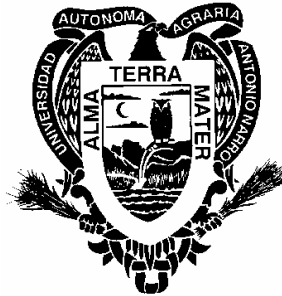


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CUANTIFICAR BIOMASA AÉREA EN
SIETE POBLACIONES DE *Prosopis* spp. EN EL NORTE-CENTRO DE MÉXICO**

Por:

OSVALDO AUGUSTO TURLAN MEDINA

TESIS

Presentada como requisito parcial para

Obtener el Título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

**ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CUANTIFICAR BIOMASA AÉREA EN SIETE
POBLACIONES DE *Prosopis* spp. EN EL NORTE-CENTRO DE MÉXICO**

Por

OSVALDO AUGUSTO TURLAN MEDINA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL



DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE AGRONOMÍA**



**DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ
BADILLO**

Coordinación
División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

**ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA CUANTIFICAR BIOMASA AÉREA EN SIETE
POBLACIONES DE *Prosopis* spp. EN EL NORTE-CENTRO DE MÉXICO**

Por

OSVALDO AUGUSTO TURLAN MEDINA

TESIS

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADA



Dr. Jorge Méndez González

ASESOR PRINCIPAL



M.C. Julio Ríos Saucedo

ASESOR



M.C. José Aniseto Díaz Balderas

ASESOR

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2011

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la fuerza y fortaleza para nunca rendirme, por guiarme con su luz a lo largo de esta travesía y por darme paz y tranquilidad para tomar las decisiones correctas en los momentos difíciles.

A mis padres, Osvaldo Turlan Blaires y Martha Beatriz Medina de Turlan:

Por darme la vida, por apoyarme, por aconsejarme, por educarme con amor y comprensión, y sobre todo, por inculcarme con sus ejemplos los valores éticos y morales, el trabajo duro y el espíritu de nunca rendirse hasta alcanzar los objetivos.

A mis hermanos, Adriana Ivonne Turlan Medina y Marcelo Nicolás Turlan Medina:

Por apoyarme en las buenas y en las malas, y por darme fuerzas a través del cariño a lo largo de mi carrera.

A mi tío, Augusto Medina Gavilán:

Por motivarme y aconsejarme siempre a tomar las decisiones correctas, por ser un gran ejemplo a seguir y por todo el apoyo que me ha dado.

A mi prima Astrid Fabiola Turlan Villalba.

Por apoyarme tanto, por confiar siempre en mi y por entregarme una verdadera amistad.

A mis mejores amigos, Alan Mujica, Cristian Palacios, Roberto Ozorio, Humberto Osnaghi, Pedro López, Pablo Álvarez, José Olmedo y Christian Espínola:

Por esta amistad única que nos caracteriza, por aceptar y apoyar mi decisión de estudiar en el extranjero y por acompañarme siempre en los momentos de felicidad y tristeza.

Osvaldo Augusto Turlan Medina

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por abrirme sus puertas y darme el privilegio y el honor de formarme profesionalmente en tan distinguida institución.

Al Departamento Forestal, por brindarme su apoyo y servicio a lo largo de la carrera.

Al Dr. Jorge Méndez González, por confiar en mí y en mis capacidades en todo momento, por compartir su gran conocimiento y experiencia conmigo, por tenerme paciencia y darme la oportunidad de demostrar lo mejor de mí mismo.

Al M.C. Julio Ríos Saucedo, por darme la oportunidad y la confianza de participar en esta investigación.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas, por darme el honor de que sea uno de mis asesores y por apoyar con su gran conocimiento en la dirección y las correcciones de este trabajo.

Al Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo, por su amistad, por ser un gran maestro, por apoyarme y presionarme siempre a dar lo mejor y por convertirse en un ejemplo a seguir para mí.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por las incontables veces que me ha escuchado y los innumerables consejos que me ha dado, por ser una gran persona, un gran maestro y un gran amigo.

A mi novia Carmen Alejandra Loyola Ramos por estar siempre a mi lado, por disfrutar conmigo los momentos alegres y darme fuerzas en los momentos difíciles, por amarme y darme tanta felicidad.

A mis compatriotas: Armando Becvort, Victor Basabe, Gilberto Romero, Rosalino Sanabria, Ricardo Villalba, Carlos Yegros, Juan Ángel Llamas, Hugo Casco y Nancy

Amarilla, por formar esta increíble hermandad de paraguayos que tuvimos la oportunidad de estudiar en México y en la UAAAN, y por el apoyo incondicional que siempre nos ha caracterizado.

A todos mis compañeros de la generación CXI, por su gran amistad y apoyo durante mi estancia en México y en la Universidad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
RESUMEN.....	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
2.1. Descripción de la especie.....	3
2.2. Área de estudio.....	3
2.3. Selección de la muestra y obtención de la biomasa.....	6
2.4 Modelo alométrico para la cuantificación de biomasa total aérea en <i>Prosopis</i> spp.....	7
2.5. Modelo global de biomasa.....	8
2.6. Determinación del tamaño óptimo de muestra.....	9
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
3.1. Ajuste del modelo alométrico para cuantificar biomasa aérea en <i>Prosopis</i> spp.....	10
3.2. Modelo global para cuantificar biomasa aérea de <i>Prosopis</i> spp.....	14
3.3. Tamaño de muestra para cuantificar biomasa en <i>Prosopis</i> spp.....	15
4. CONCLUSIONES.....	20
5. LITERATURA CITADA.....	21
6. ANEXOS.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Distribución geográfica de los sitios de muestreo de árboles de <i>Prosopis</i> spp.....	4
Figura 2. Relación entre la biomasa total y el diámetro basal resultante del ajuste del modelo alométrico no lineal en 7 poblaciones de <i>Prosopis</i> spp. del norte de México.....	12
Figura 3. Precisión de la relación entre biomasa calculada y la observada obtenida con el Proc reg y Proc NLIN (de 0 – 600 kg a; 0 - 50 kg b; 50 – 100 kg c y 100 – 600 kg d).....	13
Figura 4. Biomasa aérea total observada y calculada mediante el modelo global para <i>Prosopis</i> spp. de las siete localidades del Norte-Centro de México.....	15
Figura 5. Biomasa total observada y calculada con la ecuación alométrica no lineal ajustada a un tamaño de muestra de 50 árboles en <i>Prosopis</i> spp.....	16
Figura 6. Relación entre el parámetro β_0 y su error por tamaño de muestra.....	19
Figura 7. Relación entre el parámetro β_1 y su error por tamaño de muestra.....	20

ÍNDICE DE CUADROS

PÁGINA

Cuadro 1. Información básica de los sitios de muestreo y características dasométricas de siete localidades de <i>Prosopis</i> spp. del norte de México.....	5
Cuadro 2. Estadísticos del modelo alométrico $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ en forma no lineal y lineal, ajustado a la biomasa aérea total de siete poblaciones de <i>Prosopis</i> spp. en el Norte-Centro de México.....	11
Cuadro 3. Estadísticos del modelo $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ ajustado a la biomasa aérea de <i>Prosopis</i> spp. de siete localidades del Norte-Centro de México.....	14
Cuadro 4. Estadísticos del modelo $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ ajustado a la biomasa aérea total de <i>Prosopis</i> spp. en diferentes tamaños de muestra.....	17
Cuadro 5. Biomasa aérea total observada y calculada, y estadísticos de validación en 14 tamaños de muestra de <i>Prosopis</i> spp. en el Norte-Centro de México.....	18

RESUMEN

En esta investigación se ajustó el modelo alométrico $Y = aX^b$ en su estructura lineal-logarítmica y no lineal, usando el diámetro basal como variable independiente para calcular biomasa aérea en *Prosopis* spp. en siete localidades del norte de México, utilizando el factor de corrección $FC = \exp(SSE^2/2)$ en la ecuación lineal-logarítmica. Se muestrearon 144 árboles utilizando el método destructivo, y usando el contenido de humedad para determinar biomasa aérea en *Prosopis* spp. Se ajustó la ecuación no lineal a todo conjunto de datos (144 árboles) para obtener un modelo global para calcular la biomasa aérea de *Prosopis* spp. Así mismo, se ajustó la ecuación a diferentes tamaños de muestra (10, 20, ..., 140) obtenidos al azar de los 144 árboles, con la finalidad de identificar un tamaño de muestra óptimo para la generación de un modelo de biomasa en *Prosopis* spp. en el Norte-Centro de México. Los resultados indican que el modelo alométrico se ajusta adecuadamente a la biomasa aérea de *Prosopis* spp. siendo la ecuación no lineal la que tuvo mejor ajuste en las siete localidades estudiadas con R^2 ajustada que oscila entre 0.91 – 0.98. La localidad correspondiente al INIFAP (Durango) presentó mejores estadísticos de regresión para ambas ecuaciones. Se ajustó con éxito el modelo global obteniendo una $R^2 = 0.91$ y como estadísticos de validación, un error medio absoluto de 3.8 Kg y una desviación global de 5.7 %, los cuales son aceptables para considerar el modelo aplicable a las poblaciones de *Prosopis* spp. en el norte de México. Los tamaños de muestra que presentaron mejor ajuste con la ecuación no lineal están en un rango de 40 a 90 árboles con R^2 (0.91 – 0.94), EM (0.1 – 5.5 Kg) y DG (0.2 – 7.6 %).

1. INTRODUCCIÓN

El ciclo global del carbono es reconocido como uno de los principales ciclos biogeoquímicos por su papel en la regulación de la concentración de éste en la atmósfera (Brown, 1997a). El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero (GEI) más importante causante del cambio climático, las emisiones anuales de los GEI aumentaron aproximadamente en un 80% entre 1970 y 2004, pasando de 21 a 38 gigatoneladas (Gt) (IPCC, 2007).

Durante el reciente decenio 1995- 2004, la tasa de crecimiento de las emisiones de carbono equivalente (CO₂e) fue mayor (0,92 GtCO₂e anuales) que durante el período comprendido entre 1970-1994 (0,43 GtCO₂e anuales). El aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera se debe a la utilización de combustibles de origen fósil y a los cambios de uso de la tierra (IPCC, 2007).

Se ha calculado que los bosques del mundo almacenan más de 638 Gt de carbono (C), cifra que supera la cantidad de C en la atmósfera, sin embargo, de 2005 a 2010 el C en la biomasa forestal ha disminuido en 0.5 Gt año⁻¹ (FAO, 2011), debido a la pérdida de bosque. La adopción de sistemas de ordenación forestal que conserven y almacenen el CO₂ no sólo es necesaria para el desarrollo sostenible, sino también para evitar que los bosques se conviertan en fuente de emisiones de CO₂ y contribuyan al cambio climático (Brown, 1997a).

La biomasa de los bosques proporciona estimaciones de los reservorios de carbono en la vegetación forestal, ya que aproximadamente el 50% de ella es carbono (IPCC, 2007; Brown, 1997b). En consecuencia, la biomasa es la cantidad potencial de carbono, que se podría agregar a la atmósfera como CO₂. Gran parte de los estudios de biomasa se han

realizado en bosques tropicales (Brown *et al.*, 1989; Brown y Lugo, 1992; Araújo *et al.*, 1999; Chave *et al.*, 2004; Fonseca *et al.*, 2009) así como en bosques templados (Schlegel, 2001; Návar *et al.*, 2001; Avedaño *et al.*, 2009; Mendoza y Galicia, 2010), no obstante pocos se han enfocado a la vegetación de zonas áridas y semiáridas (Gaillard *et al.*, 2002; Méndez *et al.*, 2006; Domínguez *et al.*, 2009; Iglesias y Barchuk, 2010). En México el reservorio más importante de carbono se encuentra en los bosques semiáridos (5Gt CO₂), es decir, el 31% del carbono total (Maser *et al.*, 1997).

El mezquite (*Prosopis* spp) es nativo de zonas áridas y semiáridas (López *et al.*, 2006), se distribuye en los estados del norte, centro y sur de México (CONAZA-INE, 1994). Las especies de mezquite han constituido un recurso trascendental para el hombre, obteniendo de él: leña, carbón, goma, madera, alimento, forraje y medicina. (Foroughbakhch *et al.*, 2010).

Debido a la capacidad que tienen las especies de zonas áridas para almacenar carbono por períodos prolongados y por la escasez de ecuaciones alométricas para cuantificar tales almacenes, se hace importante y necesario el ajuste de modelos que puedan calcular la biomasa en *Prosopis* spp, y así mismo, la determinación de un modelo que pueda aplicarse de forma práctica a sus diferentes poblaciones.

En este trabajo se plantean dos hipótesis:

H₀: El modelo alométrico $Y = aX^b$ en su forma lineal y no lineal se ajustan igualmente bien a la biomasa aérea de *Prosopis* spp. en el Norte-Centro de México, utilizando como variable independiente el diámetro basal.

H₁: Es posible ajustar el modelo alométrico $Y = aX^b$ como una ecuación global aplicable a toda la población de *Prosopis* spp. en el Norte-Centro de México.

Los objetivos de la presente investigación fueron: 1) ajustar un modelo alométrico en su forma no lineal y lineal a la biomasa aérea de siete poblaciones de *Prosopis* spp distribuidas en el Norte-Centro de México; 2) generar un modelo alométrico para toda la población de *Prosopis* spp; y 3) calcular un tamaño de muestra óptimo en base a los estadísticos de bondad del ajuste de regresión, para cuantificar biomasa aérea de *Prosopis* spp.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la especie

El mezquite es un árbol espinoso perenne que alcanza hasta 12 m de altura, y cuyo desarrollo depende de las condiciones del suelo; pertenece a la familia Leguminosae (Fabaceae), subfamilia Mimosoideae y género *Prosopis*; es nativo de zonas áridas y semiáridas del mundo, adaptable a condiciones de extrema aridez y altura sobre el nivel del mar (López *et al.*, 2006; CONAZA-INE, 1994). Existen 10 especies de mezquite que se distribuyen en diferentes estados al norte, centro y sur de México (CONAZA-INE, 1994). Debido al polimorfismo y plasticidad genética de la especie, se dificulta su determinación taxonómica, por ello, en esta investigación se consideraron árboles de mezquite del género *Prosopis*.

2.2. Área de estudio

La investigación se realizó en cuatro estados del Norte-Centro de México (Figura 1). El área de estudio abarca siete localidades y presenta un suelo predominante del tipo Xerosol, una precipitación media anual con un rango de 125 – 600 mm y un rango de altitud de 1097 – 2001 msnm (Cuadro 1).

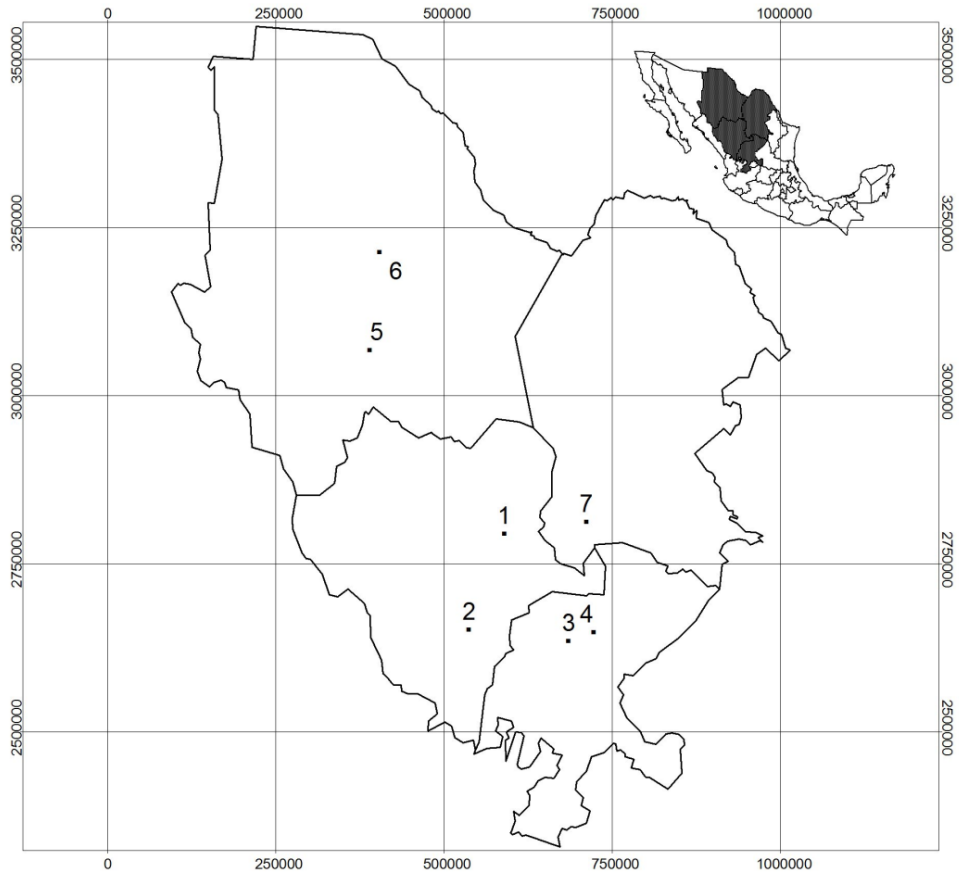


Figura 1. Distribución geográfica de los sitios de muestreo de árboles de *Prosopis* spp.

Cuadro 1. Información básica de los sitios de muestreo y características dasométricas de siete localidades de *Prosopis* spp. del norte de México.

No	Sitio	PP (mm)	Altitud (msnm)	n	Rango de diámetro basal (cm)	Rango de Altura (m)	Rango de biomasa total (Kg)
1	Ejido Santa Bárbara, Nazas	125 - 400	1245	10	13.8 - 35.2	2.5 - 5.3	21.1 - 147.4
2	C.E. del INIFAP, Durango	400 - 600	1877	30	5.2 - 31.5	2.6 - 6.4	3.1 - 229.1
3	P. Salinas, Río Grande	400 - 600	1914	14	6.8 - 34.2	3.2 - 8.2	10.3 - 265.5
4	Ejido Santa Rita, Nieves	125 - 400	2001	15	7.8 - 39.3	2.7 - 5.7	11.3 - 367.5
5	P. El Saucito, Satevó	125 - 400	1537	27	5.9 - 41.8	1.4 - 9.7	8.1 - 558.7
6	P. Las Ánimas, Aldama	125 - 400	1211	22	6.0 - 39.0	2.0 - 8.5	7.7 - 490.6
7	P. Bilbao, Viesca	125 - 400	1097	26	5.2 - 32.1	2.7 - 6.3	4.7 - 117.7

No= orden de los sitios; C.E= Centro Experimental; P= Predio; PP= rango de precipitación anual; n= número de árboles evaluados.

2.3. Selección de la muestra y obtención de la biomasa

Para cuantificar biomasa, se utilizó el muestreo destructivo propuesto por Schlegel *et al.* (2000). La selección de los individuos se realizó considerando la recomendación de (Brown *et al.* 1989), con respecto a que deben ser árboles representativos, sanos, sin deformaciones ni plagas, que estén distribuidos en todo el sitio, y que representen todas las categorías diamétricas y de altura.

Siguiendo lo propuesto por Brown *et al.* (1989); Méndez *et al.* (2006); Segura y Andrade (2008), se realizaron dos tipos de mediciones: la primera, con el árbol en pie midiendo diámetro basal (cm), altura total (m) y diámetro de copa (m), la segunda medición (árbol derribado), se midió altura total y se cuantificó el número de ramas (n). Posterior a esto, los árboles se separaron en: fuste principal, ramas gruesas y ramas finas (<1 cm) con hojas. Cada componente fue pesado en verde con ayuda de básculas romanas marca Rotter de 50 y 25 kg de capacidad y 100 gr de precisión, dividiendo el fuste en trozas para facilitar el procedimiento. De cada componente se obtuvieron de tres a cuatro muestras para calcular el contenido de humedad.

En laboratorio las muestras fueron secadas con estufa marca Riossa a 105°C hasta obtener peso constante (Brown, 1997b; Schlegel *et al.*, 2000) y luego se calcularon los valores de la razón entre el peso seco y el peso húmedo por componente (Schlegel *et al.*, 2000; Gaillard *et al.*, 2002 y Domínguez *et al.*, 2009) usando la ecuación 1.

$$R_c = \left(\frac{P_{sc}}{P_{hc}} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

R= razón peso seco/peso húmedo; Ps= Peso seco (g); Ph= Peso húmedo (g); c= componente.

En seguida se multiplicó el peso húmedo total de cada componente por su razón peso seco/peso húmedo correspondiente para obtener la biomasa seca total del componente (Ecuación 2).

$$B_c = R_c * Ph_t_c \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde: B= biomasa seca del componente (kg); R= razón peso seco/peso húmedo; Pht= peso húmedo total (kg); c= componente.

La biomasa total aérea se obtuvo por la suma de la biomasa por componente.

2.4 Modelo alométrico para la cuantificación de biomasa total aérea en *Prosopis* spp.

Para cuantificar la biomasa total de *Prosopis* spp., se eligió el modelo alométrico de potencia en su forma no lineal (Ecuación 3) por ser un modelo ampliamente utilizado para cuantificar biomasa (Smith y Brand, 1983; Brown *et al.*, 1989; Tausch, 1989; Zianis y Mencuccini, 2004) y en forma logarítmica (Ecuación 4) para comparar sus ajustes y sus predicciones como lo propone Tausch (1989), Castro *et al.* (1996), Díaz *et al.* (2007) e Iglesias y Barchuk (2010).

$$BT = \beta_0 Db^{\beta_1} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\ln(BT) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(Db) \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde: BT= biomasa total aérea (kg); Db= diámetro basal (cm); β_0 y β_1 = parámetros del modelo; ln= logaritmo natural.

Para ajustar los datos de biomasa, se utilizó el programa SAS v.9., usando el método de mínimos cuadrados (Brown *et al.*, 1989; Gaillard *et al.*, 2002). Algunos autores

(Sprugel, 1983; Brown *et al.*, 1989; Fonseca *et al.*, 2009) proponen aplicar un factor de corrección a la ecuación logarítmica (Ecuación 5) debido a que las conversiones y reconversiones de los valores producen cambios que afectan las predicciones de la biomasa, subestimando hasta en un 20% en algunos componentes.

$$FC = \exp (SSE^2/2) \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde: FC= factor de corrección; exp= exponencial; SSE = error estándar.de la estimación.

El ajuste de las ecuaciones se evaluó con los estadísticos de regresión: coeficiente de determinación ajustado, error estándar, coeficiente de variación y la significancia del modelo (Segura y Andrade, 2008).

2.5. Modelo global de biomasa

El modelo alométrico que mejor ajuste tuvo en base a su estructura (lineal o no lineal), en los diferentes sitios, fue aplicado a todo el conjunto (144 árboles) como lo propone Nívar *et al.* (2004). Para evaluar el ajuste del modelo se consideraron los mismos criterios citados anteriormente. Se obtuvo un promedio de cada estadístico en cada sitio, y se compararon con los estadísticos del ajuste del modelo global.

La validación del modelo se realizó para evaluar la aplicabilidad a toda la población y para ello, se utilizaron los estadísticos propuestos por Prodan *et al.*, (1997): Error Medio absoluto (*EM*) (Ecuación 6), Error Medio absoluto porcentual (*EMa*, %) (Ecuación 7) y desviación global (*DG*) (Ecuación 8).

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (BTi - \bar{B}i) \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$EMa \% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| 100 \left(\frac{BTi - \bar{B}i}{\bar{B}i} \right) \right| \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$DG\% = \frac{\sum_{i=1}^n BTi - \sum_{i=1}^n \overline{BT}i}{\sum_{i=1}^n \overline{BT}i} * 100$$

Ecuación (9)

Donde: BTi = biomasa total aérea observada (Kg); $\overline{BT}i$ = Biomasa total aérea estimada (Kg); n= número de árboles.

2.6. Determinación del tamaño óptimo de muestra

El modelo alométrico (Ecuación 3), se ajustó a diferentes tamaños de muestra (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140) obtenidos al azar (con reemplazo), usando 144 árboles.

El tamaño de muestra óptimo se consideró evaluando y comparando los valores de β_0 y β_1 , y sus errores entre los diferentes tamaños de muestra, así como también los estadísticos de ajuste de la regresión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diámetro basal de *Prosopis* spp. varió de 5.2 (S2 y S7) a 41.8 cm (S5), abarcando así un gran rango de categorías diamétricas al igual que Méndez *et al.* (2006) que reportan un rango de 4 a 45 cm en *Prosopis glandulosa*, var. *Torreyana*. La altura total máxima fue de 9.7 m, correspondiente al diámetro basal mayor (Cuadro 1) y al valor más alto de biomasa (558.7 Kg) registrado en el sitio 5 del estado de Chihuahua. Návar *et al.* (2004) reportan un diámetro basal promedio de 14.7 cm y una altura promedio de 4.63 m en *Prosopis laevigata*, datos que se encuentran dentro del rango registrado en esta investigación en las 7 localidades.

3.1. Ajuste del modelo alométrico para cuantificar biomasa aérea en *Prosopis* spp.

El modelo alométrico en sus dos formas, presentó buena significancia en todos los sitios evaluados ($P < 0.0001$). Según los estadísticos de regresión, la ecuación con mejor ajuste fue la no lineal, presentando valores de R^2 ajustada superiores a 0.90 en todos los sitios (Cuadro 2), con un máximo de 0.98 en el sitio 2 y 0.97 en los sitios 1 y 6; a diferencia del modelo logarítmico que presentó valores de 0.73 en el sitio 7. Por otra parte, el modelo no lineal registró también el error estándar más bajo en el sitio 7 (7.9 kg) y un coeficiente de variación de 19.08% en el sitio 1 (Cuadro 2). Tausch (1989), reporta una R^2 mayor para la ecuación no lineal (0.92) y menor para la ecuación logarítmica (0.90) en *Artemisia arbuscula* Nutt.; Méndez *et al.* (2006) reportan también una R^2 de 0.87 usando el modelo no lineal en *Prosopis glandulosa*, var. *Torreyana*, demostrando buen ajuste del modelo para calcular la biomasa total aérea; Iglesias y Barchuk (2010) obtuvieron valores de 0.87 y 0.88 en *Prosopis torquata* y *Prosopis flexuosa* respectivamente, ajustando la ecuación en su forma logarítmica. En otras especies, Litton y Boone (2008), obtuvieron R^2 de 0.95 en *Dodonaea viscosa* usando la ecuación no lineal. Díaz *et al.* (2007), en *Pinus patula* Schl. et Cham., con el modelo alométrico en su forma no lineal obtienen una R^2 de 0.98.

Cuadro 2. Estadísticos del modelo alométrico $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ en forma no lineal y lineal, ajustado a la biomasa aérea total de siete poblaciones de *Prosopis* spp. en el Norte-Centro de México.

Ecuación	Sitio	Sxy (Kg)	CV (%)	R ²	P > F	B ₀	β ₁
$T = \beta_0 Db^{\beta_1}$	1	12.9	19.08	0.97	<0.0001	0.346	1.679
	2	10.3	20.62	0.98	<0.0001	0.056	2.383
	3	36.5	36.91	0.91	<0.0001	0.108	2.200
	4	28.7	29.08	0.95	<0.0001	0.127	2.161
	5	38.9	39.45	0.94	<0.0001	0.041	2.513
	6	23.6	30.06	0.97	<0.0001	0.018	2.767
	7	7.9	26.88	0.95	<0.0001	0.751	1.458
$\ln T = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln Db$	1	17.9	26.38	0.80	<0.0001	0.165	1.906
	2	10.5	21.06	0.97	<0.0001	0.068	2.319
	3	38.2	38.58	0.77	<0.0001	0.185	2.016
	4	31.4	31.84	0.88	<0.0001	0.315	1.879
	5	56.1	56.89	0.81	<0.0001	0.251	1.933
	6	35.2	44.77	0.91	<0.0001	0.110	2.210
	7	12.0	40.56	0.73	<0.0001	0.268	1.840

BT= biomasa aérea total (kg); Db= diámetro basal (cm); Sxy= error estándar (kg); CV= coeficiente de variación (%); R²= coeficiente de determinación ajustado; P > F= significancia del modelo; β₀ y β₁= parámetros del modelo; ln= logaritmo natural

La aplicación del factor de corrección a la ecuación alométrica en forma logarítmica (ecuación 4) aumentó las estimaciones de biomasa total, desde 2.8% (sitio 2) hasta 5.9% (sitio 3).

El modelo no lineal predice mayor biomasa (482.3 kg) en el sitio 5 (Figura 2) que el modelo en su forma logarítmica (357.8 kg, sitio 5), igual a lo reportado por Nívar *et al.* (2004) en un estudio de 30 especies en el noreste de México, donde registraron menores valores de biomasa en ajustes de modelos con transformaciones logarítmicas.

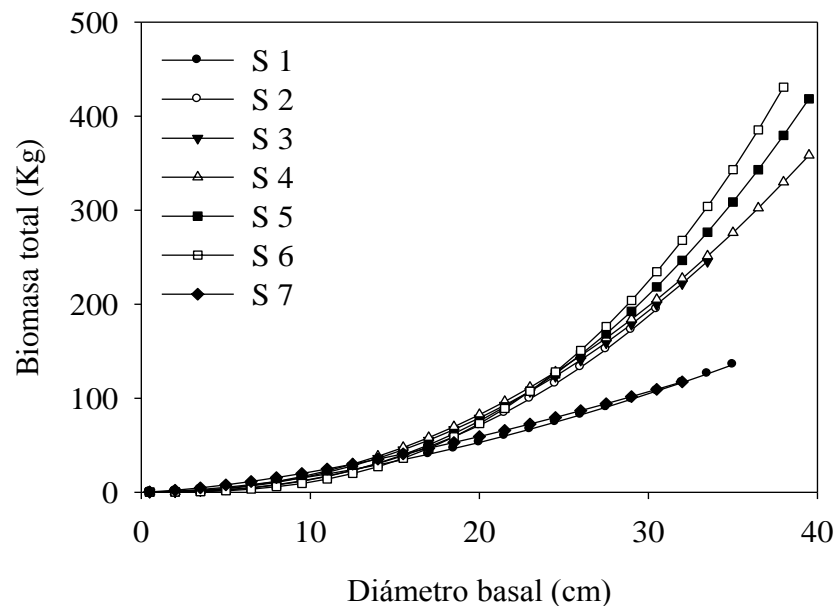


Figura 2. Relación entre la biomasa total y el diámetro basal resultante del ajuste del modelo alométrico no lineal en 7 poblaciones de *Prosopis* spp. del norte de México.

En una interpretación visual entre la biomasa calculada y observada se pudo ver que a valores más pequeños de biomasa (0-50 Kg y 50-100 Kg) la ecuación lineal-logarítmica (Proc reg) pudo calcular igual o mayor biomasa que la no lineal (Proc NLIN), mientras que en valores mayores de biomasa observada (100-600 Kg), fue lo contrario (Figura 3).

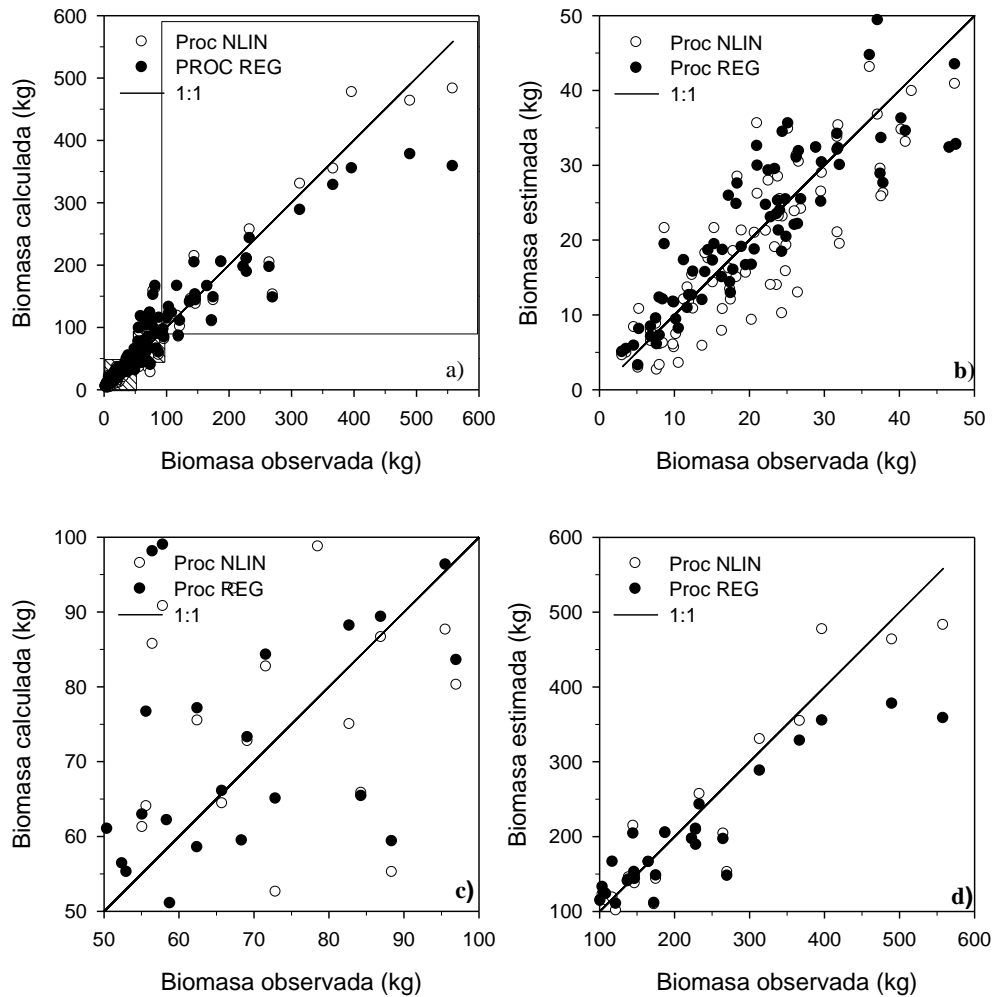


Figura 3. Precisión de la relación entre biomasa calculada y la observada obtenida con el Proc reg y Proc NLIN (de 0 – 600 kg a; 0 - 50 kg b; 50 – 100 kg c y 100 – 600 kg d)

Los valores de β_0 promediaron 0.195 y 0.207; mientras que en β_1 fueron de 2.01 y 2.17 (lineal y no lineal respectivamente) estando dentro del rango reportado por Zianis y Mencuccini (2004) en 223 ecuaciones alométricas. En *Prosopis glandulosa* Méndez *et al.* (2006) registran valores de 0.69 y 1.79 en β_0 y β_1 también dentro del rango obtenido en esta investigación.

3.2. Modelo global para cuantificar biomasa aérea de *Prosopis* spp.

La ecuación generada (proc NLIN) con los 144 árboles, tuvo una alta significancia ($P < 0.0001$) y una R^2 ajustada de 0.91 (Cuadro 3) a 0.04 unidades de la R^2 ajustada promedio de los 7 sitios. El error estándar del modelo global fue 33.4 kg, 10.71 kg mayor a el error medio de los sitios, mientras que el coeficiente de variación se obtuvo un valor de 47.17 %, 18.3 % por encima del promedio de los sitios. En general el ajuste del modelo global a los 144 árboles fue bueno, considerando que los datos representan poblaciones de cuatro estados del Norte-Centro de México (Figura 4).

Cuadro 3. Estadísticos del modelo $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ ajustado a la biomasa aérea de *Prosopis* spp. de siete localidades del Norte-Centro de México.

N	Modelo	Sxy (Kg)	BTp (Kg)	CV (%)	R^2	P > F	β_0	β_1
144	$BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$	33.4	70.9	47.17	0.91	< 0.0001	0.036	2.522

N= número de árboles; BT= biomasa total (kg); Db= diámetro basal (cm) Sxy= error estándar (kg); BTp= biomasa total promedio (kg); CV= coeficiente de variación (%); R^2 = coeficiente de determinación ajustado; $P > F$ = significancia del modelo; β_0 y β_1 = parámetros del modelo.

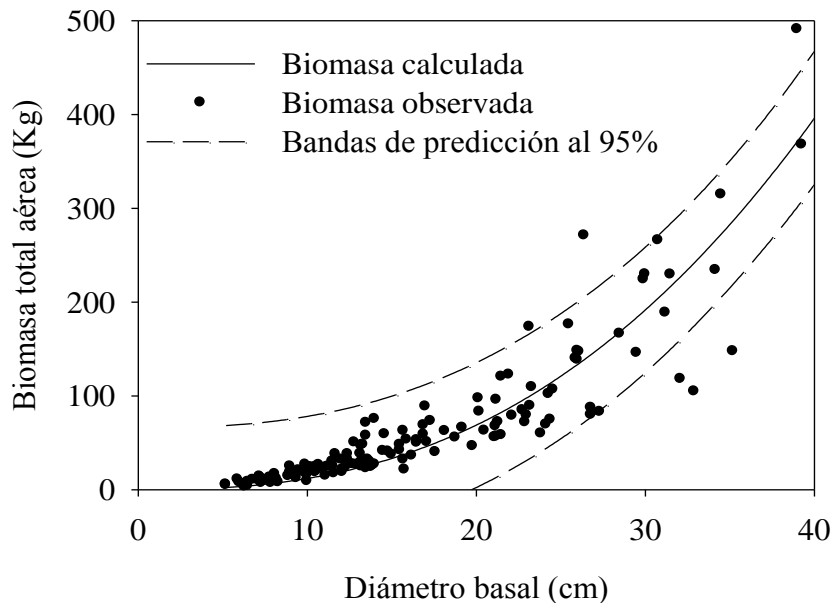


Figura 4. Biomasa aérea total observada y calculada mediante el modelo global para *Prosopis* spp. de las siete localidades del Norte-Centro de México.

El proceso de validación mostró un error medio absoluto (*EM*) de 3.8 kg, un error medio absoluto porcentual (*EMa*) de 33.9 % y una desviación global (*DG*) de 5.7 %, siendo esta última menor al 10%, aceptable si se compara con lo reportado por Machado *et al.* (2003) con una *DG*= 7.63 e Imaña *et al.* (2009) con una *DG*= 5.32, ambos trabajos en ecuaciones volumétricas.

3.3. Tamaño de muestra para cuantificar biomasa en *Prosopis* spp.

Se ajustó adecuadamente el modelo no lineal a diferentes tamaños de muestra (Cuadro 4) y todos presentaron una alta significancia ($P < 0.0001$). El tamaño de muestra 20 tuvo mejor R^2 ajustada (0.96) y mejor coeficiente de variación (32.47 %); el tamaño de muestra 10 tuvo el menor error (16.6 kg). El peor coeficiente de variación y la R^2 más baja los tuvo el tamaño de muestra 100.

A partir de un $T_m = 50$ árboles (Figura 5) hasta $T_m = 90$ árboles, los estadísticos de la regresión mantienen buenos valores como la R^2 ajustada que se mantiene en promedio a 0.93 (Cuadro 4).

Los estadísticos utilizados para la validación de los diferentes tamaños de muestra (Cuadro 5) registraron los valores más bajos de error medio absoluto (0.1 kg), error medio absoluto porcentual (1.3 %) y desviación global (0.2 %) para el tamaño de muestra 40, indicando que éste posee mayor validez para ser utilizado a la población de *Prosopis* spp.

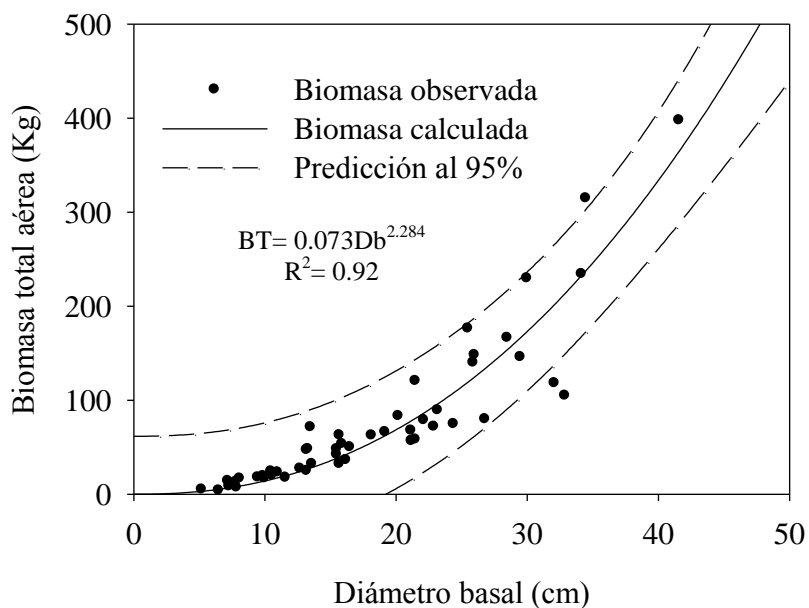


Figura 5. Biomasa total observada y calculada con la ecuación alométrica no lineal ajustada a un tamaño de muestra de 50 árboles en *Prosopis* spp.

Cuadro 4. Estadísticos del modelo $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ ajustado a la biomasa aérea total de *Prosopis* spp. en diferentes tamaños de muestra.

Tm	Modelo	Sxy (Kg)	BTp (Kg)	CV (%)	R ²	P > F
10	BT= 0.065Db ^{2.297}	16.6	40.9	40.59	0.94	<0.0001
20	BT= 0.047Db ^{2.452}	26.2	80.8	32.47	0.96	<0.0001
30	BT= 0.080Db ^{2.252}	38.3	80.4	47.59	0.90	<0.0001
40	BT= 0.237Db ^{1.905}	21.6	50.7	42.56	0.91	<0.0001
50	BT= 0.073Db ^{2.284}	30.6	77.0	39.79	0.92	<0.0001
60	BT= 0.017Db ^{2.775}	32.3	78.0	41.47	0.94	<0.0001
70	BT= 0.019Db ^{2.707}	40.7	83.1	48.99	0.91	<0.0001
80	BT= 0.105Db ^{2.180}	23.9	66.6	35.92	0.94	<0.0001
90	BT= 0.018Db ^{2.732}	32.0	68.4	46.72	0.93	<0.0001
100	BT= 0.043Db ^{2.455}	35.3	64.4	54.78	0.88	<0.0001
110	BT= 0.034Db ^{2.539}	36.2	69.9	51.77	0.90	<0.0001
120	BT= 0.032Db ^{2.559}	34.1	71.2	47.92	0.91	<0.0001
130	BT= 0.033Db ^{2.547}	34.8	71.7	48.48	0.91	<0.0001
140	BT= 0.036Db ^{2.527}	33.8	71.6	47.24	0.91	<0.0001

Tm= tamaño de muestra; BT= biomasa aérea total (kg); Db= diámetro basal (cm) Sxy= error estándar; BTp= biomasa total promedio; CV= coeficiente de variación (%); R²= coeficiente de determinación ajustado; P > F= significancia del modelo.

Cuadro 5. Biomasa aérea total observada y calculada, y estadísticos de validación en 14 tamaños de muestra de *Prosopis* spp. en el Norte-Centro de México.

Tamaño de muestra	BT observada	BT calculada	<i>EM</i> (kg)	<i>EMa</i> (%)	<i>DG</i> (%)
	(kg)	(kg)			
10	409.5	376.8	3.3	40.0	8.7
20	1615.5	1592.2	1.2	16.4	1.5
30	2413.3	2328.7	2.8	24.5	3.6
40	2028.0	2032.4	0.1	1.3	0.2
50	3851.1	3735.5	2.3	16.9	3.1
60	4679.2	4349.3	5.5	56.0	7.6
70	5816.2	5456.8	5.1	51.1	6.6
80	5328.9	5232.5	1.2	8.1	1.8
90	6155.6	5732.4	4.7	55.8	7.4
100	6442.1	6076.0	3.7	36.5	6.0
110	7689.4	7222.3	4.2	38.5	6.5
120	8538.9	8074.9	3.9	36.1	5.7
130	9317.8	8813.3	3.9	35.5	5.7
140	10030.4	9517.9	3.7	33.5	5.4

BT= biomasa aérea total (kg); *EM*= Error medio global (kg); *EMa*= error medio global porcentual (%); *DG*= desviación global (%).

El promedio obtenido en base a todos los tamaños de muestra para el parámetro β_1 fue de 2.45 que está cercano al promedio de β_1 (2.36) reportado por Zianis y Mencuccini

(2004); asimismo, el promedio de β_0 (0.059) y el de β_1 (2.45) están dentro del rango de β_0 (0.018 a 0.751) y β_1 (1.458 a 2.767) registrados con el modelo no lineal en los 7 sitios (Cuadro 2). Comparando esos promedios con los rangos obtenidos para los parámetros en el modelo lineal, entra en el rango obtenido para β_0 (0.068 a 0.315) pero no para β_1 (1.840 a 2.319) (Cuadro 2).

Los resultados del análisis de parámetros (β_0) indican que el error en la estimación de β_0 es mayor cuando el tamaño de muestra es menor, pero disminuye significativamente cuando el tamaño de muestra es mayor a 60 árboles (Figura 6), similar a lo que se ve en los errores de β_1 (Figura 7).

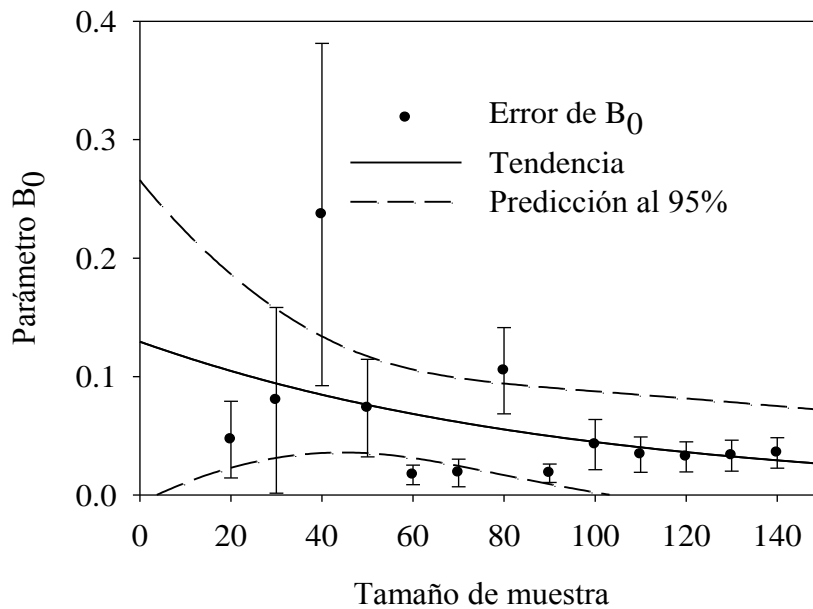


Figura 6. Relación entre el parámetro β_0 y su error por tamaño de muestra.

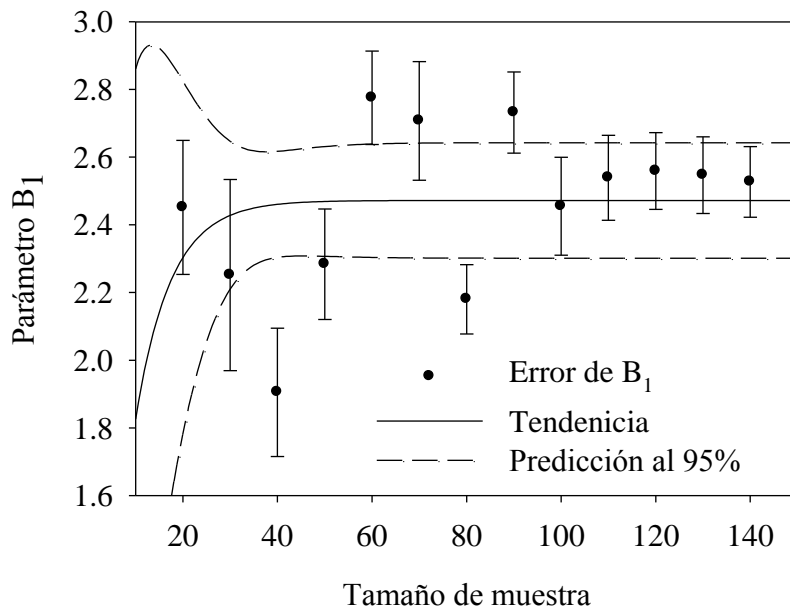


Figura 7. Relación entre el parámetro β_1 y su error por tamaño de muestra.

4. CONCLUSIONES

El modelo alométrico en su forma lineal y no lineal se ajusta adecuadamente a la biomasa aérea de *Prosopis* spp. en el norte de México, utilizando como variable independiente el diámetro basal.

El factor de corrección en el modelo logarítmico, aumentó el valor de las estimaciones de biomasa aérea de *Prosopis* spp., prediciendo mayor biomasa en categorías diamétricas más pequeñas, mientras que el modelo no lineal predice mayor biomasa en categorías diamétricas más grandes. El modelo $BT = \beta_0 Db^{\beta_1}$ se ajusta a la biomasa aérea con mejores estadísticos, aún así, es factible utilizarlo de ambas formas (lineal y no lineal).

Se pudo aplicar correctamente la ecuación no lineal a la población de 144 árboles, obteniendo parámetros válidos para la aplicación de un modelo para calcular biomasa aérea en *Prosopis* spp. en el norte de México.

El modelo alométrico se ajusta mejor a tamaños de muestra que van de 40 a 90 árboles, presentando mejores estadísticos de regresión y de validación en el rango mencionado.

5. LITERATURA CITADA

- Araújo, T. M., Higuchi, N. y Carvalho Jr, J. A. (1999). Comparison formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecol. Mngmt*, **117**: 43–52p
- Avendaño H., D. M., Acosta M., M., Carrillo A., F. y Etchevers B., J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*; 32: 233-238.
- 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. Vol. 1 Tema 4. 107-116 p.
- Brown, S. (1997^b). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO Roma. Forestry Paper 55 p.
- Brown, S. and Lugo, A. E. (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the 21oías21n2121 Amazon. *Interciencia*, 17 (1): 8-18 p.
- Brown, S., Gillespie, A., and Lugo, A., 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.

- Castro, I., Casado, M. A., Ramirez S., L., De Miguel, J. M., Costa, M. y Diaz P., F. (1996). Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *Orsis*, 11: 107-116.
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S. and Perez, R. (2004). Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 359: 409–20
- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas) e INE (Instituto Nacional de Estadística). 1994. Mezquite *Prosopis* spp. Cultivo alternativo para las Zonas Áridas y Semiáridas de México. Folleto: 7 – 11 p.
- Díaz F., R., M. Acosta M., F. Carrillo A., E. Buendía R., E. Flores A., y J. D. Etchevers B., 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.
- Domínguez C, G., O. A. Aguirre C., J. Jiménez P., R. Rodríguez L., y J. A. Díaz B., 2009. Biomasa aérea y factores de expansión de especies arbóreas en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15 (1): 59-64
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2011. Situación de los bosques del mundo. Roma, 64-66 p.
- Fonseca, G. W., Alice, G. F. y Rey, B. J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, 30(1): 36-47.
- Foroughbakhch P., R., E. A. Castillo G., M. A. Alvarado V., y J. L. Hernández P. (2010). Estudio sistemático de la morfología foliar del género *22oiás22n22* spp. en el estado

- de nuevo león, México. *In VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. Florística y Etnobotánica*, marzo 2010. 772-773 p.
- Gaillard B, C., M. Pece, M. Juárez G., S. Vélez, A. Gómez y M. Zárate. 2002. Determinación de funciones para la estimación de biomasa aérea individual en Jarilla (*Larrea divaricata*) de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana* 4 (2): 23-28.
- Hair, J. F., Anderson, E., Tatham R., y Black, W., 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall. Universidad Autónoma de Madrid. Quinta Edición. 798 p.
- Iglesias M. R., y A. H. Barchuk, 2010. Estimación de la biomasa aérea de seis leguminosas leñosas del Chaco Árido (Argentina). *Ecología Austral*, 20: 71-79.
- Imaña E., J., O. Antunes S., J. E. De Paula., y C. Rainier I. (2009). Equações de 23oiás23n de madeira para o cerrado de planaltina de 23oiás. *Floresta*, 39: 107-116.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 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*. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Litton, C. M. and Boone K., J. (2008), Allometric models for predicting aboveground biomass in two widespread woody plants in Hawaii. *Biotropica*, 40: 313-320.
- López F., Y. L., F. M. Goycoolea, M. A. Valdez y A. M. Calderón de la Barca, 2006. Goma de mezquite: una alternativa de uso industrial. *Interciencia*, 31 (3): 183-189.
- Machado C., E. G., A. Pereira, y N. A. Ríos, 2003. Tabla de volumen para *Buchenavia capitata*, Vahl. *Quebracho* 10: 76-82.
- Masera, O.R., M.J. Ordoñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican Forests: Current Situation and Longterm Scenarios, *Climatic Change* 35 (3): 265-295.

- Méndez G., J., A. Santos M., J. A. Nájera L., V. Gonzales O., 2006. Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de *Prosopis glandulosa*, var. Torreyana en el Ejido Jesús González Ortega No 1, Mpio. De Mexicali, B.C. Agrofaz, 6 (2): 226-235.
- Mendoza P., A. and Galicia, L. (2010). Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry*, 83 (5): 497-506.
- Návar, J., González, N. y Graciano, J. (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.
- Prodan, M., Roland, P., Cox, F., y Real, P., 1997. *Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica. 586 p.
- Segura, M., y H. J. Andrade, 2008. ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas*, 46: 90 -96.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra., 2000. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. FONDEF- UACH- INFOR. 20 p.
- Schlegel, B. (2001). Estimación de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral de Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 13 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: 209-210.
- Tausch, R. J., 1989. Comparison of regression methods for biomass estimation of sagebrush and bunchgrass. Great Basin Naturalist, 49 (3): 373-380.
- Zianis D., and Mencuccini M., 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. Forest Ecology and Management, 187: 311-332.

6. ANEXOS

Anexo 1. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 1.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)	Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)
1	24.1	69.2	72.7	69.2	73.2
2	15.8	21.1	35.6	21.1	32.5
3	26.8	87.0	86.6	87.0	89.3
4	19.8	46.2	52.1	46.2	50.1
5	18.2	62.2	45.0	62.2	42.5
6	22.8	84.4	65.8	84.4	65.4
7	15.7	31.9	35.3	31.9	32.2

8	32.9	104.5	122.2	104.5	132.0
9	35.2	147.4	136.8	147.4	150.1
10	13.8	23.9	28.4	23.9	25.2

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 2. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 2.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)	Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)
1	10.6	19.6	15.6	19.6	16.6
2	9.4	12.0	11.7	12.0	12.6
3	21.3	71.7	82.6	71.7	84.2
4	24.3	101.7	113.1	101.7	114.3
5	14.5	40.9	33.0	40.9	34.5
6	31.5	229.1	210.0	229.1	208.7
7	13.5	22.6	27.9	22.6	29.2
8	9.5	17.6	12.0	17.6	12.9
9	9.9	17.5	13.4	17.5	14.3
10	13.2	37.9	26.2	37.9	27.5
11	12.7	27.0	24.1	27.0	25.4
12	17.6	39.8	52.4	39.8	54.1

13	18.8	55.2	61.2	55.2	62.9
14	13.7	29.7	28.9	29.7	30.3
15	8.3	7.6	8.7	7.6	9.5
16	21.5	120.1	84.5	120.1	86.1
17	7.9	6.9	7.7	6.9	8.4
18	7.3	6.9	6.4	6.9	7.0
19	31.2	188.3	205.3	188.3	204.1
20	6.5	3.6	4.9	3.6	5.4
21	6.3	3.1	4.5	3.1	5.0
22	5.2	5.2	2.9	5.2	3.2
23	14.8	40.3	34.7	40.3	36.2
24	20.5	62.5	75.4	62.5	77.1
25	28.5	165.9	165.4	165.9	165.5
26	19.2	65.8	64.4	65.8	66.0
27	16.2	36.1	43.1	36.1	44.7
28	14.0	26.6	30.4	26.6	31.8
29	11.6	25.0	19.2	25.0	20.4
30	11.1	14.6	17.5	14.6	18.6

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 3. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 3.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)	Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)
1	23.8	59.7	116.2	59.7	117.3
2	24.6	106.5	124.0	106.5	124.5
3	34.2	233.9	256.4	233.9	242.3
4	12.1	21.1	26.1	21.1	29.9
5	30.8	265.5	203.5	265.5	196.1
6	26.0	138.3	140.5	138.3	139.7
7	22.1	78.6	98.7	78.6	101.0
8	20.1	97.0	80.2	97.0	83.5
9	17.0	88.4	55.2	88.4	59.3
10	11.0	22.3	21.2	22.3	24.7
11	6.8	10.3	7.4	10.3	9.3
12	24.4	74.3	122.2	74.3	122.9
13	9.2	15.2	14.3	15.2	17.2
14	23.2	173.3	108.9	173.3	110.6

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 4. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 4.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada	Bio calculada	Bio observada	Bio calculada
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	13.5	70.9	35.2	70.9	44.0
2	13.5	57.2	35.2	57.2	44.0
3	7.8	12.6	10.8	12.6	15.7
4	23.3	109.1	114.6	109.1	122.8
5	27.3	82.7	161.6	82.7	165.7
6	14.6	58.8	41.7	58.8	51.0
7	11.7	37.6	25.8	37.6	33.6
8	21.2	67.4	93.1	67.4	102.5
9	16.5	49.8	54.4	49.8	64.3
10	15.7	62.5	48.8	62.5	58.5
11	21.9	122.4	100.6	122.4	109.7
12	29.9	223.9	196.5	223.9	196.4
13	26.1	146.8	146.4	146.8	152.0
14	39.3	367.5	353.9	367.5	327.6
15	8.2	11.3	12.0	11.3	17.3

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 5. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 5.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada	Bio calculada	Bio observada	Bio calculada
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	15.0	37.2	36.7	37.2	49.3
2	7.1	10.0	5.6	10.0	11.6
3	23.0	79.0	107.5	79.0	112.7
4	23.2	89.0	109.8	89.0	114.6
5	26.0	147.6	146.3	147.6	142.9
6	25.9	139.5	144.9	139.5	141.8
7	15.9	53.1	42.5	53.1	55.2
8	21.5	57.9	90.7	57.9	98.9
9	26.4	270.8	152.0	270.8	147.1
10	10.2	23.7	13.9	23.7	23.4
11	12.0	31.8	21.0	31.8	32.0
12	9.0	24.4	10.2	24.4	18.4
13	30.0	229.3	209.6	229.3	188.4
14	8.1	16.4	7.8	16.4	15.0
15	7.2	13.8	5.8	13.8	11.9
16	5.9	10.6	3.5	10.6	8.1
17	7.3	8.1	6.0	8.1	12.3

18	9.9	26.5	12.9	26.5	22.1
19	15.5	41.7	39.9	41.7	52.6
20	16.9	58.4	49.5	58.4	62.1
21	10.5	18.3	15.0	18.3	24.8
22	41.8	558.7	482.3	558.7	357.7
23	22.9	71.6	106.3	71.6	111.8
24	26.8	79.4	157.8	79.4	151.5
25	41.6	397.3	476.5	397.3	354.4
26	21.2	95.6	87.6	95.6	96.3
27	17.3	72.9	52.5	72.9	65.0

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 6. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 6.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)	Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)
1	25.5	175.9	142.8	175.9	147.5
2	12.3	23.5	19.0	23.5	29.4
3	21.2	56.5	85.7	56.5	98.0
4	20.2	82.8	74.9	82.8	88.1
5	13.2	24.5	23.1	24.5	34.4

6	11.5	24.9	15.8	24.9	25.4
7	11.6	17.3	16.1	17.3	25.9
8	17.1	50.5	47.3	50.5	61.0
9	8.1	9.9	6.0	9.9	11.7
10	9.5	20.4	9.3	20.4	16.6
11	6.0	7.7	2.6	7.7	6.0
12	6.5	8.1	3.3	8.1	7.2
13	34.5	314.4	329.7	314.4	287.6
14	29.5	145.5	213.7	145.5	203.5
15	39.0	490.6	462.8	490.6	377.1
16	16.5	52.5	42.8	52.5	56.3
17	11.0	22.9	13.9	22.9	23.0
18	10.0	16.5	10.7	16.5	18.6
19	12.4	32.1	19.4	32.1	30.0
20	8.2	8.5	6.2	8.5	12.0
21	16.9	68.4	45.7	68.4	59.4
22	14.0	75.1	27.2	75.1	39.2

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).

Anexo 7. Biomasa observada y calcula con el modelo alométrico en su forma no línea y lineal-logarítmica, en el sitio 7.

No	Diámetro basal (cm)	Ecuación no lineal		Ecuación línea-logarítmica	
		Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)	Bio observada (Kg)	Bio calculada (Kg)
1	12.4	37.5	29.5	37.5	28.8
2	13.2	46.8	32.3	46.8	32.3
3	13.3	47.6	32.6	47.6	32.8
4	32.1	117.7	117.9	117.7	165.8
5	15.5	47.5	40.8	47.5	43.4
6	12.8	50.2	30.9	50.2	30.5
7	13.2	29.0	32.3	29.0	32.3
8	9.8	20.8	20.9	20.8	18.7
9	9.9	19.0	21.2	19.0	19.0
10	11.2	24.1	25.4	24.1	23.9
11	12.1	18.5	28.4	18.5	27.5
12	13.9	25.2	34.8	25.2	35.5
13	13.6	31.8	33.7	31.8	34.1
14	12.9	26.4	31.2	26.4	31.0
15	10.5	24.0	23.1	24.0	21.2
16	5.2	4.7	8.3	4.7	5.8
17	8.9	14.2	18.2	14.2	15.6

18	10.0	15.4	21.5	15.4	19.4
19	6.2	5.4	10.7	5.4	8.0
20	7.3	11.8	13.6	11.8	10.9
21	7.9	12.4	15.3	12.4	12.6
22	11.5	29.6	26.4	29.6	25.1
23	10.7	26.1	23.8	26.1	22.0
24	10.0	8.8	21.5	8.8	19.4
25	21.1	55.7	64.0	55.7	76.6
26	9.0	17.9	18.5	17.9	16.0

No= número del árbol; Bio= biomasa aérea (Kg).