas de 25, 30, y 35 cm, respectivamente, en los periodos inmediatos a la aplicación del aclareo (1981-1984 y 1985-1988). Las categorías que se vieron afectados en menor medida fue la categoría diamétrica de 15 cm con una disminución de 3% y las categorías de 20 y 40 cm una disminución en un 6%. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Smith (1980) en una plantación de *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. y *Thuja plicata* Donn. donde a

mayor espaciamiento, mayor es el ancho de los anillos anuales de crecimiento, lo que ocasiona una menor proporción de madera tardía. El espaciamiento guarda una gran relación con la proporción de madera tardía, ya que el arbolado que crece en espacios cerrados presenta una rápida disminución de la madera temprana por el tamaño de su copa (Larocque y Marshall 1995).

En el incremento en diámetro normal, todas las categorías de los rodales aclareados presentaron diferencias estadísticas y presentan la misma tendencia con aumentos en el porcentaje de crecimiento que va de 40 a 70% en el primer y en el segundo periodo después de aplicado el aclareo excepto la categoría diamétrica de 20 cm que incrementa de 15 a 25%. Las tendencias del rodal sin aclareo para las variables densidad de la madera y proporción de la madera tardía, es aumentar conforme avanzan los periodos de tiempo y disminuir los incrementos en diámetro conforme avanza la edad.

Hernández *et al.* (1996) mencionan que en *Pinus patula* los aclareos incrementaron el crecimiento de los anillos anuales entre un 18 y 26%, lo cual se debió al aumento de la anchura de la madera tardía y madera temprana.

Los resultados obtenidos en el presente estudio en lo que respecta a las correlaciones de densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro (ICA-DN) con las variables dasométricas son coherentes con lo mencionado por Larocque y Marshall (1995) en el sentido de que el ancho de las copas aumenta la cantidad de madera temprana y que ésta cambia en relación con el radio de la copa, de manera que a mayor tamaño de copa, mayor madera temprana y menor proporción de madera tardía.

En los rodales con aclareo es posible identificar un efecto en el incremento en diámetro más evidente que la reducción de la densidad de la madera y que la proporción de madera tardía. Por lo que, se puede mencionar que el incremento en diámetro es una variable más sensible que la proporción de madera tardía y densidad de la madera. Esto es una ventaja para el silvicultor ya que se puede acelerar la tasa de crecimiento en diámetro

sin tener consecuencias adversas significativas en la calidad de la madera, es decir, con la aplicación de los aclareos es posible estimular el crecimiento en diámetro y conservar prácticamente la misma densidad de la madera que se tenía antes de aplicado el aclareo.

Con base en los resultados, se puede decir que la aplicación de los aclareos es una corta silvícola que permite disminuir la competencia entre árboles, aprovechando los recursos maderables e incrementando la tasa de crecimiento en diámetro sin alterar la calidad de la madera.

La variación en la respuesta a la aplicación de los aclareos se pueden deber en gran medida a la clase de copa, genotipo, edad y duración de la competencia, a la cual el arbolado residual estuvo sometido antes del aclareo. Esto es, los árboles dominantes y suprimidos exhiben una pequeña respuesta a los aclareos, en cambio los árboles intermedios y codominantes son los que responden en mayor medida a los aclareos (Kozlowoski *et al.*, 1991).

6 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

- a) Dentro de cada uno de los rodales estudiados existe una alta variabilidad entre sitios en cuanto a existencias de área basal por hectárea, principalmente en los rodales con aclareo.
- b) Las categorías diamétricas que tuvieron mayores porcentajes de disminución en los valores de densidad de la madera como respuesta al aclareo fueron 20, 25 y 30 cm, con porcentajes entre 1.16 y 5.38% y las categorías que menor impacto tuvieron son 15, 35 y 40 cm, con porcentajes que van de 0.95 a 2.34%. Para la proporción de madera tardía, las categorías diamétricas 25, 30 y 35 cm disminuyeron en un 10, 16, y 13%, respectivamente, la categoría de 15 cm disminuyó 3% la PMT, y las categorías de 20 y 40 cm presentaron una disminución de 6%. Los incrementos en diámetro se vieron fuertemente estimulados en los rodales con aclareo, principalmente en las categorías de

15, 25, 30, 35 y 40 cm que incrementaron de 40 a 70% y la categoría de 20 cm que incrementó de un 15 a 30%.

- c) El efecto de los aclareos en la disminución de la densidad de la madera se manifestó a los cuatro años de aplicado el tratamiento silvícola. Este efecto duro un período igual de años. El efecto de los aclareos en la disminución de madera tardía y aumento en el incremento en diámetro se aprecia en el primer periodo después de aplicado el aclareo. Este efecto en las variables DM e ICA-DN duró un período de 8 años después de aplicado el aclareo.

- d) De acuerdo con las correlaciones estimadas, la densidad de la madera se correlaciona de manera positiva con la proporción de madera tardía ($r = 0.121$) ($P = 0.0368$). El incremento corriente anual en diámetro con la proporción de madera tardía presentan una correlación negativa ($r = -0.651$) ($P = 0.0001$). El diámetro normal a 1.3 m, diámetro de copa, cobertura grosor de corteza y edad se correlacionan de manera positiva con la densidad de la madera e incremento en diámetro, y de manera negativa con la proporción de madera tardía. Mientras que la altura total y la altura de fuste limpio únicamente se correlaciona de manera positiva con la densidad de la madera y con la proporción de madera tardía.

- e) Mediante la realización de este tipo de trabajos es posible tener bases sólidas y herramientas confiables para el manejo de los bosques de coníferas ya que es posible la detección del inicio y duración del efecto de los tratamientos silvícolas tanto en crecimientos en diámetro como en las propiedades de la madera.

7 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se sugieren, con base en el trabajo realizado son:

- a) Al estimar los incrementos corrientes en diámetro, hacerlo en periodos no mayores de 5 años ya que de esta manera se obtiene valores más reales, y se evita el obtener promedios que no reflejan el comportamiento real de las variable de estudio.**

- b) Considerar la cobertura y distribución de las copas del arbolado, ya que la respuesta a los tratamientos silvícolas depende principalmente del desarrollo de la copa y ésta tiene una relación altamente significativa con el incremento corriente anual en diámetro normal.**
- c) Medir la respuesta a un tratamiento silvícola no sólo con base en el incremento en volumen o en área basal, sino que también es recomendable medir el efecto de los tratamientos silvícolas en las propiedades de la madera como lo es la densidad de la madera.
- d) La realización de un aclareo en el rodal 1, ya que éste presenta una gran mortalidad de árboles suprimidos y una fuerte competencia entre el arbolado.
- e) La metodología generada en el presente estudio para trabajos afines, ya que mediante ésta es posible obtener y detectar la variaciones en el crecimiento en diámetro y en las propiedades de la madera, en periodos de tiempo relativamente cortos.
- f) En trabajos posteriores medir la distancia que existe entre tocones y árboles vivos con respecto al arbolado evaluado, con el objetivo de establecer la distancia en la cual el arbolado está en competencia con el resto de los árboles vecinos.
- g) Que al realizar estudios de investigación donde se utilicen métodos de muestreo, primeramente se realice un premuestreo, para conocer la variabilidad de la característica objeto de estudio y poder calcular el tamaño de muestra, ya que esto permite una mayor confiabilidad de los resultados obtenidos.

8 LITERATURA CITADA

- Avendaño A., H. S. 1991. Determinación de tamaño óptimo de sitio de muestreo en un bosque de coníferas de la Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 65 p.
- Barbour, R. J., R. E. Bailey y J. A. Cook. 1992. Evaluation of relative density, diameter growth, and stem form in a red spruce (*Picea rubens*) stand 15 years after precommercial thinning. Can. J. For. Res. 22:229-238.
- Bidwell, R. G. S. 1983. Fisiología vegetal. AGT. Editor. México. 784 p.
- Boul, S. W., F. D. Hole y R. J. McCracken. 1981. Génesis y clasificación de los suelos. Editorial Trillas. México. 417 p.
- Brix, H. 1983. Effects of thinning and nitrogen fertilization on growth of Douglas-fir: relative contribution of foliage quantity and efficiency. Can. J. For. Res. 13:167-175.
- Brown, C. L. 1970. Physiology of wood formation in conifers. Wood. Sci. 3(1):8-22.
- Cetnal 1976. Carta geológica. G14 C35. San Antonio de las Alazanas. Esc. 1:50000. México.
- Cetnal 1977. Carta edafológica. G14 C35. San Antonio de las Alazanas. Esc. 1:50000. México.
- Cetnal 1979a. Carta topográfica. G14 C35. San Antonio de las Alazanas. Esc. 1:50000. México.
- Cetnal 1979b. Carta de uso del suelo. G14 C35. San Antonio de las Alazanas. Esc. 1:50000. México.
- Curtis, R. O. y D. L. Reukema. 1970. Crown development and site estimates in a Douglas-fir plantation spacing test. For. Sci. 16(3):287-301.
- Daniel, W. T., J.A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición en inglés (primera edición en español). Editorial McGraw-Hill. México. 492 p.
- Dutilleul, P., P. M. Herman. y T. Avella-Shaw. 1998. Growth rate effects on correlations among ring width, wood density, and mean tracheid length in norway spruce (*Picea abies*). Can. J. For. Res. 28:56-68.
- Echenique M., R. y J. Becerra M. 1969. Algunas características físico-mecánicas de la madera de tres especies de la cordillera Neo-volcánica. INIF. Notas Técnicas. Num.6. México. 6 p.

- Freese, F. 1969. Muestreo forestal elemental. Departamento de Agricultura de los EUA. USDA Boletín de Agricultura No. 232. Centro Regional de Ayuda Técnica. México 96 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México. 217 p.
- Godfrey, G. A. y D. K. Garthwaite. 1984. Rapid assessment of outerwood specific gravity in live trees using a pocket durometer. *Can. J. For. Res.* 14:145-150.
- Gregg, B. M. , P. M. Dougherty. y T.C. Hennessey. 1988. Growth and wood quality of young loblolly pine trees in relation to stand density and climatic factors. *Can. J. For. Res.* 18:851-858.
- Hall, G. S. 1965. Wood increment and crown distribution relationships in red pine. *For. Sci.* 11(4):438-448.
- Hawley, C. R. y D. R. Smith 1972. *Silvicultura práctica*. Segunda edición. Editorial Omega. Barcelona, España. 544 p.
- Heger, L., M. L. Parker y R. W. Kennedy. 1974. X-ray densitometry: A technique and an example of application. *Wood Sci.* 7(2):140-148.
- Hernández M., J. 1994. Estructura y crecimiento de un bosque de *Pinus* después de un aclareo en Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 107 p.
- Hernández L., A., M. Martínez R., J.J. Vargas H., A. Velázquez M. y G. Angeles P. 1996. Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ciencia Forestal.* 21(80):39-55.
- Herrera H., H. 1980. Notas del curso de invierno sobre técnicas de muestreo aplicadas al área forestal. INIF. Campo Experimental La Sauceda. Saltillo. Coahuila. 52 p. (manuscrito).
- Hocker, Jr., H. W. 1984. *Introducción a la biología forestal*. AGT. Editor. México. 446 p.
- Ibarra G., R. 1999. Variación de dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 71 p.
- Ifju, G. 1969. Within-Growth-ring variation in some physical properties of southern pine wood. *Wood. Sci.* 2(1):11-19.

- Jardel P., E. J. 1985. Una revisión crítica del método mexicano de ordenación de bosques desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal*. 10(58):3-16.
- Jozsa, L. A. y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24-years-old Douglas-fir stand. *Can. J. For. Res.* 19:1137-1145.
- Kollman, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid, España. 675 p.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer. y S. G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, Inc. San Diego, Ca. U.S.A. 657 p.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*. Tercera edición. Editorial Springer. U.S.A. 506 p.
- Larocque, G. R. y P. L. Marshall. 1994a. Crown development in red pine stands. I. Absolute and relative growth measures. *Can. J. For. Res.* 24:762-774.
- Larocque, G. R. y P. L. Marshall. 1994b. Crown development in red pine stands. II. Relationships with stem growth. *Can. J. For. Res.* 24:775-784.
- Larocque, G. R. y P. L. Marshall. 1995. Wood relative density development in red pine (*Pinus resinosa* Ait.) stands as affected by different initial spacings. *For. Sci.* 41(4):709-728.
- Larson, P.R. 1964. Contribution of different-aged needles to growth and wood formation of young red pines *For. Sci.* 10(2):222-237.
- Marquis, D. A. y R. L. Ernst. 1991. The effects of stand structure after thinning on the growth of an allegheny hardwood stand. *For. Sci.* 37(4):1182-1200.
- Meson, M. y M. Montoya. 1993. *Selvicultura mediterránea (el cultivo del monte)*. Editorial Mundiprensa. Madrid, España. 368 p.
- Nambiar, E. K. S. y R. Sands. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.* 23:1955-1968.
- Notivol, E., L. A. Gil y J.A. Pardos. 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. (Departamento de silvicultura. ETSI Montes). *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 1(1): 41-47.
- Oliver, C. D. y B. C. Larson. 1996. *Forest stand dynamics*. U.S.A. 520 p.
- Paul, B. H. 1957. Growth and specific gravity responses in a thinned red pine plantation. *J. Forestry*. 55(7):510-512.

- Perry, J.P. 1990. The pines of Mexico and America central. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. U.S.A. 563 p.
- Resch, H. y D. G. Arganbright. 1968. Variation of specific gravity, extractive content, and tracheid length in redwood trees. For. Sci. 14(2):148-155.
- Rezedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. 432 p.
- Ruíz M., M. y A.M. Fierros G. y H. Ramírez M. 1996. Efecto inicial del aclareo en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf. en la Sabana, Oaxaca. Ciencia Forestal. 21(80):25-38.
- Ruth, R. H. y A.S. Harris. 1979. Management of western hamlock sitka spruce forests for timber production. Departamento of Agriculture Forest Service. U.S.A: 197 p.
- S.P.P. 1983. Síntesis geográfica de Coahuila. México. 165 p.
- Schmidting, R. C. y T. L. Ambugey. 1977. Growth and wood quality of slash pines after early cultivation and fertilization. Wood Sci. 9(4):154-159.
- Smith, D. M. 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. United states Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Wisconsin, U.S.A. 8 p.
- Smith, D. M., B. C. Larson, M. J. Kelty y P. M. S. Nshon. 1997. The practice of silviculture applied forest ecology. Novena edición. U.S.A. 535 p.
- Smith, J. H. G. 1977. Tree-ring analyses can be improved by measurement of component widths and densities. For. Chron. 53(2): 91-95.
- Smith, J. H. G. 1980. Influences of spacing on radial growth and percentage latewood of Douglas-fir, western hemlock, and western red cedar. Can. J. For. Res. 10:169-175.
- Sprague, J. R., J.T. Talbert., J. B. Jett. y R. L. Bryant. 1983. Utility of the pilodyn in selection for mature wood specific gravity in loblolly pine. For. Sci. 29(4):696-701.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes . 1982. Ecología forestal. AGT. Editor. México. 446 p.
- Sterba, H. y R. L. Amateis. 1998. Crown efficiency in loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. Can. J. For. Res. 28:1344-1351.
- Taylor, F. W. 1981. Rapid determination of southern pine specific garvity with a pilodyn tester. For. Sci. 27(1):51-61.
- Thor, E. 1965. Variation in some wood properties of eastern white pine. For. Sci. 11(4):451-455.

- Valencia M., S y F. López A. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Foresta-AN, Nota Técnica No 1. UAAAN. Saltillo, Coah. 17 p.
- Valencia M., S. y J. J. Vargas, H. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. Madera y Bosques 3(1): 81-87.
- Yang, R. C. 1998. Foliage and stand growth responses of semimature lodgepole pine to thinning and fertilization. Cna. J. For. Res. 28:1794-1804.
- Zobel, B. y J.Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales .Editorial Limusa. México. 545 p.

9 APENDICES

APENDICE 1

Cálculo del tamaño mínimo de muestra considerando como variable el área basal (m²/ha), para *Pinus rudis*, en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

La fórmula para el cálculo del tamaño de muestra, de acuerdo al muestreo estratificado al azar y de acuerdo a la asignación Neyman es la siguiente:

Donde:
$$n = \frac{(\sum NS)^2}{N^2 D^2 + \sum NS^2}$$
 n = Tamaño mínimo de muestra

N = Población

S = desviación estándar

D = Precisión o error deseado

Por lo que sustituyendo valores se tiene lo siguiente:

$$n = \frac{(8781.1)^2}{(1840.37)^2 (0.8) + 4835.72} = 34.79 \therefore n = 35 \text{ Sitios para los tres rodales.}$$

Y para obtener el numero de sitios que le corresponden a cada uno de los rodales se utilizo la siguiente formula:

Donde:
$$n_i = \frac{NS}{\sum NS} * n$$

Ni = Tamaño mínimo de muestra por rodal

Sustituyendo valores se tiene el siguiente numero de sitios por rodal

$$n_1 = \frac{2919.6}{8781.1} * (34.79) = 11.56 \approx 12$$

Donde
$$n_2 = \frac{4104.8}{8781.1} * (34.79) = 16.26 \approx 16$$

$$n_3 = \frac{1756.7}{8781.1} * (34.79) = 6.95 \approx 7$$

n₁= Número de sitios para el rodal 1

n₂= Número de sitios para el rodal 2

n₃= Número de sitios para el rodal 3

APENDICE 2

Modelos para la estimación de áreas basales de *Pinus rudis* y *Pinus Ayacahuite*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

Los modelos para la estimación de área basal extraída se realizó utilizando un modelo de regresión, en base a la relación que existe entre el diámetro a 0.3 m y 1.30 m de altura ($R^2 = 0.9509$), mediante la contabilización de los tocones presentes en cada uno de los sitios de muestreo, por lo que el modelo para la estimación del diámetro a 1.3 m.de altura del arbolado extraído fue estimado por el siguiente modelo:

$$DN = -0.61254 + 0.875045 (D_3)$$

Donde:

DN = Diámetro normal a 1.3 m de altura estimado del arbolado extraído.

D3 = Diámetro del tocón a 30 cm de altura.

Para la estimación del área basal de *Pinus ayacahuite* en 1981 y área basal original se generaron modelos de regresión lineal para la estimación del incremento corriente anual en diámetro y grosor de corteza por rodal, en base al diámetro normal a 1.3 m de altura, los modelos de estimación son:

$$GC_1 = 5.339487 + 0.436330 (DN)$$

$$GC_2 = 6.276109 + 0.378378 (DN)$$

$$GC_3 = 4.212810 + 0.368156 (DN)$$

Donde:

GC₁, GC₂, y GC₃ = Grosor de corteza para el rodal 1, 2 y 3 respectivamente.

DN = Diámetro normal a 1.3 m de altura en cm.

Para la estimación del incremento corriente anual en diámetro, los modelos generados son los siguientes:

$$ICA_1 = 1.907376 + 0.039058 (DN)$$

$$ICA_2 = 1.365391 + 0.063761 (DN)$$

$$ICA_3 = 0.963507 + 0.099705 (DN)$$

Donde:

ICA₁, ICA₂ e ICA₃ = Incremento corriente anual estimado en milímetros.

DN = Diámetro normal a 1.3 m de altura en centímetros.

APENDICE 3.

Análisis de varianza para los modelos de regresión para la estimación del diámetro normal a 1.3 m de altura a partir de el diámetro a 0.3 m y grosor de corteza a partir del diámetro normal a 1.3 , para *Pinus rudis*, en la sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F
------	------	------	------	----	--------

Modelo	1	24832.93421	24832.93421	7746.641	0.0001
Error	400	1282.25556	3.20564		
Total	401	26115.18978			

C.V. = 7.219

R² = 0.9509

	Rodal No 1			Rodal No 2			Rodal No 3		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	1	1468.42	0.0001	1	1379.49	0.0001	1	699.824	0.0001
		2			7				
Error	175	11.612		149	17.238		71	11.606	
Total	176			150			72		
	C.V. = 23.09 R ² = 0.4195			C.V. = 25.464 R ² = 0.3494			C.V. = 22.900 R ² = 0.5292		

Análisis de varianza de los modelos de regresión para la estimación del incremento corriente anual en diámetro para *Pinus ayacahuite* a partir del diámetro normal a 1.3 m en la Sierra las Alazanas, Arteaga Coahuila.

	Rodal No 1			Rodal No 2			Rodal No 3		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	1	1.067	0.128	1	4.268	0.0007	1	10.438	0.0035
Error	5	0.373		6	0.107		6	0.484	
Total	6			7			7		
	C.V. = 9.406 R ² = 0.7411			C.V. = 10.521 R ² = 0.8685			C.V. = 16.564 R ² = 0.7820		

Análisis de varianza entre áreas básicas e intensidades de aclareo, para *Pinus rudis*, en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

F. V.	Area basal original por hectárea			Area basal extraída por hectárea		
	G.L	C.M	Pr > F	G.L	C.M	Pr > F
Rodal	2	61.205	0.0476	2	248.518	0.0001
Error	33	18.307		33	6.465	
Total	35			35		
	C.V. = 23.233			C.V. = 48.589		

F. V.	Area basal por hectárea en 1981			Area basal actual por hectárea			Intensidad de aclareo		
	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	2	127.235	0.0004	2	447.362	0.0001	2	6421.09 4	0.0001
Error	33	12.774		33	32.215		33	104.782	
Total	35			35			35		
	C.V. = 27.111			C.V. = 24.238			C.V = 38.386		

Análisis de varianza para densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), por rodal (A), por categoría diamétrica (B), por categoría diamétrica dentro de cada rodal (C), para interacciones rodal por categoría diamétrica (D) por rodal, categoría diamétrica y periodo de tiempo.(E)

A) Análisis de varianza por rodal

F. V.	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	2	0.00654	0.0001	2	0.00046	0.0521	2	1.716	0.0007
Error	33	0.00044		33	0.00014		33	0.189	
Total	35			35			35		
	C.V. = 4.883			C.V. = 4.692			C.V. = 13.05		

B) Análisis de varianza entre categorías diamétricas.

F. V.	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	2	0.00137	0.0058	2	0.00009 8	0.612	2	0.1466	0.203
C.D.	5	0.00047	0.0599	5	0.00076 2	0.029	5	1.1313	0.0003
Error	10	0.00015		10	0.00019 0		10	0.0780	
Total	17			17			17		

	C.V. = 2.863	C.V. = 5.394	C.V. = 8.219
--	--------------	--------------	--------------

C) Análisis de varianza entre categorías diamétricas dentro de cada rodal.

Rodal No 1									
	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
C.D.	5	0.00688	0.0010	5	0.00187	0.0551	5	1.693	0.0172
Error	90	0.00152		90	0.00082		90	0.579	
Total	95			95			95		
	C.V. = 9.623			C.V. = 11.039			C.V. =		

Rodal No 2									
	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
C.D.	5	0.00327	0.0008	5	0.00490	0.0001	5	8.264	0.0001
Error	149	0.00073		149	0.00062		149	0.384	
Total	154			154			154		
	C.V. = 6.16			C.V. = 9.823			C.V. = 19.58		

Rodal No 3									
	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
C.D.	5	0.00138	0.416	5	0.00548	0.0001	5	8.448	0.0001
Error	68	0.00136		68	0.00065		68	0.382	
Total	73			73			73		
	C.V. = 8.377			C.V. = 10.068			C.V. = 17.085		

D) Análisis de varianza para las interacciones rodal por categoría diamétrica.

	D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
F. V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
Rodal	2	0.01420	0.0001	2	0.00129 4	0.1610	2	2.029	0.0126
C.D.	5	0.00812	0.0001	5	0.00921 3	0.0001	5	14.357	0.0001
Rod*C. D.	10	0.00120	0.4416	10	0.00199 8	0.0022	10	1.027	0.0154

Error	307	0.00120		307	0.00070 4		307	0.457	
Total	324			324			324		
	C.V. = 8.069			C.V. = 10.392			C.V. = 20.419		

E) Análisis de varianza por rodal, categoría diamétrica y periodo de tiempo.

C.D. 15 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0093 3	0.012	2	0.0126 9	0.0505	2	13.084	0.0004
	Error	63	0.0019 6		62	0.0040 5		62	1.478	
	Total	65			64			64		
		C.V. = 11.647			C.V. = 24.55			C.V. = 35.0752		

C.D. 15 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0085 6	0.0436	2	0.0243 6	0.0056	2	11.678	0.0002
	Error	72	0.0026 2		76	0.0043 8		76	1.192	
	Total	78			78			78		
		C.V. = 13.081			C.V. = 24.062			C.V. = 35.883		

C.D. 15 1973 - 1976		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0098	0.0053	2	0.0156	0.0325	5	7.624	0.0148

			6			2				
	Error	87	0.0017 7		85	0.0043 8		85	1.723	
	Total	89			87			87		
		C.V. = 11.099			C.V. = 25.726			C.V. = 41.376		

C.D. 15 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0307 7	0.0001	2	0.0111 6	0.0595	2	8.513	0.0011
	Error	86	0.0031 3		86	0.0038 2		86	1.149	
	Total	88			88			88		
		C.V. = 14.105			C.V. = 23.123			C.V. = 40.859		

C.D. 15 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0558 1	0.0001	2	0.0053 8	0.2964	2	4.577	0.0185
	Error	87	0.0044 8		86	0.0043 6		86	1.095	
	Total	89			88			88		
		C.V. = 16.33			C.V. = 23.561			C.V. = 45.453		

C.D. 15 1985 - 1888		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F

	Rodal	2	0.0313 1	0.002	2	0.0019 2	0.703	2	0.769	0.3207
	Error	86	0.0034 0		85	0.0054 5		85	0.667	
	Total	88			87			87		
		C.V. = 14.209			C.V. = 25.698			C.V. = 35.711		

C.D. 15 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0197 4	0.0057	2	0.0063 1	0.2683	2	0.4890 1	0.4534
	Error	87	0.0035 9		86	0.0047 2		86	0.6125 4	
	Total	89			88			88		
		C.V. = 14.497			C.V. = 24.531			C.V. = 34.606		

C.D. 15 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0286 1	0.0003	2	0.0056 7	0.4446	2	3.072	0.0324
	Error	85	0.0032 6		84	0.0069 3		84	0.860	
	Total	87			86			86		
		C.V. = 13.787			C.V. = 27.997			C.V. = 43.262		

C.D. 20 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0050 7	0.1395	2	0.0017 2	0.6331	2	5.629	0.1003

	Error	112	0.0025 3		112	0.0037 5		112	2.397	
	Total	114			114			114		
		C.V. = 12.602			C.V. = 25.892			C.V. = 40.659		

C.D. 20 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0025 2	0.4352	2	0.0000 8	0.973	2	7.302	0.0233
	Error	116	0.0030 1		115	0.0032 6		115	1.879	
	Total	118			117			117		
		C.V. = 13.539			C.V. = 24.087			C.V. = 38.62		

C.D. 20 1973 - 1976		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0127 0	0.0256	2	0.0148 4	0.0412	2	8.340	0.0008
	Error	114	0.0033 5		113	0.0045 2		113	1.098	
	Total	116			115			115		
		C.V. = 13.815			C.V. = 25.832			C.V. = 38.333		

C.D. 20 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0077 8	0.1027	2	0.0009 8	0.821	2	15.702	0.0001
	Error	116	0.0033		116	0.0050		116	0.972	
	Total	118			118			118		

			5			3				
	Total	118			118			118		
		C.V. = 13.756			C.V. = 26.203			C.V. = 41.860		

C.D. 20 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0233 1	0.0014	2	0.0003 8	0.9000	2	8.721	0.0005
	Error	115	0.0033 5		114	0.0036 9		114	1.07	
	Total	117			116			116		
		C.V. = 13.263			C.V. = 22.339			C.V. = 41.755		

C.D. 20 1985 - 1988		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0124 7	0.0605	2	0.0005 0	0.8825	2	0.533	0.6316
	Error	116	0.0043 4		116	0.0040 2		116	1.155	
	Total	118			118			118		
		C.V. = 15.150			C.V. = 24.600			C.V. = 38.74		

C.D 20 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0332 2	0.0015	2	0.0047 0	0.2811	2	4.079	0.0155
	Error	116	0.0048		116	0.0036		116	0.944	

			1			6				
	Total	118			118			118		
		C.V. = 15.528			C.V. = 22.762			C.V. = 35.392		

C.D. 20 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0264 9	0.0074	2	0.0000 9	0.9784	2	4.1360 9	0.0065
	Error	116	0.0051 6		115	0.0044 6		115	0.7860 4	
	Total	118			117			117		
		C.V. = 16.074			C.V. = 24.063			C.V. = 37.144		

C.D. 25 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0225 2	0.0024	2	0.0061 6	0.2945	2	10.086	0.0071
	Error	108	0.0035 2		106	0.0049 8		106	1.947	
	Total	110			108			108		
		C.V. = 14.649			C.V. = 30.099			C.V. = 35.927		

C.D. 25 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0151 4	0.0203	2	0.0044 1	0.2979	2	5.206	0.0872
	Error	113	0.0037 5		112	0.0036 0		112	2.087	
	Total	115			114			114		

	Total	115			114			114		
		C.V. = 14.957			C.V. = 25.038			C.V. = 39.910		

C.D. 25 1973 - 1976		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0231 2	0.0217	2	0.0069 0	0.2406	2	9.927	0.0055
	Error	113	0.0058 3		113	0.0047 8		113	1.822	
	Total	115			115			115		
		C.V. = 17.731			C.V. = 26.066			C.V. = 48.095		

C.D. 25 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0113 2	0.0439	2	0.0037 7	0.3839	2	6.209	0.0074
	Error	113	0.0035 2		112	0.0039 0		112	1.209	
	Total	115			114			114		
		C.V. = 13.833			C.V. = 23.672			C.V. = 43.853		

C.D. 25 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0135 3	0.0355	2	0.0005 8	0.8736	2	1.435	0.3619
	Error	115	0.0039 3		115	0.0043 1		115	1.399	
	Total	115			115			115		

	Total	117			117			117		
		C.V. = 14.322			C.V. = 25.314			C.V. = 37.250		

C.D. 25 1985 - 1988		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0059 6	0.1772	2	0.0123 0	0.0098	2	3.718	0.0663
	Error	115	0.0033 9		114	0.0025 5		114	1.337	
	Total	117			116			116		
		C.V. = 121.973			C.V. = 20.781			C.V. = 31.149		

C.D. 25 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0092 3	0.0422	2	0.0090 9	0.0496	2	1.824	0.2323
	Error	114	0.0028 3		113	0.0029 4		113	1.233	
	Total	116			115			115		
		C.V. = 11.913			C.V. = 21.174			C.V. = 33.092		

C.D. 25 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0207 7	0.0014	2	0.0297 7	0.0014	2	12.882	0.0001
	Error	115	0.0029 9		115	0.0042 8		115	1.246	
	Total	117			116			116		

	Total	117			117			117		
		C.V. = 12.219			C.V. = 24.167			C.V. = 38.178		

C.D. 30 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0005 7	0.791	2	0.0002 3	0.9422	2	8.321	0.0693
	Error	100	0.0024 6		99	0.0039 7		99	3.033	
	Total	102			101			101		
		C.V. = 11.805			C.V. = 28.09			C.V. = 38.768		

C.D. 30 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0014 9	0.568	2	0.0016 0	0.6369	2	6.748	0.0277
	Error	101	0.0026 1		100	0.0035 3		100	1.815	
	Total	103			102			102		
		C.V. = 12.027			C.V. = 25.126			C.V. = 33.161		

C.D. 30 1973 - 1976		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0013 4	0.577	2	0.0061 4	0.2424	2	13.056	0.0016
	Error	100	0.0024 3		100	0.0042 7		100	1.904	
	Total	102			102			102		

	Total	102			102			102		
		C.V. = 11.161			C.V. = 24.603			C.V. = 45.195		

C.D. 30 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0045 7	0.1100	2	0.0281 9	0.0021	2	3.600	0.0797
	Error	102	0.0020 2		101	0.0042 9		101	1.388	
	Total	104			103			103		
		C.V. = 10.067			C.V. = 23.670			C.V. = 46.730		

C.D. 30 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0032 9	0.2312	2	0.0130 2	0.0556	2	3.140	0.233
	Error	101	0.0022 1		101	0.0043 7		101	2.130	
	Total	103			103			103		
		C.V. = 10.235			C.V. = 25.673			C.V. = 43.440		

C.D. 30 1985 - 1988		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0084 6	0.0456	2	0.0090 6	0.1379	2	7.016	0.1157
	Error	99	0.0026 5		99	0.0044 8		99	3.182	
	Total	101			101			101		

	Total	101			101			101		
		C.V. = 11.326			C.V. = 27.296			C.V. = 43.848		

C.D. 30 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0123 2	0.0144	2	0.0071 4	0.0988	2	11.049	0.0220
	Error	100	0.0027 8		100	0.0030 1		100	2.784	
	Total	102			102			102		
		C.V. = 11.446			C.V. = 22.099			C.V. = 44.055		

C.D. 30 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0225 9	0.0010	2	0.0062 7	0.2770	2	35.140	0.0001
	Error	101	0.0030 7		101	0.0048 2		101	1.821	
	Total	103			103			103		
		C.V. = 12.077			C.V. = 27.356			C.V. =		

C.D. 35 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0051 2	0.1932	2	0.0029 5	0.3865	2	2.020	0.5221
	Error	71	0.0030 4		71	0.0030 6		71	3.080	
	Total	73			73			73		

	Total	73			73			73		
		C.V. = 13.113			C.V. = 25.999			C.V. = 34.288		

C.D. 35 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0028 2	0.5446	2	0.0002 8	0.9287	2	6.613	0.1158
	Error	71	0.0046 1		71	0.0038 0		71	2.974	
	Total	73			73			73		
		C.V. = 15.866			C.V. = 27.054			C.V. = 40.277		

C.D. 35 1973 - 1974		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0094 6	0.0834	2	0.0002 9	0.9222	2	1.489	0.4076
	Error	70	0.0036 7		70	0.0035 8		70	1.638	
	Total	72			72			72		
		C.V. = 13.761			C.V. = 23.364			C.V. = 42.328		

C.D. 35 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0036 0	0.2550	2	0.0024 8	0.4801	2	3.85	0.0899
	Error	70	0.0025 8		70	0.0033 4		70	1.543	
	Total	72			72			72		

	Total	72			72			72		
		C.V. = 11.51			C.V. = 22.426			C.V. = 44.297		

C.D. 35 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0053 2	0.2067	2	0.0008 2	0.7180	2	19.008	0.0001
	Error	71	0.0033 0		71	0.0024 7		71	1.728	
	Total	73			73			73		
		C.V. = 12.536			C.V. = 20.814			C.V. = 34.368		

C.D. 35 1985 - 1988		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0012 9	0.5700	2	0.0049 9	0.1176 5	2	8.924	0.0717
	Error	70	0.0022 7		70	0.0028 1		70	3.259	
	Total	72			72			72		
		C.V. = 10.557			C.V. = 24.041			C.V. = 37.221		

C.D. 35 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0165 4	0.0021	2	0.0011 3	0.6550	2	5.903	0.1304
	Error	70	0.0024 5		70	0.0026 7		70	2.814	

	Total	72			72			72		
		C.V. = 10.984			C.V. = 21.505			C.V. = 37.034		

C.D. 35 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0224 9	0.0010	2	0.0063 0	0.1972	2	18.855	0.0022
	Error	68	0.0029 1		68	0.0037 9		68	2.808	
	Total	70			70			70		
		C.V. = 11.976			C.V. = 25.321			C.V. = 40.833		

C.D. 40 1965 - 1968		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0015 5	0.3747	2	0.0139 1	0.0015	2	0.5711 9	0.8596
	Error	32	0.0015 3		32	0.0017 3		32	3.762	
	Total	34			34			34		
		C.V. = 9.512			C.V. = 20.574			C.V. = 37.895		

C.D. 40 1969 - 1972		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	3	0.0014 9	0.4470	2	0.0087 5	0.1182	2	0.2119	0.9395
	Error	33	0.0018 1		33	0.0038 3		33	3.392	
	Total	35			35			35		
		C.V. = 9.974			C.V. = 26.496			C.V. = 41.728		

C.D. 40 1973 - 1976		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0001 6	0.9262	2	0.0012 1	0.7599	2	1.746	0.5134
	Error	32	0.0021 1		32	0.0043 8		32	2.565	
	Total	34			34			34		
		C.V. = 10.647			C.V. = 25.490			C.V. = 49.047		

C.D 40 1977 - 1980		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0002 4	0.9167	2	0.0083 9	0.182	2	0.8178 9	0.5784
	Error	32	0.0027 7		32	0.0046 7		32	1.468	
	Total	34			34			34		
		C.V. = 11.984			C.V. = 27.626			C.V. = 44.691		

C.D. 40 1981 - 1984		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0030 8	0.2755	2	0.0001 1	0.6672	2	0.5664 7	0.6619
	Error	33	0.0023 0		33	0.0027 7		33	1.355	
	Total	35			35			35		
		C.V. = 10.735			C.V. = 20.951			C.V. = 32.639		

		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
--	--	------	--	--	--------	--	--	--------	--	--

C.D. 40 1985 - 1988										
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0086 5	0.6244	2	0.0014 7	0.6434	2	1.409	0.5797
	Error	32	0.0018 1		32	0.0032 9		32	2.539	
	Total	34			34			34		
		C.V. = 9.421			C.V. = 24.202			C.V. = 36.013		

C.D. 40 1989 - 1992		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0028 9	0.1747	2	0.1057 5	0.0273	2	12.758	0.0162
	Error	33	0.0015 7		33	0.0026 2		33	2.724	
	Total	35			35			35		
		C.V. = 8.729			C.V. = 22.442			C.V. = 36.344		

C.D. 40 1993 - 1996		D.M.			P.M.T.			I.C.A.		
	F.V.	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F	G.L.	C.M.	Pr > F
	Rodal	2	0.0019 5	0.4176	2	0.0054 7	0.2966	2	15.934	0.0007
	Error	33	0.0021 8		33	0.0043 3		33	1.726	
	Total	35			35			35		
		C.V. = 10.29			C.V. = 26.69			C.V. = 34.887		

F.V. = Fuente de variación.

G.L. = Grados de libertad.

C.M. = Cuadrados medios

F_c = F calculada.

Pr > F = Probabilidad de error al rechazar H₀.

C.V. = Coeficiente de variación en por ciento.

R² = Coeficiente de determinación.

C.D. = Categoría diámetrica.

APENDICE 4

Valores de densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT), e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN), por rodal y período de tiempo para las categorías diamétricas de 15, 20, 25, 30, 35 y 40 cm.

a) Categoría de 15

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
	Antes de aplicado el aclareo								
1965-1968	0.364	0.393	0.406	0.240	0.273	0.289	4.084	2.741	3.02
1969-1972	0.377	0.401	0.415	0.251	0.289	0.321	3.546	2.773	1.973
1973-1976	0.363	0.393	0.391	0.256	0.244	0.307	3.408	3.211	2.039
1977-1980	0.369	0.418	0.435	0.252	0.278	0.295	3.033	2.403	1.719
	Después de aplicado el aclareo (en rodales 2 y 3)								
1981-1984	0.372	0.444	0.438	0.282	0.271	0.308	2.627	2.077	1.769
1985-1988	0.382	0.436	0.432	0.291	0.279	0.298	2.372	2.134	2.484
1989-1992	0.394	0.423	0.458	0.289	0.266	0.296	3.337	2.139	2.399
1993-1996	0.389	0.435	0.452	0.299	0.287	0.325	1.870	2.385	2.452

b) Categoría de 20

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
	Antes de aplicado el aclareo								
1965-1968	0.391	0.399	0.419	0.230	0.239	0.244	4.196	3.620	3.418
1969-1972	0.398	0.411	0.412	0.237	0.238	0.236	3.987	3.295	3.197
1973-1976	0.402	0.434	0.422	0.259	0.273	0.226	3.121	2.318	2.947
1977-1980	0.407	0.431	0.426	0.265	0.273	0.276	3.00	1.914	2.051
	Después de aplicado el aclareo (en rodales 2 y 3)								
1981-1984	0.413	0.456	0.442	0.269	0.275	0.2702	2.951	2.112	2.378
1985-1988	0.419	0.451	0.427	0.259	0.259	0.2514	2.980	2.683	2.757
1989-	0.419	0.458	0.483	0.269	0.271	0.2454	2.534	2.727	3.311

1992									
1993-1996	0.421	0.461	0.473	0.279	0.276	0.2788	2.842	2.477	2.842

c) Categoría de 25

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
	Antes de aplicado el aclareo								
1965-1968	0.378	0.423	0.403	0.246	0.233	0.214	4.475	3.513	3.838
1969-1972	0.388	0.424	0.405	0.242	0.244	0.221	4.021	3.345	3.710
1973-1976	0.402	0.448	0.429	0.261	0.274	0.244	3.405	2.468	2.750
1977-1980	0.408	0.439	0.437	0.255	0.263	0.280	2.990	2.319	2.191
	Después de aplicado el aclareo (en rodales 2 y 3)								
1981-1984	0.428	0.451	0.413	0.263	0.259	0.253	3.356	3.029	3.310
1985-1988	0.437	0.459	0.440	0.264	0.235	0.228	3.506	3.660	4.248
1989-1992	0.428	0.457	0.449	0.274	0.246	0.254	3.095	3.492	3.422
1993-1996	0.419	0.458	0.463	0.301	0.250	0.276	2.219	2.228	3.251

d) Categoría de 30

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
	Antes de aplicado el aclareo								
1965-1968	0.364	0.393	0.406	0.240	0.273	0.289	4.084	2.741	3.02
1969-1972	0.431	0.428	0.417	0.228	0.236	0.245	4.764	3.787	4.260
1973-1976	0.433	0.441	0.449	0.252	0.262	0.283	4.216	2.891	2.725

1977-1980	0.425	0.450	0.453	0.259	0.264	0.316	3.063	2.514	2.217
	Después de aplicado el aclareo (rodal 2 y 3)								
1981-1984	0.443	0.461	0.468	0.294	0.249	0.255	3.279	3.198	3.772
1985-1988	0.435	0.466	0.443	0.253	0.254	0.223	3.859	3.843	4.687
1989-1992	0.425	0.466	0.470	0.275	0.244	0.240	2.905	3.755	4.383
1993-1996	0.411	0.465	0.474	0.279	0.250	0.247	2.185	3.116	4.645

e) Categoría de 35

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3
	Antes de aplicado el aclareo								
1965-1968	0.397	0.431	0.414	0.189	0.219	0.212	5.267	4.900	5.392
1969-1972	0.451	0.429	0.421	0.231	0.230	0.224	4.056	3.944	4.838
1973-1976	0.397	0.441	0.453	0.264	0.256	0.254	3.105	2.835	3.265
1977-1980	0.416	0.441	0.449	0.249	0.252	0.268	3.651	2.583	2.867
	Después de aplicado el aclareo (en rodales 2 y 3)								
1981-1984	0.424	0.463	0.462	0.228	0.243	0.236	4.247	3.156	4.667
1985-1988	0.438	0.456	0.449	0.220	0.230	0.205	4.314	4.508	5.492
1989-1992	0.392	0.454	0.455	0.255	0.240	0.235	3.448	4.548	4.836
1993-1996	0.380	0.460	0.459	0.224	0.256	0.230	2.858	3.765	5.018

f) Categoría de 40

Periodos de tiempo	DM (g cm ⁻³)			PMT			ICA-DN (mm)		
	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3	Rodal 1	Rodal 2	Rodal 3

Antes de aplicado el aclareo									
1965-1968	0.435	0.406	0.417	0.265	0.182	0.220	5.423	4.974	5.301
1969-1972	0.449	0.421	0.433	0.295	0.223	0.232	4.410	4.492	4.243
1973-1976	0.439	0.431	0.429	0.272	0.253	0.269	3.319	3.473	2.735
1977-1980	0.439	0.443	0.434	0.307	0.237	0.247	3.217	2.732	2.466
Después de aplicado el aclareo (en rodales 2 y 3)									
1981-1984	0.454	0.436	0.463	0.240	0.248	0.264	3.769	3.426	3.798
1985-1988	0.467	0.447	0.459	0.266	0.236	0.231	4.200	4.252	4.873
1989-1992	0.447	0.446	0.474	0.296	0.217	0.226	2.205	4.717	5.089
1993-1996	0.450	0.447	0.471	0.278	0.253	0.221	2.396	3.361	5.206
