

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Análisis de Biomasa Aérea en un Rodal Joven de *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, Nuevo León

Por:

**VICTOR MANUEL RIVAS DEL BOSQUE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis de Biomasa Aérea en un Rodal Joven de *Pinus rudis* Endl. en San José de la  
Joya, Galeana, Nuevo León

Por:

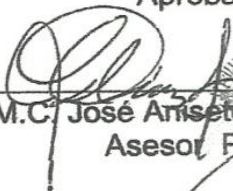
**VICTOR MANUEL RIVAS DEL BOSQUE**

TESIS

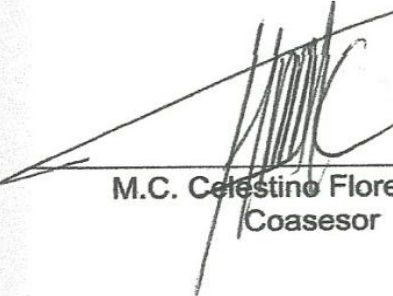
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

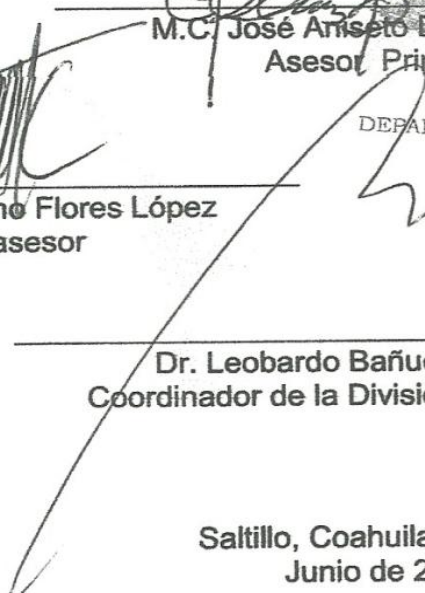
Aprobada:

  
M.C. José Aniseto Díaz Balderas  
Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL

  
M.C. Celestino Flores López  
Coasesor

  
Dr. Jorge Méndez González  
Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.  
Junio de 2013

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02-03-0207-2117, a cargo del M.C. José Aniseto Díaz Balderas.

## DEDICATORIA

*A mis padres Víctor Manuel Rivas Murillo y Esperanza del Bosque Mata por darme la vida, creer en mí y darme la oportunidad de ejercer una profesión, brindándome apoyo y sabios consejos en todos momentos, es la mejor herencia que puedo recibir de ustedes padres.*

*A mis hermanos Moisés Alegría, Erika M., Luis Rodrigo y Guadalupe E. por ser parte de mi vida y por esos momentos de dicha y felicidad que hemos vivido juntos.*

*A mi sobrino Emiliano por brindarme cada día momentos de alegría y felicidad.*

*A todos mis primos y (as) por ayudarme cuando lo necesitaba, en especial a: Oraelia Mata, Fabián Del Bosque, José Ángel Rivas, Diego Rivas, Christian Rivas, Luis B. Rivas, Alan B. Rivas.*

*A mis tíos (as) por creer en mí y motivarme con sus pláticas y consejos brindados a seguir adelante.*

*A mis abuelos Esteban Rivas, Ovidio del Bosque (†), Isabel Murillo y Florentina Mata por sus alientos y buenos deseos en mi vida.*

*A una persona muy especial con la cual he vivido y espero vivir momentos felices.*

*A las familias: Mata Esquivel, Rivas Esquivel, Del Bosque Rivas, Tovar del Bosque y todas las familias que forman parte de mi vida, por su cariño, apoyos brindados, sabios consejos y demás cosas.*

*A mis amigos de generación Carmen Zuñiga, Mirna Cruz, Paola Cepeda, Valentín Zuñiga y Juvenal Rodríguez.*

*A mis amigos: Joel Salas, Alejandro Carrizalez, Juan P., Oscar A, Uvaldo P., Cristián C., Alberto O., Ismael T., Carlos A. P., y todas las amistades habidas y por haber.*

*En general a todas aquellas personas que de alguna u otra manera participaron en mi formación profesional.*

**VICTOR MANUEL RIVAS DEL BOSQUE.**

## AGRADECIMIENTOS

A dios nuestro señor por darme a la familia que tengo y permitirme estos años de vida en los que realice mis estudios.

A mi "*Alma Mater*" la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme recibido en sus brazos, brindarme sus servicios y forjarme en mi profesión.

A todos los profesores y personal del Departamento Forestal, por los conocimientos, servicios y amistad que me brindaron y que forman parte de mi profesión.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas por el asesoramiento, revisión, dedicación, paciencia y dirección de este trabajo, así como por sus conocimientos brindados hacia mi persona, su amistad y sus consejos.

Al M.C. Celestino Flores López por su colaboración en la revisión del presente trabajo, su amistad y conocimientos brindados y por ser mi asesor en tutorías.

Al Dr. Jorge Méndez González por su gran aportación en la elaboración de este trabajo, sus conocimientos brindados, amistad y sus buenos consejos.

Infinitamente a la familia Cardona Valero del ejido San José de la Joya en especial a Don Antonio Cardona Peña y Doña María Valero Martínez por brindarme refugio durante las evaluaciones del trabajo, consejos, amistad y momentos de alegría.

A Filiberto Rosas López, Paúl García Meza, Mauricio Pérez y demás compañeros que me ayudaron en el levantamiento de datos en campo y laboratorio.

A la generación CXV de forestales de la UAAAN por los momentos que pasamos juntos, así como sus consejos, sugerencias y amistad hacia mi persona.

A todas las personas que apoyaron mi trabajo de tesis y mi formación como profesionalista, muchas gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	4
2.1. Objetivo general .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
2.3. Hipótesis .....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1. Efecto invernadero .....	5
3.2. Cambio climático .....	5
3.3. Estrategias de mitigación de GEI .....	6
3.4. Ciclo global del carbono .....	7
3.5. Flujo del Carbono .....	7
3.6. Crecimiento e incremento de árboles y bosques .....	8
3.7. Ecosistemas forestales como sumideros de carbono .....	8
3.8. Servicios ambientales .....	9
3.9. Biomasa .....	9
3.10. Métodos de estimación de biomasa .....	10
3.11. Factores de expansión de biomasa .....	10
3.12. Aclareos .....	11
3.13. Clasificación taxonómica .....	12
3.14. Descripción de la especie .....	12
3.15. Estudios de estimación de biomasa en plantaciones forestales .....	13
3.16. Estudios de estimación de biomasa en ecosistemas naturales .....	14

IV. METODOLOGIA .....	16
4.1. Área de estudio .....	16
4.2. Descripción del área de estudio .....	17
4.2.1. Fisiografía .....	17
4.2.2. Clima.....	17
4.2.3. Hidrología .....	18
4.2.4. Tipo de suelo .....	18
4.2.5. Tipo de vegetación.....	18
4.2.6. Geología .....	19
4.3. Delimitación del área de estudio .....	19
4.4. Selección de árboles muestra .....	20
4.5. Variables evaluadas del arbolado en pie .....	21
4.6. Derribo de arbolado .....	21
4.7. Medición de variables de los árboles derribados .....	22
4.8. Desrame y troceo de los árboles.....	22
4.9. Pesado de los componentes de la biomasa aérea.....	22
4.10. Etiquetado .....	23
4.11. Secado de los componentes de la biomasa.....	23
4.12. Existencias reales de biomasa por tratamiento.....	23
4.13. Estimación de la biomasa por clases de copa .....	23
4.14. Ecuación de biomasa y factores de expansión .....	24
4.15. Normalidad de los datos .....	25
4.16. Biomasa aérea total por tratamiento ( $t\ ha^{-1}$ ).....	25
4.17. Modelos de biomasa aérea .....	26
4.18. Criterios para selección del mejor modelo .....	26
4.19. Análisis estadístico.....	27
4.19.1. Biomasa aérea total entre clases de copa y tratamientos por árbol.....	27
4.19.2. Biomasa aérea de componentes por clase de copa y tratamientos por árbol .....	28
4.19.3. Ecuación de biomasa y factores de expansión por clase de copa y tratamiento.....	29
4.19.4. Biomasa aérea total por tratamiento ( $t\ ha^{-1}$ ).....	30

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
5.1. Análisis de biomasa aérea total promedio por árbol entre clases de copa y tratamientos .....	31
5.1.1. Análisis de biomasa aérea entre componentes por tratamiento y clase de copa .....	35
5.1.1.1. Análisis de biomasa de hojas promedio por árbol por tratamiento y clase de copa .....	35
5.1.1.2. Análisis de biomasa promedio de ramas por árbol por clase de copa y tratamiento .....	36
5.1.1.3. Análisis de biomasa promedio de fuste por árbol por clase de copa y tratamiento .....	38
5.2. Ecuaciones de biomasa y factores de expansión de biomasa (FEB) por clase de copa y tratamiento.....	39
5.2.1. Ecuaciones de biomasa .....	40
5.2.2. Análisis de los factores de expansión de biomasa (FEB) por clases de copa y tratamiento.....	43
5.3. Análisis de biomasa aérea total por tratamiento $t\ ha^{-1}$ .....	46
VI. CONCLUSIONES .....	50
VII. RECOMENDACIONES .....	51
VIII. LITERATURA CITADA.....	52
ANEXOS .....	57



## ÍNDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1	Modelos utilizados para estimar biomasa aérea total por tratamiento de <i>Pinus rudis</i> Endl., en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.....	26
Cuadro 2	Modelos utilizados para estimar biomasa aérea total por tratamiento de <i>Pinus rudis</i> Endl., en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.....	27
Cuadro 3	Dimensiones de los árboles de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.....	32
Cuadro 4	Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para el contenido de biomasa aérea total por clase de copa por árbol. N= 127.....	34
Cuadro 5	Comparación de medias Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el contenido de biomasa de hojas por árbol por clase de copa. N= 127.....	36
Cuadro 6	Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para el contenido de biomasa de ramas por árbol por clase de copa. N=127.....	37
Cuadro 7	Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para el contenido de biomasa promedio en fuste por árbol por clase de copa. N= 127.....	39
Cuadro 8	Cuadro 8. Resultados del coeficiente de correlación de Pearson ( $r_p$ ) entre las variables dependientes e independientes para la estimación de biomasa aérea por componente y total. ( $\alpha =0.05$ ). N= 127.....	40
Cuadro 9	Estadígrafos de bondad de ajuste para la selección del mejor modelo para la estimación de biomasa aérea por árbol de <i>Pinus rudis</i> Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.....	41
Cuadro 10	Ecuación matemática para la estimación de biomasa aérea total por árbol.....	42
Cuadro 11	Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) de los valores de FEB por tratamiento de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.....	44
Cuadro 12	Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para los valores de factores de expansión de biomasa por clase de copa de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.....	45
Cuadro 13	Cantidad de árboles por tratamiento ( $625 \text{ m}^2$ ), por hectárea ( $10,000 \text{ m}^2$ ) y árboles totales por tratamiento ( $2500 \text{ m}^2$ ) de <i>Pinus rudis</i> Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa de localización del área experimental P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.....	16
Figura 2	Distribución de los tratamientos en cada una de las parcelas de los bloques. I, II, III y IV (número de bloque).....	20
Figura 3	Biomasa aérea total promedio por tratamiento en <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. 1 (0 %) 2 (20 %), 3 (40 %) y 4 (60 %) de remoción. La barra vertical indica intervalo de confianza al 95 %.....	21
Figura 4	Biomasa aérea total por clase de copa por árbol de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. D (Dominante), C (Codominante), I (Intermedio) y S (Suprimido). La barra vertical indica intervalo de confianza al 95 %.....	33
Figura 5	Biomasa de hojas promedio por clase de copa por árbol de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %.....	34
Figura 6	Biomasa de hojas promedio por clase de copa por árbol de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %.....	36
Figura 7	Biomasa de ramas promedio por árbol por clase de copa de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %.....	37
Figura 8	Biomasa de fuste promedio por clase de copa de <i>Pinus rudis</i> Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %.....	38
Figura 9	Valores observados de biomasa aerea total por arbol en funcion de DN y H, para <i>Pinus rudis</i> Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L.....	43
Figura 10	Valores promedio de FEB por tratamiento. 1 (0 %), 2 (20 %), 3 (40 %) y 4 (60 %) de remoción de <i>Pinus rudis</i> Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %.....	44
Figura 11	Valores de FEB por clase de copa. D (Dominante), C (Codominante), I (Intermedio) y S (Suprimido) para la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. la barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %.....	45

Figura 12 Biomasa aérea total por tratamiento por hectárea de *Pinus rudis*  
Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana. NL. La  
barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %..... 47

## RESUMEN

Se analizó la biomasa aérea de 127 árboles de *Pinus rudis* Endl. con edad promedio de 25 años que se encuentran bajo diferentes intensidades de preaclareo (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción), aplicados hace 16 años bajo un diseño experimental de bloques al azar en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La metodología para estimar biomasa fue la utilizada por Schlegel. Se realizaron tres ANOVA de tipo factorial 4x4x4 ( $\alpha= 0.05$ ) para analizar el contenido de biomasa aérea por tratamientos, por componentes y para la comparación de factores de expansión de biomasa, donde los factores fueron: tratamientos (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción); bloques (I, II, III y IV); clases de copa (dominante, codominante, intermedia y suprimida) y componentes de la biomasa aérea (hojas, ramas, fuste y total), resultando 64 interacciones en cada ANOVA. Adicionalmente se analizó la cantidad de biomasa aérea por hectárea a nivel tratamiento bajo un diseño experimental en bloques al azar. Si se encontró significancia en los diferentes ANOVA, se procedió a realizar una comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ). Se analizaron 9 ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea total y en base a los valores de  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  y CME, se seleccionó la mejor. En el primer ANOVA (biomasa por tratamiento) no se obtuvieron diferencias significativas para el factor tratamiento, mientras que en los factores bloque y clases de copa sí se encontraron diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.0001$  y  $0.0001$  respectivamente); en el segundo ANOVA no se encontraron diferencias significativas en el factor tratamiento, sin embargo en los factores clases de copa y bloques si existen diferencias significativas ( $Pr > 0.0001$  y  $0.0298$  respectivamente); y para el tercer ANOVA sí se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, bloques y clases de copa ( $Pr > 0.0004$ ,  $0.0028$  y  $0.0001$  respectivamente). En la biomasa por tratamientos no se encontraron diferencias significativas ( $Pr > 0.3260$ ). La ecuación que mejor se ajustó para la estimación de biomasa aérea total por árbol fue de la forma  $Y = a + b * D^2 + c * H + d * D^2 * H$ , obteniendo valores de  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  y CME de 0.98, 0.97 y 7.05 respectivamente.

Palabras clave: Factores de Expansión de Biomasa, Modelos Alométricos, Preaclareos.

## ABSTRACT

We analyzed 127 aboveground biomass of trees of *Pinus rudis* Endl. with an average age of 25 years are under different intensities applied preclareo 16 years ago in the P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. The methodology for estimating biomass was used by Schlegel. There were three 4x4x4 factorial ANOVA ( $\alpha = 0.05$ ) to analyze the content of aerial biomass treatments, components and for the comparison of biomass expansion factors, where the factors were: treatment (0%, 20%, 40 % and 60% removal), blocks (I, II, III and IV) crown classes (dominant, codominant, intermediate and suppressed) and biomass components (leaves, branches, stem and total), resulting in 64 interactions each ANOVA. Also analyzed the amount of biomass per hectare under treatment at an experimental design in randomized blocks. If significance was found in the different ANOVA, we proceeded to make a comparison of means by Tukey test ( $\alpha = .05$ ). Allometric equations were analyzed to estimate nine aboveground biomass and based on the values of  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  and CME, we selected the best. In the first ANOVA (biomass per treatment) were not significant differences for the factor treatment, while in the factors and types of glass block differences were found highly significant ( $Pr > 0.0001$  and  $0.0001$  respectively); in the second ANOVA found no significant differences in the treatment factor, however the factors crown classes and blocks if there are significant differences ( $Pr > 0.0001$  and  $0.0298$  respectively); and for the third ANOVA significant differences were found between treatments, blocks and crown classes ( $Pr > 0.0004$ ,  $0.0028$  and  $0.0001$  respectively). In biomass treatments were not significant differences ( $Pr > 0.3260$ ). The best fit equation for estimating total tree biomass was of the form  $Y = a + b * c * D2 + H + d * D2 * H$ , obtaining values  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  and CME 0.98, 0.97 and 7.05 respectively.

Keywords: Biomass Expansion Factors, Allometric Models, Thinning.

## I. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas no sostenibles han provocado un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, lo cual es causante del cambio climático global (Rojo *et al.*, 2003), dicho aumento proyecta tener un acrecimiento de 1 - 3.5 °C en la temperatura media de la superficie global y un incremento asociado en el nivel del mar de 15 a 95 cm para el año 2100, Haripriya (2002). Ordóñez y Masera (2001), señalan que los GEI principales son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>); siendo el primero el más importante debido a las grandes cantidades en las que se emite a consecuencia del cambio de uso de suelo y otras causas, ya que anualmente se deforestan 17 millones de hectáreas en el mundo, liberando cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono representando del 20-30 % de las emisiones antropogénicas (Fragoso, 2003). Para México este fenómeno es de gran importancia ya que se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de estos gases (1.45 % de las emisiones anuales en el planeta), así mismo se encuentra entre las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas (Ordóñez, 1998).

Haripriya (2002) menciona que el cambio climático puede traer consecuencias catastróficas para los sistemas socio-económicos y la salud humana. Por su parte Herrán (2012) señala que las consecuencias de dicho fenómeno serán una menor disponibilidad de agua, aumento de inundaciones y sequías, reducción de rendimiento de la agricultura en zonas de baja latitud y pérdida de biodiversidad en áreas tropicales y semiáridas, así mismo señalan que los sectores productivos más afectados serán la agricultura, la piscicultura y acuicultura y el turismo.

Debido a la problemática anterior, se han hecho una serie de esfuerzos para lograr la coordinación de acciones internacionales para llevar a cabo el control de las posibles consecuencias que se pueden generar ante el cambio climático, entre los que destacan el Protocolo de Montreal de 1987, el cual se orientó al control de sustancias como los CFC; posteriormente en 1988 se estableció el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) como una iniciativa de las Naciones Unidas y la Organización

Meteorológica Mundial (OMM), que conllevó a la creación del Comité Internacional de Negociación de las Naciones Unidas en Cambio Climático (CINNUCC); en 1992 se llevó a cabo la Cumbre de Río, donde 155 países firmaron voluntariamente la Convención Marco del Cambio Climático (CMCC), así mismo se contempló el compromiso de los países desarrollados de estabilizar las emisiones de los GEI, y de aquellos en desarrollo para facilitar la reducción de emisiones de los no desarrollados (Rojo *et al.*, 2003; Lovelock, 2007). En 1997 se elaboró el Protocolo de Kyoto (PK), donde se estableció el compromiso de reducir las emisiones de los tres principales GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) hasta en un 5 % en el lapso 2008-2012 con respecto a los niveles de 1990. Asimismo se ratificó la posibilidad de usar mecanismos de flexibilidad como la Implementación Conjunta (IC), los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y el Comercio de Derechos de Emisión (CDE) para el cumplimiento de las metas de reducción de los GEI. El acuerdo entró en vigor hasta febrero del 2005 (Del Álamo, 2007).

Mediante los MDL, los países desarrollados pueden satisfacer sus compromisos de reducción de niveles de GEI, principalmente CO<sub>2</sub>, comprando unidades de reducción de emisiones de otros países o regiones. De esta forma, el manejo apropiado de la vegetación se convierte en un mecanismo para reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> a nivel global, y por consecuencia su captación a través de vegetación se transforma en una estrategia productiva (Torres y Guevara, 2002).

Las plantas a través del proceso de la fotosíntesis capturan el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera, fijando C en la biomasa y liberando O<sub>2</sub> (Calderón *et al.*, 2001). Por este medio, las plantas convierten la energía de la luz solar en energía química aprovechable para los organismos vivos, así los bosques almacenan grandes cantidades de C en la vegetación y el suelo e intercambian C con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Gayoso y Guerra, 2005). La biomasa es definida como el peso de materia orgánica por encima y por debajo del suelo que existe en un determinado ecosistema; normalmente se cuantifica en t ha<sup>-1</sup> de peso verde o seco y es común separarla en componentes donde los principales son: fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Schlegel *et al.*, 2000).

En México se han realizado diversos estudios con la finalidad de estimar biomasa aérea, en el estado de Nuevo León la información a que se refiere este trabajo es limitada, por lo que es necesario realizar trabajos tendientes al mencionado fin en los diferentes ecosistemas forestales, así como en sus distintas especies, razón por la cual se realizó el presente trabajo donde se estimó biomasa aérea total promedio a nivel árbol bajo diferentes intensidades de preaclareos y distintas clases de copa, además se obtuvo biomasa promedio por componentes (hojas, ramas y fuste), así como la generación de una ecuación matemática para estimar biomasa aérea total mediante el uso de una o más variables de fácil medición, la construcción de Factores de Expansión de Biomasa (FEB) para las distintas clases de copa y tratamientos, y la biomasa aérea total en  $t\ ha^{-1}$  para 4 diferentes intensidades de preaclareo.



## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de la biomasa aérea en un rodal joven de *Pinus rudis* Endl. como respuesta a diferentes intensidades de preclareo.

### 2.2. Objetivos específicos

- Estimar la biomasa aérea de *Pinus rudis* Endl. en los componentes fuste, hojas y ramas.
- Generar una ecuación que permita estimar la biomasa aérea total de *Pinus rudis* Endl. en base a una variable dasométrica.
- Generar factores de expansión de biomasa que permitan estimar la biomasa aérea total del árbol en función del volumen del fuste.

### 2.3. Hipótesis

Ho. No existe diferencia significativa de la producción de biomasa aérea total en las diferentes intensidades de preclareos en los distintos componentes del árbol (fuste, ramas y hojas) ni en las diferentes clases de copa.

Ha. Si existe diferencia significativa de la producción de biomasa aérea total en las diferentes intensidades de preclareos en los distintos componentes del árbol (fuste, ramas y hojas) y en las diferentes clases de copa.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Efecto invernadero

Según Caballero *et al.* (2007), el efecto invernadero se refiere a un mecanismo por medio del cual la atmósfera de la tierra se calienta; sin embargo la OMM (2008) menciona que el efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol. Mientras que Pardos (2010) lo define como el fenómeno en el cual algunos gases presentes en la atmósfera junto con el dióxido de carbono absorben y emiten radiaciones dentro del espectro de la radiación infrarroja térmica emitida por la superficie terrestre. Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía, los procesos derivados del cambio en el uso del suelo, la silvicultura, la producción de cemento, entre otros, están generando grandes emisiones de GEI (López *et al.*, 2007).

Los principales GEI, consecuencia directa de las actividades antropogénicas son: vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y los halocarbonos (óxido de nitrógeno, ozono estratosférico, monóxido de carbono y clorofluorocarbonos. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es de crucial importancia en el proceso de calentamiento de la atmósfera debido a que es el principal gas de efecto invernadero antropogénico y ha contribuido al 63. 5% del forzamiento radiactivo total de la tierra desde 1750 (Caballero *et al.*, 2007). Según Martínez y Fernández (2004), señalan que el CO<sub>2</sub> antropogénico procede de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral) y de la deforestación (por urbanización, agricultura, etc.).

#### 3.2. Cambio climático

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán en el largo plazo e involucra interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos) y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial (Martínez y Fernández, 2004). Las principales causas de este problema son: variación de las concentraciones

de GEI y aerosoles en la atmósfera y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar (IPCC, 2007).

### **3.3. Estrategias de mitigación de GEI**

A lo largo del tiempo y por los problemas descritos anteriormente, han existido a nivel mundial conferencias, ponencias, entre otras, en los que el tema principal es el problema causado por los GEI, algunos de estos acuerdos son como el realizado en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil en 1992 conocida como Cumbre de Río de Janeiro o Cumbre de la Tierra, en la cual participaron 172 gobiernos (entre ellos México) aprobando tres acuerdos: un plan de acción mundial para promover el desarrollo sostenible (Programa 21), la declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Desarrollo y una declaración de principios relativos a los bosques. Además se abrieron a la firma dos instrumentos con fuerza jurídica obligatoria: la Convención Marco Sobre el Cambio Climático y el Convenio Sobre la Diversidad Biológica (ONU, 1992; Lovelock, 2007).

Posteriormente en el año 1997 los estados de los países miembros de Convenio Marco Sobre el Cambio Climático de la ONU (UNFCCC) acordaron en la ciudad de Kyoto, Japón, el Protocolo de Kyoto (PK), el cual tiene como objetivo principal reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los tres gases de efecto invernadero de origen humano como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre. Este acuerdo solo fue ratificado por 55 países que representan un 55% del total de las emisiones de GEI (ONU, 1998; Lovelock, 2007). Así mismo en el artículo 12 del PK se creó el MDL, mediante el cual los países industrializados pueden financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos por ello (ONU, 1998).

Por otra parte en el año 2007 el IPCC conformó un panel donde participaron 2500 científicos de 130 países donde presentó las principales conclusiones de un dramático informe donde sintetizaron los cambios climáticos que enfrentará el mundo en los

próximos años, en los que destacan aumento de temperatura en la tierra, huracanes, ciclones, crecimiento del nivel del mar, y disminución de hielo en el Ártico y Antártico (Lovelock, 2007).

### **3.4. Ciclo global del carbono**

Mediante el proceso de la fotosíntesis, las plantas convierten el CO<sub>2</sub> en oxígeno (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Pardos, 2010). La fotosíntesis es el proceso mediante el cual se producen carbohidratos a partir de materias inorgánicas mediante la transformación de la energía solar en energía química (Daniel *et al.*, 1982). El carbono es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. En su unión molecular con el oxígeno, constituye el CO<sub>2</sub>, gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos, y cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas invernadero (Martínez y Fernández, 2004).

### **3.5. Flujo del Carbono**

Las plantas superiores adquieren el CO<sub>2</sub> atmosférico por difusión a través de poros de las hojas conocidos como estomas, y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Cierta cantidad de este CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera, pero la cantidad que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, se conoce como producción primaria neta (Martínez y Fernández, 2004). Las plantas comprenden cerca del 99% de la biomasa de nuestro planeta, reciclan una cantidad cercana al 0.1% del carbono total disponible en la biósfera cada año (Bidwell, 1979). Cuando el carbono se incorpora en el crecimiento de los árboles, los bosques actúan como sumideros de carbono y se estima que el 80% de C que vegetación y suelos intercambian con la atmósfera, corresponde a estos ecosistemas (Pardos, 2010).

En los ecosistemas terrestres, el carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, por lo tanto estos ecosistemas desempeñan un rol importante en el ciclo global del carbono. Los ecosistemas de

bosques se destacan por su gran capacidad de fijar carbono en sus estructuras y de manera particular en una forma estable en la parte leñosa debido a su permanencia en el tiempo (Brown, 1997a).

### **3.6. Crecimiento e incremento de árboles y bosques**

El crecimiento de un árbol o de una masa es el fenómeno de desarrollo observado íntegramente, está representado por su respectivo desarrollo. A medida que el árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura, volumen), a este crecimiento del árbol en un periodo de tiempo determinado se le llama incremento (Klepac, 1976).

Daniel *et al.* (1982) mencionan que las acículas que crecen en las partes expuestas de las copas de los árboles, tienen más estomas que las acículas de sombra, al tener más estomas éstas hojas, tienen mayor concentración de CO<sub>2</sub>, por lo tanto se puede deducir que los árboles dominantes y codominantes tienen mayor número de hojas de sol, lo cual proporciona el dato de que tienen mayor concentración de CO<sub>2</sub>.

### **3.7. Ecosistemas forestales como sumideros de carbono**

Brown (1997b) menciona que los bosques contribuyen potencialmente al cambio climático global positivamente gracias a su influencia sobre el ciclo global del carbono. De igual forma menciona que almacenan grandes cantidades de carbono en la vegetación y el suelo, y se intercambian este elemento con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, son fuentes de carbono atmosférico durante el abandono y regeneración después de la perturbación y pueden ser ordenados para alterar su papel en el ciclo del carbono. Así mismo hace mención que durante la década de los 80, el análisis de las provisiones de carbono demostró que los bosques de los países templados y boreales constituían un sumidero neto de carbono atmosférico de 0,7 Pg<sup>A</sup> año<sup>-1</sup>, mientras los trópicos significaban un foco de emisión neta de alrededor de 1,6 Pg año<sup>-1</sup>.

---

<sup>A</sup> Pentagramo por año.

### **3.8. Servicios ambientales**

Son todos aquellos beneficios que obtiene la población humana de los ecosistemas (directa e indirectamente) para su bienestar y desarrollo. Se definen como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia (Challenger, 2009). Por otra parte Torres y Guevara (2002) clasifican a los servicios ambientales en cuatro categorías: servicios de soporte, de regulación, de suministro y culturales. Sin embargo Muñoz (2005), menciona que el sector de los servicios ambientales (SA) está integrado por actividades que producen bienes y servicios destinados a medir, prevenir, limitar, minimizar y corregir daños ambientales al agua, aire y suelo, así como problemas relacionados con residuos, ruido y ecosistemas.

### **3.9. Biomasa**

La biomasa sobre el suelo considera los árboles, los arbustos y la vegetación herbácea, siendo los primeros los más importantes, por lo que es necesario, particularmente en este componente, ser extremadamente riguroso en las mediciones y en el proceso de la información, los componentes cambian con el tiempo y con las perturbaciones naturales y humanas (Brown, 1997a; Calderón *et al.*, 2001). La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo (Brown, 1997b; Schlegel *et al.*, 2000; Díaz *et al.*, 2007) normalmente es cuantificada en kilogramos por árbol o toneladas por hectárea ( $t\ ha^{-1}$ ) de peso verde o peso seco, para determinarla es común separarla en componentes, donde los más típicos son: la masa del fuste, hojas, ramas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta, en un bosque es un elemento ambiental clave para calcular los montos de carbono que puedan liberarse a la atmósfera o bien fijarse, cuando estos ecosistemas son manejados para mitigar los gases de efecto invernadero (Schlegel *et al.*, 2000; Schlegel, 2001; Silva y Návar, 2010).

Brown (1997b) señala que la biomasa de los componentes hojas, ramas, fuste principal y corteza, representan la mayor fracción de la biomasa total que vive en un bosque y no plantea demasiados problemas logísticos en su estimación.

### **3.10. Métodos de estimación de biomasa**

Para estimar la biomasa en un bosque existen métodos directos e indirectos, dentro del primero está el destructivo, el cual consiste en derribar el árbol y medir el peso de la biomasa directamente, para después determinar su peso seco y extrapolarlo a una zona más amplia (Fonseca *et al.*, 2009 citado por Araujo *et al.*, 1999). Para estimar la biomasa con métodos indirectos se utilizan modelos matemáticos y ecuaciones, calculados por medio de análisis de regresión entre las variables medidas en campo o también las colectadas en inventarios forestales (Brown, 1997; Calderón *et al.*, 2001; Aguirre y Jiménez, 2002; Méndez *et al.*, 2011).

Los árboles seleccionados se pesan en su totalidad y con esa información se ajustan regresiones, las que se aplican a cada uno de los árboles del rodal, obteniéndose la biomasa total como la suma de los pesos secos de los árboles individuales (Calderón *et al.*, 2001).

A partir del procedimiento destructivo que consiste en cortar el árbol y cuantificar la biomasa en términos de peso seco, se pueden diseñar ecuaciones alométricas que tienen alta precisión, para realizar la primera técnica es necesario invertir tiempo y costos elevados, en especial cuando se hacen los trabajos en lugares remotos, por eso es más utilizada la técnica mencionada en segunda instancia aunque es recomendada cuando se presentan condiciones similares a los sitios de estudios donde fueron elaboradas y estadísticamente son aplicables a especies con arquitectura similar (Rojas *et al.*, 2008).

### **3.11. Factores de expansión de biomasa**

Silva y Návar (2010) mencionan que los factores de expansión de biomasa son parámetros que transforman el volumen fustal por árbol o por unidad de superficie en densidad de biomasa por árbol o por la misma unidad superficie en cada tipo de vegetación. Así mismo, estos autores mencionan que los factores de expansión facilitan los cálculos de la densidad de biomasa a partir de las existencias reales en un bosque. Los factores de expansión de biomasa difieren en función de un sinnúmero de variables como la diversidad de especies, la edad, la estructura dimensional del rodal y la

estación, y son aplicables variables diferentes a existencias reales, crecimiento y la extracción (Silva y Návar, 2009).

Por otra parte Fonseca *et al.* (2009) afirman que los FEB se utilizan cuando no existe la información detallada de un inventario forestal con las distintas variables que caracterizan a cada árbol. Esta variable es interesante porque permite estimar la biomasa de las hojas, ramas y raíces.

Así mismo López *et al.* (2007) definen a los FEB como una herramienta muy útil para estimar la biomasa y el carbono en los bosques, contando sólo con información de inventarios forestales.

Husch (2001) afirma que los valores de los factores de expansión varían de 1.3 a 2.5 dependiendo de las especies, la edad del bosque, el DAP promedio del rodal y la cantidad de la necromasa.

### **3.12. Aclareos**

Son las cortas hechas en masas jóvenes con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan en pie (Hawley y Smith, 1972; SARH, 1984) y de aumentar la producción de material utilizable de la masa, dicha corta se aplica con el propósito de concentrar la producción potencial en madera de la masa en un limitado número de árboles escogidos, normalmente los árboles dominantes son los favorecidos, cortando así, árboles menores; también se regula la distribución del espacio de crecimiento para favorecer el cultivo existente (Hawley *et al.*, 1972). Por otra parte la SARH (1984), señala que los aclareos son intervenciones silvícolas que se realizan con el fin de lograr un mejoramiento de la masa arbolada, eliminando los árboles dañados, mal conformados, dominados y otros que sea necesario eliminar para tener un mejor aprovechamiento del espacio disponible y nutrientes del suelo. Mientras que SEMARNAT (2006) describe a los aclareos como las cortas periódicas que se aplican en un bosque entre su establecimiento y su corta final, con el fin de dar espaciamiento a los árboles para su óptimo desarrollo.



### 3.13. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Spermatophyta

Clase: Coniferae

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*.

Especie: *rudis* Endl.

### 3.14. Descripción de la especie

Es un pino alto, bien formado de 20-30 m de altura y 40-70 cm de diámetro, las ramas horizontales inferiores son de forma caída, las ramas superiores son ascendentes formando una copa espesa y redondeada. La corteza es gruesa de color claro marrón grisáceo, dividida en placas escamosas por las fisuras horizontales y verticales. En los árboles jóvenes, es rugosa y escamosa aunque no es clara. Las hojas se encuentran generalmente en fascículos de 5, raramente 4 o 6; son gruesas, rígidas y erectas, ligeramente curvadas de 10 - 15 cm de largo, aunque en su mayoría de unos 14 cm, los márgenes gruesamente aserrados, estomas en la superficie dorsal y ventral; canales resiníferos 3-5, ocasionalmente 6, las paredes exteriores del endodermo son haces fibrovasculares engrosadas (2) contiguas pero distintas. Fascículos con vainas persistentes 15-20 mm de largo, café oscuro. Los conos son largo-ovoides, casi simétricos, ligeramente curvados, en su mayoría erectos de 10-15 cm de largo en su mayoría de unos 12 cm, de color marrón oscuro a color casi morado-marrón; pueden encontrarse en parejas o en grupos de 3 y 4. Pedúnculos gruesos y cortos (unos 10 mm), que permanecen unidos a las ramitas cuando el cono se cae. Se abren en la madurez durante los meses de invierno y son semi-persistentes. Las semillas son pequeñas, oscuras, de unos 5 mm de largo, con un ala estrecha articulada de 13 mm de largo, con 5 o 6 cotiledones (Perry, 1991).

Los usos que Perry (1991) reporta para *P.rudis* Endl. son madererías y para la construcción. Por otra parte (CONAFOR, 2008) afirma que su madera se emplea en la

industria de la pulpa para papel y de aserrío. Así mismo menciona que en algunas regiones se usa para muebles, durmientes, cercas, leña, postes de luz, entre otros y lo recomienda para plantaciones forestales comerciales.

Martínez (1948) reportó una distribución que abarca los estados de Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Zacatecas, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, México, Puebla y Oaxaca. Mientras que Perry (1991) menciona que se encuentra en los estados de Veracruz, Tlaxcala, Distrito Federal, Colima, Guerrero, Chiapas y los mencionados por Martínez (1948) excluyendo Zacatecas. Así mismo Farjon (1997) afirma que *P. rudis* Endl. es sinonimia de *P. hartwegii* basándose en estudios morfológicos y menciona que la zona de distribución de esta especie es en Chihuahua, Durango y los mencionados por Perry (1991) excluyendo Nayarit.

El *P. rudis* Endl., es un pino que se encuentra en elevaciones bastante altas, por lo general crecen en 2,200-3300 m.s.n.m., aunque también se pueden encontrar árboles en elevaciones más bajas y rara vez por encima de 3300 m (Perry, 1991).

Martínez (1948) reportó que un insecto carpófago que ataca los conos de *P. rudis* Endl. es *Conotrachelus ponderosae.*, coleóptero de la familia Curculionidae, sus larvas pupan en diferentes partes del cono y este puede caer prematuramente. Además menciona que en México este insecto fue el responsable de 40 a 87% de daños en la cosecha total de *P. rudis* Endl.

### **3.15. Estudios de estimación de biomasa en plantaciones forestales**

En nuestro país se han realizado varios estudios de estimación de biomasa y captura de carbono en plantaciones forestales, a continuación se mencionan algunos de estos estudios.

Acosta *et al.* (2002) estimaron biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. Las ecuaciones utilizadas fueron de la forma  $Y = bX^k$ , donde  $Y$  es la biomasa aérea (kg),  $X$  es el diámetro (cm) a la altura del pecho (DAP) y  $b$  y  $k$  son los parámetros a estimar. En las seis especies el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue mayor a 0.97. Los valores promedio de biomasa por árbol fueron los siguientes: 48.41 kg para *Alnus*; 72.16 kg para *Quercus*; 35.5 kg para *Rapanea*; 5.24 kg para *Clethra*; 76.92 kg para *Liquidambar* y 94.95 kg para *Inga*.

Pacheco *et al.* (2007) evaluaron el potencial de *Pinus greggi* Engelm., para almacenar carbono en la biomasa aérea en una plantación de 6 años de edad en Cuaunepantla, Acaxochitlán, Hidalgo, estimando la biomasa total aérea en 20 árboles, los cuales fueron separados por componentes (hojas, ramas y follaje). La biomasa aérea seca promedio fue de 8 kg por árbol. La productividad primaria neta fue de 5.8 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para una densidad de 4425 árboles ha<sup>-1</sup>. La concentración de carbono en tejido vegetal fue del 51%. La ecuación matemática para estimar la biomasa a partir de la variable combinada de diámetro y altura (D<sup>2</sup>h) fue:  $Y = 147 X + 3288 X^2$ , explicando un 89% de la variación. Estos resultados muestran que el potencial para almacenamiento de carbono es relativamente alto con 17.9 t ha<sup>-1</sup>, que representa una masa de dióxido de carbono equivalente de 65.8 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

Aguilar (2009) determinó fitomasa seca de los componentes hojas, ramas, fuste y total del árbol en una plantación de 16 años de edad de *Pinus greggii* Engelm., derribando 30 árboles que representaron todas las categorías diamétricas y de altura, se probaron y evaluaron diez modelos alométricos. Los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) fueron mayores de 0.91 para todos los componentes. Para la fitomasa total y fitomasa de ramas el mejor modelo fue de la forma  $\ln F_t = -3.5327 + 2.5473 D$  y  $\ln F_r = -0.7942 + 0.2246D$  respectivamente; para fitomasa de fuste comercial es  $Ft^{0.5} = -1.0109 + 0.4292 D$  y para fitomasa en hojas el mejor modelo fue de la forma  $Y^{0.5} = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 H$ . La fitomasa aérea y el carbono almacenado promedio por árbol fue de 22.84 y 11.42 kg, respectivamente. Para toda la plantación se estimó una fitomasa aérea de 30.06 t ha<sup>-1</sup>, cuyo contenido de carbono fue de 15.03 t C ha<sup>-1</sup>.

### **3.16. Estudios de estimación de biomasa en ecosistemas naturales**

Además se han realizado algunos estudios de estimación de biomasa para bosques naturales en donde son diferentes las formas de establecimiento y desarrollo a los de una plantación, a continuación se presentan algunos casos.

Schlegel (2001) contempló la cuantificación de la biomasa y el carbono fijado en bosques templado – lluviosos en la región centro-sur de Chile. Se realizaron mediciones

directas en base a métodos destructivos de 12 especies de árboles, raíces, sotobosque, necromasa<sup>B</sup> y hojarasca. Se dividieron en dos grupos las especies analizadas (Precordillera Andina y Cordillera de la Costa). Los modelos que mejor estimaron la biomasa son de tipo alométrico, de la forma  $Y = a * X ^b$  con transformación logarítmica e incluyen variables de DAP, DAT<sup>C</sup>, HT. En el análisis de los datos se obtuvieron diferencias en biomasa aérea para los dos grupos, obteniendo un promedio de 383.29 t ha<sup>-1</sup> para el bosque andino y 194.08 para el bosque costero, así mismo se obtuvo un total de carbono acumulado promedio en todos los componentes de 525.37 t ha<sup>-1</sup> y 290.80 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Figueroa *et al.* (2010) realizaron un estudio para estimar la biomasa aérea en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltl. Et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo, ajustando ecuaciones simultáneas de regresión tomando en cuenta los diferentes componentes de la estructura de un árbol (fuste, ramas, follaje y corteza), además se utilizaron datos del inventario forestal. Encontraron que en 25 años, la biomasa contenida en el arbolado incrementó con una tasa de 6.7 Mg ha<sup>-1</sup>. Así mismo detectaron que en un rodal que había sido intervenido en 1982, presentó una acumulación de biomasa similar a la contenida en el arbolado de una área que aún no ha sido intervenida (166.6 y 184.03 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Gutiérrez *et al.* (2011), evaluaron el contenido de carbono en la biomasa aérea en tres rodales de *Pinus oocarpa* localizados en los municipios de Cintalapa, Motozintla y las Margaritas, Chiapas, encontrando una captura de carbono de 32.2 t ha<sup>-1</sup>, 15.60 t ha<sup>-1</sup> y 76.80 t ha<sup>-1</sup>, y de biomasa de 64.056 t ha<sup>-1</sup>, 31.207 t ha<sup>-1</sup>, 153.600 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para este trabajo se utilizaron 10 modelos de los cuales el de la forma  $\ln Y = -4.806 + (2.088 * \ln dn) + (0.670 * \ln h)$ , es el mejor para estimar la biomasa total en t ha<sup>-1</sup> y explica en un 99% la variabilidad de los datos.

---

<sup>B</sup> Necromasa es la madera muerta sobre el suelo y los árboles muertos en pie.

<sup>C</sup> DAT. Diámetro a la altura del tocón.

## IV. METODOLOGIA

### 4.1. Área de estudio

El área experimental se estableció hace 17 años en la pequeña propiedad (P.P) Rancho San José de la Joya, lotes 3 al 8 que pertenecen al C. Víctor Caballero Valencia, entre las coordenadas  $24^{\circ} 53' 20.6''$  y  $24^{\circ} 53' 21.9''$  de latitud Norte y  $100^{\circ} 15' 02.9''$  y  $100^{\circ} 15' 08.7''$  de longitud Oeste, al Sureste del ejido San José de la Joya, el cual se ubica a 35 km al NW de la cabecera municipal de Galeana, Nuevo León (Figura 1).

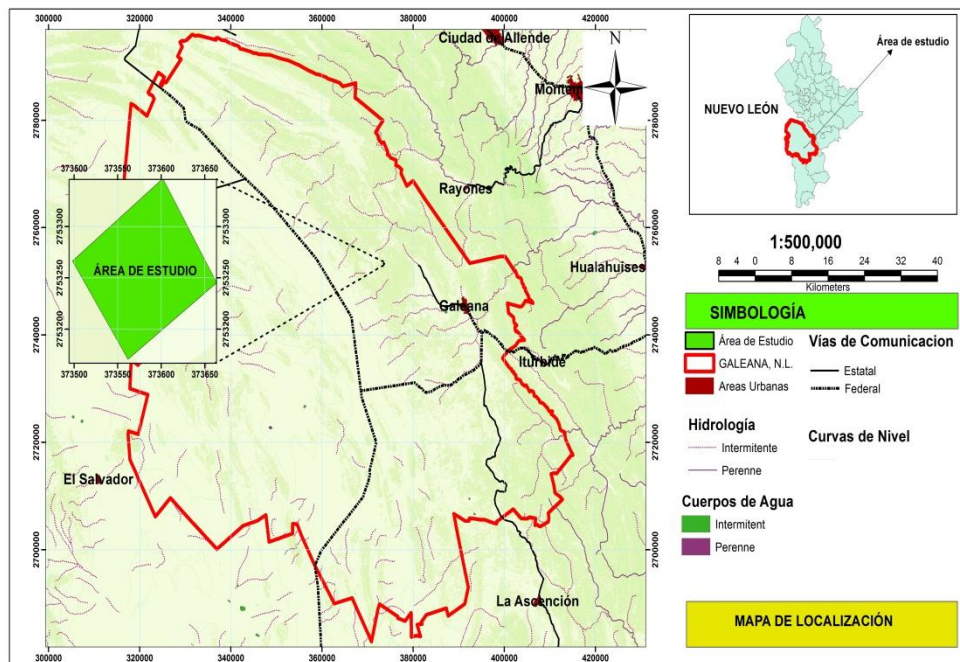


Figura 1. Mapa de localización del área experimental P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.

El área donde se realizó el presente trabajo, fue en seguimiento de un estudio realizado por Díaz (2002) donde analizó el efecto de preaclareos bajo diferentes intensidades de corta en una regeneración de *Pinus rudis* Endl. Los criterios que consideró para la selección fácil acceso, que no existieran problemas de litigio, buena calidad de sitio, que no variara la exposición y la pendiente.

Anteriormente al establecimiento (año de 1995) el área de estudio se encontraba bajo el régimen de manejo con el método de desarrollo silvícola (MDS), en el cual la densidad

de árboles padres fue baja debido a que adicionalmente se realizaron intervenciones por infestación de muérdago enano (*Arceuthobium vaginatum*). Los tratamientos (intensidades de aclareo) que fueron aplicados en el estudio fueron 0 % (Testigo o sin remoción), 20 % (T2 o remoción baja), 40 % (T3 o remoción intermedia), 60 % (T4 o remoción alta). La proporción de los aclareos se realizó de manera conservadora tomando en cuenta la cobertura del suelo y previendo posibles causas de muerte por diferentes agentes patogénicos (Díaz, 2002).

## **4.2. Descripción del área de estudio**

### **4.2.1. Fisiografía**

El área del experimento se encuentra situada en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental (V), Subprovincia Gran Sierra Plegada (28), donde domina una morfología de estratos plegados de rocas carbonatadas con prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales (INEGI, 2012). Los sistemas de topofomas que predominan son los denominados sierra pliegue flexionada, presentando una altitud entre los 2000 – 3700 m.s.n.m., aunque en el área experimental se encuentra la cota menor y mayor de 2800 y 3700 m.s.n.m respectivamente (CETENAL, 1993).

### **4.2.2. Clima**

El tipo de clima que caracteriza a la región donde está ubicado el experimento lo describe la formula  $C(w_0)x'$  que es un semifrío subhúmedo, con lluvias en verano y sequías en invierno, % de lluvia invernal menor de 10.2 del total anual. La precipitación total anual varía entre los 400 – 600 mm, presentándose la mayor parte de ella en los meses de mayo a octubre y la menor en el mes de marzo, el rango de temperatura media anual fluctúa entre los 12 y 18 ° C, donde los más cálidos son: Junio y Agosto con una temperatura media entre 18 y 20 °C (INEGI, 2012).

### **4.2.3. Hidrología**

El área experimental se encuentra dentro de la región hidrológica 24 (Bravo – Conchos), así como en la cuenca Rio Bravo – San Juan que se considera de mucha importancia debido a que en su área de influencia, existen los mayores asentamientos humanos, además comprenden las presas de almacenamiento de agua para consumo humano como lo son: Rodrigo Gómez (La boca) y Presa el Cuchillo, que abastecen a la ciudad de Monterrey y su área metropolitana. Así mismo el experimento está dentro de la sub cuenca Río pilón (INEGI, 2012).

### **4.2.4. Tipo de suelo**

Dentro del área se encuentra como suelo principal el Rendzina con una clase textural fina (E+Kh/3), el cual presenta un horizonte de aproximadamente 60 cm de profundidad, limitada ésta por presencia de roca, la forma del suelo es en bloques de tamaño grueso, desarrollo fuerte, es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza; como suelo secundario está presente el Litosol con textura fina (I+E/3), el cual aparece normalmente en escarpes y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm (CETENAL, 1977).

### **4.2.5. Tipo de vegetación**

El área donde está situado el área experimental presenta un tipo de vegetación de bosque de pino asociada con pastizal inducido, el mismo tipo de vegetación lo presenta la mayoría del terreno de los alrededores del área, aunque también está presente la agricultura de temporal, chaparral asociado con bosque de pino, matorral inerme, así como bosque de pino-encino (CETENAL, 1977).

Las especies arbóreas que se desarrollan en el área experimental son *Pinus rudis* Endl., *Pinus ayacahuite* Ehren., *Pinus culminicola* Andresen & Beaman, *Pinus hartwegii* Lindl., *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. y *Populus tremuloides* Michx.

#### **4.2.6. Geología**

El material geológico que compone al área de estudio es la roca caliza de origen sedimentario marino, con yeso y lutita pertenecientes a la era del Mesozoico, con relieve de montaña, el espesor de las capas es grueso, fracturamiento intenso, intemperismo somero y permeabilidad baja (CETENAL, 1971).

#### **4.3. Delimitación del área de estudio**

Esta parte consistió en reubicar los vértices del área experimental establecida en 1995, posteriormente se colocaron estacas, se limpiaron los callejones divisores que tienen un ancho de 2 m a lo largo de los bloques y en la periferia de los mismos y se ubicaron los bloques al unir las estacas con ayuda de hilo de polietileno, las medidas son de 25 m de ancho por 100 m de largo, siendo un total de cuatro bloques en todo el experimento (1 ha). Dentro de cada bloque se trazaron parcelas de 25 m de ancho por 25 m de largo (unidad experimental), obteniendo 4 parcelas por bloque y 16 en total, para esta actividad se utilizó un longímetro de 50 m, estacas de madera e hilo de polietileno.

Para la identificación de los tratamientos se revisaron los registros del establecimiento del área, de tal manera que los tratamientos quedaron distribuidos como se muestran en la Figura 2.

Enseguida de la redelimitación, se procedió a utilizar la metodología aplicada por Díaz (2002), la cual consistió en realizar una cuadrícula en cada unidad experimental formando 25 cuadros de 5 m por 5 m, a los cuales se les denominó muestras, enumerando los cuadros de manera ascendente y en forma espiral, de tal manera que se hicieran 25 muestras y la muestra 25 quedara al centro de la unidad experimental. Para la selección de los árboles muestra solo se utilizó el espacio comprendido en el área efectiva de cada unidad experimental, es decir, se utilizaron solo las muestras de los cuadrantes 17 al 25 y las restantes (1 – 16), se utilizaron como franja de protección para evitar efecto de borde como se muestra en la Figura 3.



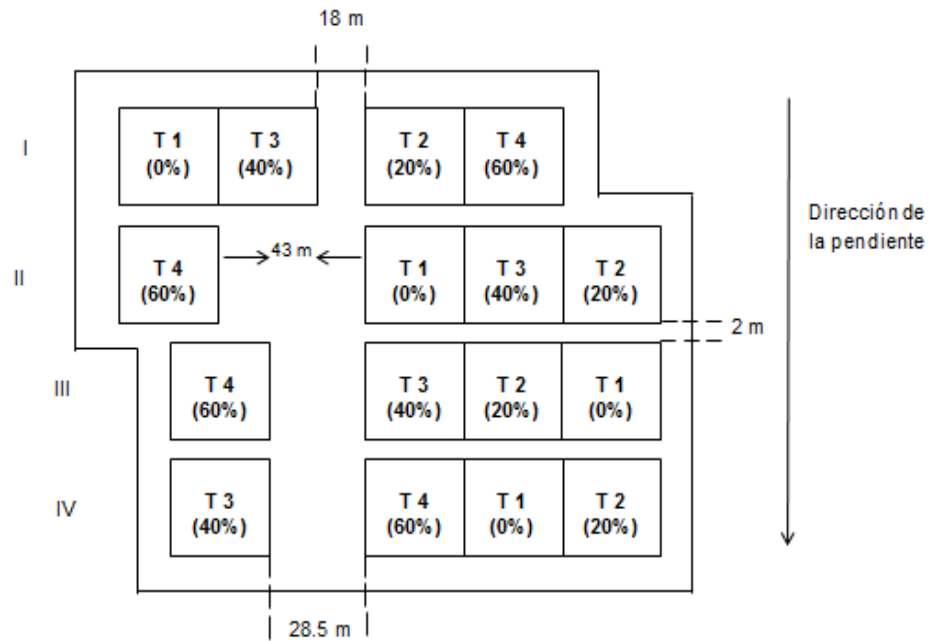


Figura 2. Distribución de los tratamientos en cada una de las parcelas de los bloques. I, II, III y IV (número de bloque).

#### 4.4. Selección de árboles muestra

La metodología de campo y de laboratorio que se utilizó, fue la propuesta por Schlegel *et al.* (2000), la cual se describe a continuación.

Para la selección de árboles muestra, se utilizaron las clases de copa descritas por Kraft (1884) citado por Daniel *et al.* (1982) árbol dominante (AD), árbol codominante (AC), árbol intermedio (AI) y árbol suprimido (AS). En cada tratamiento (unidad experimental) se seleccionaron 2 ejemplares de clase de copa, derribando así, 8 árboles para cada tratamiento de cada clase de copa, dando un total de 128 para todo el experimento.

1	2	3	4	5
16	17	18	19	6
15	24	25	20	7
14	23	22	21	8
13	12	11	10	9

Figura 3. Representación gráfica de una parcela o unidad experimental (25 m x 25 m), constituida por los cuadrantes del 1 – 25; donde el área efectiva o subparcela (15 m x 15 m) está constituida por los cuadrantes del 17 al 25. Las muestras 1 – 16 constituyen la faja de protección.

#### 4.5. Variables evaluadas del arbolado en pie

Se midió el diámetro a 0.30 m de altura, el diámetro normal (1.30 m) y la altura total de los árboles muestra, los diámetros se determinaron midiendo el perímetro a la altura correspondiente con la ayuda de la cinta de sastre, posteriormente se transformó a diámetro; la altura total se midió con una pértiga o vara graduada con aproximación al cm.

#### 4.6. Derribo de arbolado

Después que los árboles muestra fueron seleccionados, se procedió a derribarlos; para esto se consideró la seguridad del personal, es por esta razón que el motosierrista ubicaba la caída del árbol y los otros colaboradores se mantenían alejados. Se procuró que los árboles se cortaran a una altura de 30 cm; cuando fue necesario se quitó la vegetación herbácea y de gramíneas existente en la zona de

caída del arbolado, esto para colocar lonas y así lograr tener la mayor cantidad de biomasa en los componentes de los árboles (hojas, ramas y fuste).

#### **4.7. Medición de variables de los árboles derribados**

Una vez que fueron derribados los árboles muestra, se midieron las variables siguientes: altura de fuste limpio (HFL), diámetro de inicio de copa (DIC). El DIC se determinó obteniendo el perímetro con una cinta sastre, posteriormente se convirtió a diámetro y la HFL con ayuda de un longímetro.

#### **4.8. Desrame y troceo de los árboles**

Para el desrame y troceo de los árboles, estos se dividieron en componentes, los cuales fueron: fuste, ramas gruesas y hojas. En el componente hojas se consideraron las ramas finas  $\leq$  a 1 cm de diámetro. Para la segmentación del fuste se cortaron secciones de 1 m de longitud a partir de 1.30 m, es decir a 2.3, 3.3, 4.3, etc., de modo que se facilitara la determinación de su peso.

#### **4.9. Pesado de los componentes de la biomasa aérea**

El peso de los componentes de la biomasa de los árboles, se realizó separando dichos componentes; para esto se utilizaron 2 tipos de basculas: una de resorte o tirón con capacidad de 50 kg para el pesado del fuste, ramas y en ocasiones las hojas; y una báscula digital TORREY con capacidad para 10 kg, precisión al g y un grado de error de 0.001 kg.

Una vez que se realizó lo anterior se colectaron muestras de cada uno de los componentes, las cuales se obtuvieron de la siguiente manera: para el caso de las ramas éstas se seleccionaron de toda la copa de los árboles, hasta completar de 0.5 – 1 kg de cada árbol, según su tamaño, para su posterior secado en laboratorio; lo mismo se realizó para el componente de hojas. Para el componente fuste se seleccionaron rodajas a nivel del suelo, a 0.30 m y de ahí en adelante a cada metro hasta llegar al ápice del árbol.

#### **4.10. Etiquetado**

Después de la colecta de las muestras de los componentes se procedió a colocar estas en bolsas de papel Kraft y en algunas ocasiones en costales de plástico en donde se etiquetó a cada componente por árbol, bloque y tratamiento para su fácil identificación en laboratorio, así mismo se protegieron contra las lluvias para evitar infestación por hongos.

#### **4.11. Secado de los componentes de la biomasa**

Con el fin de determinar el peso seco de las muestras de cada componente, se procedió a trasladarlos al laboratorio, donde se colocaron en bolsas de papel Kraft los que venían en costales de plástico y en bolsas dañadas del mismo papel para ponerlas en una estufa de secado a una temperatura de  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Se monitoreó cada 24 horas el peso de algunas muestras seleccionadas hasta que se obtuvo el peso constante; una vez logrado lo anterior se determinó el peso seco.

#### **4.12. Existencias reales de biomasa por tratamiento**

Adicionalmente se realizaron otras mediciones en campo las cuales fueron: conteo de árboles por cuadrante así como la medición de DAP y HT de 5 árboles representativos de cada cuadrante en toda la parcela (tratamiento).

#### **4.13. Estimación de la biomasa por clases de copa**

El método de estimación de biomasa que se utilizó en este estudio fue el destructivo el cual consiste en derribar los árboles seleccionados (muestra) y determinar directamente la biomasa por la relación peso seco – peso húmedo.

Se estimó el contenido de humedad para cada submuestra de cada componente (hojas, ramas, fuste), la suma de estos permitió estimar el contenido de humedad total por árbol. El contenido de humedad se determinó con la fórmula propuesta por Schlegel *et al.* (2000), la cual es la siguiente:

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} * 100$$

Dónde:

CH= Contenido de humedad (%).

Phs= Peso húmedo de la submuestra (g).

Pss= Peso seco de la submuestra (g).

Primero fue necesario estimar el CH. Posteriormente se calculó biomasa por componentes utilizando la fórmula empleada por Schlegel *et al.* (2000), la cual se describe a continuación.

$$B = \frac{PhBt}{1 + \left(\frac{CH}{100}\right)}$$

Dónde:

B= Biomasa seca (g).

PhBt= Peso húmedo de biomasa total (g).

CH= Contenido de humedad (%).

Para la determinación de la biomasa aérea total por árbol se utilizó la fórmula siguiente:

$$Bat = Bf + Br + Bh$$

Dónde:

Bat= Biomasa aérea total.

B<sub>f</sub>= Biomasa de fuste.

B<sub>r</sub>= Biomasa de ramas.

B<sub>h</sub>= Biomasa de hojas.

#### **4.14. Ecuación de biomasa y factores de expansión**

Para la determinación de la ecuación de estimación de biomasa aérea total se utilizaron y analizaron los modelos alométricos descritos en el Cuadro 1, posteriormente y de acuerdo con Barrena *et al.* (1986), se obtuvieron los estadígrafos de bondad de ajuste: coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), coeficiente de determinación ajustada (R<sup>2</sup> aj), cuadrados medios del error (CME) como se muestra en el Cuadro 2, para seleccionar el

modelo que mejor se ajustó, el cual por medio de una o más variables de fácil medición (DAP, HT, HFL) estimara la cantidad de biomasa aérea total por árbol.

Para la estimación de los FEB se aplicó el procedimiento usado por Domínguez *et al.* (2009) donde se utilizó el peso seco o biomasa de hojas, ramas y fuste, usando la siguiente fórmula:

$$F_{exp} = (B_f + B_r + B_h) / B_f$$

Dónde:

$F_{exp}$  = Factor de expansión de biomasa aérea.

$B_f$  = Biomasa de fuste (kg).

$B_r$  = Biomasa de ramas (kg).

$B_h$  = Biomasa de hojas (kg).

Los datos obtenidos por la fórmula anterior son a nivel árbol, en este caso se realizarán FEB por clase de copa y tratamiento, con el fin de tener valores que nos permitan una estimación más precisa de biomasa a través de dichos FEB utilizando solo el volumen comercial para esta etapa de desarrollo.

#### **4.15. Normalidad de los datos**

Para verificar la normalidad de los datos de las variables que se tomaron en cuenta para el análisis de los modelos manipulados, se utilizaron las pruebas de normalidad en el programa STATISTICA versión 7, el cual toma en cuenta tres pruebas de las cuales la de Shapiro – Wilk's, es de las más robustas (Anexo 3).

#### **4.16. Biomasa aérea total por tratamiento ( $t\ ha^{-1}$ )**

Se estimó la biomasa aérea total por tratamiento, para lo cual se utilizaron los datos de número de árboles, DAP y HT promedio de cada tratamiento, una vez obtenidos los datos anteriores se utilizó la ecuación que se generó para estimar biomasa aérea total por árbol, en la cual se le sustituyeron los valores de la variable a considerar en la ecuación y se obtuvo la biomasa aérea total por árbol, posteriormente se multiplicó el valor obtenido por el número de árboles para obtener la biomasa por

tratamiento, una vez realizado lo anterior, se procedió a extrapolar la cantidad de biomasa y obtener el dato en biomasa por hectárea.

#### 4.17. Modelos de biomasa aérea

Para la estimación de biomasa aérea total por tratamiento fue necesario realizar una correlación de las variables con la biomasa aérea y así generar una ecuación que permitiera estimar la biomasa aérea total por árbol, utilizando una variable de fácil medición (Anexo 2). Para lo cual fue necesario probar y analizar 9 ecuaciones alométricas, las cuales fueron usadas por Acosta *et al.* (2002); Pacheco *et al.* (2007); Méndez *et al.* (2011) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar biomasa aérea total por tratamiento de *Pinus rudis* Endl., en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.

Modelo	Ecuaciones
1	$Y = a * D^b$
2	$Y = a+b*D + c * D^2$
3	$Y = a + b * D^2 + c * H + d * D^2 * H$
4	$Y = a + b * D^2$
5	$Y = a + b * D^2 * H$
6	$Y = (a + b * D)^2$
7	$Y = \text{Exp} (a + b * (\text{Ln}D))$
8	$Y = \text{Exp} (a + b * \text{Ln} (D^2HT))$
9	$Y = \text{Exp} (a + b * D)$

Y = Biomasa aérea (kg); D = Diámetro a la altura del pecho (cm); HT = Altura total (cm); Exp = Exponencial; Ln = Logaritmo natural; a, b, c y d = Parámetros del modelo.

#### 4.18. Criterios para selección del mejor modelo

Para la selección de los mejores modelos se consideraron los criterios de bondad de ajuste o estadígrafos propuestos por Barrena *et al.* (1986), los cuales se muestran a continuación.

Cuadro 2. Estadígrafos o criterios de bondad de ajuste para la selección de los mejores modelos para la estimación de biomasa aérea.

Estadígrafo o criterio de bondad de ajuste.	Características.	Valor.
Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).	Indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo.	Entre más cercana a 1, es mejor el ajuste del modelo.
Coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ).	Es una variante de la $R^2$ que no necesariamente aumenta al incluir una variable independiente adicional en el modelo, debido a que penaliza la inclusión de nuevas variables independientes.	Entre más cercano a 1, es mejor el ajuste del modelo.
Cuadrado Medio del Error (CME).	Se utiliza para estimar o predecir valores.	La mejor ecuación será aquella que presente menor valor del CME.

Posteriormente se realizó un cuadro donde se califica a cada modelo de acuerdo a cada criterio de bondad de ajuste, otorgándoles calificaciones de manera descendente empezando con la calificación de uno para el mejor modelo, dos al segundo, tres al tercero, etc., enseguida se suman las calificaciones de todos los criterios de bondad de ajuste de cada modelo evaluado y el modelo con la menor calificación, será el mejor.

#### 4.19. Análisis estadístico

##### 4.19.1. Biomasa aérea total entre clases de copa y tratamientos por árbol

Dado el diseño experimental bajo el cual está establecido el experimento y a los objetivos y planteamiento de la hipótesis, el análisis estadístico que se realizó, consistió en un análisis de varianza (ANOVA) bajo el diseño experimental de tipo factorial 4x4x4. Dicho diseño se define como aquel en el que el conjunto de tratamientos, consiste en todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores (Steel y Torrie,



1988). Estos autores mencionan que una interacción entre tratamientos es significativa cuando es suficientemente grande como para que se pueda explicar con base en el azar y la hipótesis nula que no existe interacción, por otra parte dichos autores mencionan que cuando la interacción no es significativa indica que los factores en consideración, son independientes entre sí.

Para este caso se identificaron tres factores: bloques, intensidades de preaclareo y clases de copa; dentro del factor bloques se definieron cuatro niveles (I, II, III y IV); para el factor intensidades se definieron cuatro niveles (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción) y para el factor clases de copa fueron definidos cuatro niveles (D, C, I y S), de esta manera se agruparon los datos bajo un diseño experimental de tipo factorial 4x4x4, obteniendo un total de 64 interacciones de los tratamientos.

El ANOVA se realizó considerando un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ).

Una vez realizado el ANOVA y si se encontró significancia entre medias de los factores o significancia en alguna interacción, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

El análisis de los datos se realizó en el programa STATISTICA versión 7, para determinar si existen diferencias significativas de la producción de biomasa a nivel árbol en las diferentes intensidades de preaclareo y clases de copa.

#### **4.19.2. Biomasa aérea de componentes por clase de copa y tratamientos por árbol**

Para el caso se determinaron 4 factores: bloques, intensidades de preaclareo, clases de copa y componentes. Para el factor bloques fueron definidos cuatro niveles (I, II, III y IV); en el factor intensidades se definieron cuatro niveles (0 %, 20 %, 40 % y 60 %) de remoción; en el factor clases de copa se definieron cuatro niveles (D, C, I y S) y en el factor componente también fueron definidos cuatro niveles (hojas, ramas, fuste y total), de esta manera se agruparon los datos bajo un diseño experimental de tipo factorial 4x4x4x4, donde resultaron 256 interacciones.

Los ANOVA se realizaron considerando un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ).

Una vez realizados los ANOVA y si se encontró significancia entre las medias de los factores o significancia en alguna interacción, se procedió a realizar una comparación de medias a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico STATISTICA versión 7.

#### **4.19.3. Ecuación de biomasa y factores de expansión por clase de copa y tratamiento**

Para el ajuste del modelo de estimación de biomasa aérea, se realizó un análisis de correlación entre la biomasa por árbol y las variables independientes de fácil medición que se obtuvieron en el inventario realizado en campo, en las cuales destacan el DN, HT, HFL, DIC y D 0.30 m.

Dichos análisis se realizaron en el programa STATISTICA versión 7, donde se analizaron las 9 ecuaciones citadas en el Cuadro 1, para posteriormente seleccionar el modelo que mejor ajuste presentó con base en los estadígrafos de bondad de ajuste descritos en el Cuadro 2.

El análisis estadístico que se realizó en la comparación de los valores promedio de FEB por bloque, tratamientos y clase de copa consistió en un ANOVA bajo un diseño experimental de tipo factorial  $4 \times 4 \times 4$ , en el cual se determinaron 3 factores bloques, intensidades de preclareo y clases de copa; para el primer grupo se definieron cuatro niveles (I, II, III y IV); los mismos niveles se determinaron para el segundo grupo (0, 20, 40 y 60 % de remoción y para el tercer factor fueron definidos cuatro niveles (D, C, I y S); de esta manera se generaron 64 interacciones de las fuentes de variación.

El ANOVA se realizó considerando un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ).

Después que se ejecutó el ANOVA y si se encontró significancia entre medias de los factores o significancia en alguna interacción, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico STATISTICA versión 7

#### **4.19.4. Biomasa aérea total por tratamiento (t ha<sup>-1</sup>)**

En el análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA por medio de un diseño experimental en bloques al azar, en el cual se definió como tratamiento a las intensidades de preaclareo que fueron 0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción.

El ANOVA se realizó considerando un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ).

Una vez que se ejecutó el ANOVA y si se encontró diferencia entre las medias de los tratamientos, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

Para la realización del análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico STATISTICA versión 7.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de biomasa aérea total promedio por árbol entre clases de copa y tratamientos

El ANOVA factorial ( $\alpha= 0.05$ ) demostró que no hay diferencias significativas entre los niveles del factor intensidades de preaclareo ( $Pr> 0.0848$ ), sin embargo en los niveles del factor bloque, si se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $Pr> 0.0001$ ), lo mismo sucedió en los niveles del factor clase de copa, donde tambien se encontró diferencias altamente significativas ( $Pr> 0.0001$ ). Por otra parte, en las interacciones entre los factores tratamiento y bloque, se encontró una interacción altamente significativa ( $Pr> 0.0098$ ), sin embargo en la interacción entre los factores tratamiento y clase de copa, no se encontró significancia ( $Pr> 0.9112$ ), así mismo en la interacción entre los factores bloque y clase de copa no se encontró significancia entre sus niveles ( $Pr> 0.0876$ ), finalmente en la interacción de los tres factores (bloque, tratamiento y clase de copa), tampoco se encontró significancia ( $Pr> 0.0686$ ). Con lo anterior se determina que los factores son independientes; es decir, que el contenido de la biomasa aérea no depende de los tratamientos pero sí de la clase de copa y que los bloques ejercen influencia sobre la variable de respuesta (biomasa aérea total por árbol) (Anexo 4).

La cantidad de biomasa aérea total promedio por árbol, en el tratamiento 4 (60 % remoción) presentó el valor más elevado (19.20 kg); posteriormente el tratamiento 1 (0 % remoción) con 17.80 kg; seguido del tratamiento 2(20 % remoción) con una producción de 15.70 kg y finalmente el tratamiento 3 (40 % remoción) con 15.00 kg (Figura 4).

Los resultados anteriores estan por encima a los encontrados por Pacheco *et al.* (2007) en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Cuaunepantla, Acaxochitlán, Hidalgo, donde obtuvieron resultados promedio de biomasa aérea por árbol de 8 kg a una edad de 6 años, cabe señalar que las dimensiones de los árboles eran inferiores a las de los árboles analizados (Cuadro 3) en el presente estudio.

Cuadro 3. Dimensiones promedio de los árboles de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127

Trat.	C.C	DN				HT				BH				BR				BF				BT			
		X	Máx	Mín	D.E	X	Máx	Mín	D.E	X	Máx	Mín	D.E	X	Máx	Mín	D.E	X	Máx	Mín	D.E	X	Máx	Mín	D.E
1	D	12.9	17.2	9.5	2.7	8.0	9.5	6.7	1.0	2.8	4.7	1.9	0.9	6.8	12.7	2.6	3.1	25.8	49.2	12.2	12.3	35.4	66.6	17.1	16.0
	C	10.3	14.3	6.0	2.6	7.3	9.5	6.1	1.1	1.7	3.2	0.6	0.8	4.7	11.3	1.4	3.3	16.4	35.6	4.9	9.5	22.7	50.1	7.3	13.3
	I	7.7	9.3	5.7	1.2	6.5	8.6	4.7	1.4	0.7	1.4	0.1	0.4	1.6	2.7	1.2	0.5	7.8	12.0	3.6	3.1	10.2	16.1	5.5	3.7
	S	4.0	5.9	2.9	1.1	3.6	5.5	2.5	1.0	0.2	0.4	0.0	0.1	0.4	1.2	0.1	0.4	1.6	4.1	0.5	1.3	2.2	5.8	0.7	1.8
2	D	12.8	15.9	10.3	1.9	8.6	10.0	7.6	0.9	2.5	4.9	0.8	1.3	6.1	9.1	2.1	2.5	27.0	41.2	14.5	9.2	35.6	52.9	17.4	12.4
	C	9.3	11.0	6.6	1.6	7.5	8.3	6.0	0.8	1.3	2.1	0.4	0.6	2.7	5.3	0.8	1.3	12.9	18.7	7.2	4.6	16.8	26.0	8.4	6.0
	I	7.1	8.8	6.0	1.0	6.2	7.5	4.7	0.9	0.4	1.1	0.1	0.3	1.4	2.3	0.5	0.6	6.6	11.3	3.4	2.6	8.3	14.4	5.4	3.1
	S	3.8	4.7	3.0	0.6	4.1	6.1	3.0	1.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	1.5	2.9	0.8	0.7	1.8	3.3	1.0	0.8
3	D	12.5	14.8	10.3	1.6	8.2	9.9	6.4	1.2	2.3	3.9	1.2	1.1	5.9	11.1	2.7	3.2	23.9	40.0	13.9	9.0	32.1	54.3	18.8	12.5
	C	10.0	13.2	8.8	1.4	7.3	9.2	6.3	1.2	1.4	3.1	0.4	0.8	3.5	6.7	2.2	1.5	14.2	20.6	9.2	4.6	19.0	30.4	13.2	6.4
	I	6.3	8.5	4.8	1.4	6.4	9.2	5.0	1.4	0.3	0.6	0.1	0.2	0.9	1.9	0.3	0.6	5.2	11.1	2.1	2.8	6.4	13.5	2.8	3.4
	S	4.3	5.3	3.1	0.7	3.8	4.8	2.9	0.7	0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.5	0.2	0.1	1.6	2.7	0.7	0.7	2.0	3.4	1.0	0.8
4	D	12.6	15.1	9.8	1.8	8.7	10.8	6.0	1.4	2.9	6.3	1.2	1.5	7.1	14.4	2.8	3.9	28.9	44.2	10.9	11.1	39.0	65.0	16.0	15.5
	C	11.0	12.4	9.2	1.4	8.0	9.2	7.0	0.8	1.4	3.0	0.8	0.7	4.7	9.5	1.8	3.0	18.8	25.8	12.2	4.4	25.0	36.5	16.3	7.2
	I	7.7	9.8	6.3	1.3	6.7	8.4	4.1	1.3	0.4	0.7	0.3	0.1	1.6	2.7	0.8	0.6	8.2	10.7	4.8	1.9	10.2	13.2	5.9	2.4
	S	4.8	7.5	3.4	1.4	4.8	6.2	2.8	1.3	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4	1.1	0.2	0.3	2.6	6.7	0.7	2.0	3.0	8.1	1.0	2.3

Trat.= Tratamiento; C.C= Clase de copa; DN= Diámetro normal; HT= Altura total; BH= Biomasa de hojas; BR= Biomasa de ramas; BF= Biomasa de fuste; BT= Biomasa total; X= Media; Máx= Máximo; Mín= Mínimo; D.E= Desviación estándar; D=Dominantes; C=Codominantes; I=Intermedios y S=Suprimidos.

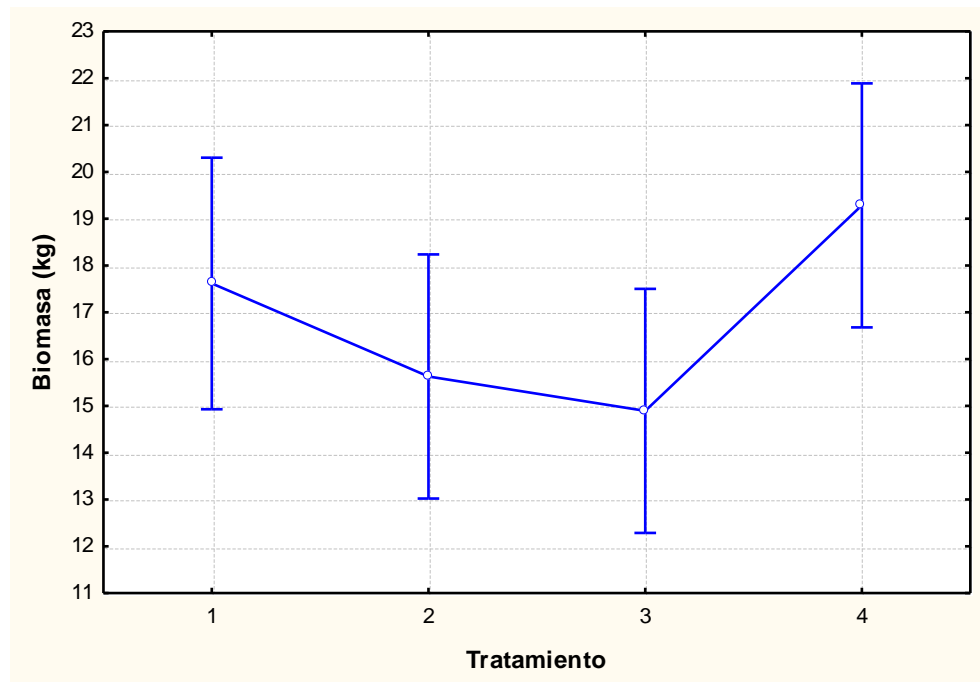


Figura 4. Biomasa aérea total promedio por árbol por tratamiento en *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. 1 (0 %) 2 (20 %), 3 (40 %) y 4 (60 %) de remoción. La barra vertical indica intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

Por otra parte Luckie (2010) encontró valores de biomasa aérea a nivel árbol en una plantación de *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., de 55.61 y 81.19 kg respectivamente, con un DN de 20 cm y una edad promedio de 12 años en Jerécuaro, Guanajuato. Sin embargo se menciona que los árboles analizados en el presente estudio tienen un diámetro normal máximo de 17 cm como se observó en el Cuadro 3.

Los resultados encontrados por Luckie (2010) están por encima de los encontrados en el presente estudio y se percibe que es por las diferencias en la densidad, ecología y fenología de las especies y tamaño de los árboles, así mismo por la calidad del sitio y disponibilidad de nutrientes como lo mencionan Rodríguez *et al.* (2011).

Por otra parte, para la biomasa aérea total por clase de copa, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) mostró cuatro grupos, donde la clase de copa dominante es la que cuenta con el promedio más alto (35.54 kg), seguido de la clase de copa codominante (20.87 kg), posteriormente los

intermedios (8.78 kg) y finalmente la clase de copa de los suprimidos con una producción de 2.24 kg (Cuadro 4; Figura 5).

Cuadro 4. Comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el contenido de biomasa aérea total por clase de copa por árbol. N= 127.

Clase de copa	Media (kg)	Agrupación Tukey*
Suprimidos	2.24162	a
Intermedios	8.78505	b
Codominantes	20.87478	c
Dominantes	35.54095	d

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

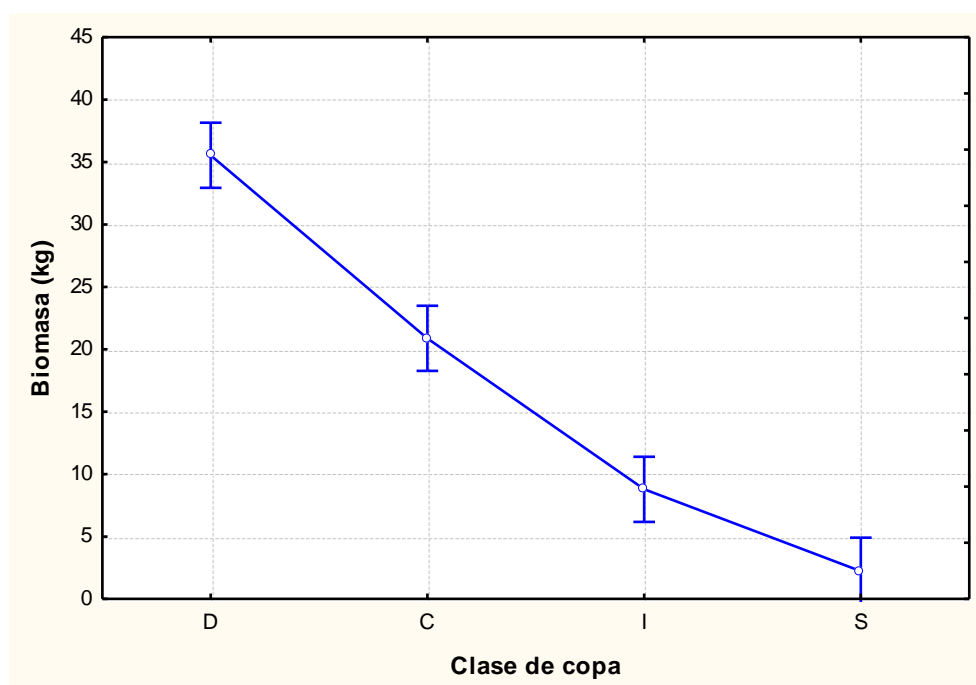


Figura 5. Biomasa aérea total por clase de copa por árbol de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. D (Dominante), C (Codominante), I (Intermedio) y S (Suprimido). La barra vertical indica intervalo de confianza al 95 %.

Los valores descritos en el Cuadro 4 y Figura 5, están por debajo a los reportados por Acosta *et al.* (2002) donde estimaron biomasa aérea por medio de ecuaciones alométricas en seis especies forestales del bosque mesófilo de montaña y bosque de encino (*Clethra*, *Rapanea*, *Alnus*, *Liquidambar*, *Inga* y *Quercus*); donde los mayores valores promedio de biomasa aérea por árbol, los reportan las especies del género *Inga*, *Liquidambar* y *Quercus* con 94.55, 76.92 y 72.12 kg. Lo anterior puede deberse a

la fenología de las especies, ecología de las mismas, tamaño de los árboles, así como a la calidad de sitio y condiciones ambientales del terreno; los menores valores de biomasa aérea promedio por árbol los reportan para los géneros *Alnus*, *Rapanea* y *Clethra* con 48.41, 35.50 y 15.24 kg, donde los dos últimos son similares a los encontrados en el presente estudio para las clases de copa dominante y codominante aunque el DN promedio de las clases citadas, es mayor con 14.7 y 11.98 cm contra 9.95 y 7.47 cm de los géneros analizados por Acosta *et al.* (2002), esto en Oaxaca, México, los promedios de DAP variaban de 7 – 15 cm, parecidos a los del presente estudio (Cuadro 3).

#### **5.1.1. Análisis de biomasa aérea entre componentes por tratamiento y clase de copa**

El análisis de biomasa aérea entre componentes (hojas, ramas y fuste) demostró que tienen la misma cantidad en los distintos componentes en las distintas clases de copa; en cuanto a los tratamientos, no existe significancia entre estos, lo cual quiere decir que este factor no influye en la cantidad de biomasa de los componentes. La proporción de biomasa por componentes se presenta en el Anexo 5. A continuación se muestran los resultados.

##### **5.1.1.1. Análisis de biomasa de hojas promedio por árbol por tratamiento y clase de copa**

El análisis factorial mostró que sí existen diferencias significativas en la biomasa de hojas en el factor bloque ( $P > 0.0410$ ); mientras que en el factor tratamiento, no existen diferencias significativas ( $P > 0.1663$ ) y en el factor clases de copa si existen diferencias altamente significativas ( $P > 0.0001$ ); en la interacción tratamiento por bloque, también se encontró una interacción altamente significativa ( $P > 0.0014$ ); mientras que en las interacciones tratamiento por clase de copa, bloque por clase de copa y tratamiento por bloque clase de copa, no existe significancia con  $P > 0.9162$ ,  $0.2782$  y  $0.0698$  respectivamente (Anexo 6).

El análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la biomasa de hojas promedio por árbol por clase de copa, mostró tres grupos, donde la



clase de copa dominante es la que cuenta con el valor promedio más alto 2.63 kg (7.4 %); posteriormente los codominantes 1.43 kg (6.9 %) y finalmente los intermedios y suprimidos 0.45 y 0.10 kg (5.1 y 5.0 % respectivamente) (Cuadro 5; Figura 6)

Cuadro 5. Comparación de medias Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el contenido de biomasa de hojas por árbol por clase de copa. N= 127.

Clase de copa	Media (kg)	Agrupación Tukey*
Suprimidos	0.107473	a
Intermedios	0.451329	a
Codominantes	1.436496	b
Dominantes	2.634889	c

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

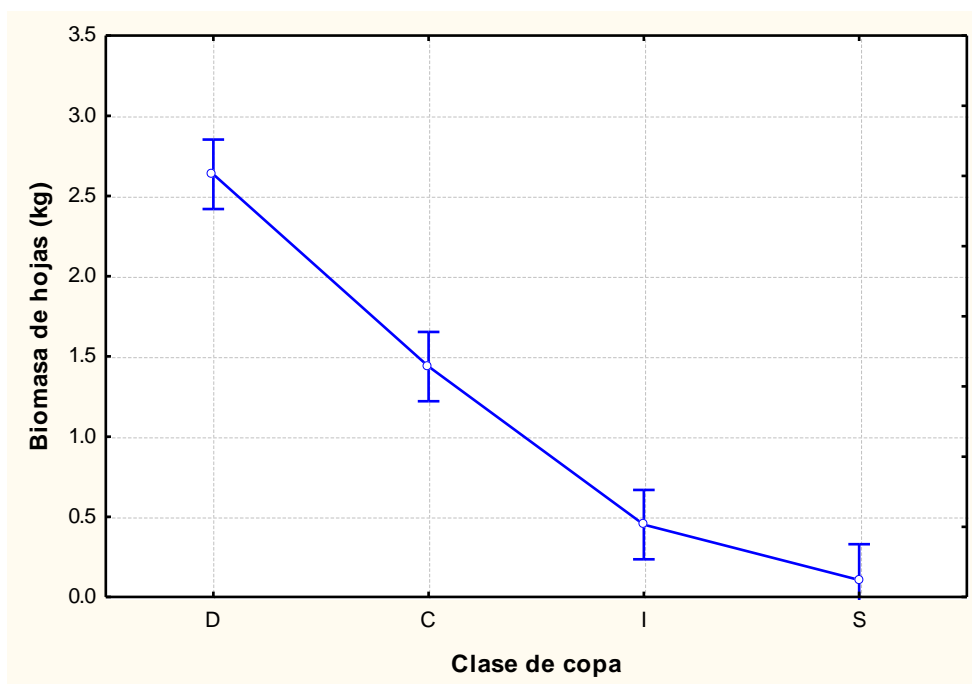


Figura 6. Biomasa promedio de hojas por clase de copa por árbol de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

#### 5.1.1.2. Análisis de biomasa promedio de ramas por árbol por clase de copa y tratamiento

El ANOVA factorial mostró que sí existen diferencias significativas en la biomasa de ramas en el factor bloque ( $Pr > 0.0474$ ); mientras que en el factor tratamiento, no existen diferencias significativas ( $Pr > 0.2261$ ); además en el factor clase de copa sí existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.0001$ ); mientras que en las

interacciones tratamiento por bloque, tratamiento por clase de copa, bloque por clase de copa y tratamiento por bloque por clase de copa no hay significancia con  $Pr > 0.2013$ , 0.952419, 0.5876 y 0.9634 siguiendo el orden respectivamente (Anexo 7).

Para el caso de la biomasa promedio por árbol de ramas por clase de copa, el análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), mostró que existen tres grupos, donde la clase de copa dominante cuenta con el promedio más alto 6.46 kg (18.2 %); seguido de los codominantes 3.87 kg (18.6 %) y finalmente los intermedios y suprimidos con 1.36 y 0.31 kg (15.9 y 14 % respectivamente) (Cuadro 6; Figura 7).

Cuadro 6. Comparación de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el contenido de biomasa de ramas por árbol por clase de copa. N= 127.

Clase de copa	Media (kg)	Agrupación Tukey*
Suprimidos	0.314409	a
Intermedios	1.367904	a
Codominantes	3.876648	b
Dominantes	6.464730	c

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

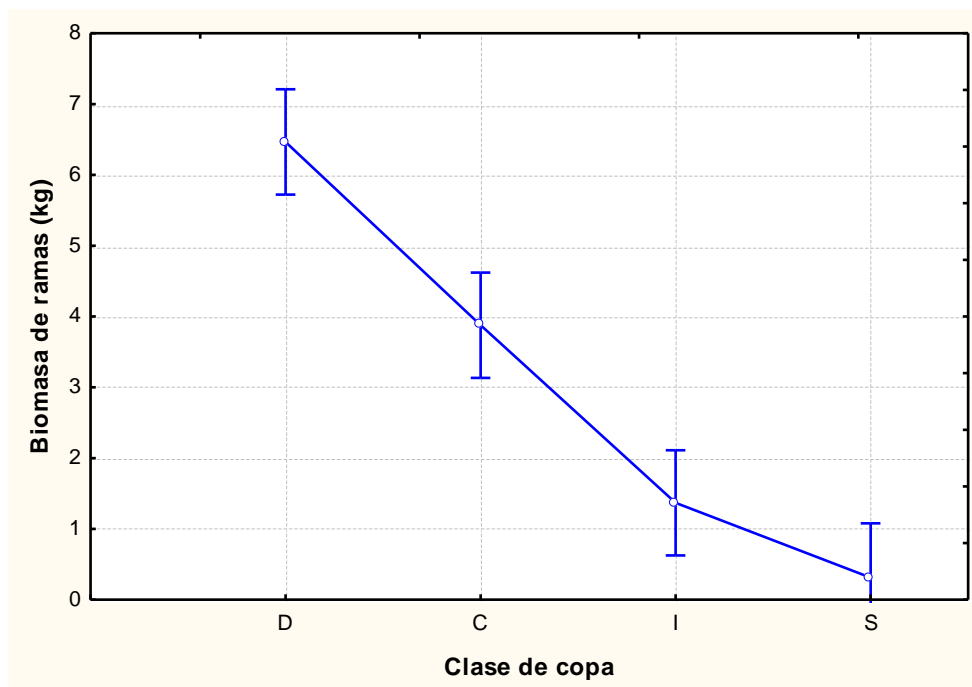


Figura 7. Biomasa promedio de ramas por árbol por clase de copa de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

### 5.1.1.3. Análisis de biomasa promedio de fuste por árbol por clase de copa y tratamiento

El ANOVA factorial mostró que existen diferencias altamente significativas en el factor bloque ( $Pr > 0.0009$ ); para el factor tratamiento no se encontraron diferencias significativas ( $Pr > 0.0576$ ); mientras que para el factor clase de copa sí existen diferencias altamente significativas ( $Pr > 0.0001$ ); para el caso de la interacción tratamiento por bloque, se encontró que ésta es altamente significativa ( $Pr > 0.0030$ ); para la interacción tratamiento por clase de copa, no se encontró significancia ( $Pr > 0.8830$ ); mientras que para la interacción bloque por clase de copa sí existe significancia ( $Pr > 0.0207$ ) y para la interacción de los tres factores (bloque, tratamiento y clase de copa) no se encontró significancia  $Pr > 0.8549$  (Anexo 8).

El análisis de comparación de medias de biomasa de fuste por árbol por clase de copa a través de la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), mostró que existen cuatro grupos diferentes, donde los dominantes ocupan el valor promedio más alto 26.44 kg (74.4 %); el siguiente lugar lo ocupan los codominantes 15.56 kg (74.5 %); posteriormente los intermedios 6.96 kg (79.3 %) y finalmente los suprimidos con 1.81 kg (81 %) (Figura 8: Cuadro 7).

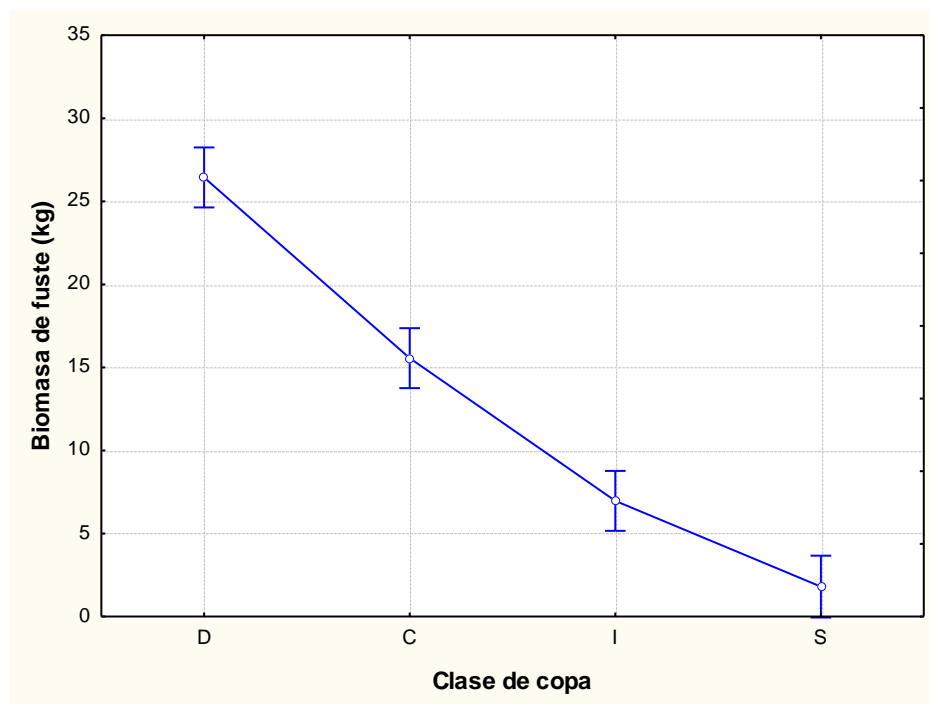


Figura 8. Biomasa promedio de fuste por clase de copa de *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

Cuadro 7. Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para el contenido de biomasa promedio en fuste por árbol por clase de copa. N= 127.

Clase de copa	Medias (kg)	Agrupación Tukey*
Suprimidos	1.81973	a
Intermedios	6.96582	b
Codominantes	15.56164	c
Dominantes	26.44133	d

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

Daniel *et al.* (1982) mencionan que las copas de los árboles dominantes se encuentran por encima del nivel general del dosel de un rodal, de manera que están expuestas a la irradiación lumínica en la mayoría de sus lados, lo cual genera que en estos árboles exista un mayor número de hojas jóvenes, las cuales tienen mayor capacidad fotosintética y por consiguiente tienen mayor concentración de CO<sub>2</sub>, mecanismo que está asociado a la producción de biomasa; el mismo caso sucede con los codominantes, pero en menores cantidades debido a que estos árboles son menos altos a los anteriores y por consiguiente reciben menos luz, lo que genera menor capacidad fotosintética en ellos y menor concentración de CO<sub>2</sub>; los intermedios, llegan a recibir luz por la parte superior o cuando se abre el dosel ya que estos están por debajo de los dos mencionados anteriormente y por último, los suprimidos, los cuales están totalmente dominados por las tres clases mencionadas y reciben poca luz, lo cual genera que en ésta clase de copa exista menor capacidad fotosintética debido a que la mayoría de sus hojas son maduras y sobre maduras, la información anterior se relaciona con los resultados obtenidos en el presente estudio donde se observa que en los componentes de hojas, ramas y fuste la clase de copa dominante tiene mayor cantidad de biomasa promedio a nivel árbol, enseguida la clase de copa de los codominantes, posteriormente los intermedios y finalmente los suprimidos.

## 5.2. Ecuaciones de biomasa y factores de expansión de biomasa (FEB) por clase de copa y tratamiento

Enseguida se presentan los resultados que arrojan las ecuaciones de biomasa, así mismo se señala cual de ellas fue la que mejor ajuste presentó, misma que se utilizó para la estimación de biomasa aérea total promedio por tratamiento; por otra parte se presentan los ANOVA de los FEB.

### 5.2.1. Ecuaciones de biomasa

Los resultados del análisis de correlación se muestran en el Cuadro 8, donde la variable DN, es la que mejor se correlaciona.

En el Cuadro 9 se observan los estadígrafos de bondad de ajuste ( $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  y CME) de cada uno de los modelos analizados, donde el modelo con valor de calificación total mas bajo, es el que mejor ajuste presentó.

Cuadro 8. Resultados del coeficiente de correlación de Pearson ( $r_p$ ) entre las variables dependientes e independientes para la estimación de biomasa aérea por componente y total. ( $\alpha = 0.05$ ). N= 127.

Variables	D0.30	DN	D. I. C	H.F.L.	H.T.
P. S. H (kg)	0.87	0.87	0.86	0.38	0.69
P. S. R (kg)	0.88	0.89	0.88	0.34	0.67
P. S. F (kg)	0.93	0.95	0.91	0.54	0.83
P.S.T (kg)	0.94	0.95	0.92	0.50	0.80
TOTAL*	3.62	3.66	3.57	1.76	2.99

\*Variable con mayor sumatoria es la que mejor correlación presenta. P.S.H= Peso seco de hojas; P.S.R= Peso seco de ramas; P.S.F= Peso seco de fuste; P.S.T= Peso seco total; D0.30= Diámetro a 0.30 m; DN= Diámetro normal; D.I.C= Diámetro al inicio de copa; H.F.L= Altura de fuste limpio y H.T= Altura total.

Los modelos que mejor calificación obtuvieron, fueron el 3 y el 5 (Cuadro 9), donde el modelo 3 muestra valores de  $R^2$ ,  $R^2_{aj}$  y CME de 0.98, 0.97 y 7.05 contra 0.98, 0.96 y 7.33 del modelo 5 respectivamente. En la Figura 9 se demuestran los valores observados de biomasa aérea en función del modelo seleccionado (Modelo 3).

Cuadro 9. Estadígrafos de bondad de ajuste para la selección del mejor modelo para la estimación de biomasa aérea por árbol de *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.

Modelos	R <sup>2</sup>	Calif	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	Calif	CME	Calif	Suma calif.
1. $Y = a * D^b$	0.9788	5	0.9581	6	9.74	5	16
2. $Y = a + b * D + c * D^2$	0.9792	3	0.9588	4	9.67	7	14
3. $Y = a + b * D^2 + c * H + d * D^2 * H$	0.9849	1	0.9702	1	7.05	1	3
4. $Y = a + b * D^2$	0.9775	7	0.9555	8	10.4	8	23
5. $Y = a + b * D^2 * H$	0.9841	2	0.9685	3	7.33	3	8
6. $Y = (a + b * D)^2$	0.9791	4	0.9586	5	9.63	4	13
7. $Y = Exp(a + b * Ln(D))$	0.9788	6	0.9581	7	9.74	6	19
8. $Y = Exp(a + b * Ln(D^2H))$	0.9642	8	0.9687	2	7.28	2	12
9. $Y = Exp(a + b * D)$	0.9231	9	0.9275	9	16.8	9	27

Y = Biomasa aérea por árbol; D = Diámetro normal (cm); H = Altura total (m); a, b, c, y d = parámetros de los modelos; R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = Coeficiente de determinación ajustado; CME = Cuadrados medios del error; Calif.= Calificación.

Montes de Oca *et al.* (2009), ajustaron ecuaciones para estimar biomasa de *Pinus durangensis* Martínez M. encontrando que el modelo que mejor ajuste presentó para estimar biomasa aérea total fue el modelo 3, similar al que obtuvo mejor ajuste en el presente estudio, sin embargo para la estimación de biomasa en hojas, ramas y fuste, fueron diferentes los modelos que mejor ajuste presentaron.

En contraparte Domínguez *et al.* (2009), analizaron 15 ecuaciones alométricas para determinar biomasa aérea en tres especies (*Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schl et Cham y *Quercus spp.*), encontrando que el modelo que mejor se ajustó, fue el de Michailoff de la forma  $Y = a (E^{b/D}) + 1.3$ , donde E = Exponencial, obteniendo valores de R<sup>2</sup> de 0.92, 0.93 y 0.89 respectivamente para cada especie, así como valores promedios de Sxy de 25.51, 23.56 y 30.90 respectivamente. Cabe mencionar que los árboles que fueron analizados estaban en etapa madura, caso contrario al presente estudio.

Por otra parte Méndez *et al.* (2011), probaron los mismos modelos analizados en el presente estudio para la estimación de biomasa aérea total (Bt), biomasa de fuste (Bf) y biomasa de hojas y ramas (Bhr) en las especies *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus*

*pseudostrobus* Lindl. donde los modelos de forma  $Y = a * D^b$ ,  $Y = a + b * D + c * D^2$  y  $Y = \text{Exp}(a + b * (\text{Ln}D))$  presentaron los mejores ajustes de Bf, Bhr y Bt en *P. devoniana* Lindl., con valores iguales de  $R^2$  y Sxy (0.85 y 7.9 respectivamente); mientras que para *P. pseudostrobus*, el mejor modelo fue de la forma  $Y = \text{Exp}(a+b*D)$ , con valores de  $R^2$  y Sxy de 0.92 y 15.9 respectivamente; esto para una plantación en el municipio de Jerécuaro, Guanajuato, México. Sin embargo en el presente estudio los modelos mencionados quedaron en los siguientes lugares, siguiendo el orden de mención sexto, quinto, séptimo y noveno.

De otra manera Aguirre y Jiménez (2011), diseñaron ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa en las especies *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schl et Cham. y *Quercus spp* en bosques del sur de Nuevo León, en función del diámetro normal, donde el rango de las categorías diamétricas va de 5 – 60 cm, el modelo que mejor ajuste presentó fue de la forma  $Y = \beta_1 * D^2$ , con valores de  $R^2_{aj}$  de 0.94 para las tres especies, no obstante en el presente estudio, ocupó el sexto lugar, sin embargo es parecido al descrito por Méndez et al. (2011) en *Pinus devoniana* Lindl.

En otro estudio, Gutiérrez et al. (2011), estimaron biomasa aérea en tres rodales naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schtdl., donde analizaron 10 ecuaciones entre las cuales se encontraron la 2 y 5 del presente estudio, ocupando los lugares séptimo y tercero respectivamente, esto en los municipios de Cintalapa, Motozintla y Las Margaritas en Chiapas, México.

Los parámetros del modelo seleccionado se presentan a continuación (Cuadro 10).

Cuadro 10. Ecuación matemática para la estimación de biomasa aérea total por árbol.

Ecuación
$Y = (.387927) + (.055776) * D^2 + (-.17515) * H + (.019312) * D^2 * H$
Y= Biomasa aérea total (kg); D= Diámetro normal (cm); H= Altura total (m).

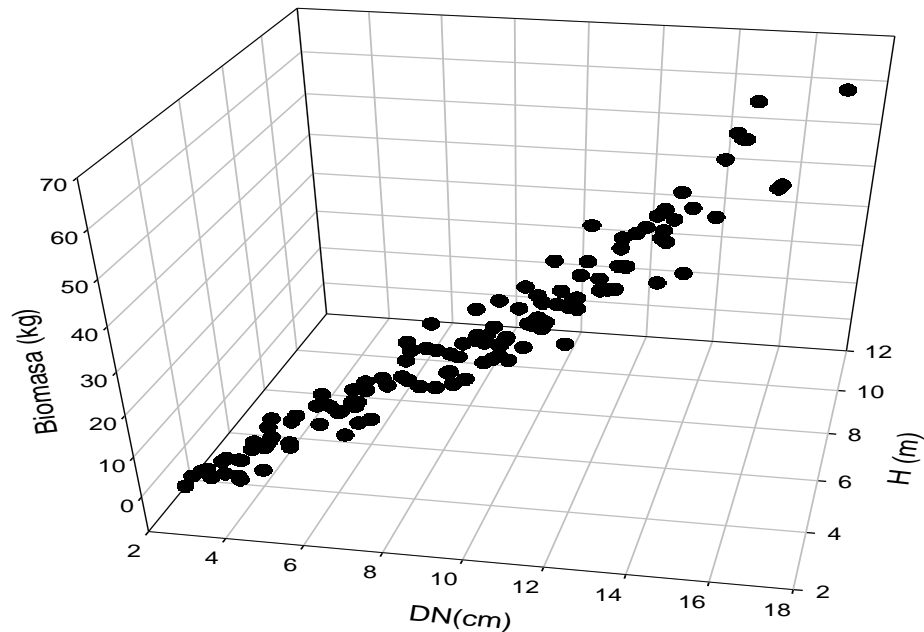


Figura 9. Valores observados de biomasa aérea total por árbol en función de DN y H, para *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.

### 5.2.2. Análisis de los factores de expansión de biomasa (FEB) por clases de copa y tratamiento

En el análisis de varianza factorial, se determinó que si existen diferencias altamente significativas en los valores de los FEB en los factores bloques, tratamientos y clases de copa, con un valor de  $Pr > F$  de 0.0004, 0.0028 y 0.0008 respectivamente; así mismo se encontró una alta significancia en la interacción tratamiento por bloque ( $Pr > 0.0001$ ); mientras que para las interacciones de los factores tratamiento por clase de copa, bloque por clase de copa y tratamiento por bloque y clase de copa, no se presentó significancia en dichas interacciones, con valores de  $Pr > 0.6604$ , 0.4445 y 0.1073 respectivamente (Anexo 9).

El análisis de comparación de medias del factor tratamientos a través de la prueba Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), arrojó que existen dos grupos estadísticamente diferentes, donde el tratamiento con mayor valor (1.36) es el 1 (0 % de remoción); mientras que el segundo grupo compuesto por los tratamientos 4, 2 y 3 presentan valores de 1.27, 1.28 y 1.29 respectivamente) (Cuadro 11; Figura 10).



Cuadro 11. Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) de los valores de FEB por tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.

Tratamiento	Medias FEB	Agrupación Tukey*
4	1.276	a
2	1.284	a
3	1.297	a
1	1.363	b

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

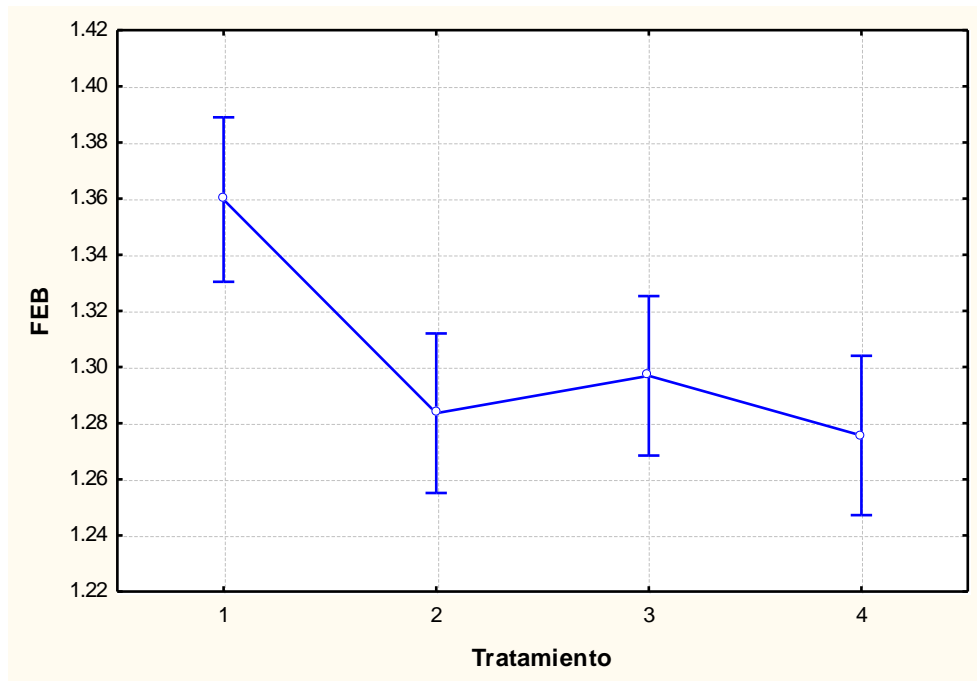


Figura 10. Valores promedio de factores de expansión de biomasa por tratamiento. 1 (0 %), 2 (20 %), 3 (40 %) y 4 (60 %) de remoción de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. La barra vertical indica el intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

En el análisis de comparación de medias de factores de expansión de biomasa por clase de copa a través de Tukey, se encontró que se conforman dos grupos, el primero compuesto por las clases de copa suprimido e intermedio y el segundo integrado por los árboles codominantes y dominantes (Figura 11; Cuadro 12). La diferencia entre grupos se puede deber a la proporción de los componentes (hojas, ramas y fuste) en cada una de las clases de copa, ésta acción hace que sean diferentes los valores.

Cuadro 12. Comparación de medias Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) para los valores de factores de expansión de biomasa por clase de copa de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. N= 127.

Clase de copa	Medias FEB	Agrupación Tukey*
Suprimidos	1.253	a
Intermedios	1.275	a
Codominantes	1.339	b
Dominantes	1.349	b

\*Tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares.

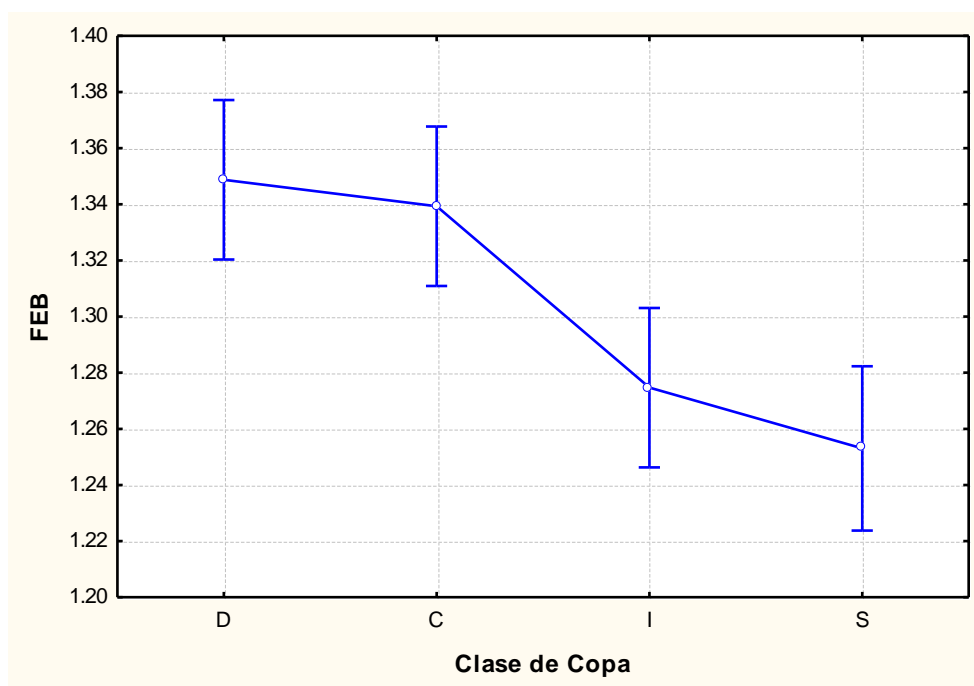


Figura 11. Valores de factores de expansión de biomasa por clase de copa. D (Dominante), C (Codominante), I (Intermedio) y S (Suprimido) para la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L. la barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %. N= 127.

Loguercio y Defossé (2001) estimaron factores de expansión de biomasa en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser en el So del Chubut, Argentina, donde el valor promedio fue de 1.42, el cual está por encima de los valores estimados en este estudio para las distintas clases de copa; sin embargo afirman que conforme aumenta la categoría diamétrica, se reduce el valor de FEB, lo que difiere con los resultados encontrados en el presente estudio; probablemente se debe a la etapa de desarrollo del arbolado como lo menciona Silva y Návar (2010), donde indican que existen mayores valores de FEB en bosques más jóvenes, los cuales se asocian con menor densidad de la madera, debido principalmente al rápido crecimiento del arbolado.

Domínguez *et al.* (2009), estimaron valores de factores de expansión de biomasa en tres especies de un bosque del sur de Nuevo León (*Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schl et Cham. y *Quercus spp*) con diámetros de 5 – 45 cm, donde los valores promedio fueron: 1.37, 1.39 y 1.51 respectivamente, dichos valores están por encima a los encontrados en el presente estudio en todas sus clases de copa y es probable que éste resultado se asocie a la densidad de su madera como lo menciona Silva y Návar (2010).

Por otra parte Fonseca *et al.* (2009) estimaron factores de expansión de biomasa, donde encontraron que el valor promedio para las especies *Vochisia guatemalensis* Donn. Sm. y *Hieronyma alchorneoides* Fr. Allem., es de 1.56, mientras que para el bosque secundario, dicho valor fue de 1.44, valores por encima de los estimados en el presente estudio.

En otro estudio Silva y Návar (2010), calcularon valores de factores de expansión de biomasa en los géneros *Pinus sp* y *Quercus sp.*, donde obtuvieron valores promedio de 0.65 y 1.83 respectivamente, en el género *Pinus* los valores están por debajo a los encontrados en el presente estudio, además no se comportan de igual manera ya que los autores mencionan que conforme aumenta la densidad disminuye el valor de FEB, caso contrario al presente estudio; en el género *Quercus* los valores son mayores a los encontrados en el presente estudio y se puede deber a la densidad de la madera.

### 5.3. Análisis de biomasa aérea total por tratamiento t ha<sup>-1</sup>

Cuadro 13. Cantidad de árboles por tratamiento (625 m<sup>2</sup>), por hectárea (10,000 m<sup>2</sup>) y árboles totales por tratamiento (2500 m<sup>2</sup>) de *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, N.L.

tratamiento	# árb trat <sup>-1</sup>	# árb ha <sup>-1</sup>	# árb total trat <sup>-1</sup>
1	282	4516	1129
2	325	5196	1299
3	283	4532	1133
4	309	4936	1234

Tratamiento 1 = 0 %; tratamiento 2 = 20 %; tratamiento 3 = 40 % y tratamiento 4 = 60 % de remoción.

El ANOVA para bloques al azar mostró que no existen diferencias significativas ( $Pr > 0.3260$ ) entre las medias de biomasa aérea ( $t\ ha^{-1}$ ) por tratamiento (Anexo 10). Sin embargo se observa que la biomasa aérea total se encuentra en mayor cantidad en el tratamiento 2 (20 % remoción) con  $100.77\ t\ ha^{-1}$ , mientras que el tratamiento 1 (0 % remoción) es el que acumula menor cantidad de biomasa aérea ( $66.57\ t\ ha^{-1}$ ) (Figura 12).

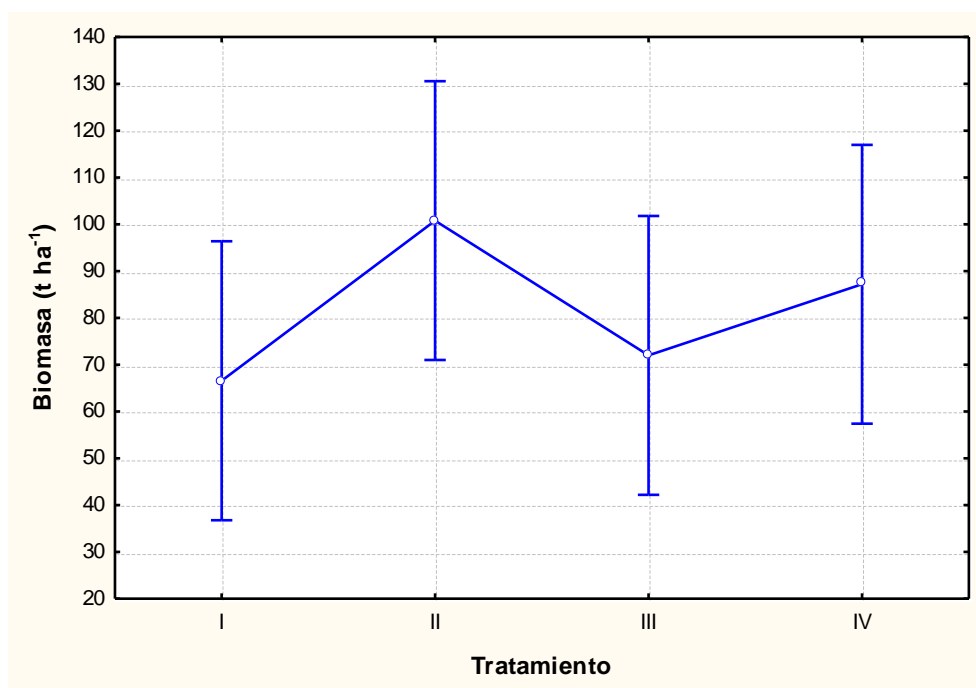


Figura 12. Biomasa aérea total por tratamiento por hectárea de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana. NL. La barra vertical denota el intervalo de confianza al 95 %.

HariPriya (2002), estimó biomasa aérea total encontrando  $237.88\ Mg\ ha^{-1}$  en bosques de la India, valores por encima a los encontrados en el presente estudio para los diferentes tratamientos y se asevera que esto se debe principalmente a la cantidad de especies, calidad de sitio en la zona, tipo de clima y a las posibles prácticas y alteraciones a las que ha sido sometida la vegetación como lo menciona Del Álamo (2007), así como al número de árboles por unidad de superficie como se observa en el Cuadro 13 para el presente estudio.

Nascimento y Laurence (2002), estimaron biomasa aérea total (BAT) encontrando  $397.7 \pm 30\ Mg\ ha^{-1}$  en una selva tropical del Amazonas, valores por encima a los

encontrados en el presente estudio (Figura 12) y se asevera que esta diferencia se debe principalmente al tipo de ecosistema donde existe una gran diferencia entre el número de árboles y cantidad de especies por unidad de superficie en comparación con el analizado (Cuadro 13), además en el presente estudio solo fueron analizados los componentes hojas, ramas y fuste contra los analizados en el estudio donde se evaluaron todos los componentes de biomasa aérea (hojas, ramas, fuste, necromasa, hojarasca, enganches).

Domínguez *et al*, (2009), estimaron biomasa aérea en diferentes tipos de bosques, encontrando que para el bosque de pino existen  $125.33 \text{ t ha}^{-1}$ ; para el bosque de encino-pino  $112.59 \text{ t ha}^{-1}$  y para el bosque de pino-encino  $96.68 \text{ t ha}^{-1}$ . Los resultados anteriores están por encima a los encontrados en el presente estudio a excepción del bosque de pino-encino, ya que la cantidad de biomasa está por debajo a la encontrada para el tratamiento 2 (20 % de remoción) del presente estudio y esto puede deberse al número de árboles por unidad de superficie, así como el tamaño de los mismos (Cuadro 3.).

Figuroa *et al*. (2010), estimaron biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltl *et* Cham. los resultados obtenidos fueron  $166.6$  y  $184.03 \text{ mg ha}^{-1}$  en un rodal con manejo y otro sin manejo respectivamente, valores por encima a los encontrados en el presente estudio y se puede deber a la etapa de desarrollo del rodal (tamaño de los árboles). Además dichos autores mencionan que los rodales bajo manejo son más eficientes para la acumulación de biomasa que los que no tienen ningún manejo, situación que difiere a lo encontrado en el presente estudio ya que en los tratamientos, no existe diferencia significativa de la producción de biomasa al menos en la etapa de desarrollo del rodal (latizal).

Rodríguez *et al*. (2011), analizaron el efecto de los aclareos en la distribución y contenido de biomasa de *Pinus patula* Schl *et* Cham. donde encontraron valores de  $180.2$  y  $144.1 \text{ t ha}^{-1}$  en parcelas con 67 y 0% de remoción respectivamente, los resultados anteriores están por encima a los encontrados en el presente estudio, además en el estudio en mención, sí se encontraron diferencias significativas de la

cantidad de biomasa en los diferentes tratamientos, situación diferente al presente estudio, lo anterior puede deberse principalmente a la etapa de desarrollo del rodal al momento de ser evaluado (tamaño de los árboles), la fenología y ecología de las especies, son factores que probablemente pueden influir también en la cantidad de producción de biomasa.

## VI. CONCLUSIONES

La cantidad de biomasa aérea es similar ( $Pr > 0.3260$ ) en los diferentes tratamientos analizados (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción), sin embargo la cantidad de biomasa aérea difiere ( $Pr < 0.0001$ ) en las distintas clases de copa (dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos), donde la clase de copa de los dominantes y suprimidos cuentan con mayor y menor cantidad de biomasa, esto se debe al tamaño de los árboles que conforman cada clase de copa.

El contenido de biomasa en los componentes hojas, ramas y fuste es similar ( $Pr < 0.1500$ ) en los diferentes tratamientos (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción), sin embargo a nivel clase de copa (dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos) sí existen diferencias significativas en la cantidad de biomasa ( $Pr > 0.0001$ ), concentrándose más en la clase de copa dominante.

La ecuación de la forma  $Y = a + b * D^2 + c * H + d * D^2 * H$ , es la más precisa para la estimación de biomasa aérea ( $R^2 = 0.98$ ,  $R^2_{aj} = 0.97$  y  $CME = 7.05$ ), sin embargo en términos de dificultad en su aplicación, es más práctica la ecuación de la forma  $Y = a + b * D^2 * H$  ( $R^2 = 0.98$ ,  $R^2_{aj} = 0.96$  y  $CME = 7.33$ ).

Los valores de factores de expansión de biomasa son diferentes estadísticamente ( $Pr > 0.0028$ ) en los distintos tratamientos (0 %, 20 %, 40 % y 60 % de remoción) y distintas clases de copa (dominante, codominante intermedio y suprimido), donde los dominantes tienen el mayor valor (1.36) y los suprimidos el menor valor (1.27).

La cantidad de biomasa aérea total promedio por clase de copa es 16.86 kg; la biomasa promedio por clase de copa de hojas, ramas y fuste fue 1.15 kg, 3.00 kg y 12.69 kg respectivamente. La proporción promedio por clase de copa de hojas, ramas y fuste fue 6.1 %, 16.7 % y 77.3 % respectivamente a la edad de 25 años.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Es recomendable hacer una validación a la ecuación encontrada para estimar biomasa aérea total, con el fin de comprobar si es correcta dicha estimación y tener más elementos para su aplicación.

Para el uso de los factores de expansión de biomasa es necesario que estos se apliquen a nivel tratamiento así como a nivel clase de copa, para una mejor estimación de biomasa aérea.

Es necesario seguir evaluando en años posteriores el comportamiento de la biomasa aérea en los diferentes tratamientos, para conocer el comportamiento la cantidad de biomasa en rodales bajo manejo.

Se recomienda hacer un estudio para obtener la edad a la que los árboles tienen la capacidad de acumular una cantidad de biomasa considerable y así poder tomar decisiones acertadas del propósito de los mismos.



## VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta M. M., J Vargas H, A Velázquez M, J Etcheveres B. 2002. Estimación de Biomasa Aérea Mediante el Uso de Relaciones Alométricas en Seis Especies Arbóreas en Oaxaca, México. *Revista Agrociencia*. 36 (6). 725 - 736.
- Aguilar C. J. 2009. Captura de Carbono en Una Plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. 60 p.
- Aguirre C. O., J Jiménez P. 2011. Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2 (6). 73 – 83.
- Aguirre C. O., J. Jiménez P. 2002. Manual Para la Evaluación del Contenido de Carbono en Bosques del Sur de Nuevo León. CONAFOR – CONACYT. CONAFOR.2002.6054. 33 p.
- Azcón-Bieto J., M. Talón. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda edición. Editor Mc Graw – Hill. Barcelona, España. 651 p.
- Barrena A. V., J. Dancé C., D. Sáenz Y. 1986. Metodología Para la Selección de Ecuaciones de Volumen. *Revista Forestal del Perú*. 13 (2). 1-10.
- Bidwell R. G. 1979. Fisiología Vegetal. A. G. T. Editor, México. 784 p.
- Brown S. 1997 a. Los Bosques y el Cambio Climático: el Papel de los Terrenos Forestales Como Sumideros de Carbono. Congreso Forestal Mundial. Antalya, Turquía. 1 (4). 107 - 121.
- Brown S. 1997 b. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests. A primer. FAO Roma. Forestry Paper. 135 p.
- Caballero M., Lozano S., Ortega B. 2007. Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva Desde Las Ciencias de la Tierra. *Revista digital universitaria*. 8 (10): 4 - 6.
- Calderón S., J Gayoso., J Guerra., B. Schlegel. 2001. Inventarios Forestales Para Contabilidad de Carbono. Manual de Procedimientos. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. 45 p.
- CETENAL. 1971. Carta Geológica. G14C56 Galeana. Escala 1: 50,000. INEGI.
- CETENAL. 1977 a. Carta de Uso de Suelo. G14C56 Galeana. Escala 1: 50,000. INEGI.
- CETENAL. 1977 b. Carta Edafológica. G14C56 Galeana. Escala 1: 50,000. INEGI.
- CETENAL. 1993. Carta Topográfica. G14C56 Galeana. Escala 1: 50,000. INEGI.

- Challenger A. 2009. Introducción a los Servicios Ambientales: Sustento de la Vida. Seminario de Divulgación. SEMARNAT. 37 p.
- CONAFOR - CONABIO. 2008. SIRE - Paquetes tecnológicos. *Pinus rudis* Endl. 6 p.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. Ramón Elizondo M. (traducción). 2ª ed. Editor McGraw - Hill. México, D. F. 492 p.
- Del Álamo J. 2007. Bosques y Cambio Climático: La Función de los Bosques Como Sumideros de Carbono y su Contribución al Cumplimiento del Protocolo de Kioto por Parte de España. Foro de Bosques y Cambio Climático. Escuela Agraria de Cogullada. Zaragoza, España. 44 p.
- Díaz B. J. A. 2002. Aclareos en una Regeneración Natural de *Pinus rudis* Endl. en San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- Díaz R., M. Acosta., F. Carrillo., E. Buendía., E. Flores., J. Etchevers. 2007. Determinación de Ecuaciones Alométricas Para Estimar Biomasa y Carbono en *Pinus patula* Schl et Cham. Madera y Bosques. 13 (001). 25 - 34.
- Domínguez C. G., O. Aguirre C., J. Jiménez P., R. Rodríguez L., J. A. Díaz B. 2009. Biomasa Aérea y Factores de Expansión de Especies Arbóreas en Bosques del Sur de Nuevo León. Revista Chapingo. 15 (1). 59 - 64.
- Farjon A., B. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica Monograph 75. The New York Botanical Garden. New York. 298 p.
- Figuroa N. C., G. Ángeles P., A. Velázquez M., H. de los Santos P. 2010. Estimación de la Biomasa en un Bosque Bajo Manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. En Zacualtipán, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 1 (1) 95 - 104.
- Fonseca G. W., F. Alice G., J. M. Rey B. (2009). Modelos Para Estimar la Biomasa de Especies Nativas en Plantaciones y Bosques Secundarios en la Zona Caribe de Costa Rica. Revista Bosque. 30 (1). 36 - 47.
- Fragoso L. P. 2003. Estimación del Contenido y Captura de Carbono en Biomasa Aérea del Predio "Cerro Grande" Municipio de Tancítaro, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez". Uruapan, Michoacán. 66 p.
- Gayoso A. J., J. Guerra C. 2005. Contenido de Carbono en la Biomasa Aérea de Bosques Nativos en Chile. Revista Bosque 26 (2): 33-38.
- Gutiérrez V. B., M. Gutiérrez V., M. Gómez C., A. Flores M. 2011. Captura de Carbono y Biomasa en Rodales Naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. INIFAP. Etlá, Oaxaca. 8 p.
- Haripriya S. 2002. Biomass Carbon of Truncated Diameter Classes in Indian Forests. Forests Ecology and Management. 168. 1-13.

- Hawley R., D. Smith. 1972. *Silvicultura Práctica*. Editor OMEGA. 544 p.
- Herrán C. 2012. *El Cambio Climático y sus Consecuencias Para América Latina*. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert-FES. México. 8 p.
- Husch B. 2001. Estimación del Contenido de Carbono de los Bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 9 p.
- INEGI. 2012. Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)". Recuperado el 17 de Diciembre de 2012 de <http://www.inegi.org.mx>
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Klepac D. 1976. *Crecimiento e Incremento de Árboles y Masas Forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Loguercio G. A., G. Defossé. 2001. Ecuaciones de Biomasa Aérea, Factores de Expansión y de Reducción de la Lengua *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser, en el So del Chubut, Argentina. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino-patagónico, Chubut, Argentina. 11 p.
- López T. A., J. Návar CH., J. Flores L., C. Cantú A. 2007. Estimación de Carbono y Factor de Expansión de Carbono en Ecosistemas Forestales en Chihuahua, México. VIII Congreso de recursos Forestales, Morelia, Michoacán, México. 8 p.
- Lovelock J. 2007. *Reseñas Sobre el Cambio Climático*. Fundación desde América. 3p.
- Luckie N. S. L. 2010. Biomasa Aérea y Captura de Carbono en una Plantación de *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Jerécuaro, Guanajuato. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 57 p.
- Martínez J., A. Fernández B. 2004. *Cambio Climático: Una Visión Desde México*. SEMARNAT-INE. México, D.F. 521 p.
- Martínez M. 1948. *Los Pinos de México*. Segunda edición. Editor, Botas. 361 p.
- Méndez G. J., L. Luckie N., M. Capó A., A. Nájera L. 2011. Ecuaciones Alométricas y Estimación de Incrementos en Biomasa Aérea y Carbono en Una Plantación Mixta de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Guanajuato, México. *Agrociencia* 45. 479-491.
- Montes de Oca C. E., P. García R., J. Nájera L., J. Méndez G. 2009. Ajuste de Ecuaciones de Biomasa Para *Pinus durangensis* (Martínez M.) en la Región de el Salto, Durango. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15 (1). 65 - 71.

- Muñoz C. 2005. Bienes y Servicios Ambientales en México: Caracterización Preliminar y Sinergias Entre Protección Ambiental, Desarrollo del Mercado y Estrategia Comercial. Naciones Unidas CEPAL. Santiago de Chile. 129 p.
- Nascimento H., Laurance W. 2002. Total Aboveground biomass in Central Amazonian Rainforests: a Landscape-scale Study. *Forest Ecology and Management*. 168. 311-321.
- ONU. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. 27 p.
- ONU. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. 25 p.
- Ordóñez D. J. A. 1998. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso Para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- Ordóñez D. J. A., Masera O. 2001. Captura de Carbono Ante el Cambio Climático. *Madera y Bosques*. 7 (001). 3-12.
- Organización Meteorológica Mundial. 2009. Comunicado de prensa (868).
- Pacheco C. F., A. Aldrete, A. Gómez G., A. Fierros G., V. Cetina A., H. Vaquera H. 2007. Almacenamiento de Carbono en la Biomasa Aérea en Una Plantación Joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30 (003):251 - 254.
- Pardos J. A. 2010. Los Ecosistemas Forestales y el Secuestro de Carbono Ante el Calentamiento Global. INIA. Madrid, España. 253 p.
- Perry J. P. 1991. *The Pines of México and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Rodríguez O. J., A. Aldrete., V. González H., H. De los Santos P., A. Gómez G., A. Fierros G. 2011. ¿Afectan los Aclareos la Acumulación de Biomasa Aérea en una Plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia*. 45. 719 – 732.
- Rojas G. F., L. Villers R. 2008. Estimación de Biomasa Forestal del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. *Revista Ciencia Forestal*. 33 (104): 59 - 86.
- Rojo M. G.E. J. Jasso M. A Velásquez M. 2003. Las Masas Forestales Como Sumideros de CO<sub>2</sub> Ante un Cambio Climático Global. *Revista Chapingo*. 9 (1): 57 – 67.
- SARH. 1984. Manual de Aplicación del Método de Desarrollo Silvícola. 298 p.
- Schlegel B. 2001. Estimación de la Biomasa y Carbono en Bosques del Tipo Forestal Siempreverde. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 13 p.

- Schlegel B., J. Gayoso, J. Guerra. 2000. Manual de Procedimientos de Muestreo de Biomasa Forestal. Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en los Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. 26 p.
- SEMARNAT. 2006. NOM-152-SEMARNAT-2006, que Establece los Lineamientos, Criterios y Especificaciones de los Contenidos de los Programas de Manejo Forestal Para el Aprovechamiento de los Recursos Forestales Maderables en Bosques, Selvas y Vegetación de Zonas Áridas. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN. 24 p.
- Silva A. F., J. Návar CH. 2009. Estimación de Factores de Expansión de Carbono en Comunidades Forestales Templadas del Norte de Durango, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15 (2). 155 – 163.
- Silva A. F., J. Návar CH. 2010. Factores de Expansión de Biomasa en Comunidades Forestales Templadas del Norte de Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 1 (1). 47 - 54 .
- Steel D. y Torrie J. 1986. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Ricardo Martínez B. (Traducción). Ed Mc Graw-Hill. México, D.F. 622p.
- Torres R. J. M., A. Guevara S. 2002. El Potencial de México Para la Producción de Servicios Ambientales: Captura de Carbono y Desempeño Hidráulico. Gaceta Ecológica-INE, No. 063. Distrito Federal, México. 40-59 p.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis de los datos ( $\alpha = 0.05$ ).

Variabes	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Varianza	Desviación Estándar.	Coficiente de variación
D0.30	10.20782	4.010695	20.72193	15.6478	3.95573	38.7519568
D1.30	8.59334	2.864782	17.15686	12.4496	3.52839	41.059588
D. I. C	6.79176	2.291826	13.33715	8.9287	2.98809	43.9958126
ALT. TAL.	6.62276	2.450000	10.81000	3.7471	1.93574	29.2285996
P. S. H (kg)	1.16581	0.032000	6.27659	1.4738	1.21400	104.133607
P. S. R (kg)	3.02712	0.096000	14.44046	9.7180	3.11737	102.981382
P. S. F (kg)	12.78278	0.513333	49.23591	124.6912	11.16652	87.3559586
P.S.T (kg)	16.97571	0.687333	66.55811	231.1485	15.20357	89.5607312
FEB	1.30439	1.099803	1.65313	0.0122	0.11025	8.45222671

D 0.30= Diámetro (0.30 m); D 1.30= Diámetro normal (1.30 m.); D.I.C.= Diámetro al inicio de copa (cm); ALT. TAL= Altura total (m); P.S.H.= Peso seco de hojas (kg); P.S.R.= Peso seco de ramas (kg); P.S.F.= Peso seco de fuste (kg); FEB= Factores de expansión de biomasa.

Anexo 2. Coeficiente de correlación de las variables para la estimación de biomasa aérea total (kg), a un nivel de significancia de ( $\alpha = 0.05$ ).

Variabes	Biomasa aérea total (kg)
D0.30	0.94
D1.30	0.95
D. I. C	0.92
ALT. F. LIMPIO	0.50
ALT. TAL.	0.80

D 0.30= Diámetro (0.30 m); D 1.30= Diámetro normal (1.30 m.); D.I.C.= Diámetro al inicio de copa (cm); ALT.F.LIMPIO=Altura de fuste limpio (m); ALT. TAL= Altura total (m).

Anexo 3. Normalidad de las variables a través de tres pruebas ( $\alpha = 0.05$ ).

Variabes	max D	K-S	L	W	Pr $\geq$ F
D0.30	0.077727	p > .20	p < .10	0.965531	0.002537
D1.30	0.069401	p > .20	p < .15	0.968481	0.004644
D. I. C	0.093715	p > .20	p < .01	0.954099	0.000284
ALT. F. LIMPIO	0.048555	p > .20	p > .20	0.989680	0.463269
ALT. TAL.	0.067246	p > .20	p < .20	0.969798	0.006117

K-S= Prueba de Kolmogorov\_Smirnov; L= Prueba deLilliefors; W= Prueba de Shapiro-Wilk's; P $\geq$ F= Probabilidad de F.

Anexo 4. ANOVA factorial del contenido de la biomasa aérea promedio por árbol entre tratamientos y clases de copa de *Pinus rudis* End. en P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L.

FV	SC	GL	CM	F	Pr>F
TRATAMIENTO	377.48	3	125.83	2.3104	0.084780
BLOQUE	1307.21	3	435.74	8.0010	0.000134*
CLASE DE COPA	20216.67	3	6738.89	123.7396	0.000000*
TRATAMIENTO*BLOQUE	1328.84	9	147.65	2.7111	0.009801*
TRATAMIENTO*CLASE DE COPA	213.07	9	23.67	0.4347	0.911246
BLOQUE*CLASE DE COPA	929.80	9	103.31	1.8970	0.068600
TRATAMIENTO*BLOQUE*CLASE DE COPA	1013.07	27	37.52	0.6890	0.856539

\*Altamente significativas.  $\alpha = 0.05$ . FV= Fuente de Variación; SC= Suma de Cuadrados; GL= Grados de Libertad; CM= Cuadrados Medios; F= F Calculada; Pr>F= Probabilidad de F.

Anexo 5. Biomasa promedio y proporción de biomasa por componente a nivel clase de copa.

Clase de copa	BH		BR		BF		BT	
	Media	%	Media	%	Media	%	Media	%
Dominante	2.64	7.4	6.46	18.2	26.44	74.4	35.54	100.0
Codominante	1.43	6.9	3.88	18.6	15.56	74.6	20.87	100.0
Intermedia	0.45	5.1	1.36	15.5	6.97	79.4	8.78	100.0
Suprimida	0.11	4.9	0.32	14.3	1.81	80.8	2.24	100.0

BH= Biomasa de hojas; BR= Biomasa de ramas; BF= Biomasa de fuste y BT= Biomasa total.

Anexo 6. Análisis de varianza factorial de la cantidad de biomasa promedio de hojas por clase de copa y tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L.

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F
TRATAMIENTO	1.9685	3	0.6562	1.7477	0.166340
BLOQUE	3.2853	3	1.0951	2.9168	0.040977*
CLASE DE COPA	121.5576	3	40.5192	107.92	0.000000*
TRATAMIENTO*BLOQUE	11.8911	9	1.3212	3.5191	0.001390*
TRATAMIENTO*CLASE DE COPA	1.4403	9	0.1600	0.4262	0.916156
BLOQUE*CLASE DE COPA	4.2465	9	0.4718	1.2567	0.278161
TRATAMIENTO*BLOQUE*CLASE DE COPA	16.0060	27	0.5928	1.5789	0.069796

\*Diferencias altamente significativas  $\alpha = 0.05$ ; F.V.= Fuente de variación; SC= Suma de cuadrados; GL= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.



Anexo 7. Análisis de varianza factorial de la biomasa de ramas promedio por árbol por clase de copa y tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L.

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F
TRATAMIENTO	19.787	3	6.596	1.4890	0.226105
BLOQUE	37.135	3	12.378	2.7944	0.047439*
CLASE DE COPA	711.214	3	237.071	53.5197	0.000000*
TRATAMIENTO*BLOQUE	56.375	9	6.264	1.4141	0.201342
TRATAMIENTO*CLASE DE COPA	14.098	9	1.566	0.3536	0.952419
BLOQUE*CLASE DE COPA	33.252	9	3.695	0.8341	0.587582
TRATAMIENTO*BLOQUE*CLASE DE COPA	63.719	27	2.360	0.5328	0.963439

\*Diferencias altamente significativas  $\alpha= 0.05$ ; F.V. = Fuente de variación; SC= Suma de cuadrados; GL= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= F Calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 8. Análisis de varianza factorial de biomasa de fuste promedio por árbol por clase de copa y tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L..

F.V.	SC	GL	CM	F	Pr>F
TRATAMIENTO	206.24	3	68.75	2.6325	0.057601
BLOQUE	837.47	3	279.16	10.6895	0.000009*
CLASE DE COPA	10929.31	3	3643.10	139.5020	0.000000*
TRATAMIENTO*BLOQUE	751.12	9	83.46	3.1958	0.003028*
TRATAMIENTO*CLASE DE COPA	112.73	9	12.53	0.4796	0.882983
BLOQUE*CLASE DE COPA	564.75	9	62.75	2.4028	0.020657*
TRATAMIENTO*BLOQUE*CLASE DE COPA	486.99	27	18.04	0.6907	0.854926

\*Diferencias altamente significativas  $\alpha= 0.05$ ; F.V.= Fuente de variación; SC= Suma de cuadrados; GL= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.

Anexo 9. ANOVA factorial para los valores de FEB por clase de copa y tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L..

FV	SC	GL	CM	F	Pr>F
TRATAMIENTO	0.1340	3	0.0447	6.91	0.000428*
BLOQUE	0.1013	3	0.0338	5.23	0.002761*
CLASE DE COPA	0.2096	3	0.0699	10.81	0.000008*
TRATAMIENTO*BLOQUE	0.3068	9	0.0341	5.27	0.000024*
TRATAMIENTO*CLASE DE COPA	0.0437	9	0.0049	0.75	0.660372
BLOQUE*CLASE DE COPA	0.0585	9	0.0065	1.01	0.444549
TRATAMIENTO*BLOQUE*CLASE DE COPA	0.2559	27	0.0095	1.47	0.107301

\*Diferencias altamente significativas.  $\alpha= 0.05$ . FV= Fuente de Variación; SC= Suma de Cuadrados; GL= Grados de Libertad; CM= Cuadrados Medios; F= F Calculada; Pr>F= Probabilidad de F.

Anexo 10. ANOVA en bloques al azar del contenido de biomasa aérea ( $t\ ha^{-1}$ ) por tratamiento de *Pinus rudis* Endl. en la P.P. Rancho San José de la Joya, Galeana, N.L..

F.V	SC	GL	CM	F	Pr>F
Tratamiento	2867.7	3	955.9	1.2788	0.326014

F.V= Fuente de variación; SC= Suma de cuadrados; GL=Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= F calculada; Pr>F= Probabilidad de F calculada.