

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



**DIAGRAMAS DE DENSIDAD PARA MANEJO DE BOSQUES
NATURALES DE *PINUS* EN LA REGIÓN DE GUADALUPE Y CALVO,
CHIHUAHUA**

POR

JESÚS MANUEL RASCÓN AYALA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

JULIO, 2018

**DIAGRAMAS DE DENSIDAD PARA MANEJO
DE BOSQUES NATURALES DE
PINUS EN LA REGIÓN DE GUADALUPE Y CALVO,
CHIHUAHUA.**

Aprobación de tesis

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Director

Dr. Marco Aurelio Gonzáles Tagle
Codirector

Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Asesor

Dr. Benedicto Vargas Larreta
Codirector externo

Julio, 2018

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios de grado de maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por permitirme ingresar al programa de Maestría en Ciencias Forestales y terminar satisfactoriamente.

A todos los docentes de la Facultad con los que conté siempre durante mis estudios.

A mi director de tesis el Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón, por su apoyo y su tiempo invertido en el presente trabajo de investigación, así como sus consejos y pláticas.

A mi codirector de tesis el Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por su apoyo y dedicación para la elaboración de la presente investigación.

A mi asesor de tesis el Dr. Marco Aurelio González Tagle, por el tiempo invertido en la revisión y elaboración de la presente investigación.

A mi codirector externo el Dr. Benedicto Vargas Larreta, por su apoyo incondicional desde la realización de mi tesis de licenciatura, así como la presente, así como sus consejos para ingresar a el Programa de Maestría y realizar trabajos de investigación.

Dedicatorias

A Dios...

A mis padres el Sr. Rigoberto Rascón Treviso y Sra. Julia Ayala Estrada, por su apoyo incondicional, así como sus consejos y su sabiduría para lograr a cabo mis objetivos académicos y personales.

A mis hermanas María Cristina Rascón Ayala y Raquel Alejandra Rascón Ayala, por su apoyo y su preocupación que siempre han mostrado por mí.

A mis amigos Marco Antonio Nava Moreno, Jesús Eduardo Silva García y Edgar Silva, por su apoyo y compañía durante nuestra estancia en la Maestría.

Índice

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1. Antecedentes del inicio de la “Asociación Regional de Silvicultores de Guadalupe y Calvo A.C.”	3
2.2. Organización	3
2.3. Marco de referencia	3
2.3.1. Diagramas de manejo de densidad.....	3
2.3.2. Productividad forestal.....	4
2.3.3. Densidad.....	5
2.3.4. Espaciamiento	6
2.3.5. Índices de espaciamiento.....	6
2.3.6. Límites de densidad	8
III. JUSTIFICACIÓN	9
IV. HIPÓTESIS	10
V. OBJETIVO DEL TRABAJO	10
5.1. Objetivo general	10
5.2. Objetivos específicos	10
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	11
6.1. Descripción del área de estudio	11
6.2. Edafología	11
6.3. Clima	12

6.4. Fisiografía.....	12
6.5. Vegetación	13
6.6. Datos.....	13
6.6.1. Estimaciones por árbol.....	14
6.6.2. Parámetros dasométricos	16
VII. METODOLOGÍA	18
7.1. Elaboración de un diagrama de densidad para manejo de bosques naturales de <i>Pinus</i> en la región de Guadalupe y Calvo, Chihuahua	18
7.1.1. Ecuaciones del modelo	18
7.1.2. Elaboración del diagrama de manejo de densidad	18
7.2. Determinación del límite superior de densidad.....	19
7.2.1. Descripción de los datos	19
7.2.2. Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR)	19
7.2.3. Incorporación de la línea de máxima densidad del DMD	20
7.3. Uso del diagrama de manejo de densidad en rodales naturales.....	20
7.3.1. Estimación del crecimiento y la producción	20
7.3.2. Planteamiento del esquema de cortas	22
7.3.3. Elaboración de una tabla numérica para el esquema de cortas	23
7.3.4. Estimación del espaciamiento relativo	24
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
8.1. Parámetros y ecuaciones de ajuste de modelo.....	25
8.2. Diagrama de manejo de la densidad.....	28
8.3. Descripción de las variables dasométricas de los sitios de máxima densidad.....	28
8.4. Ajuste del modelo de Reineke (1933)	29

8.5. Límite superior de densidad en el DMD	32
8.6. Frecuencia de cortas.....	33
8.7. Esquema de cortas en base al límite superior de densidad de Reineke .	35
8.8. Tabla numérica específica para el esquema de cortas	36
8.9. Diagramas de manejo de densidad para diferentes índices de sitio	38
8.9.1. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de <i>Pinus arizonica</i> con diferentes índices de sitio	38
8.9.2. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de <i>Pinus durangensis</i> con diferentes índices de sitio	44
8.9.3. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de <i>Pinus engelmannii</i>	50
8.9.4. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de <i>Pinus herrerae</i>	56
8.9.5. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de <i>Pinus lumholtzi</i>	62
8.10. Tabla de espaciamiento relativo en función del índice de Hart-Becking y Reineke	68
IX. CONCLUSIONES.....	70
X. BIBLIOGRAFÍA.....	71

Índice de tablas

Tabla 1. Mezcla de Géneros	14
Tabla 2. Mezcla de especies.....	14
Tabla 3. Parámetros utilizados para la cubicación de las especies presentes.	15
Tabla 4. Sitio de referencia para ejemplificación.....	21
Tabla 5. Forma de estimación de las variables dasométricas del rodal antes y después de la corta.....	23
Tabla 6. Parámetros de ajuste del modelo	25
Tabla 7. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas.....	25
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de los sitios de máxima densidad.	29
Tabla 9. Máxima densidad del rodal	33
Tabla 10. Parámetros utilizados para la estimación de altura dominante	34
Tabla 11. Principales variables del rodal antes y después de las cortas	37
Tabla 12. Tabla de masa extraída	37
Tabla 13. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus arizonica</i> con un índice de sitio de 11 metros	39
Tabla 14. Tabla de masa extraída para <i>Pinus arizonica</i>	39
Tabla 15. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus arizonica</i> con un índice de sitio de 16 metros	41
Tabla 16. Tabla de masa extraída para <i>Pinus arizonica</i>	41
Tabla 17. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus arizonica</i> con un índice de sitio de 21 metros	43
Tabla 18. Tabla de masa extraída para <i>Pinus arizonica</i>	43

Tabla 19. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus durangensis</i> con un índice de sitio de 13 metros	45
Tabla 20. Tabla de masa extraída para <i>Pinus durangensis</i>	45
Tabla 21. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus durangensis</i> con un índice de sitio de 18 metros	47
Tabla 22. Tabla de masa extraída para <i>Pinus durangensis</i>	47
Tabla 23. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus durangensis</i> con un índice de sitio de 23 metros	49
Tabla 24. Tabla de masa extraída para <i>Pinus durangensis</i>	49
Tabla 25. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus engelmannii</i> con un índice de sitio de 12 metros	51
Tabla 26. Tabla de masa extraída para <i>Pinus engelmannii</i>	51
Tabla 27. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus engelmannii</i> con un índice de sitio de 16 metros	53
Tabla 28. Tabla de masa extraída para <i>Pinus engelmannii</i>	53
Tabla 29. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus engelmannii</i> con un índice de sitio de 20 metros	55
Tabla 30. Tabla de masa extraída para <i>Pinus engelmannii</i>	55
Tabla 31. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus herrerae</i> con un índice de sitio de 13 metros	57
Tabla 32. Tabla de masa extraída para <i>Pinus herrerae</i>	57
Tabla 33. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus herrerae</i> con un índice de sitio de 17 metros	59
Tabla 34. Tabla de masa extraída para <i>Pinus herrerae</i>	59
Tabla 35. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus herrerae</i> con un índice de sitio de 21 metros	61

Tabla 36. Tabla de masa extraída para <i>Pinus herrerae</i>	61
Tabla 37. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus lumholtzii</i> con un índice de sitio de 10 metros.....	63
Tabla 38. Tabla de masa extraída para <i>Pinus lumholtzii</i>	63
Tabla 39. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus lumholtzii</i> con un índice de sitio de 13 metros.....	65
Tabla 40. Tabla de masa extraída para <i>Pinus lumholtzii</i>	65
Tabla 41. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para <i>Pinus lumholtzii</i> con un índice de sitio de 16 metros.....	67
Tabla 42. Tabla de masa extraída para <i>Pinus lumholtzii</i>	67
Tabla 43. Tabla de espaciamiento relativo	68

Índice de figuras

Figura 1. Localización de la UMAFOR 0808 en el estado de Chihuahua	11
Figura 2. Ejemplo de estimación del crecimiento y la producción.....	21
Figura 3. Gráfico de valores observados y predichos de la variable diámetro medio cuadrático dg en centímetros, donde la línea azul corresponde al modelo y la roja a la línea de tendencia.	27
Figura 4. Gráfico de valores observados y predichos de la variable volumen V en m^3/ha , donde la línea discontinua corresponde al modelo y la continua a la línea de tendencia.....	27
Figura 5. Diagrama de manejo de densidad (DMD) para la región de Guadalupe y Calvo.....	28
Figura 6. Diagrama de Manejo de la Densidad (DMD) estimada con el IDR para el modelo de Reineke	31

Figura 7. Ajuste del modelo de Reineke (1993). Línea de color rojo: densidad máxima (ecuación).....32

Figura 8. Diagrama de manejo de densidad con límite máximo de densidad incorporado.33

Figura 9. Estimación de la altura dominante y la edad, a partir del IS34

Figura 10. Esquema de cortas con referencia al límite de máxima densidad36

Figura 11. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 11 metros38

Figura 12. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 16 metros40

Figura 13. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 21 metros42

Figura 14. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 13 metros44

Figura 15. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 18 metros46

Figura 16. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 23 metros48

Figura 17. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 12 metros50

Figura 18. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 16 metros52

Figura 19. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 20 metros54

Figura 20. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 13 metros56

Figura 21. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 17 metros58

Figura 22. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 21 metros60

Figura 23. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 10 metros62

Figura 24. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 13 metros64

Figura 25. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 16 metros66

Resumen

El presente trabajo consistió en la elaboración de un diagrama de manejo de densidad (DMD), en bosques naturales de la región de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, basado en el índice de Hart-Becking, con el objetivo de generar una herramienta de fácil aplicación para poder tomar decisiones de manera precisa y confiable para eficientar el manejo forestal. Para la construcción de los diagramas de manejo de densidad se utilizaron 331 sitios de muestreo obtenidos del inventario forestal realizado en el año de 2014, de los cuales se obtuvieron variables dasométricas por sitio, las cuales son: número de árboles por hectárea (N), altura dominante ($H0$), diámetro cuadrático medio (dg) y volumen. También se obtuvo la mezcla de géneros y especies respectivamente. Se seleccionaron sitios de máxima densidad para ajustar la ecuación de índice de Reineke (1933), con la cual se ajustó la línea de máxima densidad, esta misma se utilizó para generar un esquema de plan de cortas generando una tabla numérica correspondiente a cada plan de corta.

Palabras clave: Diagramas de manejo de densidad (DMD); altura dominante, índice de Hart-Becking.

Abstract

This work consisted in the elaboration of density management diagrams (DMD), in natural forests of the region of Guadalupe and Calvo, Chihuahua, based on the Hart-Becking index, in order to generate an easy application tool to be able to make decisions in a precise and reliable way, to efficient forest management. For the construction of the density management diagram, 331 sampling sites obtained from the forest inventory carried out in the year of 2014 were used, of which dasometric variables were obtained per site, which are: number of trees per hectare (N), dominant height (H0), mean square diameter (dg) and volume. The mixture of genera and species was also obtained, respectively. Maximum density sites were selected to adjust the index equation of Reineke (1993), with which the maximum density line was adjusted, this was used to generate a short plan scheme generating a numerical table corresponding to each cutting program.

Key words: Density management diagrams (DMD); dominant height, Hart-Becking index.

I. INTRODUCCIÓN

En México como en el mundo, la sociedad demanda de los bosques la producción de diversos bienes como madera, leña, carbón, resina, entre otros, así como servicios de recreación, protección a la fauna silvestre y al suelo, captación de agua de lluvia y secuestro de carbono (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

El responsable del manejo del bosque debe considerar los múltiples bienes y servicios que este produce, para implementar los programas de manejo forestal de acuerdo con los objetivos propuestos de mejorar la calidad de los productos sin afectar las demandas de los poseedores. Todo esto se puede lograr al adoptarse métodos de manejo que consideren todos los factores que se interrelacionan dentro del sitio, dentro del rodal y dentro del bosque para obtener alternativas viables y mejorar la administración forestal (Daniel *et al.*, 1979, citado por Hernández *et al.*, 2013).

En la determinación de la productividad de un rodal, uno de los factores más importantes, además del índice de sitio, es la densidad; motivo por el cual es utilizada como una variable de decisión y control en las intervenciones silvícolas (Daniel *et al.*, 1982). El manejo de la densidad del rodal consiste en el control del espacio disponible para el crecimiento de los árboles a través de las cortas, con la finalidad de lograr diferentes objetivos de manejo. Sin embargo, la determinación de los niveles adecuados de densidad para una masa forestal, es un proceso complejo que depende de factores biológicos, tecnológicos, económicos y operacionales (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Los diagramas de manejo de densidad son modelos estáticos de rodal en los que se representa gráficamente la relación entre producción y densidad para los distintos estados de desarrollo del rodal. Su utilidad radica en que permiten realizar de forma rápida y sencilla la comparación entre diferentes alternativas silvícolas (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

La calidad del sitio ocupa un papel preponderante en el manejo de los bosques; no menos importante es el control de la densidad ya que representa el segundo factor en importancia y mediante su control se puede determinar la productividad del sitio, situación que facilita el manejo de las densidades y competencia en las masas arboladas por parte de los profesionales forestales que administran los bosques (Daniel *et al.*, 1979, citado por Hernández *et al.*, 2013).

Los diagramas o guías de densidad son una representación gráfica que indican las relaciones entre el diámetro cuadrático medio del rodal (del árbol con el área basal media), área basal por hectárea y número de árboles por hectárea (Fierros, 1993; Aguirre, 1997; Diéguez-Aranda *et al.*, 2009); considerando que constituyen una valiosa herramienta silvícola en la planeación y prescripción de tratamientos silvícolas (Hernández *et al.*, 2013); es decir; son modelos que grafican la relación entre la producción y la densidad que existe en los rodales (Centeno, 2013). Los diagramas se basan en el desarrollo natural del arbolado, lo cual refleja la relación entre el tamaño, la densidad, la competencia y la ocupación del sitio (Deán & Baldwin 1993; Navarro *et al.*, 2010).

Al tener representaciones gráficas, es posible la planificación de aclareos mediante la definición de los límites superior e inferior de la ocupación de un sitio en un rodal determinado (Newton 1997; Navarro *et al.*, 2010; Centeno, 2013).

II. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes del inicio de la “Asociación Regional de Silvicultores de Guadalupe y Calvo A.C.”

Se crea y constituye la Unidad de Manejo Forestal “ASOCIACION REGIONAL DE SILVICULTORES DE GUADALUPE Y CALVO A.C. el día 22 de Julio del 2006, como secuela natural de la Asociación de Productores y Responsables Técnicos del Sur de Chihuahua, A.C. constituida en 1998 y parte importante del Fideicomiso Chihuahua Forestal, lo que permitió el desarrollo de gran parte de la infraestructura de protección y fomento forestal con que se cuenta. Se encuentra ubicada en la parte sur del estado de Chihuahua, la cual está conformada por 8 Comunidades, 26 Ejidos y 126 Predios particulares, con una superficie total de 926,510 has. Sus agremiados son 7,500 silvicultores aproximadamente.

2.2. Organización

La Asociación Regional de Silvicultores de Guadalupe y Calvo A. C., está constituida por productores forestales, agrícolas y ganaderos del municipio de Guadalupe y Calvo. La Asociación Regional de Silvicultores de Guadalupe y Calvo A. C. tiene como objeto el uso, manejo y conservación, protección y fomento de los recursos naturales. El grupo técnico que desarrolla las actividades mencionadas cuenta con siete prestadores de servicios técnicos forestales, así como auxiliares técnicos.

2.3. Marco de referencia

2.3.1. Diagramas de manejo de densidad

Los diagramas de manejo de la densidad (DMD) son modelos de rodal que representan gráficamente las relaciones entre la densidad, la altura dominante, el diámetro medio cuadrático y el volumen medio para rodales coetáneos (Archibald & Bowling, 1995; Newton, 1997; Álvarez-González *et al.*, 2005). De

acuerdo con Newton (1997), el manejo de la densidad es el proceso de control de la competencia para alcanzar los objetivos de manejo específicos. Los DMD permiten, entre otras cosas, determinar el espaciamiento inicial o determinar los esquemas de aclareo necesarios para realizar varios objetivos: minimizar el tiempo para conseguir un rodal objetivo (Newton & Weetman, 1994), control de arbustos durante el establecimiento del rodal (Smith, 1989), optimizar el hábitat en su relación predador-presa (Sturtevant *et al.*, 1996), controlar la susceptibilidad del rodal al ataque de plagas (Whitehead *et al.*, 2001), reducir la susceptibilidad de daño por viento (Mitchell, 2000; Castedo *et al.*, 2009) o aumentar la diversidad del rodal (Powelson & Martin, 2001), entre otros.

Los DMD están basados en la ley del auto-aclareo y la construcción de distintos niveles de densidad que permiten definir condiciones de crecimiento del rodal (Drew & Flewelling, 1979). Los DMD emplean relaciones funcionales empíricas que relacionan la densidad y el rendimiento, y reflejan el efecto acumulativo de varios procesos subyacentes de competencia en el proceso de crecimiento (Drew & Flewelling, 1979; Newton & Weetman, 1994). Los índices de densidad relativa, que se expresan como distintos niveles de ocupación en relación con un rodal de igual diámetro medio cuadrático en la línea de auto-aclareo, en conjunto con la calidad del sitio, explican la dependencia temporal de estos procesos, y consecuentemente los DMD se pueden utilizar para predecir la trayectoria de la densidad de distintas opciones de manejo (Newton, 1997).

2.3.2. Productividad forestal

La productividad de las áreas forestales se define en gran parte por la calidad de estación, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que un bosque produce en un tiempo determinado (Aguirre, 1996).

La productividad para una especie dada, para una estación concreta, depende de su índice de sitio y se mantiene constante para un amplio rango de densidades. Se puede alcanzar un nivel máximo de volumen para un sitio dado;

este volumen puede consistir en un número grande de árboles pequeños, en un número pequeño de árboles grandes o en varias combinaciones intermedias.

El crecimiento en diámetro es especialmente sensible a cambios en la densidad. Para una misma calidad de estación y edad de la masa, el diámetro es mayor en rodales con poca densidad y menor en altas densidades. Esto se ve reflejado significativamente en el volumen del bosque y su productividad, motivo por el cual el control de la densidad en el manejo de las masas forestales es un aspecto de importancia (Gadow, 2007).

2.3.3. Densidad

La densidad de un rodal ha sido definida de varias maneras por ejemplo Curtis (1970), la definió como el número de individuos, área basal o volumen por unidad de superficie, Gingrich (1967), señaló que la densidad involucra el espaciamiento y la evaluación de la competencia, posteriormente Zepeda (1983), mencionó el factor tiempo, especificando la densidad como el grado de ocupación real, en un momento dado, de un área, sitio o lugar.

Prodan *et al.* (1997), mencionan que bajo el término densidad se incluyen tres conceptos:

1. Cantidad de vegetación en crecimiento
2. Grado de ocupación del sitio (stocking), referente a la densidad presente con relación a una condición de referencia normal.
3. Grado de competencia entre los árboles, es decir la restricción impuesta por los vecinos al libre desarrollo.

La densidad es utilizada como una variable de decisión o de control en las intervenciones silvícolas, en los modelos de desarrollo y crecimiento, y es considerada como una variable predictora. Al utilizar la densidad como medida, esta debe ser clara, consistente, objetiva y fácil de aplicar, conviene que tenga

relación con el volumen, pero no con la edad de la masa ni con el sitio (Prodan *et al.*, 1997).

El segundo factor de importancia, después de la calidad del sitio, en la determinación de la productividad de un rodal, es la densidad, en cambio es el principal factor que el silvicultor puede manejar durante el desarrollo de la masa (Daniel *et al.*, 1982).

2.3.4. Espaciamento

La significación de la densidad se manifiesta sobre el crecimiento del rodal y se basa en la postulación de que cuanto más amplio sea el espaciamento del árbol, más rápido será su crecimiento. El espacio de crecimiento es el factor que controla la producción de los árboles. La competencia inicia cuando este espacio disponible en el rodal es igual al espacio que requieren todos los árboles para crecer sin dificultad, comparando este con aquellos árboles que crecieron aislados (Gingrich, 1967).

El espaciamento se induce en función del sitio, de la especie y sus requerimientos biológicos, así como del uso final que se le va a dar a la madera.

2.3.5. Índices de espaciamento

La densidad se puede expresar en términos relativos o absolutos. En términos absolutos se encuentran los índices que involucran el número de árboles y el área basal por hectárea; un índice relativo, en cambio, podría ser el cociente del área basal actual y el área basal de un rodal considerado de densidad normal (Quiñones, 2000).

Existen algunos requisitos básicos que los índices deben cumplir (Corvalán & Hernández, 2006):

1. Que sea simple de utilizar, fácil de medir y ofrezca información práctica.

2. Que tenga el mismo significado para todos los usuarios y que represente bien el concepto de densidad que se pretende utilizar.
3. Debe ser independiente del sitio y la edad. La correlación que pueda existir entre estos factores puede anular la capacidad de predicción en términos de volumen.
4. Las variaciones en el índice se deben reflejar en la forma del crecimiento; es decir, a partir de la densidad actual el índice debería tener la capacidad de estimar la densidad futura.
5. Idealmente el índice debería ser aplicable a cualquier rodal, coetáneo o multietáneo, simple o mixto.

El índice de Hart-Becking, conocido también como índice de espaciamiento relativo o factor de espaciamiento, se define como la razón entre el espaciamiento medio de los árboles de una masa y su altura dominante, expresada en porcentaje. Este índice es útil para caracterizar la densidad de una masa por ser independiente de la calidad de estación y de la edad (excepto para rodales muy jóvenes). La altura dominante, incluida en su formulación, es el mejor índice para establecer los intervalos de aclareos para una determinada especie desde un punto de vista biológico (Diéguez-Aranda *et al.*, 2009).

Un índice de densidad de rodales es considerado como un indicador del número de árboles por unidad de superficie que un rodal podría tener a un diámetro cuadrático de referencia. El más conocido es el propuesto por Reineke (1933), cuyo objetivo fue medir la espesura de una masa forestal, estableciendo un índice “basado en la relación entre el número de árboles por acre y su diámetro promedio, considerando las características de distribución de los árboles en masas coetáneas”. El índice de Reineke (*Stand density index*) es la base para la elaboración de diagramas de manejo de densidad de masa (*Stand density management diagrams*). Reineke postuló que el valor de la pendiente de la recta que relaciona el logaritmo de la densidad con el logaritmo del diámetro medio cuadrático era relativamente independiente de la especie y se situaba en

alrededor de -1.605. Estudios posteriores han comprobado que esta pendiente puede variar según la especie, aunque se admite el propuesto por Reineke como valor por defecto cuando se carece de información detallada.

2.3.6. Límites de densidad

La determinación de los niveles adecuados de densidad de una masa forestal es un proceso complejo que depende de diversos factores: biológicos, tecnológicos, económicos y operacionales, entre otros. Las alternativas de manejo de densidad, desde el punto de vista productivo, se deben basar en el máximo aprovechamiento de los recursos del sitio (Barrio-Anta & Álvarez 2005). El máximo aprovechamiento de los recursos de un sitio no se limita a una densidad (N) específica, sino que existen varias posibilidades, dentro de las cuales se debe escoger la que mejor convenga a los objetivos de manejo, sin embargo, es importante fijar límites.

El límite superior corresponde a la máxima densidad capaz de soportar por el sitio, de modo que todos los recursos son aprovechados por la masa, pero cada árbol solo obtiene lo imprescindible para sobrevivir, sin que exista mortalidad natural. Esta situación corresponde con la definición de bosque normal, donde se consigue la máxima producción de biomasa. En contraparte el límite inferior se establece cuando los recursos de la estación son utilizados por la masa de modo que cada uno de los árboles que la constituye asimila todo lo que su condición genética y edad le permite, es decir desarrolla su máxima capacidad de crecimiento, por debajo de esta densidad mínima los recursos de la estación no son aprovechados en su totalidad, por lo tanto, se pierde capacidad productiva (Álvarez, 1999).

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el aprovechamiento forestal se ha aplicado de manera que no se ha aprovechado el máximo potencial productivo de terrenos forestales. Es por ello que en el presente estudio se realizó diagramas de manejo de densidad para rodales naturales en la región de Guadalupe y Calvo, Chihuahua. Se realizó con la intención de generar una herramienta gráfica de uso simple, rápida y de estimaciones precisas, que contribuya a la toma de decisiones silvícolas y que eficiente el manejo forestal de los bosques naturales. Esta herramienta será útil para los productores forestales ya que es de sencilla aplicación y entendimiento, esto para que los productores tengan claro el potencial del terreno forestal y sea aprovechado adecuadamente para que sea un bosque sustentable de manera que sea socialmente un ejemplo de manejo forestal adecuado ante los demás productores forestales, y así crear una conciencia o costumbre de los poseedores para llevar un buen manejo de las masas forestales. Con este estudio se busca llegar a una estabilidad en cuanto a aprovechamiento generando un sistema de cortas que sea adecuado a las condiciones de calidad de sitio, de tal manera no extraer más de lo que el bosque produce anualmente y aprovechar plenamente el potencial productivo del sitio.

IV. HIPÓTESIS

Los diagramas de manejo de densidad permiten planear la silvicultura de forma sencilla y precisa, aprovechando el máximo potencial de producción de las masas forestales.

V. OBJETIVO DEL TRABAJO

5.1. Objetivo general

Elaborar diagramas de densidad de fácil aplicación y entendimiento para los técnicos, que contribuyan en la toma de decisiones de manejo forestal eficiente en bosques.

5.2. Objetivos específicos

- Elaborar diagramas de manejo de la densidad basado en el índice de Hart Becking, para la aplicación en rodales naturales en la UMAFOR 0808.
- Representar gráficamente el límite superior de densidad de un rodal forestal, a través de la altura dominante, el diámetro medio cuadrático y el número de árboles por hectárea.
- Generar diagramas de manejo de la densidad aplicando tratamientos silvícolas y con distinta intensidad de corta respecto a su área basal.
- Generar diagramas de manejo de densidad con distinta calidad de sitio para *Pinus arizonica*, *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus engelmannii* carr., *Pinus herrerae* Martínez y *Pinus lumholtzii* Robins & Ferns.
- Generar una tabla numérica de producción con la información sugerida en el planteamiento de cortas para cada diagrama realizado.

VI. MATERIAL DE INVESTIGACIÓN

6.1. Descripción del área de estudio

Se encuentra ubicada en la parte sur del estado de Chihuahua, y limita con los municipios de Morelos, Guachochi y Balleza y con los estados de Sinaloa y Durango (Figura 1). Está conformada por 8 comunidades, 26 ejidos y 126 predios particulares con una superficie total de 904,780 ha que albergan extensas regiones de bosques templados, selva, pastizales y otros usos.



Figura 1. Localización de la UMAFOR 0808 en el estado de Chihuahua

6.2. Edafología

Los tipos de suelos presentes en el área de la UMAFOR 0808 son los siguientes: Cambisol Eútrico (Be); Feozem Háplico (Hh); Feozem Láxico (Hl); Litosol (I); Acrisol órtico, férrico y plíntico (Ao, Af, Ap.); Planosoles (W); Luvisol Vertico (Lv) y Regosol Eútrico (Re). Las unidades de mayor extensión geográfica son: Regosoles y Litosoles.

6.3. Clima

El tipo de clima predominante en la UMAFOR 0808, según la clasificación de Köppen modificada por García (1981) es $c(e)(w2)(x')$, i.e. $c(e)$: clima templado subtipo de clima semi-frío, subhúmedo con verano fresco y lluvias en verano. Adicionalmente y particularmente en las depresiones fisiográficas (barrancas) se localizan los siguientes:

(A)C(w₀) Semicálido, subhúmedo del grupo de los templados con una temperatura media anual mayor a 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, y la del mes más caliente sobrepasa los 22 °C.

(A)C(w₁) Semicálido subhúmedo del grupo C, con una Temperatura media anual mayor a 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, y la del mes más caliente mayor a 22 °C.

Aw₀ Cálido subhúmeda temperatura media anual mayor a 22 °C, y la temperatura del mes más frío menor de 18 °C.

Aw₀(w) Cálido subhúmeda temperatura media anual mayor a 22 °C, y temperatura del mes más frío mayor a 18 °C.

C (w₁) x' a templado subhúmeda temperatura media anual mayor a 12 y menor a 18 °C, temperatura del mes más frío mayor a -3 y menor a 18 °C; temperatura de mes más caliente mayor a 22 °C

Cb'(w₂) x' templado subhúmeda temperatura media anual mayor a 5 y menor a 12 °C, temperatura del mes más frío mayor a -3 y menor a 18 °C, la Temperatura de mes más caliente no sobrepasa los 22 °C

6.4. Fisiografía

La UMAFOR 0808 se encuentra enclavada dentro de las provincias de la Sierra Madre Occidental, así como de las sub-provincias de mesetas y cañones chihuahuenses. El relieve es una asociación de mesetas y barrancas con combinación de pendientes planas y laderas inaccesibles, el rango de altitudes es de 600 a 3,200 msnm con un promedio de 1,900 msnm. De acuerdo con

Rosales (2007) los rangos de pendientes presentes en el área se distribuyen como sigue: pendientes de 0–20%, ocupan 9.17%, 21–40% con 36.52%, 41–60% con 34.09% y pendientes mayores a 60%, ocupan 20.22% de la superficie de la UMAFOR.

6.5. Vegetación

De acuerdo a datos reportados en el Estudio Regional Forestal (2009), los bosques representativos de la región sur del estado de Chihuahua y presentes en la UMAFOR 0808, se encuentran dominados por bosques del género *Pinus*, predominando como las especies de mayor importancia económica *Pinus arizonica*, *P. durangensis* y *P. engelmannii*, encontrando una fuerte asociación entre ellas y con otras especies de diferente género o formando masas puras. El uso de suelo y vegetación está integrado por bosques de pino, la superficie de este tipo de vegetación en la UMAFOR es de 494,652 ha, que corresponden al 54.7% de la superficie de la misma. Las especies de bosques de encino más comunes son *Quercus fulva*, *Q. sideroxyla* y *Q. arizonica*, entre otras; la superficie que ocupa este tipo de vegetación es de 122,371 ha, distribuida en 13.5% de la superficie total de la UMAFOR. Los bosques de pino-encino y encino-pino ocupan una superficie de 119,766 ha, que representa 13.2% de la UMAFOR, mientras que la selva baja caducifolia se distribuye en una superficie de 46,048 ha.

6.6. Datos

Los datos considerados en el presente trabajo provienen del inventario forestal realizado en el ejido La Trinidad y el predio particular El Tejamanil; se seleccionaron aquellos sitios que cuentan con una densidad mínima de 100 árboles por hectárea y con una presencia mínima de un 80 por ciento del género *Pinus* ya que el estudio está enfocado en el manejo del género antes mencionado, obteniendo un total de 331 sitios de 1000 m² con las características descritas. En la siguiente tabla (Tabla 1), se muestra la composición de géneros

y en la Tabla 2 se muestra la composición por especie siendo *P. arizonica*, *P. durangensis*, *P. ocarpa*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii*, *P. lumholtzii*, *P. teocote*, *P. cooperi*, *P. herrerae* y *Pinus spp.* las especies presentes en el área de estudio. El orden anterior describe también la abundancia y dominancia de la especie en el total de los sitios de muestreo, considerando todos los individuos con un diámetro >7,5 cm.

Tabla 1. Mezcla de Géneros

Género	%N	%AB	%VT
<i>Pinus</i>	81.30	81.80	86.31
<i>Quercus</i>	16.31	16.34	12.50
Otras	2.39	1.89	1.19

Tabla 2. Mezcla de especies

Especie	%N	%AB	%VT
<i>P. arizonica</i>	30.85	36.89	39.57
<i>P. durangensis</i>	26.38	23.54	24.31
<i>P. ocarpa</i>	12.36	9.46	8.13
<i>P. leiophylla</i>	10.69	12.01	10.84
<i>P. engelmannii</i>	6.65	6.33	6.32
<i>P. lumholtzii</i>	4.41	3.86	3.22
<i>P. teocote</i>	3.01	3.45	3.60
<i>P. cooperii</i>	2.41	1.62	1.57
<i>P. herrerae</i>	2.32	1.69	1.38
<i>Pinus spp</i>	0.98	1.15	1.05

Donde: %N es la proporción de número de árboles según la especie, %AB es la proporción de área basal según la especie y %VT es la proporción del volumen total estimado por especie.

6.6.1. Estimaciones por árbol

A cada árbol se le estimó el área basal y el volumen.

$$G = \frac{\pi}{4} \left(\frac{dn}{100} \right)^2 \quad [1]$$

Donde: G es el área basal (m²); dn el diámetro (cm) con corteza a 1.3 m de altura.

Para la estimación de volumen por árbol se utilizó la ecuación y parámetros obtenidos (Tabla 3) en el estudio; Validación y calibración del sistema biométrico utilizado en la elaboración de programas de manejo forestal maderable en la UMAFOR 0808"Guadalupe y Calvo", Chihuahua; realizado en 2014.

$$vrta_{cc} = \beta_1 \cdot D^{\beta_2} \cdot h^{\beta_3} \quad [2]$$

Donde: ($vrta_{cc}$) es volumen rollo total árbol con corteza, (D) es diámetro a la altura de 1,30 m, (h) es altura total del árbol y (b_1 , b_2 y b_3) son los parámetros de la ecuación, respectivamente.

Tabla 3. Parámetros utilizados para la cubicación de las especies presentes.

Especie	Parámetro	Valor Estimado	Error Std. Aprox.	REMC	R ² _{adj}
<i>P. arizonica</i>	b ₀	0.000067	4.93E-06		
	b ₂	1.783568	0.0418	0.17	0.95
	b ₃	1.098266	0.059		
<i>P. durangensis</i>	b ₁	0.000085	9.00E-06		
	b ₂	1.995095	0.0404	0.13	0.96
	b ₃	0.764492	0.0535		
<i>P. herrerae</i>	b ₁	0.000057	8.17E-06		
	b ₂	1.936643	0.0607	0.12	0.96
	b ₃	0.963292	0.0691		
<i>P. engelmannii</i>	b ₁	0.000054	7.53E-06		
	b ₂	2.21213	0.0496	0.15	0.92
	b ₃	0.615217	0.0658		
<i>P. leiophylla</i>	b ₁	0.000045	4.32E-06		
	b ₂	1.64195	0.0366	0.06	0.98
	b ₃	1.397894	0.0575		
<i>P. lumholtzii</i>	b ₁	0.000049	0.000014		
	b ₂	0.000092	0.000015	0.09	0.96
	b ₃	1.911237	0.0478		
<i>Pinus</i>	b ₁	0.000061	2.42E-06		
	b ₂	1.992235	0.0177	0.13	0.95
	b ₃	0.869354	0.0241		

	b_1	0.000188	0.000014		
<i>Quercus</i>	b_2	1.851694	0.0172	0.08	0.97
	b_3	0.572656	0.0331		

6.6.2. Parámetros dasométricos

Para cada sitio de muestreo se calcularon las siguientes variables dasométricas: número de árboles por hectárea (N), diámetro medio (DN) y altura media (H), diámetro medio cuadrático (dg), altura dominante (H_o), área basal (G), volumen total (VT) e índice de Hart-Becking (IH). Los datos considerados en el presente trabajo provienen de los 331 sitios de muestreo antes mencionados.

Número de arboles

$$N = \sum n \cdot 10 \quad [3]$$

Donde: N es el número de árboles por hectárea y n corresponde a cada uno de los árboles del sitio de muestreo.

Diámetro (DN) y Altura media (H)

$$DN = \frac{\sum dn}{n} \quad H = \frac{\sum h}{n} \quad [4,5]$$

Donde: DN y H corresponden al promedio obtenido a partir de los diámetros normales (dn) medidos por sitio y a las alturas totales (h) estimadas por sitio de muestreo.

Altura dominante

La altura dominante se obtuvo a partir de un código utilizado en el paquete estadístico SAS/ETS™ donde se extrajeron los 10 árboles con mayor altura de cada sitio de muestreo y se extrapolaron a hectárea.

Área basal total (GT) y volumen total (VT)

Para el área basal se realizó la sumatoria de cada individuo por sitio de muestreo extrapolando a hectárea. El volumen (V) corresponde a la sumatoria del volumen total por sitio.

$$GT = \sum G \cdot 10 \qquad VT = \sum V \cdot 10 \qquad [6]$$

Donde: GT es el área basal total, VT volumen total, G área basal por individuo y V volumen por individuo.

Diámetro medio cuadrático (dg)

El diámetro medio cuadrático (dg) se obtiene a partir del área basal (G) y el número de árboles por hectárea (N).

$$dg = \sqrt{\frac{40000}{\pi} \cdot \frac{G}{N}} \qquad [6]$$

Índice de Hart-Becking (IH)

El índice de Hart-Becking es el cociente entre el espaciamiento promedio de los árboles de un rodal (a) y su altura dominante (H_0).

$$IH = \frac{a}{H_0} 100 \qquad [7]$$

Posteriormente se generó la siguiente ecuación para calcular el índice de espaciamiento para cada sitio, donde K corresponde a la constante $(4/3)^{0.25}$ bajo el supuesto de que en forma natural ocupa un tercio de 6 triángulos equiláteros, N es el número de árboles por hectárea y H_0 a la altura dominante.

$$IH (\%) = K \cdot \frac{100}{\sqrt{N} \cdot H_0} \qquad [8]$$

VII. METODOLOGÍA

7.1. Elaboración de un diagrama de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus* en la región de Guadalupe y Calvo, Chihuahua

7.1.1. Ecuaciones del modelo

El DMD se construyó a partir de dos funciones base. La primera relaciona el diámetro medio cuadrático dg con el número de árboles por hectárea N y la altura dominante H_o del rodal.

$$dg = \beta_0 \cdot N^{\beta_1} \cdot H_o^{\beta_1} \quad [9]$$

La segunda de las funciones estima la productividad del rodal, expresada como el volumen por unidad de superficie, a partir del diámetro medio cuadrático dg , la altura dominante H_o y el número de árboles por hectárea N .

$$V = \beta_3 \cdot dg^{\beta_4} \cdot H_o^{\beta_5} \cdot N^{\beta_6} \quad [10]$$

Para la elaboración del diagrama de densidad de utilizo el paquete Microsoft Excel y para el ajuste de las ecuaciones se utilizó el paquete estadístico SAS/ETS™ que permite la actualización dinámica de los residuos (Vargas-Larreta *et al*, 2010).

7.1.2. Elaboración del diagrama de manejo de densidad

El DMD se elaboró a partir de dos ejes de coordenadas, en el eje de las abscisas se sitúa a la altura dominante H_o y en el eje de las ordenadas el número de árboles por hectárea N , este último en escala logarítmica para facilitar el uso del diagrama.

Despejando la variable N de las ecuaciones [8], [9] y [10]. Se calculan las isolíneas que se superponen en el diagrama.

$$N = \left(K \cdot \frac{100 \cdot 100}{IH \cdot H_o} \right)^2 \quad [11]$$

$$N = \left(\frac{dg}{\beta_0 \cdot H_o^{\beta_2}} \right)^{1/\beta_1} \quad [12]$$

$$N = \left(\frac{V}{\beta_3 \cdot \beta_0^{\beta_4} \cdot H_o^{(\beta_2 \cdot \beta_4 + \beta_6)}} \right)^{1/(\beta_1 \cdot \beta_4 + \beta_0)} \quad [13]$$

Donde: H_o altura dominante (m), N árboles ha⁻¹, dg diámetro medio cuadrático (cm), V volumen (m³ha), e IH Índice de Hart-Becking (%).

La ecuación [11] expresa el nivel de densidad del rodal mediante el índice de Hart-Becking IH . La isolínea se crea dando valores a la altura dominante para cada valor del índice que se va representar. La isolínea que representa el diámetro cuadrático dg , se crea a partir de la ecuación [12] y el volumen se representa empleando la ecuación [13], que se ha obtenido despejando la densidad en la ecuación [9] después de sustituir en ella el valor de dg por el resultado de la ecuación [10].

7.2. Determinación del límite superior de densidad

7.2.1. Descripción de los datos

Para determinar el límite superior de densidad del diagrama de manejo, fueron seleccionados 36 sitios de los 331 utilizados en la elaboración del DMD. Estos sitios cumplen con la característica de tener los valores de máxima densidad (N) para cada diámetro medio cuadrático (dg).

7.2.2. Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR)

La ecuación utilizada por Reineke (1933) para la obtención del índice de densidad de rodales, es la base en este trabajo para definir la línea de referencia, que representa el comportamiento de la máxima densidad del rodal, cuya relación funcional se expresa por la ecuación [14] en su forma linealizada.

$$N = a_1 \cdot dg^{a_2} \quad [14]$$

Dónde: N es el número de árboles por hectárea, dg diámetro medio cuadrático, a_1 (intercepto al origen) y a_2 (pendiente de la curva de referencia) son los parámetros.

7.2.3. Incorporación de la línea de máxima densidad del DMD

Debido a que el DMD se construyó a partir de dos ejes de coordenadas que corresponden con la altura dominante Ho (eje X) y el número de árboles por hectárea N (eje Y), es necesario sustituir en la ecuación [14] el valor del diámetro medio cuadrático por la expresión de la ecuación [9], obteniendo de esta manera la ecuación [15]. Con esta última ecuación se genera la isolínea que representa el grado de densidad máximo (N) que existe en un rodal, a partir de la altura dominante (Ho) del mismo.

$$N = [a_1 \cdot \beta_1^{a_2} \cdot Ho^{\beta_3 \cdot a_2}]^{1/(1-\beta_1 \cdot a_2)} \quad [15]$$

7.3. Uso del diagrama de manejo de densidad en rodales naturales

7.3.1. Estimación del crecimiento y la producción

La utilización del DMD en el sentido de estimar la producción de un rodal en un instante determinado es relativamente sencilla. Para ello es necesario primero conocer el estado del rodal en ese instante, el cual debe estar definido por cualquiera de las variables que se representan en el diagrama: número de árboles por hectárea, altura dominante, diámetro medio cuadrático y volumen, o en su caso la combinación de dos o tres de ellas, exceptuando tal vez el volumen, ya que es la variable que se pretende estimar. Después de tener las variables que definen el estado del rodal, como si fuera un sistema de coordenadas múltiple, éstas se ubican en forma de punto, permitiendo así seguir las isolíneas representadas en el diagrama y leer en los ejes los valores correspondientes al punto.

En la Figura 2, se ejemplifica el procedimiento tomando como referencia uno de los sitios de muestreo utilizados en este trabajo. El sitio corresponde a un rodal cuya altura dominante H_o es de 11.7 metros y diámetro medio cuadrático d_g de 21.85 cm. Se fija esta información en el DMD (punto rojo), a partir del cual se puede leer directamente las estimaciones de número de árboles por hectárea (N), volumen (V) e índice de Hart Becking (IH).

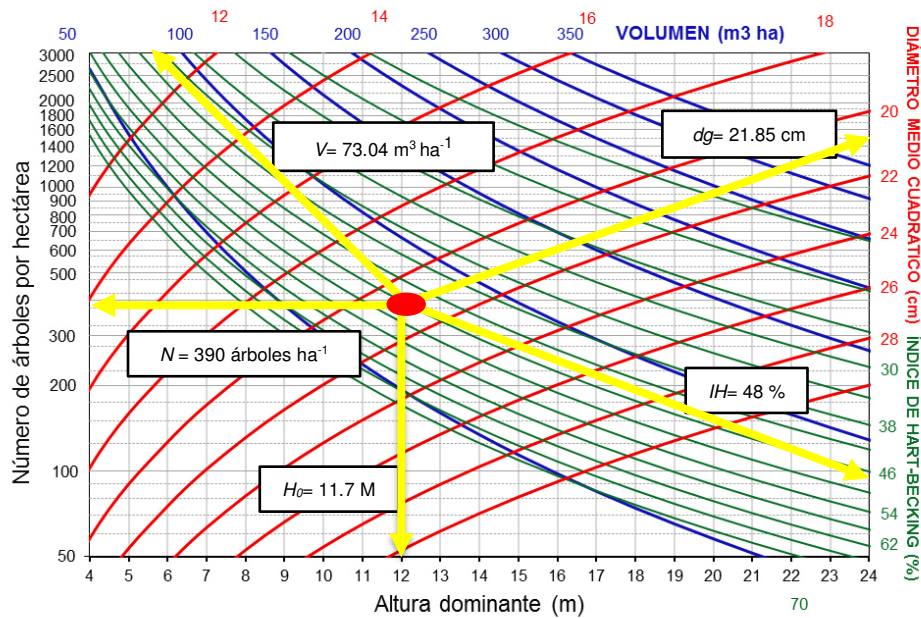


Figura 2. Ejemplo de estimación del crecimiento y la producción

Tabla 4. Sitio de referencia para ejemplificación

Sitio referencia	N (árboles ha^{-1})	DN (cm)	H (m)	G (m^2 ha^{-1})	V (m^3 ha^{-1})	Dg (cm)	Ho (m)	IH (%)
4	390	20.6	8.87	14.62	73.04	21.85	11.7	48

7.3.2. Planteamiento del esquema de cortas

Diéguez-Aranda *et al.* (2009), mencionan que existen dos factores importantes a considerar en la determinación de un esquema de cortas:

1. El estado al que se quiere llevar al rodal a la edad de corta
2. La definición de los límites superior e inferior de la densidad del rodal.

El estado al que se quiere llevar al final del turno puede ser establecido en términos de dos de las variables que figuran en el diagrama: número de árboles por hectárea, altura dominante, índice de espacio de crecimiento relativo (*IH*), diámetro medio cuadrático y volumen, y por supuesto orientado al producto final propuesto en los objetivos de manejo.

La definición del límite superior del DMD, se fundamenta en evitar que los bosques naturales crucen la línea del autoaclareo, lo que, de suceder, representaría pérdidas por mortalidad natural. Por su parte el límite inferior estará determinado en función de los objetivos del manejo de las especies presentes en el rodal tratando de mantener siempre ocupado el espacio de crecimiento, considerando un nivel por arriba del cierre de copas.

Para el planteamiento del esquema de cortas se fijó el límite superior de dos maneras: en la primera se utilizó la curva de máxima densidad, ajustada mediante el índice de Reineke y en la segunda fijando un valor constante del índice de Hart-Becking propuesto en el DMD (Figura 9), en función de las variables de estado del rodal.

La frecuencia de las cortas se definió en base a la altura dominante, estimada en función del índice de sitio y la edad base, calculado para la especie (*Pinus arizonica*, *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus herrerae* y *Pinus lumholtzii*), generando diagramas para manejo de la densidad con distintos índices de sitio con distintas intensidades de corta. Sin embargo, para definir la frecuencia de las cortas también se puede utilizar sólo el crecimiento de la altura, en función de los productos que se pretenda obtener.

7.3.3. Elaboración de una tabla numérica para el esquema de cortas

Después de realizar el planteamiento del esquema de cortas, utilizando el índice de sitio del rodal, se generó un cuadro numérico, tipo tabla de producción, donde se especifican los valores de las variables dasométrica antes y después de la corta, así como la masa extraída.

El cálculo de las principales variables dasométricas se realizó utilizando las ecuaciones parametrizadas anteriormente mencionadas (Tabla 5).

Tabla 5. Forma de estimación de las variables dasométricas del rodal antes y después de la corta.

VARIABLE DASOMÉTRICA	FORMA DE ESTIMACIÓN
H_o	$Y_0 = Y_0 \left[\frac{1 - e^{-0.021299t}}{1 - e^{-0.021299t_0}} \right]^{-2.83226 + 14.83069/X_0}$
N (antes)	$N = [563.70 \cdot H_o^{-.6720}]^{1.5315}$
Dg (antes y después)	$dg = 25.7064 \cdot N^{-0.1827} \cdot H_o^{0.3537}$
V (antes y después)	$V = 0.000020 \cdot dg^{2.6103} \cdot H_o^{0.4067} \cdot N^{1.0371}$
G (antes y después)	$G = \frac{\pi}{4} (dg/100)^2 * N$
IH (antes y después)	$IH(\%) = \left[(4/3)^{0.25} \cdot \frac{100}{\sqrt{N} \cdot H_o} \right] 100$

Para el cálculo de la altura dominante se utilizó la ecuación en forma GADA, partiendo del modelo base de Bertalanffy-Richards, donde Y_0 es la altura dominante (m) a la edad t_0 (años) e Y la altura estimada (m) a la edad t (años).

En el cálculo de la masa extraída, el número de árboles por hectárea N_e , área basal G_e y volumen V_e corresponden a la resta entre antes y después de la corta para cada una de las respectivas variables.

El diámetro medio cuadrático extraído dge , es obtenido directamente a través de su ecuación, utilizando los valores N_e y G_e .

El volumen acumulado V_{acum} , corresponde a la suma continua del volumen extraído V_e ; el volumen total V_{tot} a la suma del volumen después de la corta y el volumen acumulado V_{acum} .

El crecimiento medio CM es el cociente del volumen total V_{tot} y la edad al momento del cálculo, por su parte el crecimiento corriente CC representa el incremento en volumen correspondiente a cada ciclo de corta.

7.3.4. Estimación del espaciamiento relativo

Se utilizó la ecuación [8] para conocer el índice de Hart-Becking, ésta se infirió con los valores de la curva de máxima densidad ajustada mediante la ecuación del Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR), lo que sugiere un rango del índice de espaciamiento relativo, tal como se observa en la Figura 9; permitiendo calcular el espaciamiento (a) en metros y el número de árboles por hectárea (N), que un rodal de determinada altura dominante (H_o) debiese tener en un estado de máxima densidad.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Parámetros y ecuaciones de ajuste de modelo

El diagrama de manejo de densidad se construyó a partir de dos funciones, como ya se ha mencionado antes; una que predice el diámetro medio cuadrático dg y otra que estima el volumen V por unidad de superficie. El método de ajuste de las ecuaciones fue simultáneo por mínimos cuadrados en dos etapas.

En la Tabla 6 se muestran las estimaciones de los parámetros y los errores estándar aproximados para cada uno de ellos. Todos los parámetros resultaron ser altamente significativos, por lo que no se puede prescindir de ninguno.

Tabla 6. Parámetros de ajuste del modelo

Parámetros	Estimación	Std. Error	t value	P-level
b0	25.7064	5.3123	0.84	0.00
b1	-0.1827	0.0261	-6.60	0.00
b2	0.3537	0.0486	7.27	0.00
b3	0.00002	0.0000	0.00	0.00
b4	2.6103	0.0570	0.00	0.00
b5	0.4067	0.0485	0.00	0.00
b6	1.0371	0.0315	0.00	0.00

La Tabla 7 permite conocer los valores máximos, mínimos y medios de las variables de ajuste dg , H_0 , N y V además de comparar dg y H_0 con las variables promedio DN y H de la muestra. También incluye los valores respectivos al índice de Hart Becking (IH), calculados para cada uno de los sitios de muestreo.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas

Variable	Media	Máximo	Mínimo	Desv. estándar
N (árbol ha)	360.00	1100	120	156.68
Dg (cm)	21.98	38.21	11.62	4.95
Ho (m)	14.00	27.60	6.55	3.13
G (m^2 ha)	14.39	40.40	2.59	7.05

V ($m^3 ha$)	78.93	421.73	5.53	62.48
DN (cm)	20.00	34.44	10.91	4.67
H (m)	9.58	16.96	3.14	2.50
IH (%)	40.97	104.87	18.22	13.72

El sistema de funciones [9] y [10], se expresa parametrizado en las ecuaciones [16] y [17], acompañado por sus respectivos estadísticos de bondad de ajuste.

$$dg = 25.7064 \cdot N^{-0.1827} \cdot H_o^{0.3537} \quad [16]$$

$$R^2 = 0.49 \quad REMC = 4.38 \text{ cm}$$

$$V = 0.000020 \cdot dg^{2.6103} \cdot H_o^{0.4067} \cdot N^{1.0371} \quad [17]$$

$$R^2 = 0.95 \quad REMC = 18.70 \text{ m}^3 \text{ ha}$$

En el ajuste de los modelos se utilizaron dos criterios estadísticos: el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error medio cuadrático ($REMC$). R^2 permite establecer el grado en que la variable dependiente se explica por las variables independientes, al momento de predecirla en resultados futuros. En base a lo anterior la ecuación de volumen presentó un mejor ajuste a los datos que la del diámetro medio cuadrático, cuyos valores de R^2 fueron 0.49 y 0.95, respectivamente. Por su parte el $REMC$ se expresa en las mismas unidades que la variable dependiente, y es un estimador de la desviación típica del error del modelo.

En la Figura 3 se representan los pares de datos dg estimado - dg observado, sobrepuesta se encuentra la línea azul correspondiente a la regresión lineal de los predichos en función de los observados, asistida con la recta roja de la tendencia central. En base al comportamiento de la recta discontinua de la Figura 3, se observa cómo el modelo de la ecuación [16] tiende a subestimar en dg inferiores a 22 cm y a sobreestimar cuando son superiores a 25 cm, haciendo referencia óptima al valor medio de dg 23.

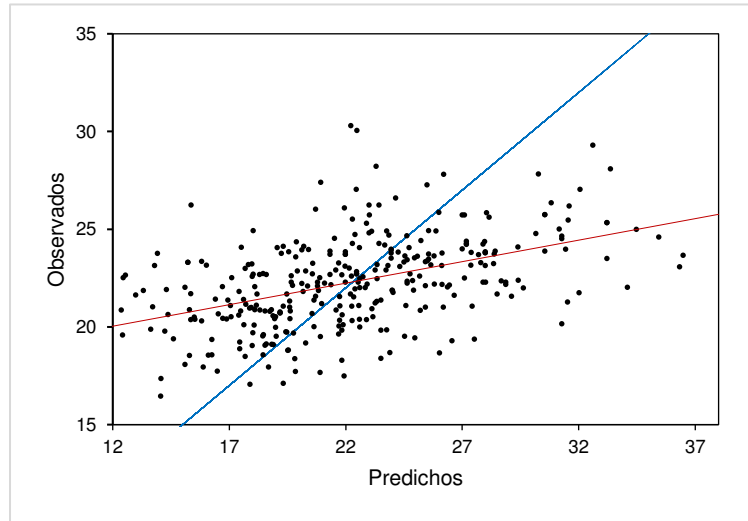


Figura 3. Gráfico de valores observados y predichos de la variable diámetro medio cuadrático dg en centímetros, donde la línea azul corresponde al modelo y la roja a la línea de tendencia.

La Figura 4, está representada de igual forma que la Figura 3, pero con los datos correspondientes a la ecuación [17], en la gráfica se observa como ambas rectas siguen un comportamiento similar, tal como sugiere el coeficiente de determinación R^2 .

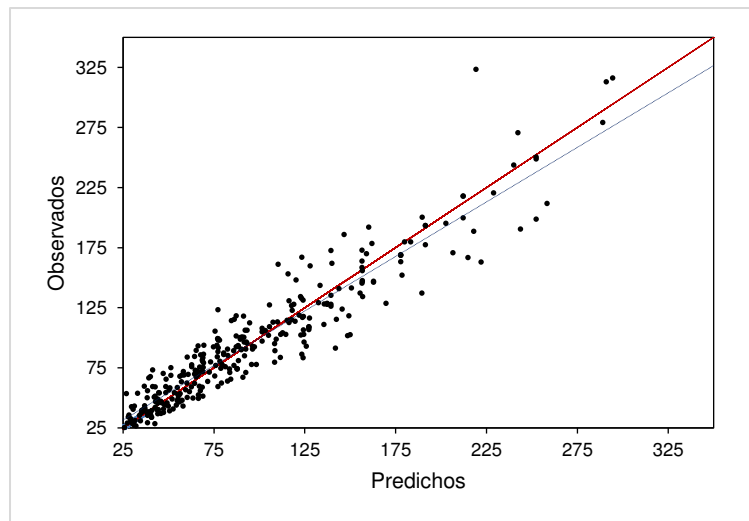


Figura 4. Gráfico de valores observados y predichos de la variable volumen V en m^3/ha , donde la línea discontinua corresponde al modelo y la continua a la línea de tendencia.

8.2. Diagrama de manejo de la densidad

La Figura 5 corresponde a la representación gráfica bidimensional del DMD obtenido. En el eje de las abscisas se representa la altura dominante H_0 y en el eje de las ordenadas la densidad del rodal expresada como número de árboles por hectárea en escala logarítmica. Sobre esta base se han añadido las tres categorías de isolíneas: del índice de espaciamiento relativo IH , del diámetro medio cuadrático dg y del volumen del rodal V , generadas a partir de las ecuaciones [11], [12] y [13].

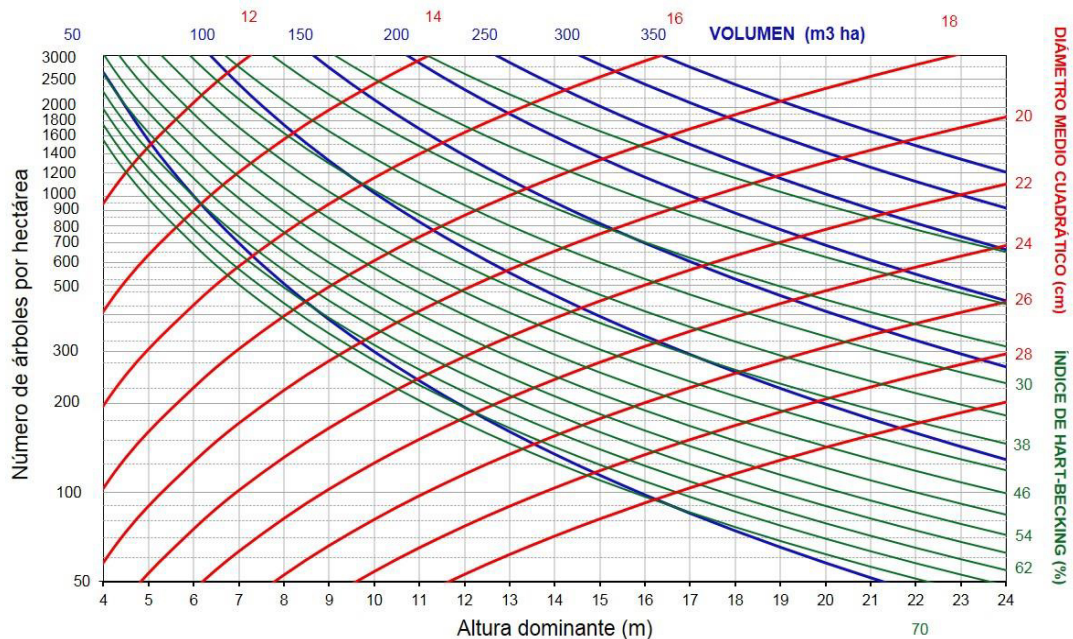


Figura 5. Diagrama de manejo de densidad (DMD) para la región de Guadalupe y Calvo.

8.3. Descripción de las variables dasométricas de los sitios de máxima densidad

La Tabla 8 muestra los valores máximos, mínimos y medios de las variables dasométricas de los 36 sitios utilizados en el ajuste de la ecuación del IDRR. Dentro de los valores a destacar se encuentran los promedios del número de árboles por hectárea (435), diámetro medio cuadrático (28 cm), altura dominante (17 metros) e índice de Hart Becking (32%). Los valores máximos y mínimos de

dg y del Ho indican los límites dentro de los cuales se puede utilizar el modelo de Reineke estimado.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de los sitios de máxima densidad.

Variable	Media	Máximo	Mínimo	Desv. estándar
N (árbol ha)	435.00	1100	320	183.14
Dg (cm)	27.94	36.47	18.87	4.32
Ho (m)	16.85	23.6	10.6	3.37
G (m^2ha)	27.11	40.40	22.76	5.36
V (m^3ha)	189.32	421.73	110.04	71.48
DN (cm)	27.0	34.4	17.5	4.12
H (m)	13.4	16.96	7.85	2.51
IH (%)	32.4	51	18	8.72

8.4. Ajuste del modelo de Reineke (1933)

El modelo de Reineke ajustado con los datos de máxima densidad (N) para un determinado diámetro medio cuadrático, generó la ecuación [18] lo que permitió obtener la línea de referencia promedio, que determina el límite superior de densidad.

$$N = 264523 \cdot dg^{-1.91} \quad [18]$$

$$N = 264523 \cdot 25^{-1.91}$$

$$R^2 = .89$$

$$REMC = 83 \text{ árboles}$$

$$N = 563 \text{ árboles}$$

Utilizando como criterios estadísticos de ajuste del modelo: el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error medio cuadrático (REMC), se considera que este ajusta apropiadamente. El R^2 indica que el 89% de la variación en el número de árboles es atribuible al diámetro medio cuadrático promedio. Por otra parte, el valor de REMC de 83 árboles por hectárea, considerándolo como medida de precisión, el cual es un estimador de la desviación típica del error del modelo, se puede considerar aceptable.

Para el diámetro cuadrático promedio de referencia de 25 cm, el índice de densidad de rodales de Reineke fue:

$$N = 264523 \cdot 25^{-1.91}$$

$$N = 563 \text{ árboles}$$

En la Figura 6 se muestra un diagrama de manejo de densidad estimado con el modelo de Reineke. Para la integración de las guías de densidad se requiere en primera instancia definir la línea de auto-aclareo estimada. Así pues, con el valor máximo se generan las zonas o franjas de densidad las cuales representan las diferentes zonas de crecimiento en las que se evalúa el grado de competencia presente en el rodal. La ecuación ajustada del IDRR, se presenta gráficamente en la Figura 7, donde se muestra la curva de máxima densidad, obtenida por la ecuación [7]. Esta describe la relación teórica de la trayectoria que debiera de seguir como máximo el número de árboles por hectárea, en comparación con los demás sitios, para cada *dg* correspondiente.

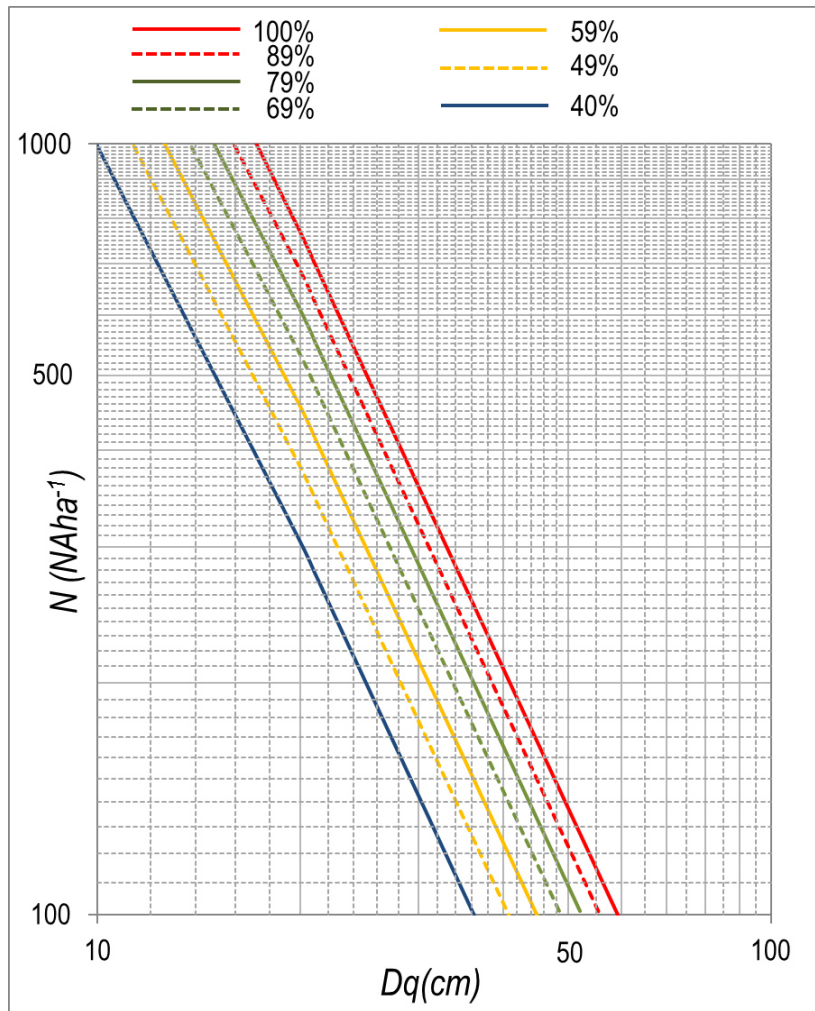


Figura 6. Diagrama de Manejo de la Densidad (DMD) estimado con el IDR para el modelo de Reineke

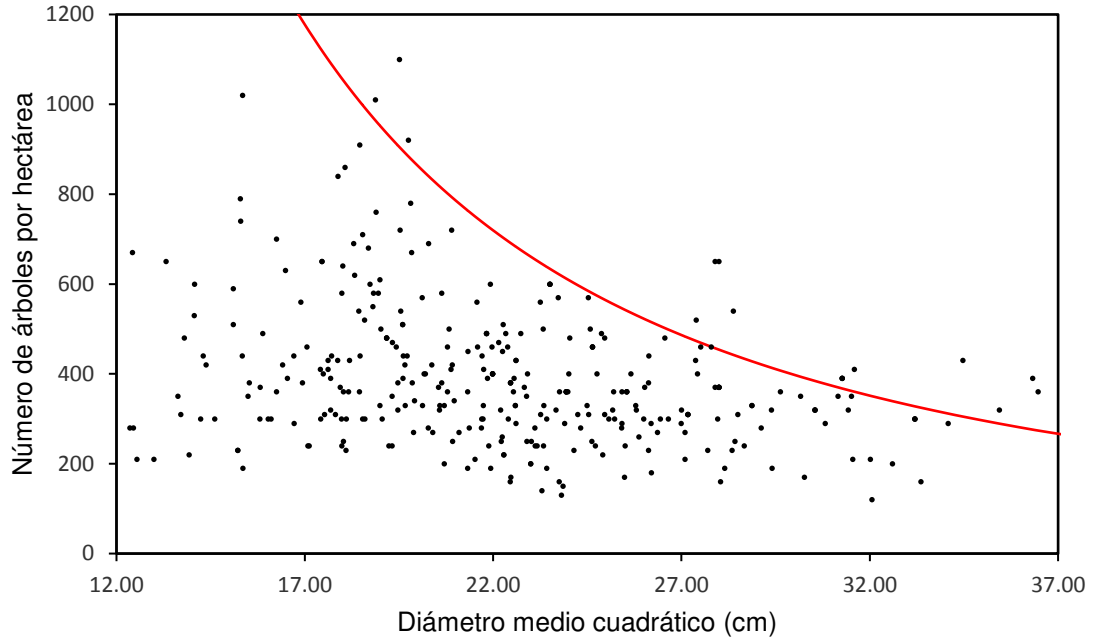


Figura 7. Ajuste del modelo de Reineke (1993). Línea de color rojo: densidad máxima (ecuación).

8.5. Límite superior de densidad en el DMD

La ecuación [15] se expresa parametrizada en la ecuación [19], la cual permite estimar el número máximo de árboles por hectárea que un rodal natural bajo aprovechamiento forestal pudiera llegar a tener, para una determinada altura dominante.

$$N = [563.70 \cdot H_o^{-.6720}]^{1.5315} \quad [19]$$

La Tabla 9 muestra los valores estimados de máxima densidad (N) de un rodal, a partir de la ecuación [19] al asignarle una altura dominante. Presenta también el índice de Hart Becking (IH) que toma el rodal según disminuye la densidad y aumenta la altura. Se calcula además el espaciamiento promedio del rodal (a), el cual aumenta a medida que disminuye la densidad.

Tabla 9. Máxima densidad del rodal

Ho (m)	N (árboles ha)	IH (%)	a (m)
8	1871	31.79	2.54
10	1487	28.52	2.85
12	1233	26.11	3.13
14	1052	24.23	3.39
16	917	22.70	3.63
18	812	21.44	3.86
20	729	20.37	4.07
22	661	19.45	4.28
24	604	18.65	4.48

La información de la tabla anterior, se representa gráficamente en la figura 7 mediante la isolínea de máxima densidad de color verde. A diferencia de la tabla, el DMD permite observar las intersecciones del límite de máxima densidad con el diámetro medio cuadrático y el volumen del rodal.

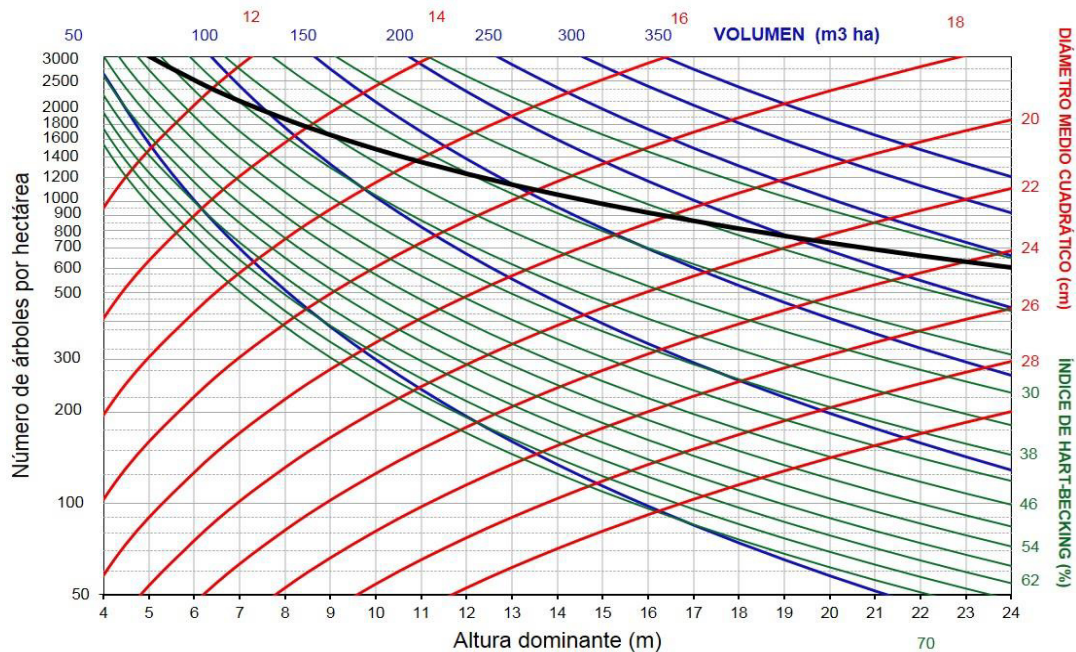


Figura 8. Diagrama de manejo de densidad con límite máximo de densidad incorporado.

8.6. Frecuencia de cortas

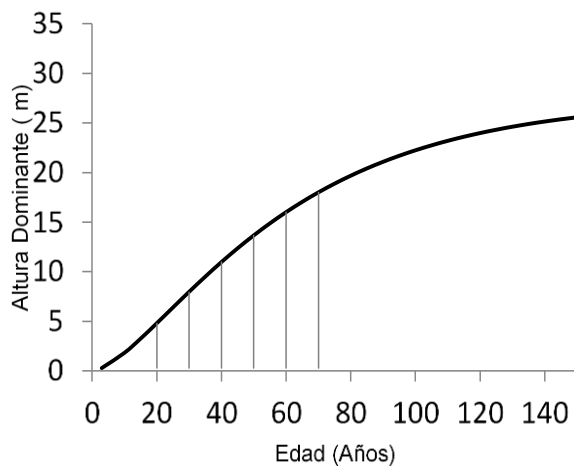
El ejido definió un turno técnico en 70 años y un ciclo de corta de 10 años, se generaron una serie de diagramas en base a la ecuación forma GADA [20],

partiendo del modelo base de Bertalanffy-Richards, donde Y_0 es la altura dominante (m) a la edad t_0 (años) e Y la altura estimada (m) a la edad t (años).

$$Y_0 = Y_0 \left[\frac{1 - e^{-0.021299t}}{1 - e^{-0.021299t_0}} \right]^{-2.83226 + 14.83069/X_0} \quad [20]$$

$$Y_0 = 16 \left[\frac{1 - e^{-0.021299(70)}}{1 - e^{-0.021299(60)}} \right]^{-2.83226 + 14.83069/3.3106} = 18.00 \text{ m}$$

Parámetros utilizados para *Pinus arizonica*



Edad (años)	Ho (m)
20	4.8
30	8.0
40	11.0
50	13.7
60	16.0
70	18.0

Figura 9. Estimación de la altura dominante y la edad, a partir del IS

En la tabla 10 se muestra los parámetros utilizados para la estimación de la altura dominante por especie y *Pinus* en conjunto para la elaboración del diagrama de manejo de densidad.

Tabla 10. Parámetros utilizados para la estimación de altura dominante

Especie	Parámetro	Valor Estimado	Error Std. Aprox.	Valor-t	Valor-p Aprox.	REMC	R^2_{adj}
<i>P. arizonica</i>	b_1	0.021299	0.000880	24.20	<.0001	0.435	0.993
	b_2	-2.83226	0.2940	-9.63	<.0001		
	b_3	14.83069	0.9775	15.17	<.0001		
<i>P. durangensis</i>	b_1	0.020766	0.00141	14.76	<.0001	0.597	0.988
	b_2	-4.40159	0.8124	-5.42	<.0001		
	b_3	19.53109	2.6069	7.49	<.0001		
<i>P. herrerae</i>	b_1	0.021213	0.00145	14.59	<.0001	0.567	0.989

	b_2	-1.93269	0.6093	-3.17	0.0017		
	b_3	11.00375	1.9297	5.70	<.0001		
<i>P. engelmannii</i>	b_1	0.020547	0.000988	20.79	<.0001		
	b_2	-1.86551	0.2737	-6.82	<.0001	0.415	0.992
	b_3	10.38173	0.8854	11.73	<.0001		
<i>P. lumholtzii</i>	b_1	0.016973	0.000714	23.79	<.0001		
	b_2	-2.27707	0.3287	-6.93	<.0001	0.285	0.994
	b_3	11.82619	1.0185	11.61	<.0001		
<i>Pinus</i>	b_1	0.019783	0.000495	40.00	<.0001		
	b_2	-2.27431	0.1632	-13.94	<.0001	0.494	0.990
	b_3	12.19607	0.5274	23.13	<.0001		

8.7. Esquema de cortas en base al límite superior de densidad de Reineke

La determinación de las cortas lleva una secuencia similar a una escalera ascendente hacia atrás, que la Figura 10 muestra con una línea de color verde. Los segmentos verticales, referenciados con las letras: “ab”, “cd” y “ef”, representan la realización de las cortas, mientras que los segmentos horizontales: “bc”, “de” y “fg”, denotan el intervalo entre las cortas, considerando que después de la corta no existe mortalidad, ya que se encuentran por debajo de la línea de máxima densidad, por consiguiente, se mantiene constante el número de árboles por hectárea.

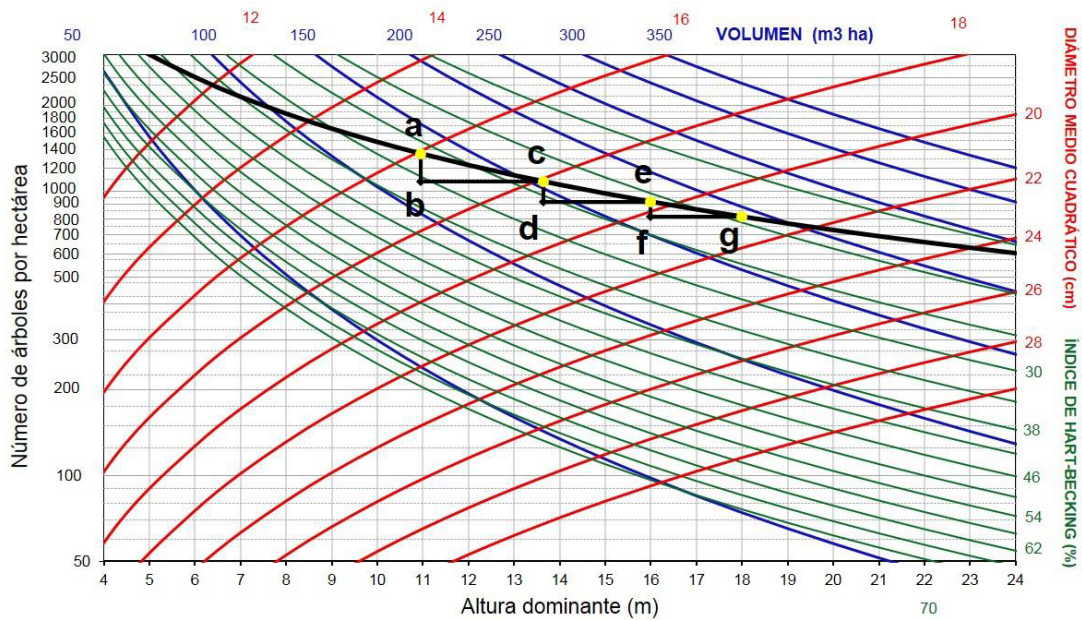


Figura 10. Esquema de cortas con referencia al límite de máxima densidad

En la Figura 10 se muestra un esquema de cortas realizado a la altura dominante a la edad de 40 años (punto “a”), seguido se encuentra el punto “b” el cual se obtuvo al sustituir en la ecuación [19], en la que se aplicará una corta en un cierto número de árboles. En la letra “c” se observa un incremento en altura, lo cual se debe a que ya pasaron 10 años que se manifiestan en un incremento en H_o , d_g y V , respectivamente; en IH se ve una disminución debido a que existen menos cantidad de árboles y el espaciamiento es mayor.

8.8. Tabla numérica específica para el esquema de cortas

La Tabla 11 comprende los valores de las variables dasométricas del rodal en base al esquema de cortas del a Figura 10. En el cual se especifican los valores correspondientes antes y después de la corta calculados como indica la Tabla 5 forma de estimación de las variables dasométricas del rodal antes y después de la corta. Se presenta la tabla correspondiente a la masa extraída según el esquema planteado.

Tabla 11. Principales variables del rodal antes y después de las cortas

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	11.0	1553	1080	16.1	16.7	131.5	115.9	27.4	23.8	27.3	30.5
Corta (c-d)	50	13.7	1080	917	18.1	18.6	155.2	141.6	27.7	25.0	24.5	26.6
Corta (c-d)	60	16.0	917	813	19.7	20.2	174.9	163.5	28.0	25.9	22.7	24.1
Corta final	70	18.0	813	0	21.0	0.0	191.0	0	28.2	0	21.4	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 12. Tabla de masa extraída

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	11.0	274	21.5	10.0	15.6	15.6	131.5	3.3	
Corta (c-d)	50	13.7	109	27.5	6.5	12.5	28.1	167.7	3.4	3.9
Corta (c-d)	60	16.0	104	29.3	7.1	11.4	39.5	186.4	3.2	3.3
Corta final	70	18.0	813	21.0	28.2	191.0	230.6	230.7	3.3	2.8

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

8.9. Diagramas de manejo de densidad para diferentes índices de sitio

8.9.1. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de *Pinus arizonica* con diferentes índices de sitio

Se generaron diagramas de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a índices de sitio de 11, 16 y 21 metros H_0 ; por consiguiente, se generó una tabla específica para el esquema de cortas para cada uno de ellos y una tabla de masa extraída por cada diagrama.

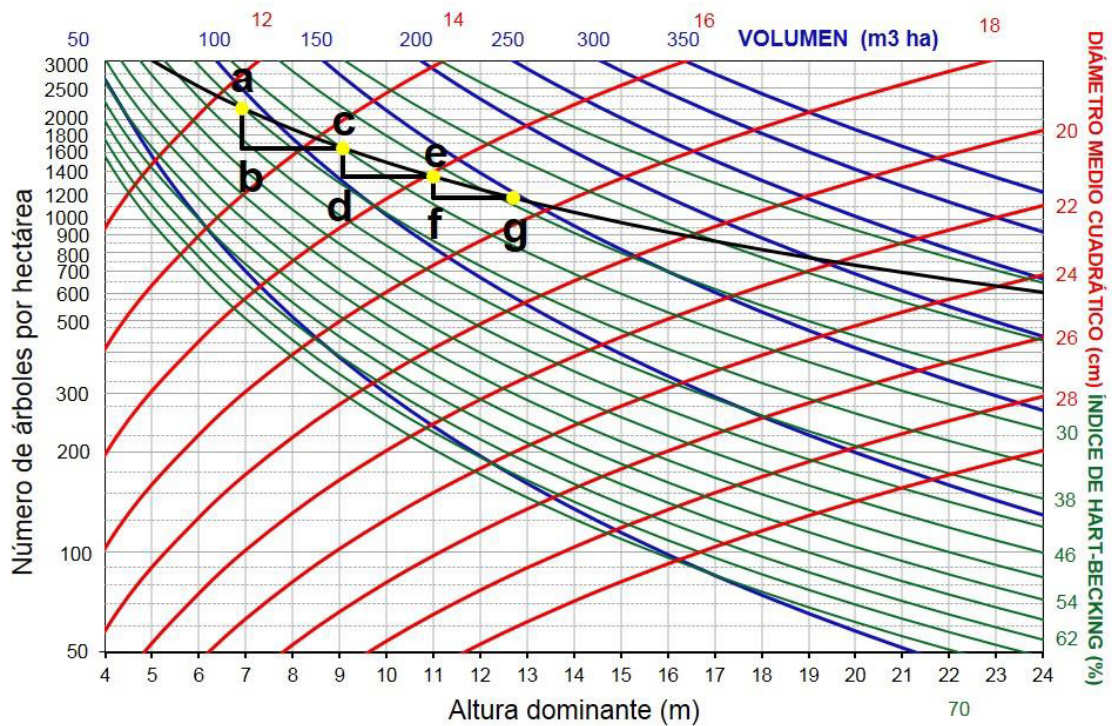


Figura 11. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 11 metros

Tabla 13. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus arizonica* con un índice de sitio de 11 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	6.9	2172	1646	12.5	13.2	93.0	79.6	26.7	22.4	34.1	39.2
Corta (c-d)	50	9.1	1646	1348	14.5	15.0	113.9	101.9	27.1	23.9	29.9	33.1
Corta (c-d)	60	11.0	1348	1162	16.1	16.5	131.9	121.3	27.4	25.0	27.2	29.3
Corta final	70	12.7	1162	0	17.4	0.0	147.0	0	27.6	0	25.4	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 14. Tabla de masa extraída para *Pinus Arizonica*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	6.9	526	16.2	10.8	13.4	13.4	93.0	2.33	
Corta (c-d)	50	9.1	298	19.8	9.1	12.1	25.4	126.01	2.52	3.43
Corta (c-d)	60	11.0	186	23.1	7.8	10.5	36.0	142.41	2.37	3.00
Corta final	70	12.7	1162	17.4	27.6	147.0	183.0	183.0	2.61	2.57

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

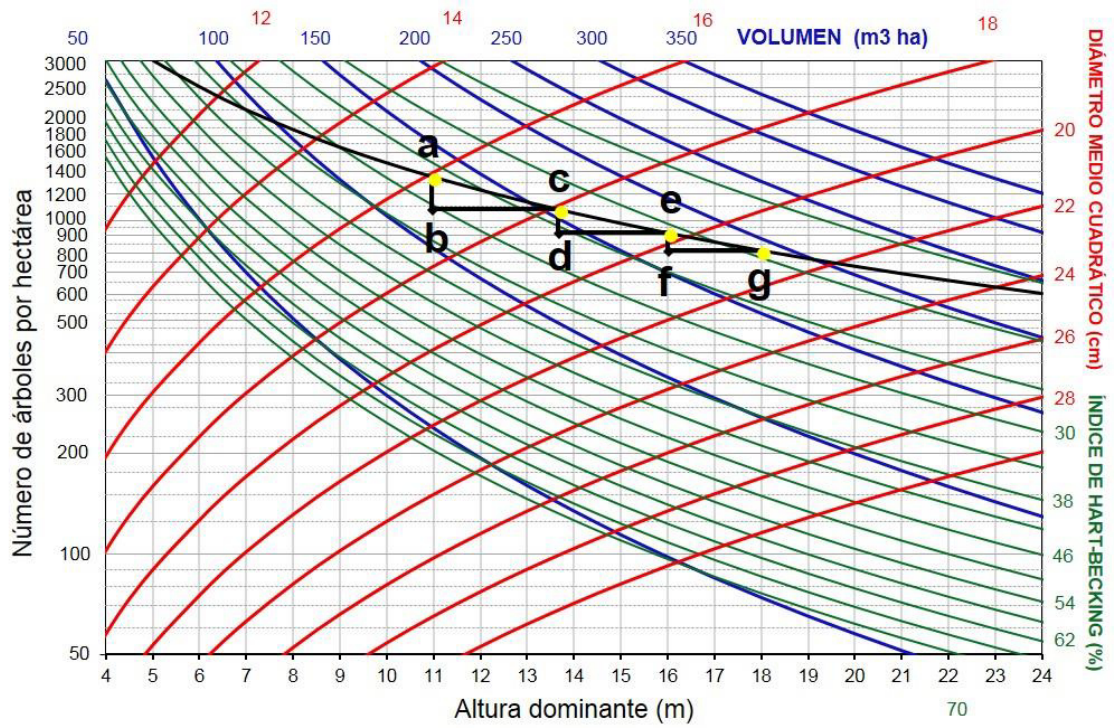


Figura 12. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 16 metros

Tabla 15. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus arizonica* con un índice de sitio de 16 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	11.0	1353	1080	16.1	16.7	131.5	115.9	27.4	23.8	27.3	30.5
Corta (c-d)	50	13.7	1080	917	18.1	18.6	155.2	141.6	27.7	25.0	24.5	26.6
Corta (c-d)	60	16.0	917	813	19.7	20.2	174.9	163.5	28.0	25.9	22.7	24.1
Corta final	70	18.0	813	0	21.0	0.0	191.0	0	28.2	0	21.4	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 16. Tabla de masa extraída para *Pinus Arizonica*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	11.0	274	21.5	10.0	15.6	15.6	131.5	3.3	
Corta (c-d)	50	13.7	109	27.5	6.5	12.5	28.1	167.7	3.4	3.9
Corta (c-d)	60	16.0	104	29.3	7.1	11.4	39.5	186.4	3.2	3.3
Corta final	70	18.0	813	21.0	28.2	191.0	230.6	230.7	3.3	2.8

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

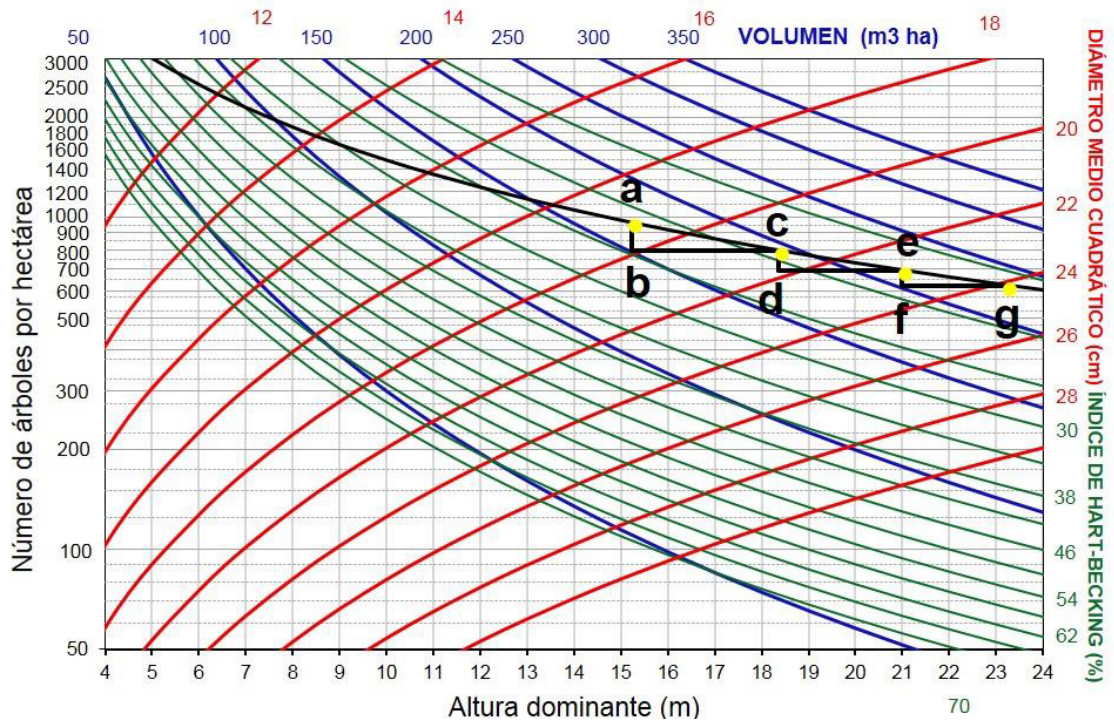


Figura 13. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus arizonica* en base a un índice de sitio de 21 metros

Tabla 17. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus arizonica* con un índice de sitio de 21 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	15.2	965	796	19.2	19.9	168.4	151.2	27.9	24.7	23.3	25.6
Corta (c-d)	50	18.4	796	693	21.2	21.8	193.9	179.4	28.2	25.8	21.2	22.8
Corta (c-d)	60	21.0	693	625	22.8	23.3	214.6	202.6	28.4	26.6	19.9	20.9
Corta final	70	23.2	625	0	24.1	0.0	231.4	0	28.6	0	19.0	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 18. Tabla de masa extraída para *Pinus Arizonica*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	15.2	169	26.4	9.2	17.2	17.2	168.4	4.21	
Corta (c-d)	50	18.4	103	30.8	7.7	14.5	31.7	208.41	4.17	4.27
Corta (c-d)	60	21.0	68	34.9	6.5	12.0	43.8	226.67	3.78	3.52
Corta final	70	23.2	625	24.1	28.6	231.4	275.2	275.2	3.93	2.88

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

8.9.2. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de *Pinus durangensis* con diferentes índices de sitio

Se generaron diagramas de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a índices de sitio de 13, 18 y 23 metros Ho; por consiguiente, se generó una tabla específica para el esquema de cortas para cada uno de ellos y una tabla de masa extraída por cada diagrama.

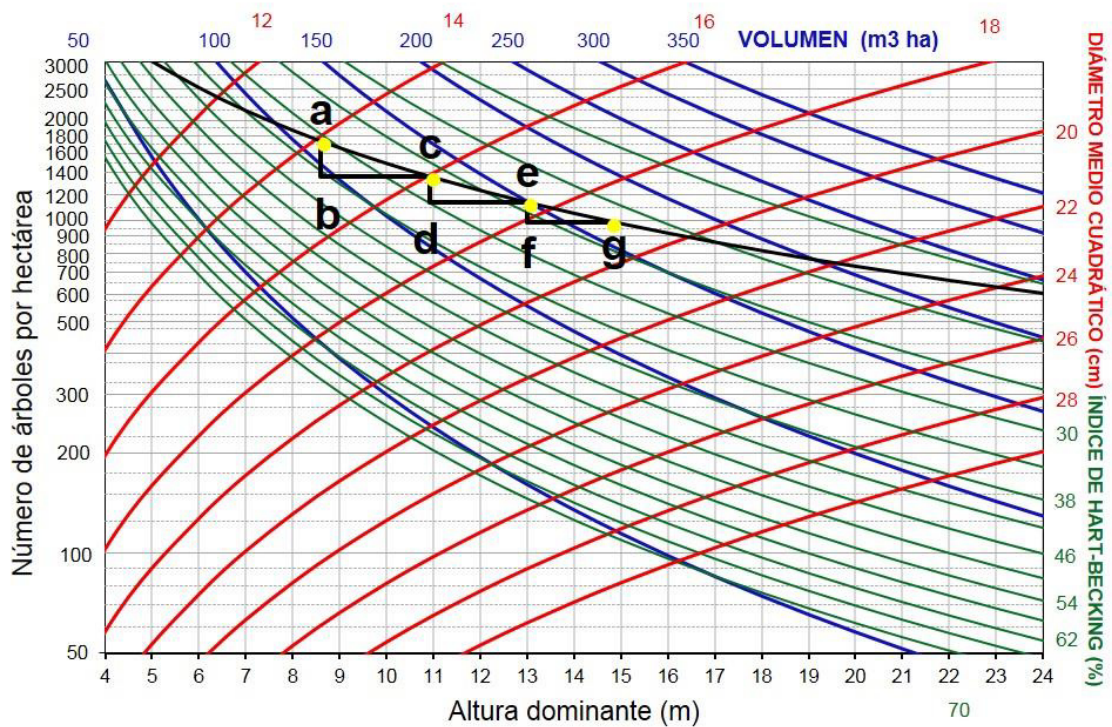


Figura 14. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 13 metros

Tabla 19. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus durangensis* con un índice de sitio de 13 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	8.6	1736	1357	14.1	14.7	109.6	95.5	27.1	23.1	30.7	34.7
Corta (c-d)	50	10.9	1357	1135	16.0	16.6	131.3	118.8	27.4	24.5	27.3	29.9
Corta (c-d)	60	13.0	1135	994	17.6	18.0	149.6	138.8	27.7	25.4	25.1	26.8
Corta final	70	14.8	994	0	18.9	0.0	164.8	0	27.9	0	23.6	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 20. Tabla de masa extraída para *Pinus durangensis*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	8.6	379	18.6	10.2	14.1	14.1	109.6	2.74	
Corta (c-d)	50	10.9	221	22.3	8.6	12.5	26.6	143.75	2.88	3.58
Corta (c-d)	60	13.0	141	25.8	7.3	10.7	37.3	160.30	2.67	3.08
Corta final	70	14.8	994	18.9	27.8	164.8	202.2	202.2	2.89	2.60

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

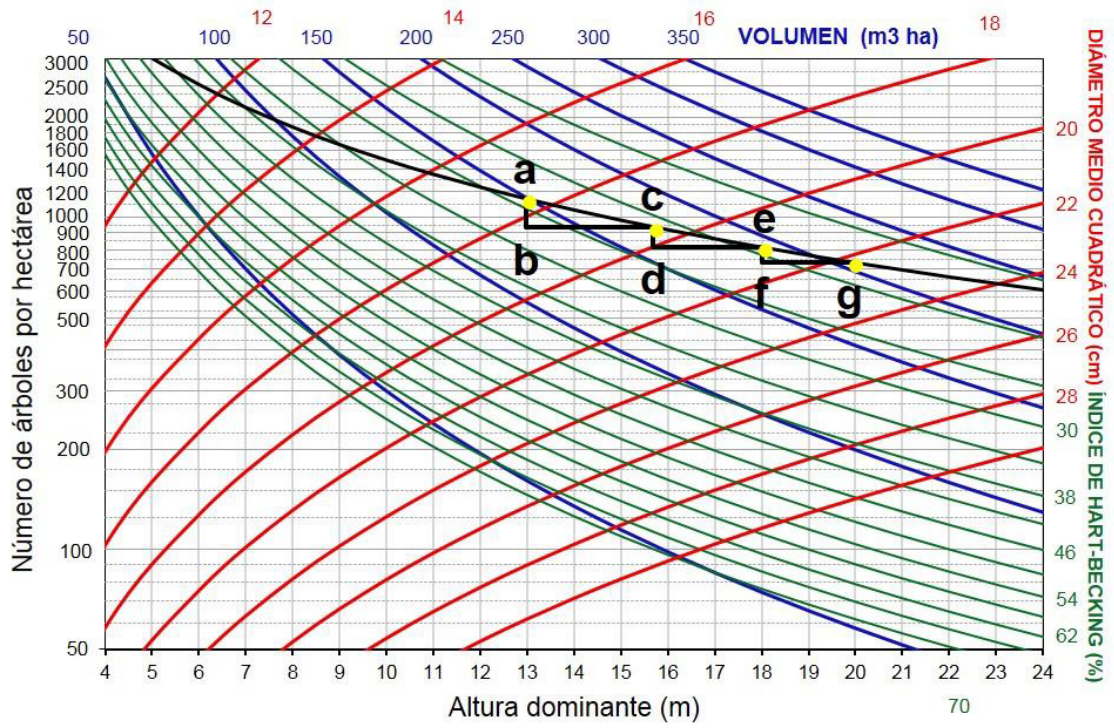


Figura 15. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 18 metros

Tabla 21. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus durangensis* con un índice de sitio de 18 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	13.0	1137	935	17.6	18.2	149.4	134.0	27.7	24.4	25.1	27.7
Corta (c-d)	50	15.7	935	812	19.5	20.0	172.4	159.3	28.0	25.6	22.9	24.6
Corta (c-d)	60	18.0	812	731	21.0	21.4	191.1	180.2	28.2	26.3	21.4	22.6
Corta final	70	19.9	731	0	22.2	0.0	206.4	0	28.3	0	20.4	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 22. Tabla de masa extraída para *Pinus durangensis*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	13.0	201	24.1	9.2	15.5	15.5	149.4	3.74	
Corta (c-d)	50	15.7	123	28.3	7.7	13.1	28.6	185.46	3.71	3.84
Corta (c-d)	60	18.0	81	32.0	6.5	10.9	39.5	202.05	3.37	3.19
Corta final	70	19.9	731	22.2	28.3	206.4	245.9	245.9	3.51	2.63

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

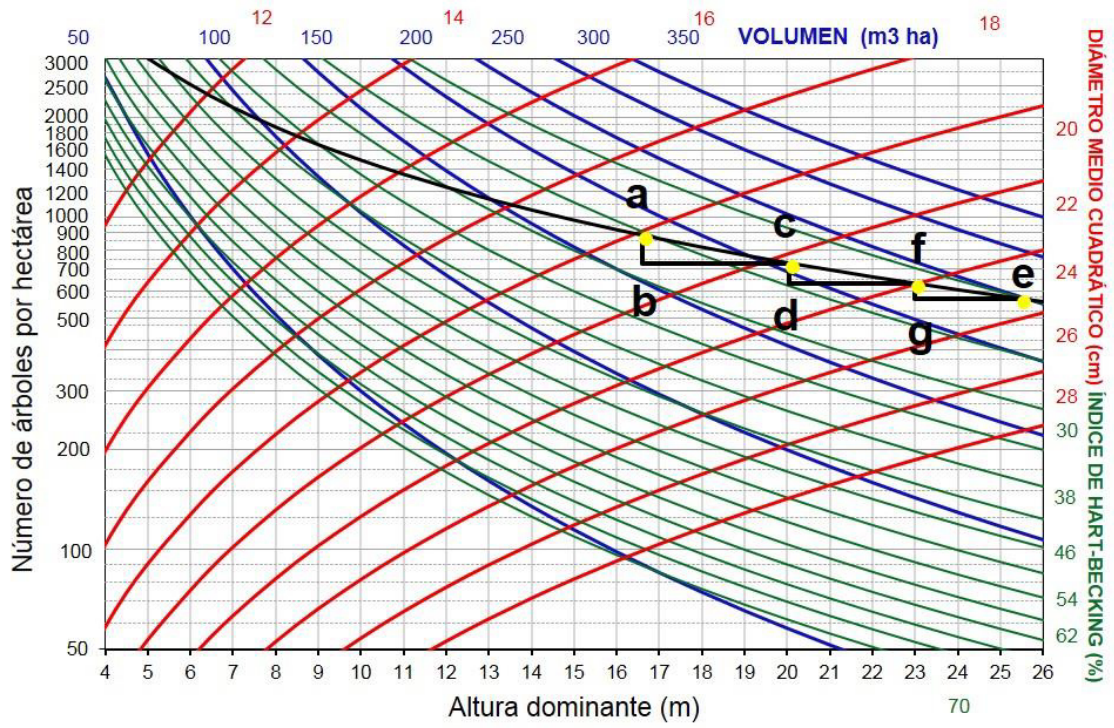


Figura 16. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a un índice de sitio de 23 metros

Tabla 23. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus durangensis* con un índice de sitio de 23 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	16.6	883	727	20.1	20.8	179.7	161.1	28.0	24.8	22.3	24.6
Corta (c-d)	50	20.1	727	631	22.3	22.9	207.3	191.5	28.3	25.9	20.3	21.8
Corta (c-d)	60	23.0	631	568	24.0	24.5	229.9	216.7	28.5	26.7	19.0	20.1
Corta final	70	25.5	568	0	25.4	0.0	248.3	0	28.7	0	18.1	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 24. Tabla de masa extraída para *Pinus durangensis*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	16.6	157	27.6	9.3	18.6	18.6	179.7	4.49	
Corta (c-d)	50	20.1	96	32.3	7.8	15.8	34.4	223.06	4.46	4.62
Corta (c-d)	60	23.0	63	36.5	6.6	13.2	47.5	243.02	4.05	3.83
Corta final	70	25.5	568	25.4	28.6	248.3	295.8	295.8	4.23	3.16

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

8.9.3. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de *Pinus engelmannii*

Se generaron diagramas de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a índices de sitio de 12, 16 y 20 metros Ho; por consiguiente, se generó una tabla específica para el esquema de cortas para cada uno de ellos y una tabla de masa extraída por cada diagrama.

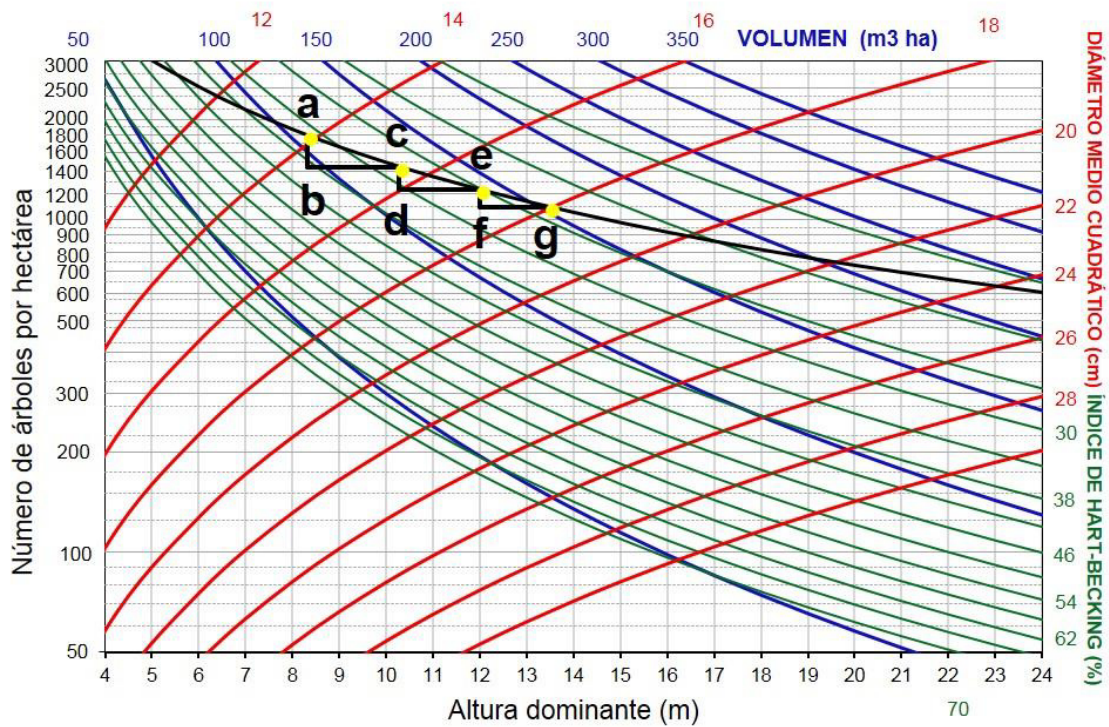


Figura 17. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 12 metros

Tabla 25. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus engelmannii* con un índice de sitio de 12 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	8.3	1799	1445	13.8	14.4	106.8	94.4	27.0	23.5	31.2	34.8
Corta (c-d)	50	10.3	1445	1233	15.5	16.0	125.4	114.7	27.3	24.7	28.1	30.5
Corta (c-d)	60	12.0	1233	1095	16.9	17.2	140.8	131.7	27.6	25.6	26.1	27.7
Corta final	70	13.5	1095	0	18.0	0.0	153.6	0	27.7	0	24.7	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 26. Tabla de masa extraída para *Pinus engelmannii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	8.3	354	18.6	9.6	12.3	12.3	106.8	2.67	
Corta (c-d)	50	10.3	212	22.0	8.1	10.7	23.0	136.03	2.72	3.09
Corta (c-d)	60	12.0	138	25.2	6.9	9.1	32.1	149.87	2.50	2.61
Corta final	70	13.5	1095	18.0	27.8	153.6	185.7	185.7	2.65	2.18

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

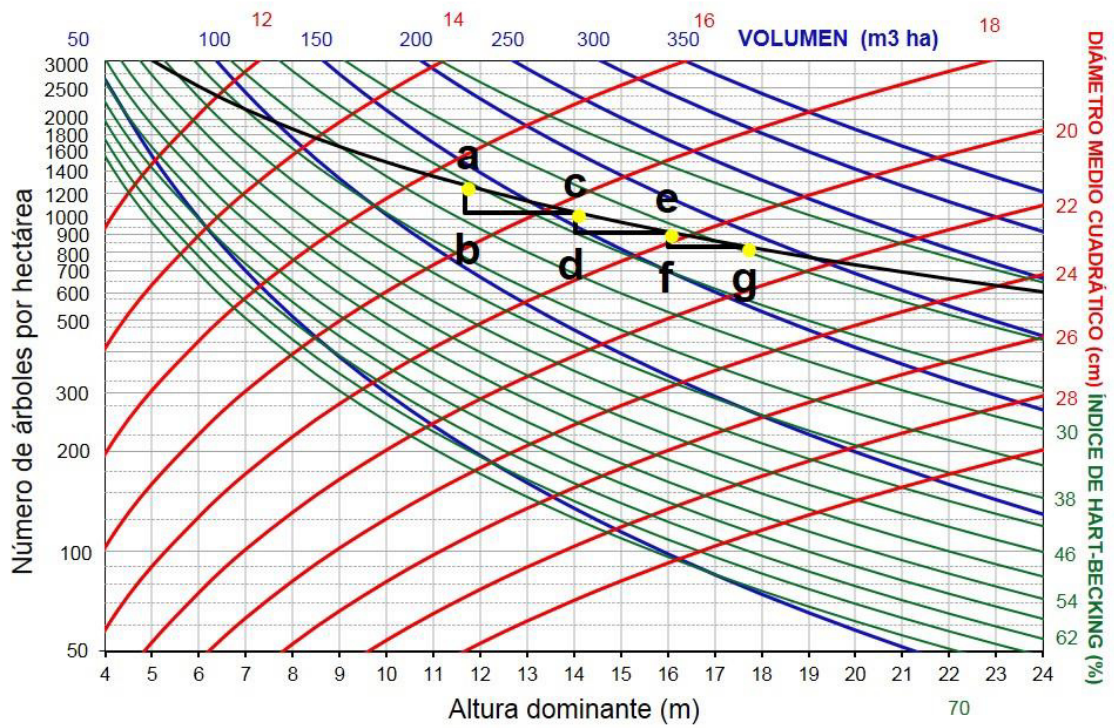


Figura 18. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 16 metros

Tabla 27. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus engelmannii* con un índice de sitio de 16 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	11.7	1268	1051	16.6	17.2	137.9	124.1	27.5	24.4	26.5	29.1
Corta (c-d)	50	14.0	1051	917	18.3	18.8	158.3	146.7	27.8	25.5	24.2	25.9
Corta (c-d)	60	16.0	917	828	19.7	20.1	174.9	165.2	28.0	26.2	22.7	23.9
Corta final	70	17.7	828	0	20.8	0.0	188.4	0	28.1	0	21.6	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 28. Tabla de masa extraída para *Pinus engelmannii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	11.7	217	22.9	9.0	13.8	13.8	137.9	3.45	
Corta (c-d)	50	14.0	134	26.7	7.5	11.6	25.4	169.92	3.40	3.41
Corta (c-d)	60	16.0	89	30.2	6.4	9.7	35.1	184.58	3.08	2.82
Corta final	70	17.7	828	20.8	28.1	188.4	223.5	223.5	3.19	2.32

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

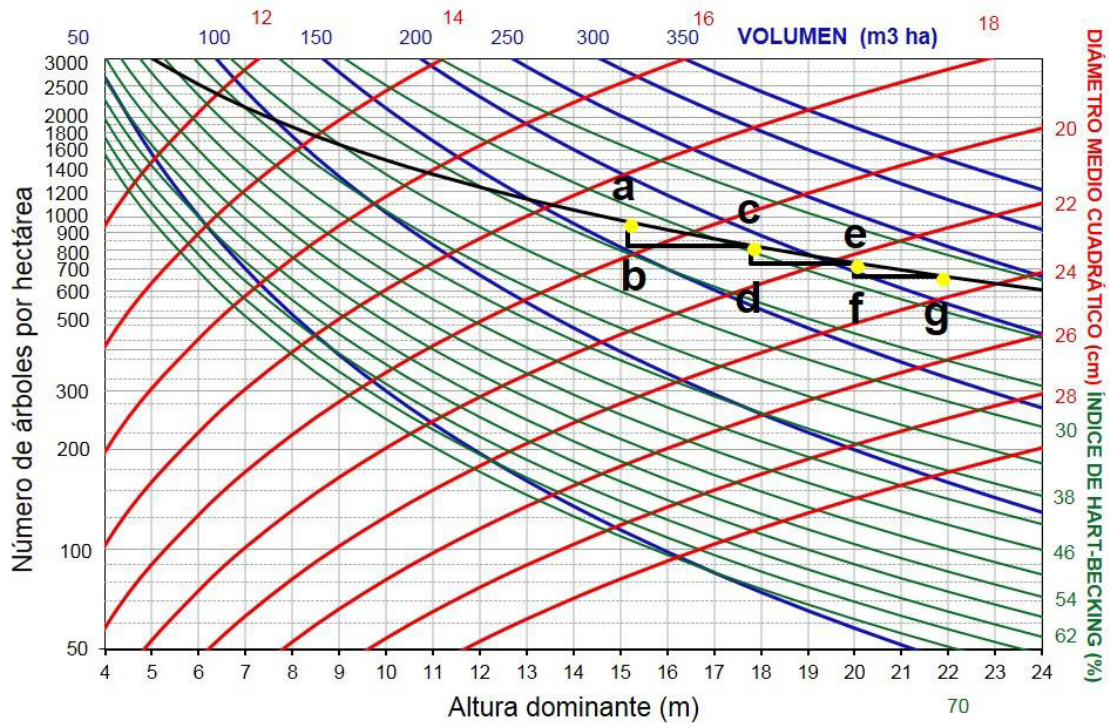


Figura 19. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus engelmannii* en base a un índice de sitio de 20 metros

Tabla 29. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus engelmannii* con un índice de sitio de 20 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	15.1	970	822	19.1	19.7	167.8	152.9	27.9	25.1	23.3	25.3
Corta (c-d)	50	17.8	822	729	20.9	21.3	189.5	177.1	28.1	26.1	21.6	22.9
Corta (c-d)	60	20.0	729	666	22.2	22.6	206.9	196.7	28.3	26.8	20.4	21.3
Corta final	70	21.8	666	0	23.3	0.0	220.9	0	28.5	0	19.5	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 30. Tabla de masa extraída para *Pinus engelmannii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	15.1	148	27.0	8.5	14.9	14.9	167.8	4.20	
Corta (c-d)	50	17.8	93	31.1	7.1	12.3	27.2	201.81	4.04	3.65
Corta (c-d)	60	20.0	63	34.8	6.0	10.1	37.4	217.04	3.62	2.97
Corta final	70	21.8	666	23.3	28.5	220.9	258.3	258.3	3.69	2.42

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

8.9.4. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de *Pinus herrerae*

Se generaron diagramas de manejo de densidad para *Pinus durangensis* en base a índices de sitio de 13, 17 y 21 metros Ho: por consiguiente, se generó una tabla específica para el esquema de cortas para cada uno de ellos y una tabla de masa extraída por cada diagrama.

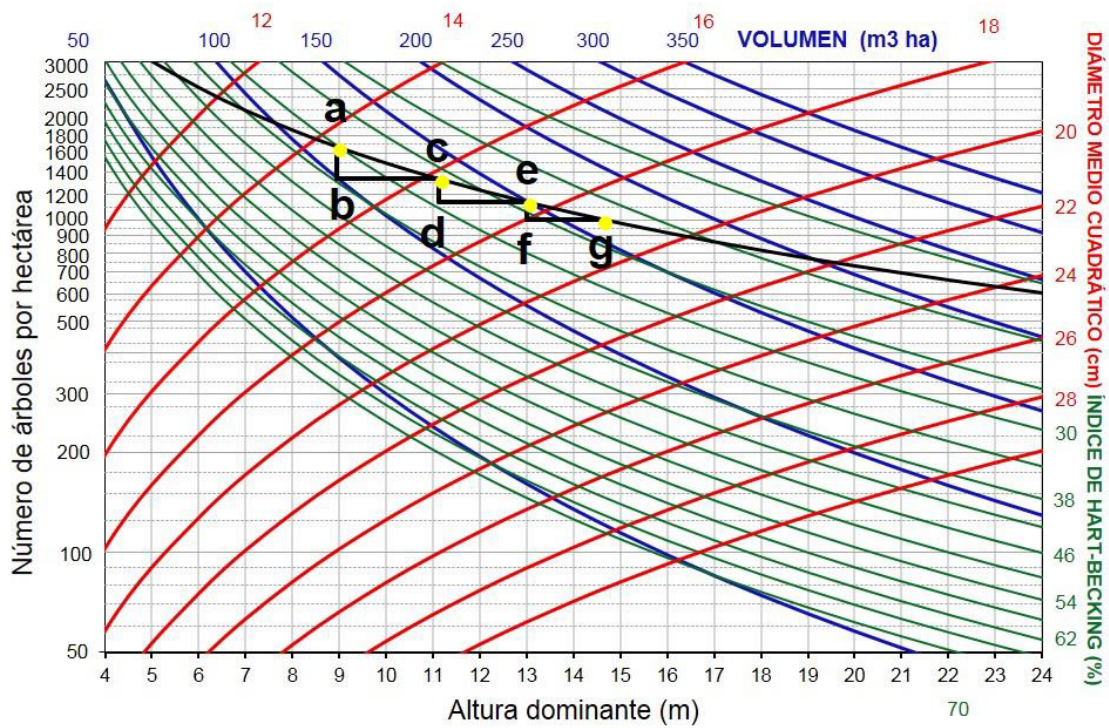


Figura 20. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 13 metros

Tabla 31. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus herrerae* con un índice de sitio de 13 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	9.0	1666	1333	14.4	15.0	112.9	99.7	27.1	23.5	30.1	33.6
Corta (c-d)	50	11.1	1333	1135	16.2	16.7	133.0	121.5	27.4	24.8	27.1	29.4
Corta (c-d)	60	13.0	1135	1007	17.6	18.0	149.6	139.9	27.7	25.6	25.1	26.7
Corta final	70	14.6	1007	0	18.8	0.0	163.2	0	27.8	0	23.7	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 32. Tabla de masa extraída para *Pinus herrerae*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	9.0	333	19.3	9.8	13.3	13.3	112.9	2.82	
Corta (c-d)	50	11.1	198	22.9	8.2	11.5	24.7	144.41	2.89	3.33
Corta (c-d)	60	13.0	128	26.2	6.9	9.7	34.4	159.25	2.65	2.81
Corta final	70	14.6	1007	18.8	27.8	163.2	197.6	197.6	2.82	2.34

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha).

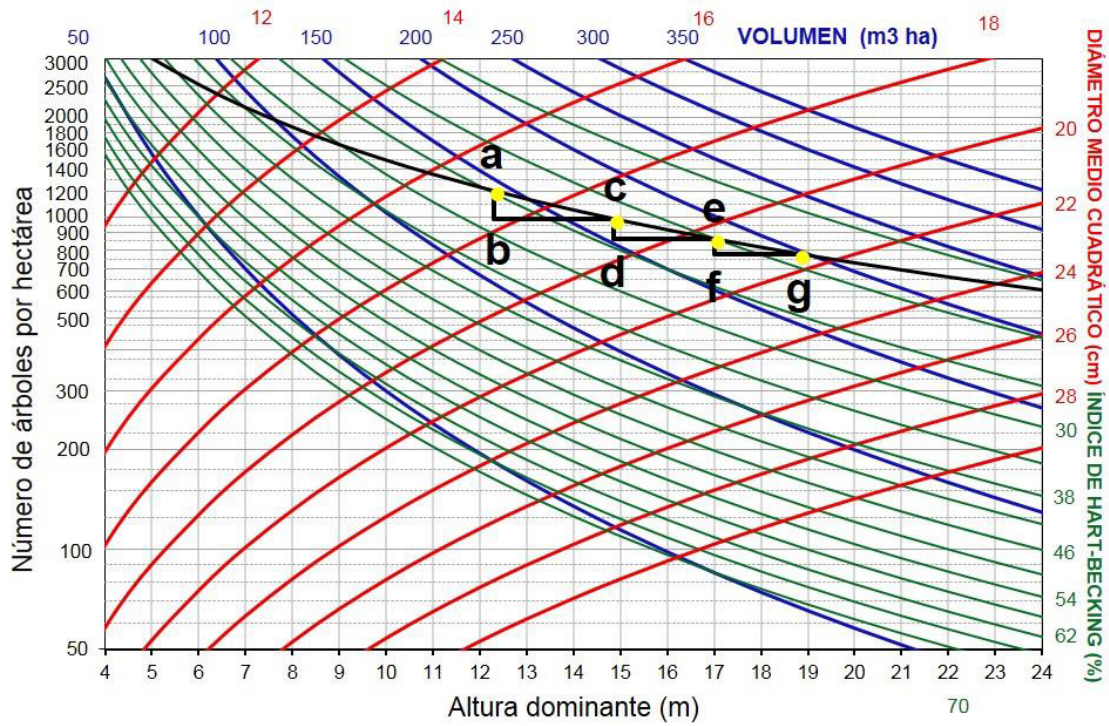


Figura 21. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 17 metros

Tabla 33. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus herrerae* con un índice de sitio de 17 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	12.3	1202	990	17.1	17.7	143.4	128.7	27.6	24.4	25.8	28.4
Corta (c-d)	50	14.8	990	861	18.9	19.4	165.3	152.8	27.9	25.5	23.5	25.2
Corta (c-d)	60	17.0	861	776	20.4	20.8	183.1	172.7	28.1	26.3	22.0	23.2
Corta final	70	18.8	776	0	21.5	0.0	197.5	0	28.2	0	21.0	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 34. Tabla de masa extraída para *Pinus herrerae*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	12.3	211	23.5	9.2	14.7	14.7	143.4	3.59	
Corta (c-d)	50	14.8	129	27.5	7.6	12.4	27.2	177.71	3.55	3.66
Corta (c-d)	60	17.0	85	31.1	6.5	10.3	37.5	193.40	3.22	3.02
Corta final	70	18.8	776	21.5	28.2	197.5	235.0	235.0	3.36	2.48

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha)

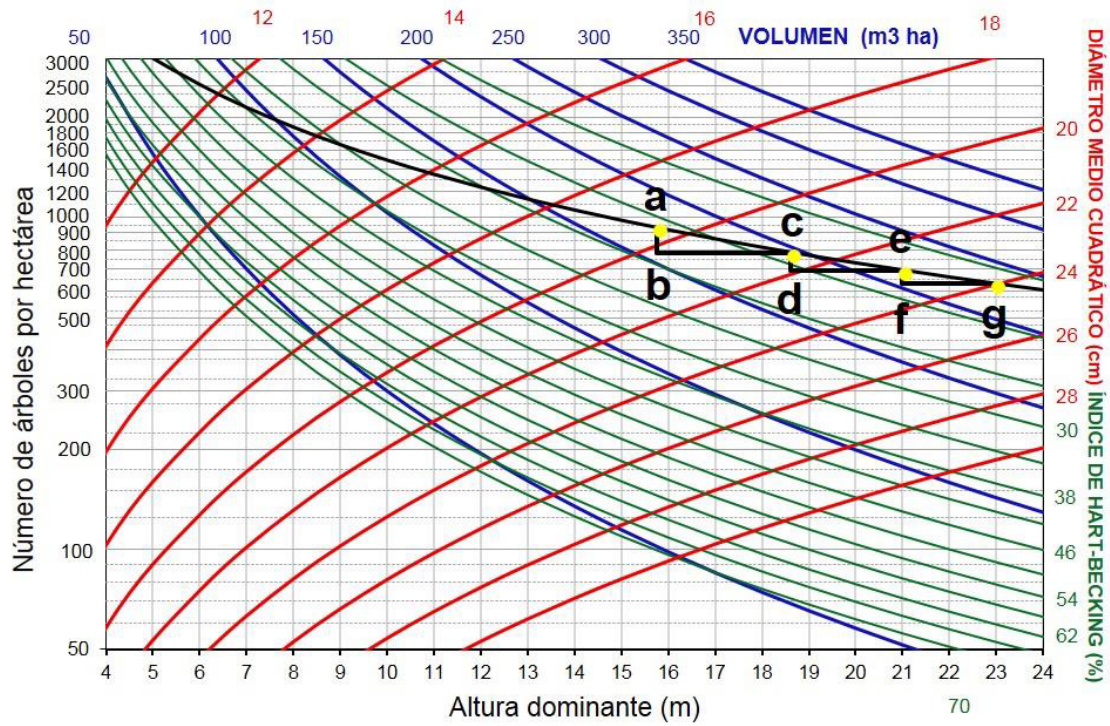


Figura 22. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus herrerae* en base a un índice de sitio de 21 metros

Tabla 35. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus herrerae* con un índice de sitio de 21 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	15.7	932	785	19.5	20.2	172.8	156.9	28.0	25.1	22.9	24.9
Corta (c-d)	50	18.6	785	693	21.4	21.9	196.0	182.8	28.2	26.1	21.1	22.4
Corta (c-d)	60	21.0	693	632	22.8	23.2	214.6	203.8	28.4	26.8	19.9	20.8
Corta final	70	23.0	632	0	24.0	0.0	229.6	0	28.5	0	19.0	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 36. Tabla de masa extraída para *Pinus herrerae*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	15.7	147	27.4	8.6	15.9	15.9	172.8	4.32	
Corta (c-d)	50	18.6	92	31.7	7.2	13.2	29.1	209.16	4.18	3.91
Corta (c-d)	60	21.0	61	35.6	6.0	10.8	39.9	225.46	3.76	3.18
Corta final	70	23.0	632	24.0	28.5	229.6	269.5	269.5	3.85	2.58

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha)

8.9.5. Diagramas de densidad para manejo de rodales naturales de *Pinus lumholtzii*

Se generaron diagramas de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a índices de sitio de 10, 13 y 16 metros Ho; por consiguiente, se generó una tabla específica para el esquema de cortas para cada uno de ellos y una tabla de masa extraída por cada diagrama.

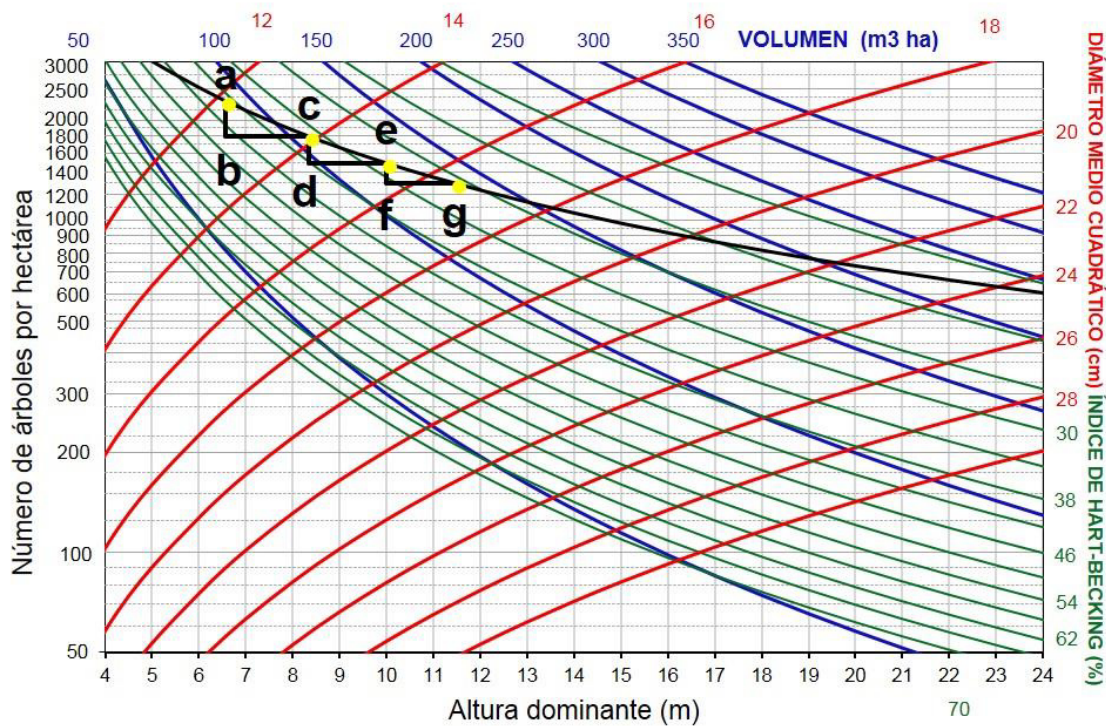


Figura 23. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 10 metros

Tabla 37. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus lumholtzii* con un índice de sitio de 10 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	6.6	2295	1789	12.2	12.7	89.3	77.7	26.7	22.8	35.0	39.6
Corta (c-d)	50	8.4	1789	1487	13.9	14.3	107.2	96.7	27.0	24.0	31.1	34.1
Corta (c-d)	60	10.0	1487	1291	15.3	15.7	122.7	113.4	27.3	24.9	28.5	30.6
Corta final	70	11.5	1291	0	16.5	0.0	136.1	0	27.5	0	26.7	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 38. Tabla de masa extraída para *Pinus lumholtzii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	6.6	506	16.0	10.2	11.6	11.6	89.3	2.23	
Corta (c-d)	50	8.4	302	19.2	8.7	10.5	22.2	117.76	2.36	2.95
Corta (c-d)	60	10.0	196	22.1	7.5	9.4	31.5	132.10	2.20	2.61
Corta final	70	11.5	1291	16.5	27.4	136.1	167.7	167.7	2.40	2.27

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha)

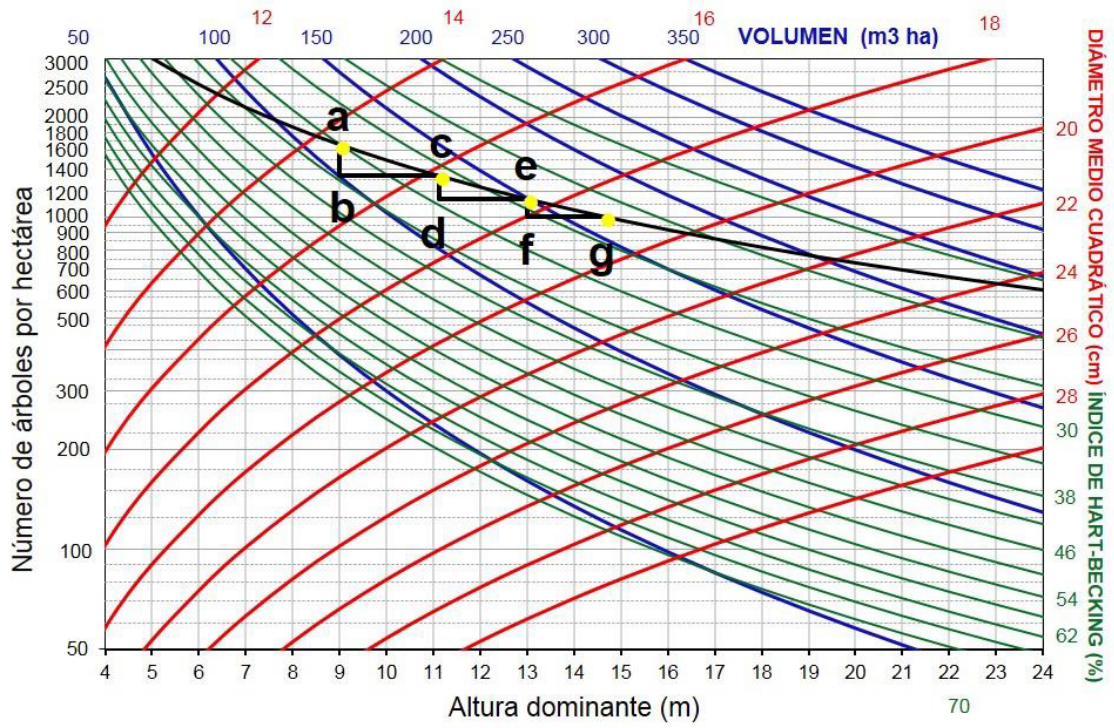


Figura 24. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 13 metros

Tabla 39. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus lumholtzii* con un índice de sitio de 13 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	9.0	1658	1334	14.4	15.0	113.4	100.4	27.1	23.6	30.0	33.5
Corta (c-d)	50	11.1	1334	1135	16.2	16.7	132.9	121.4	27.4	24.8	27.1	29.4
Corta (c-d)	60	13.0	1135	1003	17.6	18.0	149.6	139.6	27.7	25.6	25.1	26.7
Corta final	70	14.7	1003	0	18.8	0.0	163.7	0	27.9	0	23.7	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 40. Tabla de masa extraída para *Pinus lumholtzii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	9.0	324	19.4	9.6	13.0	13.0	113.4	2.83	
Corta (c-d)	50	11.1	199	22.9	8.1	11.5	24.5	144.40	2.89	3.26
Corta (c-d)	60	13.0	132	26.1	7.0	10.0	34.5	159.56	2.66	2.81
Corta final	70	14.7	1003	18.8	27.8	163.7	198.2	198.2	2.83	2.41

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha)

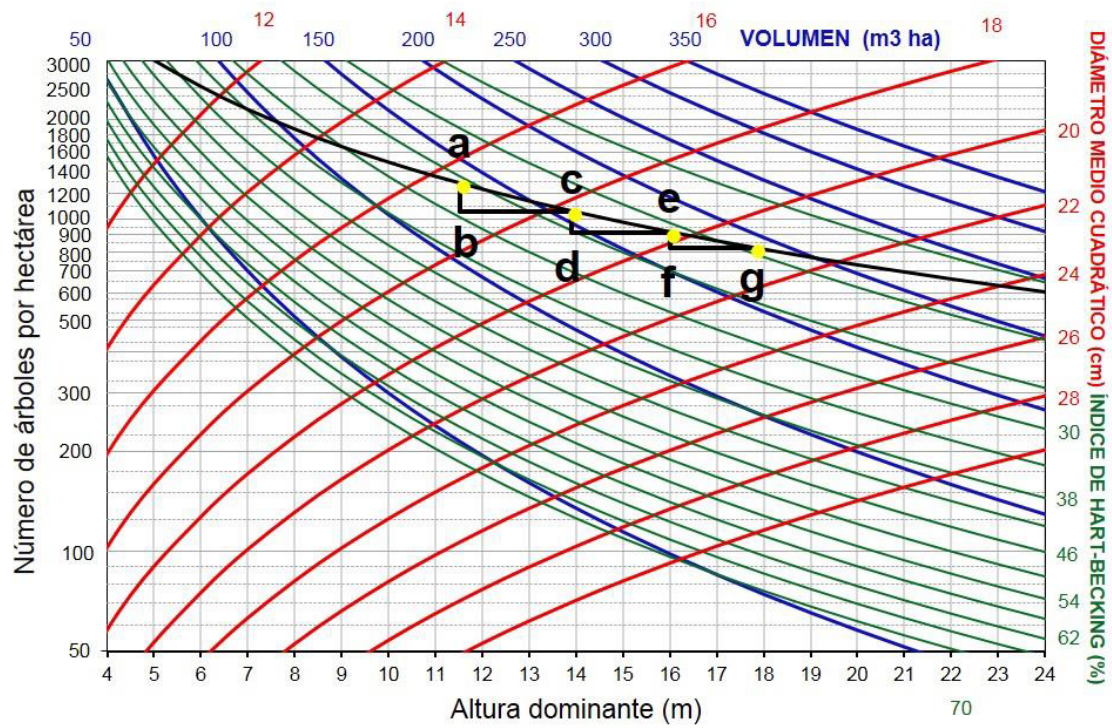


Figura 25. Diagrama de manejo de densidad para *Pinus lumholtzii* en base a un índice de sitio de 16 metros

Tabla 41. Principales variables del rodal antes y después de las cortas para *Pinus lumholtzii* con un índice de sitio de 16 metros

Operación	Edad	Ho	N		dg		V		G		IH	
			Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Corta (a-b)	40	11.5	1285	1059	16.5	17.1	136.6	122.5	27.5	24.3	26.6	29.3
Corta (c-d)	50	13.9	1059	917	18.3	18.8	157.4	145.2	27.8	25.4	24.3	26.1
Corta (c-d)	60	16.0	917	821	19.7	20.1	174.9	164.4	28.0	26.1	22.7	24.0
Corta final	70	17.8	821	0	20.9	0.0	189.6	0	28.1	0	21.6	0

Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *N* árboles ha⁻¹, *dg* diámetro medio cuadrático (cm), *V* volumen (m³ha), *G* área basal (m²ha) e *IH* Índice de Hart-Becking (%).

Tabla 42. Tabla de masa extraída para *Pinus lumholtzii*

Operación	Edad	Ho	Ne	Dge	Ge	Ve	Vacom	Vtot	CM	CC
Corta (a-b)	40	11.5	226	22.7	9.1	14.1	14.1	136.6	3.41	
Corta (c-d)	50	13.9	142	26.4	7.7	12.2	26.2	169.60	3.39	3.49
Corta (c-d)	60	16.0	96	29.8	6.6	10.5	36.7	185.34	3.09	2.96
Corta final	70	17.8	821	20.9	28.1	189.6	226.3	226.3	3.23	2.51

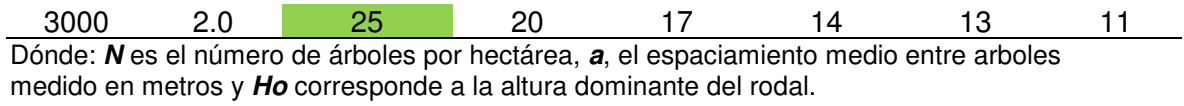
Donde: *Edad* (años), *Ho* altura dominante (m), *Ne* árboles extraídos ha, *dge* diámetro medio cuadrático extraído (cm), *Ge* área basal extraída (m² ha), *Ve* volumen extraído (m³ ha), *Vacom* volumen extraído acumulado en las cortas (m³ ha⁻¹), *Vtot* volumen total de la masa (m³ ha), *CM* crecimiento medio anual (m³ ha año) y *CC* crecimiento corriente anual (m³ ha)

8.10. Tabla de espaciamiento relativo en función del índice de Hart-Becking y Reineke

En el diagrama de la Figura 8, se observa cómo la curva de máxima densidad abarca un rango del índice de Hart-Becking 25 a 35%. La Tabla 43 muestra el número de árboles por hectárea (N) y el espaciamiento relativo (a) entre ellos, para una determinada altura dominante H_o . Esta tabla proporciona una idea del espaciamiento y la densidad que debe existir en rodales de máxima densidad. Se observa cómo a medida que la altura dominante aumenta, el espaciamiento también lo hace, por lo que el rango de densidad disminuye.

Tabla 43. Tabla de espaciamiento relativo

N (árboles ha)	a (metros)	H_o (metros)					
		8	10	12	14	16	18
100	11.0	138	110	92	79	69	61
200	7.8	97	78	65	56	49	43
300	6.4	79	64	53	45	40	35
400	5.5	69	55	46	39	34	31
500	4.9	61	49	41	35	31	27
600	4.5	56	45	37	32	28	25
700	4.2	52	42	35	30	26	23
800	3.9	49	39	32	28	24	22
900	3.7	46	37	31	26	23	20
1000	3.5	43	35	29	25	22	19
1100	3.3	41	33	28	24	21	18
1200	3.2	40	32	26	23	20	18
1300	3.1	38	31	25	22	19	17
1400	2.9	37	29	24	21	18	16
1500	2.8	36	28	24	20	18	16
1600	2.8	34	28	23	20	17	15
1700	2.7	33	27	22	19	17	15
1800	2.6	32	26	22	19	16	14
1900	2.5	32	25	21	18	16	14
2000	2.5	31	25	20	18	15	14
2100	2.4	30	24	20	17	15	13
2200	2.3	29	23	20	17	15	13
2300	2.3	29	23	19	16	14	13
2400	2.2	28	22	19	16	14	12
2500	2.2	28	22	18	16	14	12
2600	2.2	27	22	18	15	13	12
2700	2.1	26	21	18	15	13	12
2800	2.1	26	21	17	15	13	12
2900	2.0	26	20	17	15	13	11



Dónde: **N** es el número de árboles por hectárea, **a**, el espaciamiento medio entre arboles medido en metros y **Ho** corresponde a la altura dominante del rodal.

IX. CONCLUSIONES

El diagrama de manejo de densidad basado en el índice de Hart-Becking realizado su uso y aplicación en rodales naturales de la UMAFOR 0808 Guadalupe y Calvo, será una herramienta gráfica de fácil aplicación y entendimiento para la planificación de cortas, así como tratamientos silvícolas y su evaluación.

Las variables dasométricas se pueden utilizar para estimar de forma rápida y sencilla el volumen total, altura dominante y el crecimiento de la masa, así como planificar en un futuro el desarrollo de la misma.

Las ecuaciones utilizadas en la elaboración del diagrama de manejo de la densidad, permitieron generar tablas numéricas que aportarán mayor información para la toma de decisiones para el manejo de bosques regulares referente a las especies más comerciales en la región, así como generar una tabla con valores de la masa extraída.

El diagrama de manejo de la densidad será una herramienta que permitirá conocer el estado actual del rodal, para de esta manera planear diferentes esquemas de corta para el mismo y obtener el mayor rendimiento de los sitios forestales.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C. O. (1996). *Manejo Forestal*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México.
- Álvarez, G. J. (1999). Estudio de la densidad: Determinación de los valores máximo y mínimo. *Documento interno, Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. USC.*, 14.
- Álvarez, G.; González, R.; Rodríguez, R. & Anta, B. 2005. Ecoregional site index models for *Pinus pinaster* in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.* 62:115-127.
- Barrio, A. M., & Álvarez, G. J. (s.f.). Diagramas de manejo de la densidad: una herramienta para la evaluación de regímenes silvícolas. *Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. USC*
- Castedo, F.; Crecente, F.; Álvarez, P. & Barrio, M. 2009. Development of a stand density management diagram for radiate pine stands including assessment of stand stability. *Forestry*. 82(1).
- Centeno D. J. J. 2013. Diagramas de manejo de la densidad para *Pinus cooperi* y *Pinus durangensis* en Durango, México. (Tesis de Maestría) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Corvalán, V. P., & Hernández, P. J. (2006). *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales*, (C. d. Depto. Manejo de Recursos Forestales, Ed.) Recuperado el 5 de octubre de 2013, de <http://ftp.forestaluchile.cl/dasometria/4.-%20DENSIDAD%20DE%20RODAL.pdf>
- Curtis, R. O. (1970). Stand density measures. An interpretation. *For. Sci.*

- Daniel, T. W., Helms, J. A., & Baker, F. S. (1982). *Principios de Silvicultura*. (Primera edición en español ed.). México: Mcgraw-Hill.
- Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Castedo-Dorado, F., Ruiz González, A.D., Álvarez-Taboada, M.F., Álvarez-González, J.G., Rojo, A. 2003. *Dendrometría*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Diéguez-Aranda, U., Rojo, A., Castedo, J., Álvarez, J., Barrio, M., Crecente, F., Gonzalez, J., Perez, C., Rodriguez, R., Lopez, C., Balboa, M., Gorgoso, J., & Sanchez, f. (2009). *Herramientas selvícolas para la gestion forestal sostenible en Galicia* (ISBN: 978-84-692-7395-1 ed.). Xunta de Galicia.
- Diéguez-Aranda, U., Rojo, A., Castedo, J., Álvarez, J., Barrio, M., Crecente, F., González, J., Pérez, C., Rodríguez, R., López, C., Balboa, M., Gorgoso, J., & Sánchez, f. (2009). *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia* (ISBN: 978-84-692-7395-1 ed.). Xunta de Galicia.
- Drew, T. & Flewelling, J. 1979. Stand density management: An alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science*. 25: 518-532.
- Gadow, K. v. (2007). *Estructura y crecimiento del bosque*.
- Gingrich, S. F. (1967). En *Measuring and evaluating stocking and density in upland hardwood forest in the Central States* (págs. 69-80). *For. Sci.*
- Hernández R. J, J. J. M., García, J. H. F, Muñoz., X. C. García., T. R. Sáenz., C. L, Flores., A. R, Hernández. 2013. Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4.19. 62-77.

- Mitchell, S. 2000. Forest health: preliminary interpretations for wind damage. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.
- Newton, P. & Weetman, G. 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *Forestry Chronicle*. 70:65-74.
- Newton, P. 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management*. 98:251-265.
- Powelson, A. & Martin, P. 2001. Spacing to increase diversity within stands. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura Forestal*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Quiñones B, M. A. (2000). *Caracterización Silvícola y Estructural de Rodales de Pinus pseudostrobus Lindl. en el Sur de Nuevo León, México*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N. L.
- Reineke, L. (1933). *Perfecting a stand-density index for even-aged forest*. *Journal of Agricultural Research*.
- Sturtevant, B.; Bissonette, J. & Long, J. 1996. Temporal and spatial dynamics of boreal forest structure in western Newfoundland: Silvicultural implications for marten habitat management. *Forest Ecology and Management*. 87:13-25.
- Vargas, L. B., Álvarez J. G., Corral R. J. y Aguirre C. O., 2010. Construcción de Curvas Dinámicas de índice de sitio para *Pinus cooperi* Blanco. El Salto P.N. Durango. *Fitotecnia* 343-351.

Whitehead, R.; Martin, P. & Powelson, A. 2001. Forest health: reducing stand and landscape susceptibility to mountain pine beetle. Forest Practice Branch, British Columbia Ministry of Forests, Victoria, B.C. Stand Density Management Diagrams.

Zepeda, B. E. (1983). *Análisis de diez procedimientos para estimar incrementos volumétricos de coníferas*. Tesis Ing. Agr. Esp. Bosques. Univ. Autónoma Chapingo. Chapingo, México.