

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Análisis del Tamaño de Muestra para Evaluar Biomasa Aérea en *Pinus greggii* Engelm., en

Arteaga, Coahuila, México

Por:

DEISY LÓPEZ SANTIAGO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Abril de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis del Tamaño de Muestra para Evaluar Biomasa Aérea en *Pinus greggii* Engelm., en

Arteaga, Coahuila, México

Por:

DEISY LÓPEZ SANTIAGO

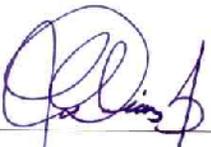
Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

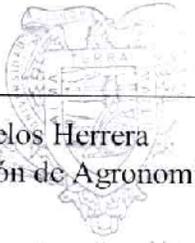
Aprobada:


Dr. Jorge Méndez González
Asesor Principal


M.C. José Aniseto Díaz Balderas
Coasesor


M.C. Alberto Rodríguez Hernández
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Abril de 2013

DEDICATORIA

At Dios, por la oportunidad de vivir y darme la fe, paciencia, sabiduría y por estar siempre conmigo en las buenas y malas y no dejarme sola en los momentos más difíciles en mi vida.

At mis padres Gilberto López Nájera y Cándida Santiago Juárez, por darme todo el amor, cariño, consejos y confianza que me han brindado siempre, a ustedes que son mi mayor tesoro que Dios me pudo haber dado, les dedico con todo mi amor este proyecto que es un paso importante en mi vida para poder seguir superándome cada día. Gracias por ser unos excelentes padres que a pesar de la distancia siempre han estado conmigo. (Los Amo)

At mis Hermanos Karina López y Oscar López, con todo mi amor para ustedes que son parte de mi vida, les doy gracias por cada uno de los momentos vividos juntos ha sido una bendición tener unos hermanos que han estado siempre conmigo apoyándome y brindándome su amor mil gracias.

At mi Tía Zenaida Santiago Juárez, por ser como mi segunda madre y brindarme todo tu apoyo, consejos, cariño y siempre motivándome para ser cada día mejor.

At mis tíos, tías, primos y primas, por brindarme su apoyo incondicional en los momentos difíciles, gracias por formar parte de mi familia.

Al Dr. Jorge Méndez González, por su gran apoyo, consejos y amistad brindada durante todo este tiempo muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de culminar mis estudios y formarme como profesionista.

Al Dr. Jorge Méndez González, asesor de tesis, por darme la confianza, asesoría y la oportunidad de trabajar a su lado y sobre todo por compartir sus conocimientos conmigo.

A mis coasesores: M.C. José Aniseto Díaz Balderas y M.C. Alberto Rodríguez Hernández; gracias por su asesoría y por el tiempo que me dedicaron para revisar este trabajo.

A todos los Maestros del Departamento Forestal, por su comprensión y sobre todo por haber compartido sus conocimientos para mi formación como Ingeniero Forestal.

A mis amigos Carlos Roberto, Erik, Rigoberto y Santiago, por su amistad incondicional y por cada uno de los consejos que me han brindaron en todo este tiempo.

A mi amigo y confidente Ab..... que ha estado conmigo durante dos años, gracias por tus consejos, cariño, apoyo y por haberme permitido formar parte de tu familia gracias.

Gracias a todos aquellos que no están aquí, pero que de alguna manera me brindaron su apoyo y formaron parte de esta lucha que ahora se hace realidad gracias.

Deisy López Santiago.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

RESUMEN	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 HIPÓTESIS.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO	4
2.2. EFECTO INVERNADERO	4
2.3. CICLO DEL CARBONO	5
2.4. SUMIDEROS DE CO ₂	5
2.5. FOTOSÍNTESIS.....	6
2.6. BIOMASA	7
2.7. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA	7
2.8. MODELOS ALOMÉTRICOS.....	8
2.9. ALGUNOS ESTUDIOS DE BIOMASA EN MÉXICO	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTACIÓN.....	12
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO	12
3.4. MÉTODO DE MUESTREO	13

3.4.1. Selección de árboles	13
3.4.2. Variables evaluadas	13
3.4.3. Pesaje de componentes de biomasa y obtención de muestras	14
3.5. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO	15
3.5.1. Determinación del peso seco de las muestras	15
3.5.2. Determinación de la biomasa aérea por componente	15
3.6. MODELO ALOMÉTRICO PARA CUANTIFICAR BIOMASA	16
3.7. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE MUESTRA	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. AJUSTES DE BIOMASA DE <i>PINUS GREGGII</i> AL MODELO ALOMÉTRICO	20
4.2. ANÁLISIS DEL PARÁMETRO A, DEL MODELO ALOMÉTRICO ESTIMADO EN FORMA LINEAL	23
4.3. PARÁMETRO B DEL MODELO LINEAL VS NLIN	25
4.4. COMPORTAMIENTO DE R^2 Y CV EN FUNCIÓN DE TAMAÑO DE MUESTRA	28
4.5. RELACIÓN ENTRE PARÁMETRO A Y B DEL MODELO ALÓMÉTRICO	32
4.6. ESTADÍSTICOS DE AJUSTE PROMEDIO DEL MODELO ALOMÉTRICO EN COMPONENTES DE BIOMASA EN <i>PINUS GREGGII</i>	33
4.7. ESTIMACIONES DE BIOMASA CON EL MODELO ALOMÉTRICO EN FORMA LINEAL Y NO LINEAL	35
5. CONCLUSIONES	37
6. LITERATURA CITADA	38
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Valores máximos y mínimos por grupo de variables, evaluadas en <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	19
Tabla 2. Estadísticos de regresión del modelo alométrico, por grupos y componentes de biomasa de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	21
Tabla 3. Tamaño de muestra utilizado por varios autores para estimar biomasa aérea de varias especies del mundo.	31
Tabla 4. Estadísticos promedio del modelo alométrico obtenidos de forma no lineal, para cuantificar biomasa por componente en <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación geográfica del Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, de la UAAAN en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	11
Figura 2. Valor del parámetro a estimado en forma lineal (A - C) y tendencia del error del parámetro (D - F) en función del tamaño de muestra, en componentes de biomasa de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	24
Figura 3. Valor del parámetro b estimado en forma lineal y no lineal (A - C) y tendencia del error del parámetro (D - F) en función del tamaño de muestra, en componentes de biomasa de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	27
Figura 4. Interpolación de R^2 , como función de coeficiente de variación y tamaño de muestra, estimados linealmente (A, B y C) y no lineal (D, E y F) en componentes de biomasa de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	29
Figura 5. Relación entre parámetros a y b del modelo alométrico (estimados en forma no lineal) en componentes de biomasa aérea de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	33
Figura 6. Estimación de biomasa en función de diámetro normal usando el modelo alométrico en forma lineal y no lineal, en componentes de biomasa aérea de <i>Pinus greggii</i> Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.	36

RESUMEN

Cuantificar la biomasa mediante modelos alométricos es una herramienta útil que nos permite determinar la cantidad de carbono fijado en dicho ecosistema, por lo que en este estudio se ajustó el modelo alométrico en su forma no lineal: $y = ax^b$ y lineal: $\text{Ln}y = \text{Ln}(a) + b \cdot \text{Ln}(x)$, haciendo $a = \exp(a)$, donde y = biomasa aérea total (kg), x = diámetro normal (cm), a y b = parámetros del modelo, Ln = logaritmo natural. La biomasa aérea se determinó utilizando el método destructivo, en 250 árboles de *Pinus greggii* Engelm. El modelo se ajustó a diferentes tamaños de muestra (30, 60, 90,....., 250), obtenidos al azar. Los resultados arrojaron que los estadísticos (R^2 , Error, C.V.) y los coeficientes de regresión (a y b [y sus errores]) son mayores usando el modelo en forma no lineal, dando el mejor ajuste en la *Bf* con una $R^2 = 0.9227$. El factor de corrección (FC) aumenta hasta un 10 % la biomasa área de todos los componentes. De acuerdo a los estadísticos de regresión (del modelo en ambas formas) se concluye que el tamaño óptimo para cuantificar biomasa aérea total (*Bt*) es de mínimo 50 ejemplares.

Palabras Clave: Modelos alometricos lineal y no lineal, biomasa aérea, *Pinus greggii* Engelm.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que ha incrementado su importancia a consecuencia del calentamiento global de la tierra y se atribuye a altas concentraciones de los llamados “gases de efecto invernadero”. Este cambio es consecuencia de las actividades humanas como: quema de combustibles fósiles, cambio de uso del suelo (deforestación) y agricultura (Andrasko, 1990; IPCC, 1995), siendo un problema mundial que afecta de forma negativa los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen el planeta (IPCC, 2001).

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero más importante ya que contribuye notablemente al calentamiento global del planeta (Ordóñez, 1999) el nivel de concentraciones ha tenido un aumento significativo que va de los 280 ppm (valor preindustrial) a 379 ppm en el año 2005 (IPCC, 2007); cerca del 20 % de las emisiones de este gas es consecuencia de la eliminación, degradación y transformación de los ecosistemas forestales (Schlegel, 2001).

Los ecosistemas forestales adquieren un papel fundamental en el ciclo de CO₂, al capturar y fijar el carbono atmosférico como biomasa, mediante el proceso de la fotosíntesis y por consiguiente, liberando oxígeno a la atmósferas a través de la respiración, contribuyendo al flujo anual de carbono (Ordóñez y Masera, 2001).

La determinación adecuada de la biomasa forestal es un elemento de gran importancia debido a que esta permite determinar la cantidad de carbono que se encuentra en las hojas, ramas, fuste y raíces (Méndez *et al.*, 2002). En los últimos años se ha comenzado a estimar biomasa, mediante ecuaciones que relacionan la biomasa y sus componentes (hojas, ramas, fuste y raíces) y las características dasométricas de los árboles, con el propósito de evaluar

la productividad de los ecosistemas y observar el efecto y flujos del CO₂, entre la vegetación, suelo y atmósfera (Brown, 1997; Makela, 1997).

Una forma de estimar biomasa es mediante modelos alométricos, que se definen como una relación que permite estimar una variable con base a una o más variables independientes (Vallejo y Noriega, 2008). Por otro lado, determinar el tamaño óptimo de muestra en ecuaciones alométricas es una de las tareas más importantes, no solo para obtener resultados confiables sino también para ahorrar recursos. Un principio que impera en la estimación de un parámetro señala que, para obtener mayor precisión es necesario un tamaño mayor de muestra, en base a lo anterior, este estudio se enfoca a evaluar el tamaño de muestra, analizar los valores de los parámetros y sus errores para determinar la varianza mínima en la estimación de parámetros con las mejores estimaciones de biomasa.

En la literatura, existen variadas formas y modelos para estimar biomasa. Brown *et al.* (1989) documentan estudios con 5 árboles, Zianis *et al.* (2005) indican que en Europa, 30 % de los estudios de biomasa utilizan entre 11 y 20 árboles. Návar (2010), en México, indica que el tamaño de muestra ideal para construir modelos de biomasa es de 60 árboles.

1.1 Objetivos

Analizar los estadísticos y coeficientes de regresión del modelo alométrico, en función del tamaño de muestra, para determinar el tamaño óptimo de datos, para cuantificar biomasa aérea (hojas, ramas y fuste) en *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga, Coahuila.

1.2 Hipótesis

Los estadísticos de ajuste del modelo de biomasa de los diferentes componentes, son similares en función de tamaño de muestra.

El modelo alométrico se ajusta adecuadamente a los componentes de biomasa aérea de *Pinus greggii* Engelm.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Gases de efecto invernadero

Se les denomina gases de efecto invernadero (GEI) por su capacidad de dar paso a las radiaciones solares de onda corta, calentando la superficie de la tierra y atrapar en la atmósfera terrestre la radiación infrarroja con mayor longitud de onda, que la tierra emite ascendentemente de regreso al espacio (Shand, 1996; IPCC, 2001). La presencia de gases de efecto invernadero está constituida principalmente por: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono estratosférico (O_3), monóxido de carbono (CO) y clorofluorocarbonos (CFC) (Andrasko, 1990).

2.2. Efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno natural, que permite el desarrollo de la vida en nuestro planeta (Centeno, 1992), este fenómeno es causado por la presencia de los GEI que se encuentran en la atmósfera y permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que se absorbe y reemite parte de la radiación infrarroja que el planeta regresa al espacio exterior. Cuanto mayor son las concentraciones de los GEI, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta reemite libremente al espacio exterior, de esta manera al aumentar las concentraciones de los GEI, se incrementa la cantidad de calor atrapada en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta (Ordóñez, 1999).

2.3. Ciclo del Carbono

El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico por el cual el carbono se intercambia entre la biosfera, la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera, que comienza con la fijación de dióxido de carbono (CO_2) a través de los procesos de la fotosíntesis y ciertos organismos (Orellana *et al.* 2012). El flujo del carbono se realiza cuando las plantas adquieren dióxido de carbono (CO_2) atmosférico por difusión a través de los estomas que se encuentran en las hojas y es transportado a los sitios donde se lleva a cabo la fotosíntesis, una cierta cantidad de CO_2 regresa a la atmósfera, pero la que se fija y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis se conoce como producción primaria bruta (PPB), la mitad de la PPB es incorporada en las hojas, raíces, tejido leñoso y la otra mitad vuelve a la atmósfera como CO_2 , debido a la respiración (González, 2012)

Se consideran cuatro reservorios de carbono: la atmósfera, la biosfera terrestre (que por lo general, incluye sistemas de agua dulce y material no vivo, como el carbono presente en el suelo), los océanos (que incluyen el carbono inorgánico disuelto, los organismos marítimos y la materia no viva) y los sedimentos (que incluyen los combustibles fósiles) (González, 2012)

2.4. Sumideros de CO_2

La Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define “sumidero” como el proceso, actividad o mecanismo que absorbe o remueve los gases de efecto invernadero (GEI), en el caso específico del CO_2 atmosférico, es absorbido por las plantas y fijado en la biomasa como resultado de la fotosíntesis (UN, 1992).

De este CO₂, una parte es respirada y la otra se retiene en la biomasa y se le denomina carbono fijado, depósito o reservorio de carbono; por consiguiente se define como “depósito de carbono” todo componente del sistema climático que almacena un gas de efecto invernadero (UN, 1992). Algunos sumideros de CO₂ son: bosques naturales, zonas tropicales, plantaciones forestales (Alfaro, 1997).

2.5. Fotosíntesis

La fotosíntesis es el resultado de la transformación de energía luminosa a energía química, esta energía es utilizada principalmente para construir su propia estructura y mantener sus procesos biológicos (Chapman, 1976). La fotosíntesis se lleva a cabo cuando las plantas verdes a través de sus estomas, que se encuentran en las hojas absorben los gases que contiene la atmósfera como es el CO₂ y estos se disuelven con el agua que hay dentro de las células de las plantas, produciéndola en azúcar, almidón (glucosa) y celulosa, que son nutritivos para la misma planta y estas liberan oxígeno hacia la atmósfera (Gaffron 1974; Steinlin, 1984). Por ello, la vegetación a través del proceso de la fotosíntesis tiene el potencial de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura (follaje, ramas, raíces y fuste), es decir lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos (Ordoñez y Masera, 2001).

Los bosques ayudan a mitigar el cambio climático, gracias a que influyen en el ciclo del carbono, estos capturan, almacenan y liberan carbono dando como resultado los procesos de la fotosíntesis, respiración y degradación de la materia seca (Brown, 1997b; Schlesinger, 1997).

2.6. Biomasa

La biomasa forestal se define como el peso de materia orgánica existente en un determinado ecosistema, ya sea por encima o por debajo del suelo, se cuantifica en toneladas por hectáreas de peso verde o seco y también se expresa en toneladas de peso a nivel árbol (Brown, 1997). Los árboles almacenan biomasa principalmente en sus componentes como: fuste o tallo principal, ramas vivas y muertas, follaje, corteza, conos y raíces todas expresadas en términos de peso seco (Castellanos *et al.*, 1996; Figueroa, 2010).

A partir de la biomasa forestal se puede calcular la concentración de carbono en la vegetación (aproximadamente el 50 % de la biomasa está compuesta por carbón) y por consiguiente se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de dióxido de carbono que ingresa a la atmósfera cada vez que se realiza un desmonte o se quema un bosque. La biomasa es una variable que sirve para comparar las características estructurales y funcionales de un ecosistema (FAO, 1995). Hoy en día, la estimación de la biomasa es de gran interés científico, ya que es esencial en estudios de almacenes y secuestro de carbono sobre los efectos de deforestación (Andrasko, 1990; IPCC, 2000).

2.7. Métodos de estimación de biomasa

La determinación de la biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques en el ciclo global de carbono (Parresol, 1999). Existen diferentes métodos para estimar biomasa: el método directo y el indirecto: el método directo consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge y Herrera, 1983); el método indirecto utiliza métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y

se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997).

Otra de las formas de estimar biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en campo como, diámetro a la altura del pecho (dap), altura comercial (h_c), altura total (h_t), crecimiento diamétrico, área basal y densidad específica de la madera (Jordan y Uhl, 1978; Brown, 1997; Francis, 2000).

2.8. Modelos alométricos

Los modelos alométricos son herramientas matemáticas que permiten estimar una variable (volumen o biomasa) con base a una o más variables independientes (dap, altura, etc.) (Vallejo y Noriega, 2008), para ello, se debe contar con modelos que estimen la biomasa total con base al tamaño y dimensiones de los árboles; es decir, los modelos matemáticos basados en relaciones alométricas que ocurren entre los organismos de un individuo (Acosta *et al.*, 2002)

Los modelos alométricos son los más utilizados en los estudios de biomasa para relacionar la biomasa de un árbol o la biomasa de uno de sus componentes y una variable de fácil medición (Enquist *et al.*, 1998).

Para la evaluación de un modelo matemático es necesario seleccionar aquellos que presenten el mejor balance entre la capacidad de ajuste de los datos y su complejidad. Algunos modelos que tienen mayor número de parámetros tienden a ajustar mejor una base de datos, no obstante tienden a ser más inestables y a modelar la variabilidad de esos datos más que su tendencia (Posada *et al.*, 2007).

2.9. Algunos estudios de biomasa en México

Méndez *et al.* (2011) ajustaron nueve ecuaciones alométricas y estimaron incrementos en biomasa aérea por componente (hojas más ramas, fuste y total), carbono y carbono equivalente, en una plantación mixta de 12 años de edad de *Pinus devoniana* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* Lindl, en el estado de Guanajuato, usando 40 árboles (20 por spp.). La biomasa aérea total fue registrada en el fuste con el 60.2 y 58.4 %; 39.8 y 41.6 % en la hojas y ramas para ambas especies; Los valores calculados fueron de 39.36 t B ha⁻¹, 19.68 t C ha⁻¹ y 72.02 t CO₂ e ha⁻¹, después de los 12 años de establecida la plantación. El modelo de Schumacher determina que la máxima productividad de biomasa aérea se alcanza a los 20 años de edad lo que representa 3.96, 1.98 y 7.27 t /ha⁻¹/ año⁻¹ de B, C y CO₂ e.

Aguilar (2009) determinó la biomasa aérea, carbono almacenado y carbono equivalente en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila, con un tamaño de muestra de 30 árboles, obteniendo como resultado en la biomasa aérea de la plantación de 30.06 t ha⁻¹ con un almacén de carbono de 15.03 t C ha⁻¹, por lo que corresponde a 55.16 t CO₂ e ha⁻¹. A nivel árbol el promedio de biomasa aérea y carbono almacenado fue de 22.84 y 11.42 kg, respectivamente, del cual el fuste comprende el 59.06 % biomasa; 29.43 % para ramas; 10.42 % para hojas y finalmente para conos con 1.09 %.

Pacheco *et al.* (2007) estimaron el potencial de almacenamiento de C en la biomasa aérea de una plantación de seis años de edad, con la especie de *Pinus greggii* Engelm. en el estado de Hidalgo, con una muestra de 20 árboles. La biomasa total fue de 35.2 t/ha y el carbono almacenado de 17.9 t/ha, lo que equivale a 65.8 t CO₂e/ha. A Nivel árbol, la biomasa aérea fue de 8 kg (4.1 kg en fuste [51 %], 2 kg en follaje [25 %] y 1.9 kg en ramas [24 %]) y la concentración de carbono en el tejido vegetal fue de 51 %.

Pimienta *et al.* (2007) realizaron un estudio para estimar biomasa y contenido de carbono en *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo Durango, empleando datos provenientes de ocho parcelas permanentes de 5000 m² con un tamaño de muestra de 633 árboles y utilizando cinco modelos matemáticos, obteniendo una $R^2 > 0.90$ y un Syx % < 18.20 para biomasa seca y para carbono $R^2 > 0.94$ y un Syx % < 14.01, donde se obtuvo una biomasa de 98.128 ton/ha; 51.125 ton/ha de carbono.

Montes de Oca *et al.* (2009) ajustaron 13 ecuaciones lineales y no lineales en *P. durangensis* para estimar biomasa por componente (hojas, ramas, fuste y total, en la región el Salto Durango, con un tamaño de muestra de 72 árboles, obteniendo como resultado el mejor ajuste en Bt y Bf con una R^2 de 0.86 y para Bh y Br con R^2 de 0.74, donde las ecuaciones lineales son los que obtuvieron el mejor ajuste.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, parte de la Sierra Madre Oriental en Los Lirios, Arteaga, Coahuila, México, a una distancia aproximada a 45 km de Saltillo, Coahuila ($25^{\circ} 23'$ a $25^{\circ} 24'$ Norte y $100^{\circ} 36'$ a $100^{\circ} 37'$ Oeste), a una altitud de 2280 msnm (Figura 1) (INEGI, 2000).

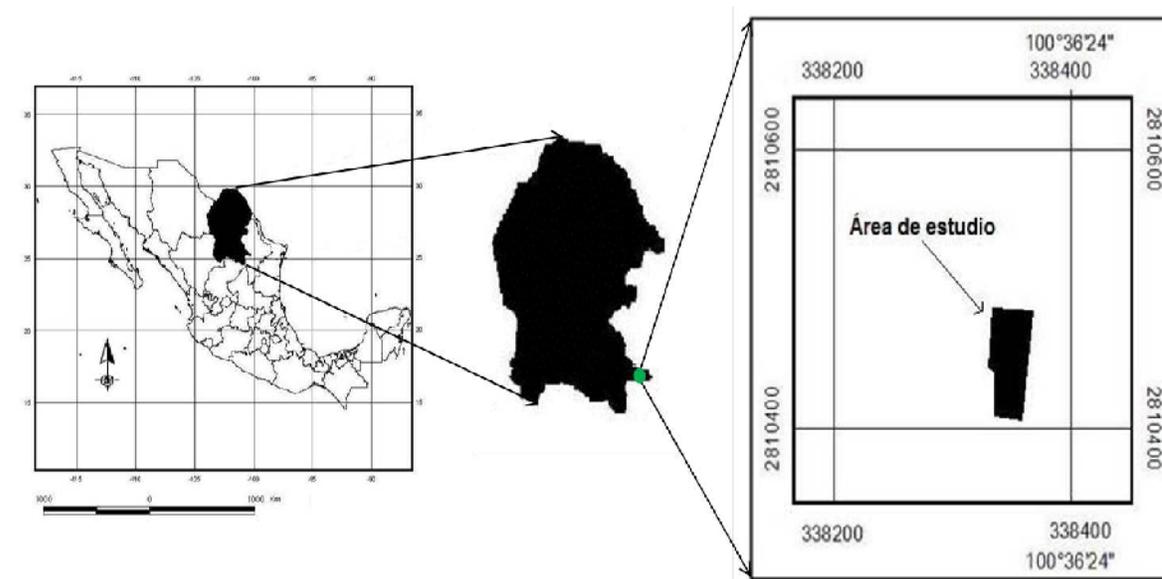


Figura 1. Ubicación geográfica del Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, de la UAAAN en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

El área se encuentra en la región hidrológica Bravo - Conchos (RH24) y la cuenca hidrológica Rio Bravo – San Juan (24B) (SPP, 1983). Cuenta con la influencia de dos arroyos intermitentes, que nacen en la parte alta de la Sierra Rancho Nuevo (INEGI, 2000).

La geología está constituida por rocas de origen sedimentario, con depósitos de aluvión (CETENAL, 1976). Los suelos predominantes son los feozem calcaricos y en menor proporción las rendzinas, con textura fina que se encuentra en fase petrocálcica (CETENAL, 1977).

El clima es templado con verano fresco y largo, con una temperatura media anual de 13.6° C; la precipitación media anual es de 521.2 mm; siendo los meses de junio a septiembre con mayor precipitación y los meses más secos son febrero y marzo (CONAGUA, 2001). La fórmula climática del área de estudio Cb (X') (Wo) (e) g (García, 1987).

3.2. Descripción de la plantación

La plantación se estableció en junio de 1992, en una superficie de 1428 m², con plántulas de la especie de *Pinus greggii* Engelm. de tres procedencias (Cañón de Jame, Los Lirios de Arteaga, Coah. y Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila, con un diseño experimental de tres bloques completos al azar, perpendiculares a la pendiente en sur, con 39 plantas por parcela como unidad experimental, 117 plantas por procedencia y 351 plantas útiles en total. La plantación se estableció en tresbolillo con espaciamiento de 1.8 m, en una superficie de 0.2208 hectáreas.

3.3. Características de la especie en estudio

Pinus greggii Engelm

Árbol de 10 a 15 m de altura, con un diámetro de hasta 40 cm, con una corteza lisa y grisácea, oscura y áspera que está dividida por profundas fisuras verticales; ramillas de color rojizo, con tinte grisáceo. El follaje es denso, erguido, verde brillante a grisáceo, las

hojas se encuentran en fascículos de tres, los conos son oblicuos-cónicos lustrosos, de color ocre amarillentos, seróticos (Martínez, 1948).

Se distribuye en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz, con características importantes utilizadas en plantaciones forestales en restauración de zonas degradadas (Vargas y Muñoz, 1988) y para la venta de servicios ambientales por concepto para la captura de carbono (Pacheco *et al.*, 2007).

3.4. Método de muestreo

3.4.1. Selección de árboles

Para realizar este trabajo se obtuvieron 250 árboles provenientes de un aclareo realizado en el 2010, considerando estuvieran libres de plagas o enfermedades, sin deformaciones y que incluyeran todas las categorías de diámetro y altura existentes, según lo descrito por Schlegel *et al.* (2000) y siguiendo con la metodología desarrollada por Návar (2001) y Gayoso *et al.* (2002).

3.4.2. Variables evaluadas

Las mediciones de variables de cada árbol se realizaron de dos formas: la primera, con el árbol en pie y la segunda, después de derribado el árbol, este procedimiento fue descrito por Schlegel *et al.* (2000). A cada uno de los árboles, se les midió diámetro basal (0.05m), diámetro a 0.30 m, diámetro normal (1.30 m), diámetro de copa y altura total, utilizando equipo de inventarios forestales. Toda la información que se obtuvo en campo se registró en formatos previamente elaborados. Enseguida, mediante motosierra, los árboles fueron

derribados, utilizando el método de derribo direccional (con el fin de evitar daños a la plantación), para obtener biomasa en verde.

3.4.3. Pesaje de componentes de biomasa y obtención de muestras

De cada árbol derribado se procedió a separar cada uno de los componentes (hojas, ramas y fuste). El fuste, se dividió en secciones obteniendo trozas, a partir de la base del fuste hasta 1.30 m y las siguientes a cada metro, hasta finalizar a un diámetro no menor de 0.03 m. Cada componente, se pesó en su estado verde con una báscula con capacidad de 12 Kg, se obtuvo el peso total de las hojas, ramas y se tomó una muestra representativa la cual fue empaquetada en bolsa de papel y etiquetadas con clave de identificación (nombre del componente, peso de la muestra, número de árbol y fecha), para su fácil manejo y traslado al laboratorio.

A cada árbol se extrajeron en promedio seis rodajas de 5 cm de espesor, la primera en la parte baja al diámetro mayor (0.05 m), la segunda en la parte alta al diámetro menor de (1.30 m) y las demás rodajas se obtuvieron siguiendo las medidas de las trozas en los diámetros menores (2.30, 3.30, 4.30, 5.30 m), descrito por Méndez *et al.* (2005) y Díaz *et al.* (2007). Cada rodaja se etiquetó con una clave de identificación y en conjunto fueron colocadas en una bolsa de papel, donde fueron empaquetadas para facilitar el traslado al laboratorio.

3.5. Procedimiento de laboratorio

3.5.1. Determinación del peso seco de las muestras

Las muestras de cada componente fueron introducidas en estufas de secado, de tipo convencional, pertenecientes al laboratorio del Departamento Forestal de la UAAAN, con el fin de obtener el peso anhidro. Las muestras de las hojas fueron secadas con una temperatura promedio de 75° C; ramas y rodajas a temperatura promedio 80° C (Nájera, 1999; Méndez *et al.*, 2005; Pacheco *et al.*, 2007). Para llevar a cabo la identificación del peso anhidro, a cada una de las muestras se le realizó un monitoreo cada tercer día, el cual consistió en pesar cada muestra con una báscula (OHAUS) de gran precisión (0.001 gr) con una capacidad de 2610 gr.

3.5.2. Determinación de la biomasa aérea por componente

Para obtener la biomasa seca aérea de *Pinus greggii*, primeramente se determinó el contenido de humedad por componente (hojas, ramas y fuste). La cual se calculó con la fórmula propuesta por Schlegel *et al.* (2001).

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} \times 100 \quad 1)$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad (%).

Phs = Peso húmedo de la submuestra (g).

Pss = Peso seco de la submuestra (g).

Con el contenido de humedad se calculó la proporción del peso húmedo que corresponde a la biomasa.

$$B = \frac{PhBt}{1 + (CH / 100)} \quad 2)$$

Dónde:

B = Biomasa seca (gr)

$PhBt$ = Peso húmedo total de biomasa (gr)

CH = Contenido de humedad (%).

La estimación de biomasa seca total se obtuvo sumando los tres componentes de biomasa: hojas, ramas y fuste total.

$$Bt = Bh + Br + Bf \quad 3)$$

Dónde:

Bt = Biomasa total (g).

Bh = Biomasa de hojas (g).

Br = Biomasa de ramas (g).

Bf = Biomasa de fuste total (g).

3.6. Modelo alométrico para cuantificar biomasa

Para cuantificar la biomasa de *Pinus greggii* Engelm., se utilizó el modelo alométrico exponencial en su forma no lineal (Ecuación 4) por ser un modelo muy utilizado por diferentes autores (Smith y Brand, 1983; Brown *et al.*, 1989; Zianis y Mencuccini, 2004), entre otros.

$$Y = ax^b \quad 4)$$

Donde:

Y = Variable dependiente (kg).

x = Variable independiente (cm).

a y b = Parámetros del modelo.

Similarmente el modelo se ajustó en su forma lineal, el cual viene dado por:

$$\ln y = \ln(a) + b \ln(x) + \varepsilon \quad 5)$$

haciendo $a = \exp(a)$; donde y = biomasa aérea total (kg), x = diámetro normal (cm), a y b = parámetros del modelo, \ln = logaritmo natural y ε es el error. La transformación logarítmica corrige la heterogeneidad de la varianza de “ y ” con respecto a x (Brown *et al.*, 1989), incrementando la validez estadística del modelo debido a la homogenización de la varianza (Sprugel, 1983; Zianis y Mencuccini, 2004).

Para ajustar los datos de biomasa se utilizó el programa SAS v.9., obteniendo los valores de los parámetros a y b , coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de variación (CV), mismos que fueron utilizados para determinar el tamaño óptimo de muestra.

3.7. Determinación del tamaño óptimo de muestra

El modelo alométrico se ajustó a diferentes tamaños de muestra (30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 250) de acuerdo a lo sugerido por Méndez *et al.*, (2012) formando ocho grupos para cada uno de los componentes; hojas y ramas, fuste y total, estos grupos fueron obtenidos al azar con remplazo, utilizando los 250 datos obtenidos en campo.

El tamaño de muestra óptimo se consideró de acuerdo a los parámetros arrojados, se evaluaron y compararon los valores de los parámetros (a y b), los errores (S_{yx}), el coeficiente de variación (CV) y Coeficiente de determinación (R^2) entre los diferentes tamaños de muestra.

El análisis del parámetros a se hizo mediante el ANV o prueba F donde se compararon las medias y los errores de la misma en su forma lineal y para el parámetro b se hizo mediante la prueba T, donde se compararon las medias y los errores de b en su forma lineal y no lineal, así como también las medias de b con otros estudios, para cada componente (hojas, ramas y fuste), en relación con el tamaño de muestra.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se evaluaron 250 árboles de *Pinus greggii* Engelm., comprendiendo diámetros que varían de 3.0 a 18.7 cm y alturas que van desde 3.4 a 10.9 m; por otro lado el componente biomasa hojas y ramas (*Bhr*) sus valores varían de 1.21 a 62.08 kg; en biomasa de fuste (*Bf*) los valores oscilan entre 1.25 a 110.15 kg y finalmente la biomasa aérea total; (*Bt*) presenta valores que van de 3.12 a 172.23 kg.

El porcentaje de hojas y ramas (*Phr*) varía de 20.55 a 65.77 %, mientras que el porcentaje de fuste (*Pf*) se encuentran oscilando entre 34.23 a 79.45 % (Tabla 1).

Tabla 1. Valores máximos y mínimos por grupo de variables, evaluadas en *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Grupo	DN		H		Bhr		Bf		Bt		Phr		Pf	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	4.00	15.40	3.85	9.36	1.82	52.60	3.04	62.28	4.86	106.49	25.71	53.33	46.67	74.23
2	3.00	18.00	3.60	10.90	2.42	62.08	3.62	110.15	6.04	172.23	27.91	63.83	36.17	72.09
3	3.00	18.70	3.46	10.90	1.21	62.08	1.31	110.15	3.12	172.23	27.59	65.77	34.23	72.41
4	3.00	16.20	3.46	10.40	1.22	52.60	1.25	67.43	3.54	106.49	23.21	64.81	35.19	76.79
5	3.00	18.00	3.46	10.90	1.21	60.08	1.31	110.15	3.12	172.23	20.55	63.83	36.17	79.45
6	3.00	18.70	3.46	10.90	1.21	60.08	1.31	110.15	3.12	172.23	20.55	65.77	34.23	79.45
7	3.00	18.70	3.60	10.10	1.21	56.88	2.42	72.52	3.62	118.74	20.55	65.77	34.23	79.45
8	3.00	18.70	3.46	10.90	1.21	62.08	1.25	110.15	3.12	172.23	20.55	65.77	34.23	79.45

DN = diámetro normal (kg); H = Altura (m); *Bhr* = biomasa hojas y ramas (kg); *Bf* = biomasa fuste (kg); *Bt* = biomasa total (kg); *Phr* = porcentaje hojas y ramas (%); *Pf* = porcentaje de fuste (%).

4.1. Ajustes de biomasa de *Pinus greggii* al modelo alométrico

El análisis de resultados demuestra que la mayor variación de biomasa se observa en el componente hojas y ramas (18.94 %) seguida de fuste (13.72 %), observándose que al integrar la biomasa de estos componente la variación se reduce significativamente casi hasta un 40 %, dando la pauta para sugerir que para construir modelos alométricos de biomasa total de árboles individuales, se integren todos los componente de biomasa (al menos que sea necesario estimar cada componente en forma individual). Méndez *et al.* (2011), destacan estos mismos patrones, mayor variación en hojas y ramas y menor en fuste de *P. pseudostrobus* y *P. devoniana*. Similarmente la correlación entre diámetro normal y componentes de biomasa es muy buena, siendo el fuste quien registra mayor correlación ($R^2 = 0.9018$), seguido de biomasa total ($R^2 = 0.8955$) y al último las ramas y hojas ($R^2 = 0.8492$), todos altamente significativos ($p < 0.001$).

El factor de corrección al modelo alométrico resultó en promedio similar en todos los componentes de biomasa, variando desde 1.07 hasta 1.10; esto es, el ajuste de biomasa se incrementa hasta en casi 10 % más. Este factor de corrección es similar en varias especies, incluso en *Prosopis glandulosa*, el factor de corrección incrementa la biomasa en 4 % más (Méndez *et al.*, 2012).

Tabla 2. Estadísticos de regresión del modelo alométrico, por grupos y componentes de biomasa de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

C	N	a	valor de t	b	valor de t	CME	CV	R ²	Sxy	FC
bhr	30	-2.1331	-4.38	1.9794	9.15	0.1570	17.45	0.7495	0.3962	1.08
bhr	60	-1.6734	-4.13	1.8070	10.03	0.2110	19.57	0.6343	0.4593	1.11
bhr	90	-2.0099	-8.24	1.9157	17.64	0.1575	17.81	0.7796	0.3968	1.08
bhr	120	-2.2302	-8.48	2.0228	17.09	0.2020	20.36	0.7121	0.4495	1.11
bhr	150	-1.9488	-9.26	1.9079	20.60	0.1639	17.35	0.7414	0.4048	1.09
bhr	180	-2.1653	-10.31	1.9757	21.16	0.2015	20.20	0.7155	0.4489	1.11
bhr	210	-2.0892	-10.86	1.9503	22.76	0.1920	19.59	0.7135	0.4382	1.10
bhr	250	-2.1496	-12.26	1.9792	25.44	0.1875	19.19	0.7229	0.4330	1.10
Media		-2.0499		1.9423		0.1841	18.94	0.7211	0.4283	1.10
bf	30	-2.2301	-5.18	2.1977	11.49	0.1228	13.18	0.8251	0.3504	1.06
bf	60	-1.9821	-6.54	2.1085	15.64	0.1181	12.69	0.8083	0.3437	1.06
bf	90	-1.9963	-7.90	2.0981	18.63	0.1693	15.56	0.7978	0.4115	1.09
bf	120	-2.2966	-11.56	2.2537	25.20	0.1153	12.82	0.8433	0.3396	1.06
bf	150	-2.0013	-10.69	2.1183	25.71	0.1297	13.08	0.8171	0.3601	1.07
bf	180	-2.1068	-11.37	2.1361	25.93	0.1568	15.02	0.7907	0.3959	1.08
bf	210	-2.0124	-12.71	2.1061	29.86	0.1301	13.56	0.8109	0.3607	1.07

bf	250	-2.1845	-14.57	2.1813	32.79	0.1371	13.86	0.8126	0.3703	1.07
Media		-2.1012		2.1500		0.1349	13.72	0.8132	0.3665	1.07
bt	30	-1.5199	-3.58	2.1146	11.19	0.1198	10.87	0.8173	0.3462	1.06
bt	60	-1.1672	-3.55	1.9843	13.57	0.1390	11.48	0.7604	0.3729	1.07
bt	90	-1.3021	-5.62	2.0174	19.54	0.1424	11.94	0.8127	0.3773	1.07
bt	120	-1.5619	-7.59	2.1511	23.22	0.1237	11.14	0.8204	0.3517	1.06
bt	150	-1.2861	-7.09	2.0296	25.41	0.1219	10.68	0.8135	0.3491	1.06
bt	180	-1.4429	-7.93	2.0704	25.61	0.1510	12.32	0.7865	0.3886	1.08
bt	210	-1.3583	-8.51	2.0433	28.74	0.1322	11.46	0.7988	0.3636	1.07
bt	250	-1.4733	-9.97	2.0948	31.96	0.1330	11.43	0.8047	0.3647	1.07
Media		-1.3890		2.0632		0.1329	11.42	0.80188	0.3643	1.07

C = componente de biomasa; N = tamaño de muestra; a y b = parámetros de regresión del modelo alométrico; CME = cuadrado medio del error; CV = coeficiente de variación (%); R^2 = coeficiente de determinación; Sxy = error estándar; FC = factor de corrección.

4.2. Análisis del parámetro a , del modelo alométrico estimado en forma lineal

Los resultados indican que los valores del parámetro a , en los diferentes componentes de biomasa difieren significativamente; de acuerdo a la prueba de F ($\alpha = 0.05$) el análisis de resultados demuestra que existen diferencias altamente significativas ($F = 59.20$; $p < 0.0001$) en las medias del parámetro a , del modelo lineal; el parámetro a (-1.3890) de biomasa total (Figura 2C) es estadísticamente diferente al parámetro a de Bhr y de Bf (-2.0499 y -2.1013) (Figura 2A y 2B) respectivamente.

Por otro lado, las medias de los errores del parámetro a de Bhr , Bf y Bt , son estadísticamente similares ($F = 0.4200$; $p = 0.6598$), promediando 0.2733, 0.2332 y 0.2328, respectivamente (Figura D - F). Los resultados demuestran que el error del parámetro a , disminuye significativamente conforme se incrementa el tamaño de muestra, siguiendo una tendencia logarítmica de la forma $y = a - b\ln(x)$, donde: y indica error de a , $y x$, tamaño de muestra, existiendo una correlación lineal desde 0.9614 (Bhr) hasta 0.9818 (Bf) (Figuras 2D - 2F).

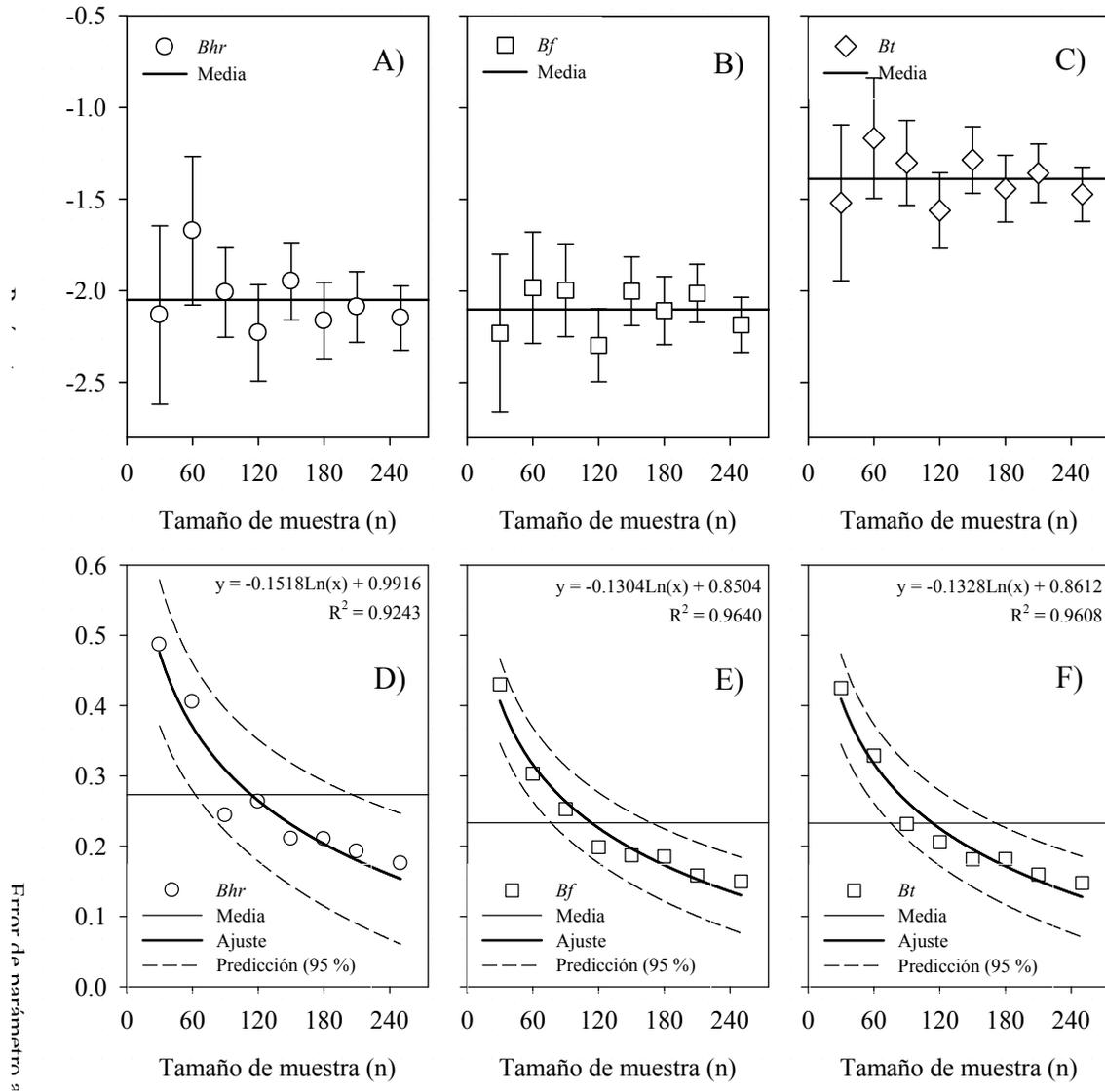


Figura 2. Valor del parámetro a estimado en forma lineal (A - C) y tendencia del error del parámetro (D - F) en función del tamaño de muestra, en componentes de biomasa de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

4.3. Parámetro b del modelo lineal vs nlin

La prueba de t de medias apareadas ($\alpha = 0.05$) indicó que el parámetro b de los componentes Bhr , Bf y Bt estimado en forma no-lineal es mayor ($t = 3.8689$, $p = 0.006$; $t = 5.0328$, $p = 0.002$; $t = 5.0119$, $p = 0.002$) al parámetro b estimado en forma lineal, promediando 2.192 y 1.942 (Figura 3A); 2.579 y 2.150 (Figura 3B); 2.429 y 2.063 (Figura 3C), respectivamente.

De la misma forma, los errores del parámetro b estimados con el modelo no-lineal son mayores ($t = 3.5815$, $p = 0.009$; $t = 4.3836$, $p = 0.003$; $t = 3.9427$, $p = 0.006$) a los errores del parámetro b estimados en forma lineal, resultando en 0.200 y 0.122 (Figura 3D); 0.154 y 0.104 (Figura 3E); 0.161 y 0.104 (Figura 3F), en Bhr , Bf y Bt , respectivamente.

El parámetro b del modelo alométrico (estimado linealmente) difiere significativamente entre componentes de biomasa de *Pinus greggii*, según prueba de F al 95% de confiabilidad ($F = 24.92$; $p < 0.0001$); de acuerdo a la agrupación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) se tiene lo siguiente: b de $Bf > b$ de $Bt > b$ de Bhr representando 2.14997, 2.06319 y 1.94225 (Figura 3A, 3B y 3C), respectivamente. De la misma forma, el parámetro b estimado del modelo no-lineal también registró diferencias altamente significativas ($F = 8.57$; $p = 0.0019$), comportándose de la siguiente manera: b de $Bf = b$ de Bt ; b de $Bt = b$ de Bhr (Tukey, $\alpha = 0.05$) cuyos promedios son de 2.57936, 2.42885 y 2.19246 (Figura 3A, 3B y 3C) para Bf , Bt y Bhr , respectivamente.

Se ha hipotetizado (Enquist *et al.*, 1998) que la media de b de la relación alométrica $y = ax^b$ es ~ 2.67 ($8/3$). En este sentido, algunos autores (Smith y Brand, 1983; Zianis y Mencuccini, 2004; Návar, 2009) han evaluado el valor de b en varias especies alrededor del mundo. Por ejemplo, Smith y Brand (1983), reportan una media de $b = 2.4925 \pm 0.6955$, obtenido de 215 modelos de 98 especies de herbáceas y arbustivas de EU y Canadá. Návar (2009) documenta un promedio de $b = 2.3785 \pm 0.051$ en 78 ecuaciones alométricas en México. En un estudio más amplio, Zianis y Mencuccini (2004), indican que la media de b es de 2.3679 ± 0.016 , obtenido de 279 estudios de biomasa en especies distribuidas en a lo largo y ancho de Europa.

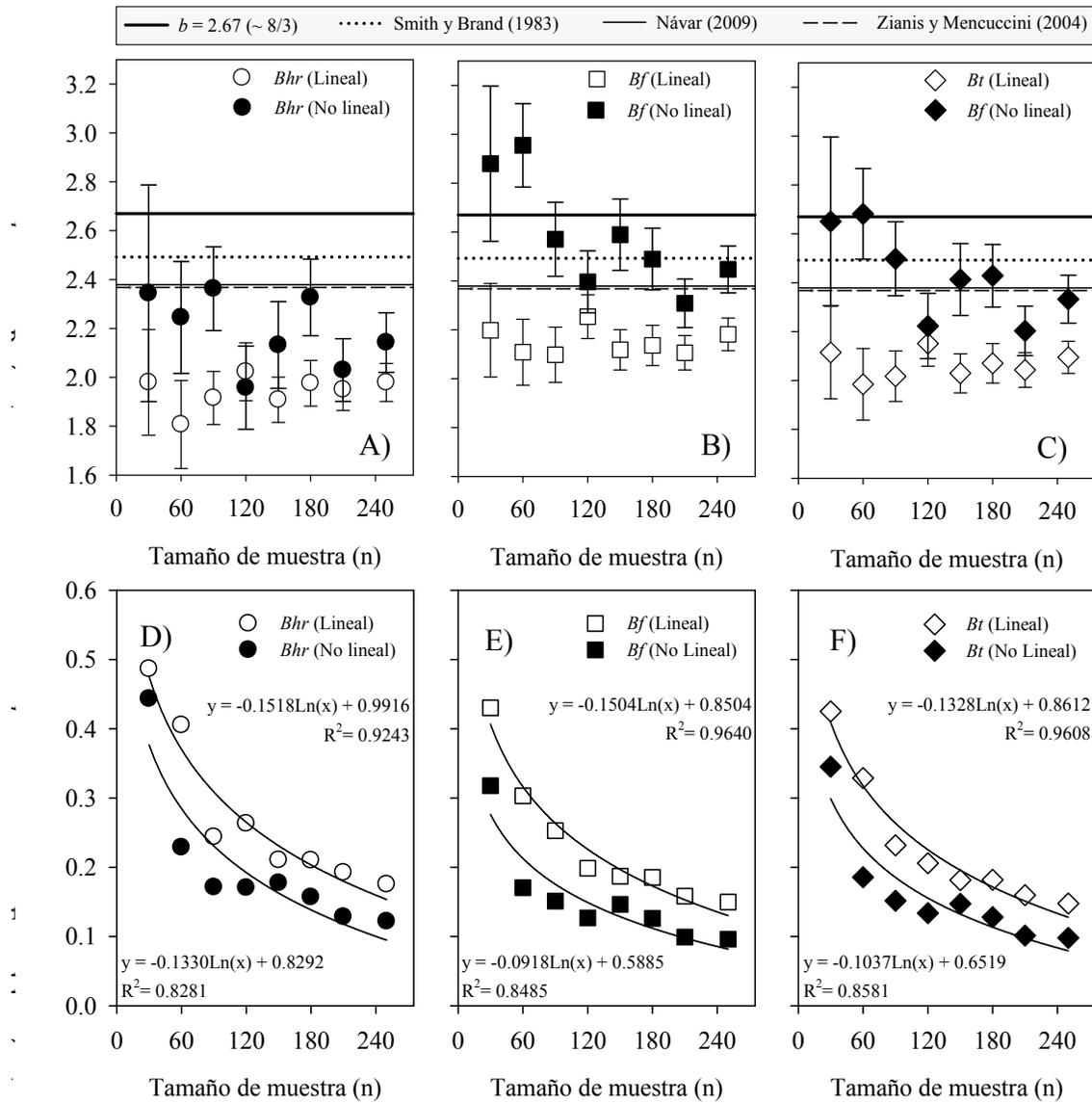


Figura 3. Valor del parámetro b estimado en forma lineal y no lineal (A - C) y tendencia del error del parámetro (D - F) en función del tamaño de muestra, en componentes de biomasa de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

La prueba de t de una muestra, indicó que el valor de b de biomasa total de *Pinus greggii* (Figura 3C) obtenido del modelo no lineal (2.429), es estadísticamente igual al valor de b de Smith y Brand (1983) ($t = 1.013$; $p = 0.345$), b de Nívar (2009) ($t = 0.801$; $p = 0.449$) e igual a b de Zianis y Mencuccini (2004) ($t = 0.970$; $p = 0.364$); sin embargo, solo el valor de b (2.67) expuesto en la teoría fractal por Enquist *et al.* (1998) es mayor ($t = 3.837$; $p = 0.006$), que b de biomasa total de *Pinus greggii*.

Similarmente, al comparar el valor del parámetro b obtenido con el modelo lineal (2.063) se observó que es menor al valor de b reportado por Smith y Brand (1983) ($t = 22.043$; $p = 0.0001$), b de Nívar (2009) ($t = 16.189$; $p = 0.0001$) b de Zianis y Mencuccini (2004) ($t = 15.645$; $p = 0.0001$); y a b expuesto por Enquist *et al.* (1998).

4.4. Comportamiento de R^2 y CV en función de tamaño de muestra

El mapa de interpolación de R^2 como función de tamaño de muestra (x) y de coeficiente de variación (y) (en unidades logarítmicas) demuestra que para el componente hojas y ramas, el mejor ajuste ($R^2 = 0.80$) con la varianza mínima ($17.5 < CV < 18 \%$) se obtiene con un tamaño de muestra aproximado a 100 árboles (Figura 4A); el mejor ajuste ($R^2 > 0.84$; $CV < 13.0 \%$) del modelo alométrico a biomasa fustal de *Pinus greggii* se obtiene con $n > 100$ árboles (Figura 4B). Finalmente, las mejores estimaciones de biomasa total se obtienen usando alrededor de 50 árboles (Figura 4C).

Con el modelo en forma no-lineal, se obtiene resultados diferentes; para cuantificar biomasa de hojas+ramas y fuste, con la menor variación ($CV < 34 \%$) y buen ajuste ($R^2 > 0.94$) es necesario usar desde 50 a 100 árboles (Figura 4D y 4E), mientras que para estimar biomasa total con menor coeficiente de variación ($< 42 \%$) y mayor R^2 , se requieren al menos 50 árboles (Figura 4F).

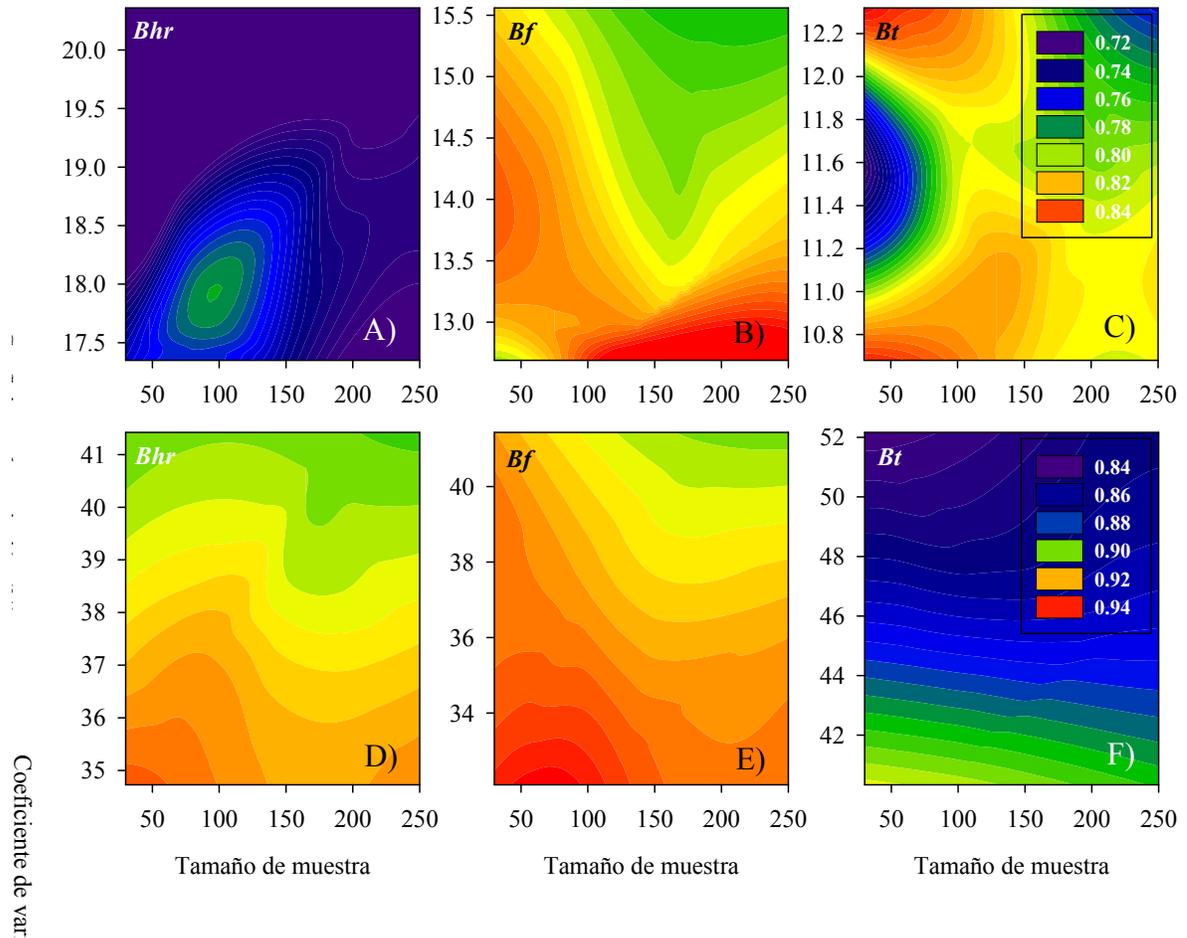


Figura 4. Interpolación de R^2 , como función de coeficiente de variación y tamaño de muestra, estimados linealmente (A, B y C) y no lineal (D, E y F) en componentes de biomasa de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Un número de autores han utilizado este mismo modelo para estimar biomasa área de varias especies, en este sentido se han empleado desde 4 a 9 árboles (Grigal & Ohman (1977), desde 10 hasta 144 árboles (Méndez *et al.*, 2012), incluso, Zianis y Mencuccini (2005), realizando una recopilación de estudios para estimar biomasa en varias especies de Europa (Tabla 3), mostraron que la mayoría ellos utiliza entre 11 a 20 individuos, incluso tres estudios utilizaron de 1000 a 2000 individuos. Lo anterior demuestra que tanto en

México como en el mundo, no se ha llegado a un consenso para utilizar un número adecuado de árboles para estimar adecuadamente biomasa.

Tabla 3. Tamaño de muestra utilizado por varios autores para estimar biomasa aérea de varias especies del mundo.

Modelo	Especie	R ²	a	b	N	Fuente
$Y = ax^b$	<i>Prosopis laevigata</i>	0.910	0.0360	2.5223	144	Méndez <i>et al.</i> (2012)
$\ln Y = \ln(a) + b \ln(x)$	<i>Prosopis laevigata</i>	0.840	-1.8344	2.0492		
$Y = ax^b$	<i>Prosopis laevigata</i>	0.970	0.3460	1.6790	10	Méndez <i>et al.</i> (2012)
$Y = ax^b$	<i>Prosopis laevigata</i>	0.980	0.0560	2.3830	30	Méndez <i>et al.</i> (2012)
$Y = ax^b$	<i>Pinus hartwegii</i>	0.987	0.0635	2.4725	29	Jiménez, (2010)
$Y = ax^b$	<i>Abies religiosa</i>	0.990	0.0713	2.5104	26	Avendaño, (2009)
$Y = ax^b$	<i>Pinus patula</i>	0.980	0.0357	2.6916	25	Díaz <i>et al.</i> (2007)
$Y = a(x) + b(x)^2$	<i>Pinus greggii</i>	0.886	6426.6000	291.4200	20	Pacheco <i>et al.</i> (2007)
$Y = ax^b$	<i>Pinus montezumae</i>	0.990	0.0130	3.0460	15	Bonilla, (2009)
$\ln Y = \ln(a) + b \ln(x)$	<i>Pinus montezumae</i>	0.990	-4.3400	3.0460		
$\ln Y = a + b \ln(x)$	<i>Pinus greggii</i>	0.878	4.3538	2.4028	20	Mora, (2010)
$Y = ax^b$	<i>Pinus devoniana</i>	0.850	0.1820	1.9360	20	
$Y = ax^b$	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.900	0.0030	3.3830	20	Méndez <i>et al.</i> (2011)
$\ln Y = a + b(x)$	<i>Pinus greggii</i>	0.949	0.3544	0.2402	28	Aguilar, (2009)
$Y = ax^b$	<i>Salix spp.</i>	0.900	7.9530	1.9540	4	Grigal & Ohman (1977)
$Y = ax^b$	<i>Lonicera canadensis</i>	0.930	28.0900	2.1660	9	Grigal & Ohman (1977)
$Y = ax^b$	<i>Amelanchier alnifolia</i>	0.990	36.8550	2.8870	39	Brown, (1976)
$Y = ax^b$	<i>Acer spicatum</i>	0.930	40.9400	2.7810	90	Ohann <i>et al.</i> (1976)

4.5. Relación entre parámetro a y b del modelo alométrico

Por las propiedades de los exponentes del modelo alométrico en forma lineal se hace exponencial el parámetro a (del modelo alométrico) teniendo $a = 1.3019b^{-0.1949}$ y $R^2 = 0.9859$; $a = 1.3996b^{-0.2042}$ y $R^2 = 0.9553$; $a = 1.5722b^{-0.1954}$ y $R^2 = 0.9617$, para biomasa de hojas y ramas, fuste y total, para los grupos desde el 1 al 8 respectivamente. Usando los parámetros obtenidos de forma no lineal se obtiene: $a = 1.3733b^{-0.1804}$ y $R^2 = 0.9904$; $a = 1.6107b^{-0.1514}$ y $R^2 = 0.9967$; $a = 1.6803b^{-0.1648}$ y $R^2 = 0.9969$, todos muy similares entre si. Zianis y Mencuccini (2005), reportaron una relación: $a = 7.0281b^{-4.7558}$ y $R^2 = 0.6984$ (Figura 5B), en este sentido, las tendencias de los parámetros (a y b) obtenidos en este estudio son similares puesto que se registran dentro de las bandas de predicción del modelo de ajuste de Zianis y Mencuccini (2005) (Figura 5A). Otros autores reportan valores similares para el parámetro b , Montes de Oca *et al.* (2009), obtienen un valor de 2.4123, 3.6406, 2.9340 y 2.9123 para el componente hojas, ramas, fuste y total de *Pinus durangensis*. Méndez *et al.* (2011) reportan valores de b de 2.117 y 3.954; 1.808 y 2.975; 1.936 y 3.383 en *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrabus* respectivamente. En *Pinus hartwegii* Lindl. Jiménez (2010) reporta valores de 0.0635 y 2.4725 para a y b , con $n = 29$. Incluso en otros géneros (*Prosopis glandulosa*) Méndez *et al.* (2012) registran valores desde 0.0360 (0.1597) hasta 2.5223 (2.0492), para a y b con $n = 144$ (obtenidos en forma no lineal y lineal respectivamente).

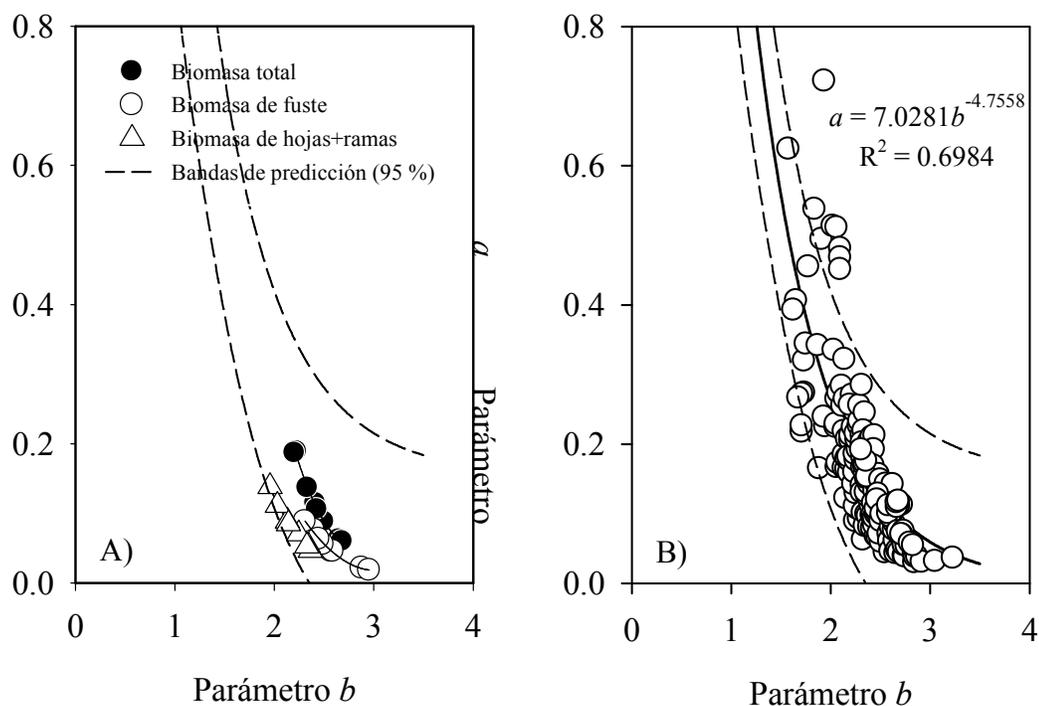


Figura 5. Relación entre parámetros a y b del modelo alométrico (estimados en forma no lineal) en componentes de biomasa aérea de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

4.6. Estadísticos de ajuste promedio del modelo alométrico en componentes de biomasa en *Pinus greggii*

Los resultados indican que en el componente B_{hr} se obtuvo un error cercano a 5.9 kg; en B_f el error fue de más de 7 kg y para la biomasa total el error asciende a 12.2 kg (Tabla 4), destacando que estas cifras son dependientes de la magnitud de biomasa a nivel de árbol individual. En estudios de biomasa, Pimienta *et al.* (2007) reportaron en B_t un error de hasta 11.69 kg en *Pinus cooperi* Blanco. Por otro lado Návar *et al.* (2001), en biomasa de ramas, de fuste y total, reportaron un error de 1.57, 3.12 y 4.15 kg en cinco especies de

Pinus. En *Pinus duranguensis*, Montes de Oca *et al.* (2009) registraron 6.2, 6.1, 8.8, y 9.5 kg de error en biomasa de hojas, ramas, fuste y total, respectivamente. Finalmente Méndez *et al.* (2011) registraron desde 7.1 a 11.6 kg para *Bhr*; 4.3 a 7.8 kg para *Bf*; 7.9 a 17.9 kg para *Bt*, en en *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrubus*.

Tabla 4. Estadísticos promedio del modelo alométrico obtenidos de forma no lineal, para cuantificar biomasa por componente en *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

Componente	N	Syx (kg)	R ²	CV (%)
<i>Bhr</i>	250	5.9995	0.8652	46.5111
<i>Bf</i>	250	7.1660	0.9227	35.7480
<i>Bt</i>	250	12.2417	0.9144	37.1693

Donde: *Bhr* = biomasa hojas y ramas; *Bf* = biomasa fuste; *Bt* = biomasa total; Syx = error estándar; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación.

El coeficiente de determinación (R²) en *Bhr* de *Pinus greggii* de este estudio fue de 0.8652; 0.9227 en *Bf* y 0.9144 en *Bt*. Con un menor número de árboles (n = 20) en esta misma especie (*Pinus greggii*) Mora (2010), registró una R² de 0.9039, 0.9526, 0.9802 y 0.9669, para biomas de hojas, ramas, fuste y total; en estas misma especie, Aguilar (2009), usando 30 árboles, pero con otros modelos de biomasa, reportó ajustes desde 0.8985 hasta 0.9726 en biomasa total. En otras especies, Méndez *et al.* (2011), obtuvieron que el mejor ajuste de biomasa en *Pinus pseudostrubus* es en fuste con R² > 0.85. Návar *et al.* (2001) reportaron

una R^2 de 0.87 en biomasa total de *P. duranguenses* y *P. cooperi*; R^2 de 0.66 en biomasa de hojas y ramas; y R^2 de 0.83 en biomasa de fuste. Por otro lado Montes de Oca *et al.* (2009) reportaron una R^2 de 0.8424, 0.7388, 0.7445 y 0.7429 en biomasa total, de fuste y biomasa de hojas y ramas de *Pinus duranguensis*. Luckie (2010), en *Pinus pseudostrobus* y *Pinus michoacana* reportaron que el mejor ajuste lo presentó *Bf* ($R^2 = 0.9328, 0.8901$) y *Bt* ($R^2 = 0.9176, 0.8445$).

El coeficiente de variación en biomasa en esta especie (*Pinus greggii*) varió desde 35.74 (*Bf*) hasta 46.51 (*Bhr*). En el estudio realizado por Mora (2010), en *Pinus greggii* se encontró que el CV varió desde 38.77 (*Bf*) hasta 65.77 (*Bhr*); en adición a esto, Aguilar (2009), reportó que el coeficiente de variación fue superior a 65 % en todos los componentes evaluados.

4.7. Estimaciones de biomasa con el modelo alométrico en forma lineal y no lineal

Los resultados indican que la estimación de biomasa varía según sea la forma del modelo (lineal o no lineal). Como se indicó en los apartados anteriores, los parámetros *a* y *b* del modelo no lineal son mayores que los obtenidos en forma lineal, lo anterior trae como consecuencia que en el primero se sobreestime la biomasa con relación al segundo. No obstante, el uso de logarítmicos del modelo (en forma lineal) homogeniza la varianza dándole mayor validez estadística al modelo, mejorando incluso la distribución de residuales (Figura 6, arriba). Sin embargo, al obtener el factor de corrección sugerido por Sprugel (1983) y al hacerlo multiplicativo a la biomasa estimada del modelo lineal, se mejoran significativamente las estimaciones de biomasa de todos los componentes (Figura 6A, 6B y 6C).

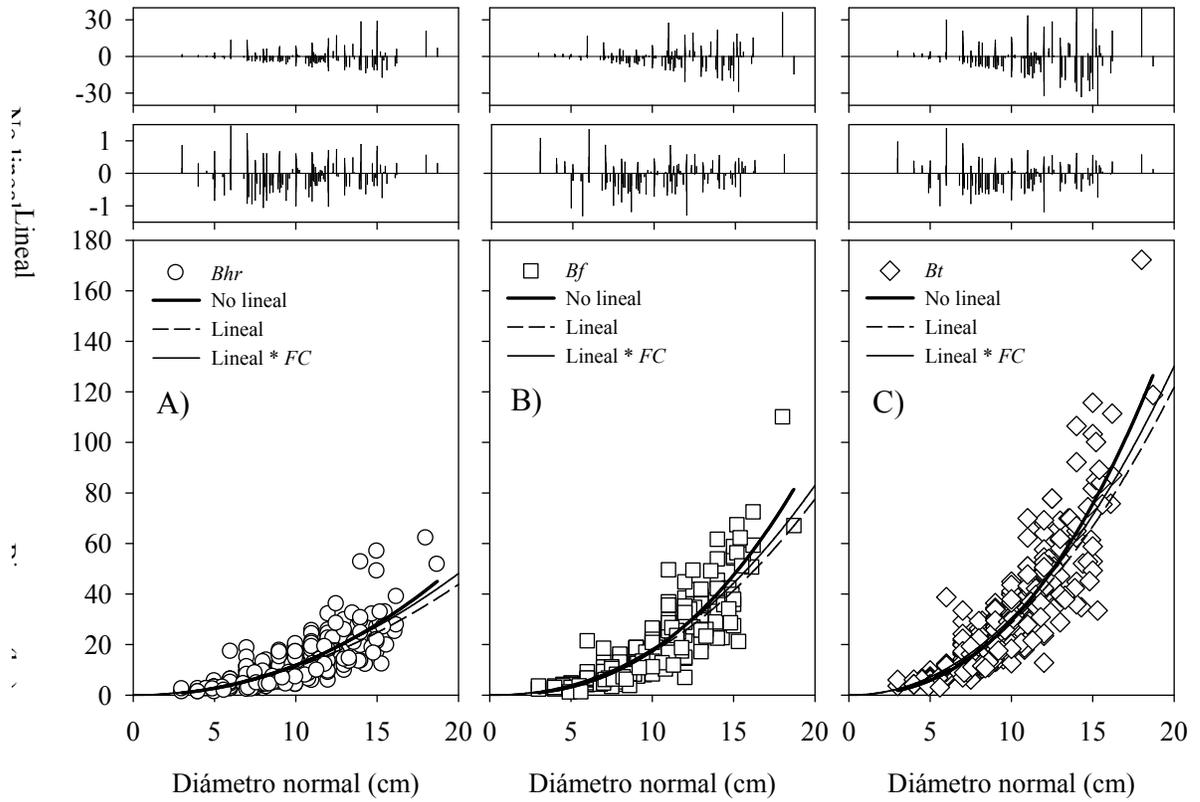


Figura 6. Estimación de biomasa en función de diámetro normal usando el modelo alométrico en forma lineal y no lineal, en componentes de biomasa aérea de *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

5. CONCLUSIONES

El diámetro normal es una variable confiable para estimar biomasa aérea y por consiguiente estimar la cantidad de carbono que almacena la plantación de *Pinus gregii* Engelm.

Tanto el modelo (lineal y no lineal) utilizado en este estudio tienen alta correlación con el diámetro normal, por lo que al igual que muchos autores puede utilizarse para estimar biomasa aérea.

El análisis de los parámetros (a y b) y estadísticos (R^2 y CV) del modelo lineal y no lineal como función al tamaño de muestra, indica que el mejor ajuste con la menor varianza se obtiene cuando $n = 50$ árboles, el cual pudiera ser el tamaño óptimo para determinar biomasa aérea en *Pinus gregii* Engelm.

El parámetro b de biomasa total (2.429) de *Pinus gregii* Engelm, obtenido en forma no lineal es igual al valor de b de diferentes autores y menor a b de la teoría fractal; sin embargo el valor de b obtenido linealmente (2.063) es menor a la de otros autores y a la teoría fractal.

El mejor modelo fue el no lineal ya que los estadísticos (R^2 y CV) y los parámetros de regresión (a y b), fueron los más altos.

6. LITERATURA CITADA

Acosta M M, J Vargas, A Velázquez, J Etchevers (2002) Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 725-736.

Aguilar C J (2009) Captura de carbono en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila 60 p.

Alfaro M (1997) Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Centroamericana* 19: 9-12.

Andrasko K (1990) El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasylya* 4: 3-9.

Avendaño H D M (2009) Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., en Tlaxcala, México. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.

Bonilla, P E (2009). Uso de relaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 64 p.

Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. FAO Forestry Paper. Department of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Illinois, Urbana, IL, USA. 134: 49 p.

- Brown S (1997b)** Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO Forestry paper, 134. Food and Agriculture Organization. Caracalla, Rome, Italy. 134 p.
- Brown S, A J R Gillespie and A E Lugo (1989)** Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*. 35(4): 881-902.
- Castellanos F J, A Velázquez M, J J Vargas H, C Rodríguez F, A M Fierros G (1996)** Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Agrociencia* 30: 123-128.
- Centeno J (1992)** El efecto Invernadero. *PLANIUC*. 18-19: 75-96.
- CETENAL (1976)** Carta Geológica. San Antonio de las Alazanas. G14 C35. Escala 1:50,000. México.
- CETENAL (1977)** Carta Edafológica. Arteaga G14 C34. Escala 1: 50,000 México.
- Chapman S B. (1976)** Production ecology an nutrient budgets. *Methods in plant ecology* (ed. S.B. Chapman) 157-228 Blackweell, Oxford.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2001)** Departamento de Hidrología Operativa. Precipitación y Temperaturas de la Estación Meteorológica de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coahuila. s/p.
- Díaz F R, M Acosta M, F Carrillo A, E Buendía R, E Flores A, J D Etchevers B (2007)** Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.
- Enquist B J, Brown J H, West G B. (1998)** Allometric scaling of plants energetics and population density, *Nature*. 395: 163-165.

FAO (1995) Evaluación de los recursos forestales 1990. Países tropicales. Estudio FAO Montes, Roma, Italia. 32-36 p.

Figueroa N C M (2010) Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el Ejido la Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestro en Ciencias Forestal. Montecillo, Texcoco, Edo, México. 72 p.

Francis J K (2000) Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science* 36 (3-4): 346-350.

Gaffron H (1974) Fotosíntesis. Magdalena Rovalo M (traductora). Primera edición en español. Compañía Editorial Continental, S. A. Calz. de Tlalpan Núm. 4620, México, D. F. 36 p.

García E (1987) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 113 p.

Gayoso J, J Guerra, D Alarcón (2002) Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.

González G F C (2012) Ciclo del carbono. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental. Planificación y control de la contaminación ambiental – IMA 1000 17 p.

Grigal D F and Ohmann L F (1977) Biomass estimation for some shrubs from northeastern Minnesota. Res. Note. NC-226. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; 3 p.

INEGI (2000) Carta topográfica. San Antonio de las Alazanas. G14 C35. Escala 1:50,000. México.

Jiménez C C (2010) Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Nacional Izta Popo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.

Jordan C F, C Uhl (1978) Biomasa of a “tierra firme” forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13 (4): 387-400.

Klinge H, R Herrera (1983) Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela. The tall Amazon Caatinga Forest Vegetation, 3: 65-64.

Makela A (1997) A carbon balance model of growth and self-pruning in tree based on structural relationships. *For. Sci.* 43: 7-24.

Martínez M (1948) Los pinos mexicanos. Segunda edición. Ediciones Botas. México. 361 p.

Méndez G J, F Morales C, V J Ruiz G, J A Nájera L, J J Graciano L, J J Návar C (2005) Ajuste de modelos para estimar biomasa fustal en *Pinus cooperi* y *P. leiophylla* de la región de el Salto, Dgo. México. *Agrofaz* 5: 883-892.

Méndez G J, F Morales C, V J Ruíz G, J A Nájera L, J J Graciano L, J J Návar C (2002) Ecuaciones de biomasa para fuste de *Pinus cooperi* y *Pinus leiophylla* de la región del Salto Durango. México. XV Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario, Campeche.

Méndez G J, Luckie N L S, Capo A M A y J A Nájera L. (2011). Ecuaciones alométricas y estimación de incrementos en biomasa aérea y carbono en una plantación mixta de *Pinus devoviana* Lindl y *Pinus pseudostrobus* Lind., Guanajuato, México. *Agrociencia*. 45: 479-491.

Méndez G J, Turlan M O A, Ríos S J C, Nájera L J A (2012) Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnst. *Rev. Mex. Cien. For.* 3 (13): 57-72.

Montes de O C E, García R P, Nájera L J A, Méndez G J (2009) Ajuste de ecuaciones de biomasa para *Pinus duranguensis* (Martínez M) en la región de el Salto Durango. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y su ambiente*, 15: 65-71.

Mora C E (2010) Carbono almacenado en la fitomasa aérea en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila 65 p.

Nájera L J A (1999) Ecuaciones para estimar biomasa, volumen y crecimiento en biomasa y captura de carbono en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del noroeste de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. N.L. Mex. 93 p.

Návar J (2010) Alometría para biomasa en especies arbóreas del noroeste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12: 507-519.

Návar J, N González, J Graciano (2001) Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México. Simposio Internacional Medición

y Monitoreo de la Captura de carbono en Ecosistemas Forestales. Octubre, 2001. Valdivia-Chile. 12 p.

Ohmann L F, Grigal D F Brander R B (1976) Biomass estimation for five shrubs from northeastern Min-nesota. Res. Pap. NC-133. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; 11 p.

Ordóñez J A B (1999) Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Primera edición. Desarrollo Gráfico Editorial, S. A. de C.V. Municipio Libre 175, Col. Portales México D.F. 73 p.

Ordóñez J A B, O Masera (2001) La captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7: 3-12.

Orellana R G, Sandoval S M L, Linares F G, García C N E, Tamariz F J V (2012) Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios. Avances en Ciencias e Ingeniera (ACI): 3 (1): 123-135.

Pacheco E F C, A Aldrete, A Gómez, A M Fierros, V M Cetina, H Vaquera (2007) Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. Revista Fitotecnia. México 30: 251-254 p.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (1995) Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. 64 p.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2001) Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de la Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Shanghai China. 84 p.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (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 publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (2000). Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Informe especial del Grupo de trabajo III. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 29 p.

Parresol B R (1999) Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. For. Sci. 45: 573-593.

Pimienta De la Torre T D J, G Domínguez C, O Aguirre C, F J Hernández, J Jiménez P (2007) Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango. Madera y Bosques 13: 39-44.

Posada S L, Zoot M S, Rosero R. (2007) Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 20: 141-148.

Schelegel B, J Gayoso, J Guerra (2000) Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. 21p.

Schelegel B, J Gayoso, J Guerra (2001) Manual de procedimientos para inventarios de carbono de carbono en ecosistemas. Medición de la capacidad de captura de carbono en

bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile 17 p.

Schlegel B (2001) Estimación de la biomasa y carbono en bosque del tipo forestal siempre verde. En el sur de Chile. Simposio Internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile, 233-240 p.

Schlesinger W H (1997) Biogeochemistry: an Analysis of global change Academic Press, San Diego, CA. USA. 588 p.

Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP) (1983) Carta hidrológica de aguas superficiales. G14-7. Escala 1:250000. México.

Segura M. (1997) Almacenamiento fijación de Carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias ambientales. 126 + anexos.

Shand E (1996) Biodiversidad y retención de carbono. XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía. 143 p.

Smith W B and Brand G J (1983) Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs and small trees. U.S. For. Serv. Res. Note NC-299.

Sprugel D G (1983) Correcting for bias in log-transformed allometric equations. Ecology. 64 (1):209-210.

Steinlin H (1984) The forest resources of the earth. Plant Research and Development. 20: 74-92.

UN (Naciones Unidas) (1992) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 50 p.

Vallejo A & Noriega, R P (2008) Cuantificación de carbono en proyectos REDD. Curso internacional: diseño de actividades REDD para la mitigación del cambio climático. Catie, Turrialba, Costa Rica. 51 p.

Vargas H J J, A Muñoz O (1988) Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de Pinus. *Agrociencia* 72: 197-208.

Zianis D & Mencuccini M (2004) On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*. 187: 311-332.

Zianis D, P Muukkonen R Mäkipää and M. Mencuccini (2005) Biomass and stem volume equation for tree species in Europe. *Silvia Fennica, Monographs No. 4*. Tampere, Finland. 63 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cuantificación de biomasa por componente (hojas ramas, fuste y total), en la especie de *Pinus greggii* en Arteaga, Coahuila, México.

C	Grupo	n	A	b	Syx (kg)	R2	CV (%)
BHR	1	30.00	0.0530	2.3437	6.7196	0.8376	52.1691
BHR	2	60.00	0.0703	2.2448	5.9980	0.8776	44.1139
BHR	3	90.00	0.0467	2.3626	5.1177	0.9025	40.3344
BHR	4	120.00	0.1382	1.9573	5.6786	0.8624	46.1616
BHR	5	150.00	0.0888	2.1321	6.3878	0.8576	47.0692
BHR	6	180.00	0.0531	2.3269	6.3319	0.8537	49.7758
BHR	7	210.00	0.1114	2.0298	5.8103	0.8642	46.2048
BHR	8	250.00	0.0849	2.1423	5.9519	0.8658	46.2600
Promedio			0.0808	2.1924	5.9995	0.8652	46.5111
BF	1	30.00	0.0212	2.8798	6.2875	0.9373	32.1823
BF	2	60.00	0.0181	2.9548	6.5217	0.9425	32.1009
BF	3	90.00	0.0455	2.5703	7.7745	0.9193	38.0446

BF	4	120.00	0.0761	2.3962	6.2523	0.9343	32.1572
BF	5	150.00	0.0454	2.5890	7.9805	0.9131	37.3223
BF	6	180.00	0.0554	2.4893	8.1415	0.8993	41.4354
BF	7	210.00	0.0880	2.3085	6.9921	0.9192	35.8827
BF	8	250.00	0.0629	2.4470	7.3776	0.9169	36.8589

Promedio			0.0516	2.5794	7.1660	0.9227	35.7480
-----------------	--	--	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------

BT	1	30.00	0.0624	2.6509	12.0921	0.9146	37.301
BT	2	60.00	0.0596	2.6819	11.8642	0.9273	34.984
BT	3	90.00	0.0877	2.4980	12.3007	0.9203	37.136
BT	4	120.00	0.1888	2.2229	11.0244	0.9215	34.729
BT	5	150.00	0.1146	2.4131	13.2763	0.9072	37.982
BT	6	180.00	0.1056	2.4287	13.4085	0.8972	41.423
BT	7	210.00	0.1869	2.2028	11.6899	0.9145	36.461
BT	8	250.00	0.1366	2.3325	12.2774	0.9124	37.338

Promedio			0.1178	2.4289	12.2417	0.9144	37.169
-----------------	--	--	---------------	---------------	----------------	---------------	---------------

Donde; C= componente; *Bhr*= biomasa hojas, ramas; *Bf*= biomasa de fuste; *Bt*= biomasa total. n= tamaño de muestra; a, b = parámetros del modelos; *Syx*= error estándar (kg); R^2 =coeficiente de determinación; CV= coeficiente de variación (%).

Anexo 2. Comportamiento del Coeficiente de variación (CV) y coeficiente de determinación (R^2) con el tamaño de muestra por componente y grupo en Los Lirios Arteaga, Coahuila.

C	Grupo	TM	R^2	CV (%)
BHR	1	30	0.8376	52.1691
BHR	2	60	0.8776	44.1139
BHR	3	90	0.9025	40.3344
BHR	4	120	0.8624	46.1616
BHR	5	150	0.8576	47.0692
BHR	6	180	0.8537	49.7758
BHR	7	210	0.8642	46.2048
BHR	8	250	0.8658	46.2600
BF	1	30	0.9373	32.1823
BF	2	60	0.9425	32.1009
BF	3	90	0.9193	38.0446
BF	4	120	0.9343	32.1572
BF	5	150	0.9131	37.3223

BF	6	180	0.8993	41.4354
BF	7	210	0.9192	35.8827
BF	8	250	0.9169	36.8589
<hr/>				
BT	1	30	0.9146	37.3010
BT	2	60	0.9273	34.9841
BT	3	90	0.9203	37.1357
BT	4	120	0.9215	34.7286
BT	5	150	0.9072	37.9825
BT	6	180	0.8972	41.4232
BT	7	210	0.9145	36.4613
BT	8	250	0.9124	37.3376

Donde; C= componente; G= grupo; TM= tamaño de muestra; CV= coeficiente de variación (%); R² coeficiente de determinación.

Anexo 3. Relación de los parámetros a y b (estimados no linealmente) en diferentes tamaño de muestra, grupo y por componente en *Pinus greggii* Engelm., en Los Lirios, Arteaga, Coahuila.

GRUPO	TM	aBhr	bBhr	aBf	bBf	aBt	bBt
1	30	0.0530	2.3437	0.0212	2.8798	0.0624	2.6509
2	60	0.0703	2.2448	0.0181	2.9548	0.0596	2.6819
3	90	0.0467	2.3626	0.0455	2.5703	0.0877	2.4980
4	120	0.1382	1.9573	0.0761	2.3962	0.1888	2.2229

5	150	0.0888	2.1321	0.0454	2.5890	0.1146	2.4131
6	180	0.0531	2.3269	0.0554	2.4893	0.1056	2.4287
7	210	0.1114	2.0298	0.0880	2.3085	0.1869	2.2028
8	250	0.0849	2.1423	0.0629	2.4470	0.1366	2.3325

Dónde: TM=tamaño de muestra; a y b=parámetros del modelo; Bhr=biomasa de hojas y ramas; Bf=biomasa de fuste; Bt=biomasa total.