

# **ESTUDIOS DE CARBONO EN PASTIZALES**

**MÉTODO PRÁCTICO PARA ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO  
ACUMULADO EN POBLACIONES NATURALES DE MEZQUITE (*PROSOPIS  
GLANDULOSA*) EN EL NORESTE DE MÉXICO**

**PRACTICAL METHOD FOR ESTIMATION OF BIOMASS AND CARBON STORED IN  
NATURAL STANDS OF MESQUITE (*PROSOPIS GLANDULOSA*) IN  
NORTHEASTERN MEXICO**

**Manzano, Mario G. \*; Cantú Vega, Jorge\*\*; Silva Cavazos, Fco. Javier \*\*; Martínez  
Medina, Juan \*\***

\* Centro de Calidad Ambiental. Tecnológico de Monterrey-Campus Monterrey

\*\*INIFAP – Campo Experimental de Gral. Terán, N. L.

\*Autor para correspondencia: [mario.manzano@itesm.mx](mailto:mario.manzano@itesm.mx). Tel. (81) 8358 1400 Ext. 5273

Palabras clave: mezquite, ecuación alométrica, biomasa, carbono

**RESUMEN**

El valor económico del mezquite en la cadena productiva tradicional se ha basado en productos de alta demanda, principalmente leñas y carbón, y en menor medida en forraje, madera, frutos y gomas. El resultado ha sido un aprovechamiento muy intensivo y la disminución de extensas áreas de mezquital. Es prioritario por lo tanto definir alternativas de aprovechamiento sustentable y resaltar el valor que en servicios ambientales pueden ofrecer los mezquiales en las zonas áridas del país. Esta problemática proviene de una cultura de aprovechamiento del mezquite con base en información muy general y sin una base técnica sobre los métodos y técnicas de evaluación cuantitativa de las existencias y posibilidades de corta en mezquite. No existe información para estimar la edad de los rodales y el potencial productivo de esta especie, así como el volumen de madera que es posible extraer de un rodal para establecer programas sustentables para su aprovechamiento. Es necesario contar con elementos técnicos indispensables para la estimación confiable de existencias volumétricas y tasas de aprovechamiento. En esta publicación se presenta una metodología de trabajo para estimar contenido de biomasa y carbono, de las cuales se derivaron tablas para su estimación a partir del diámetro basal de los árboles de un rodal. La información generada de esta investigación permite ofertar tecnología para estimar biomasa total y carbono acumulado en arbolados de mezquite en el noreste de México. Se construyó una ecuación alométrica, utilizando como variable dependiente a la biomasa y como independiente al diámetro basal del tallo principal (a 10 cm de la superficie) con base a la confiabilidad de los estimadores estadísticos (alto coeficiente de correlación y de determinación). A partir de dicha ecuación se elaboró una tabla para la estimación de biomasa y carbono acumulado en arbolados de mezquite. Este resultado nos indica que es posible utilizar una sola ecuación usando el diámetro basal ( $\text{Volumen} = -1.454 + 0.668DB$ ) para la región muestreada en el noreste de México, correspondiente al norte, norte-centro y centro del Estado de Nuevo León, oriente de Coahuila y norte de Tamaulipas, con un 94% de correlación y un coeficiente de determinación de 88%.

## INTRODUCCIÓN

El valor económico del mezquite en la cadena productiva se ha basado tradicionalmente en productos de alta demanda, como leñas y carbón, y en menor medida en como forraje. El resultado ha sido una elevada tasa de deforestación y la desaparición de extensas áreas de mezquital. Es prioritario por lo tanto, definir alternativas de manejo y aprovechamiento sustentables como el valor que en servicios ambientales, pueden ofrecer los arbolados de mezquite en las zonas áridas y semiáridas de México. (Protocolo proyecto CONACYT- CONAFOR CLAVE 14800 2006).

La ocurrencia de la deforestación en las áreas con mezquiales, se debe a que el aprovechamiento está basado en información poco confiable sobre los métodos y técnicas de evaluación cuantitativa de las existencias y posibilidades de corta en mezquite. No se utilizan los mecanismos para estimar la edad de los rodales y el potencial productivo de esta especie, así como del volumen de madera que es posible extraer de un rodal y minimizar de esta forma el impacto ecológico. (Villanueva, et. al., 2004).

Por lo anterior, es necesario contar con elementos técnicos para la estimación de existencias volumétricas y tasas de aprovechamiento. En esta publicación se presenta una metodología para estimar biomasa y carbono acumulado a partir del diámetro basal de los árboles de rodales de mezquite en Nuevo León.

El objetivo de este documento es ofrecer a técnicos y productores una forma práctica para estimar biomasa y el contenido de carbono orgánico, sin derribar de árboles.

## ANTECEDENTES

### Origen de la Información

La información se generó generada con el proyecto “Desarrollo de metodologías para evaluar la captura de carbono en mezquiales del noreste de México” aprobado en la Convocatoria CONAFOR–CONACYT 2005-02 con clave de registro 14800; dicho proyecto se desarrolló en forma conjunta entre el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Los datos se obtuvieron de poblaciones naturales de mezquite y de parcelas de manejo y experimentales, distribuidas en la región centro-norte del estado de Nuevo León.

### Biomasa y Contenido de Carbono

Con el análisis de la información se obtuvo una ecuación de regresión, utilizando como variable dependiente a la biomasa y como independiente al diámetro basal del tallo principal, con estimadores estadísticos con altos coeficientes de correlación y de determinación (Manzano, 2007). La ecuación permitió construir una tabla para determinar biomasa total y carbono acumulado en árboles de mezquite. La ecuación ( $Y=-1.54+0.668X$ ) se puede aplicar en los mezquites distribuidos en la región geográfica muestreada, con alta confiabilidad ( $r=0.94$  y  $r^2=0.88$ ). Datos similares fueron obtenidos para una plantación de mezquite (*Prosopis leavigata*) de 10 años de edad, establecida en el campo Experimental de INIFAP en General Terán, N. L. (Martínez, et. al., 2007).

Otro resultado importante del proyecto “Desarrollo de metodologías para evaluar la captura de carbono en mezquiales del noreste de México”, es la determinación de carbono orgánico contenido en la biomasa de árboles de mezquite. El análisis realizado en 80 muestras de madera obtenida en diferentes estratos del árbol, incluyendo ramillas de la parte superior, indican un contenido de 48.86% de carbono orgánico por árbol de mezquite, el cual no muestra variación significativa en cada estrato (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido (%) de carbono orgánico en mezquite, determinado en forma directa en laboratorio.

ESTRATO DEL ÁRBOL	CARBONO (%)
1. De la base del tronco a la altura del pecho	48.60
2. De altura del pecho a ramas primarias	49.14
3. Ramas secundarias	49.52
4. Puntas de ramas y hojas	48.19
Promedio	48.86

Lo anterior es importante ya que el arbolado de mezquite distribuidos en agostaderos y pastizales del semidesierto, tienen un valor adicional, el cual está en función del servicio ambiental que ofrecen en carbono capturado. Este valor agregado, como sumideros de carbono, representa una opción potencial de ingresos económicos y una estrategia para mejorar los planes de manejo en forma sustentable y con objetivos claros dirigidos a la conservación y restauración de las poblaciones naturales de esta especie vegetal (Cantú, et. al., 2007).

#### Biomasa y Producción de Carbón Vegetal

En mezquiales del norte de Nuevo León con 35 años de edad, determinada ésta por métodos dendrocronológicos, se ha determinado que hay existencias de hasta 72 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa como materia seca, que representan 35.57 ton ha<sup>-1</sup> de carbono acumulado, estos contenidos equivalen a 1.04 ton ha<sup>-1</sup> de carbono capturado por año, con un valor en el mercado internacional de \$300.00, tan solo por conservar el recurso (Manzano, 2007).

Se estima que en los mezquiales de Nuevo León, la biomasa útil para la elaboración de carbón vegetal es del orden del 50%, con una eficiencia de transformación del orden de 17%. Por lo anterior se considera que cada 35 años se puede obtener en promedio 6 ton de carbón, lo que es equivalente a 176 kg año<sup>-1</sup> con un valor de \$ 350.00, con un impacto ambiental adverso ya que la masa forestal puede reducirse drásticamente o llegar a desaparecer en forma total.

## ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO

### Obtención de Información de Campo

Antes de utilizar la información contenida en el Cuadro 2 para estimar la biomasa total y carbono acumulado en un mezquital, es necesario conocer la densidad de población y el diámetro basal de los árboles presentes. Para obtener estos datos se sugiere delimitar al menos cuatro lotes de 20 m x 20 m (sitios de muestreo), en una población natural de mezquite, procediéndose a realizar la medición del diámetro basal del fuste principal de cada árbol (a 20 cm del nivel del suelo), utilizando forcípula o cinta diamétrica; este dato se registra en una hoja de cálculo.

Procedimiento 1. Estimación de biomasa y carbón acumulado con base a la superficie de muestreo.

1.- Para iniciar la estimación, en la hoja de cálculo se establecen cuatro columnas para cada sitio de muestreo: la primera le corresponde al número del árbol, la siguiente es el diámetro basal (DB), la tercera y cuarta columna, corresponden al valor de peso de biomasa y de carbón acumulado, respectivamente, para cada árbol, obtenido del Cuadro 2, o mediante la aplicación de la ecuación  $Y = -1.54 + 0.668X$ . (Cuadro 3).

2.- Una vez llenas las celdas de la hoja de cálculo, para cada sitio de muestreo, se hacen las sumas correspondientes para obtener la producción de biomasa y carbono acumulado en la superficie del área de muestreo. Para el ejemplo, la superficie fue de 400 m<sup>2</sup> por sitio con 3922.6 kg, 2331.41 kg, 2194.53 kg y 3166.18 kg, para los sitios 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

3.- Obtenida la información del paso 2, se procede a realizar la estimación de la producción por hectárea para cada sitio, y con el promedio general de todos los sitios se estima la producción total de biomasa y carbono acumulado de una superficie dada con arbolado de mezquite.

Para el cálculo de biomasa y carbono para cada sitio, se realiza la siguiente operación (ejemplo):

Se obtiene el promedio de producción de los sitios sumando la producción y el resultado se divide entre 4.

$$\text{Promedio} = 3922.6 + 2331.41 + 2194.53 + 3166.18 = 11614.72 / 4 = 2904 \text{ kg} / 400 \text{ m}^2$$

Para biomasa/ ha:

$$\text{Biomasa/ha} = 2904 \text{ kg} \times 10,000 \text{ m}^2 / 400 \text{ m}^2 = 72600 \text{ kg/ha.}$$

Para carbón acumulado se hace la misma operación.

Una vez obtenidos estos valores se estima el total multiplicándolos por la superficie total del predio.

Ejemplo: biomasa total del predio=

$$72600 \text{ kg/ha} \times \text{superficie del predio en ha.}$$

Procedimiento 2: Estimación de biomasa y carbón acumulado utilizando la densidad de población por hectárea.

1.- Se define el número total de árboles para cada sitio muestreado de 20 m x 20 m y con el promedio del total, tomando en cuenta todos los sitios, se obtiene la densidad por hectárea. Para el ejemplo del Cuadro 4, se tiene una densidad promedio de  $(13 + 12 + 15 + 14 / 4)$  13.5 árboles en 400 metros<sup>2</sup>

2.- Se estima la densidad/ha = 13.5 árboles x 10,000 m<sup>2</sup> / 400 m<sup>2</sup> = 337 árboles / ha.

3.- Utilizando el diámetro basal del muestreo, se obtiene del Cuadro 2 el peso de biomasa por árbol de cada sitio muestreado, como se muestra en la hoja de caculo del Cuadro 4.

4.- Se estima el peso promedio por árbol de cada sitio, dividiendo la biomasa total de cada sitio entre el número de árboles muestreados.

Ejemplo sitio 1

Peso/árbol: 3922.60/ 13 árboles = 301.69

5.- Con la información del peso por árbol de cada sitio, se obtiene el promedio general de peso por árbol, el cual se multiplica por la densidad estimada/ha y se obtiene la producción total de biomasa en kg/ ha.

Ejemplo

Promedio general Kg/árbol=

$(301+194+146+226) / 4 = 216.75$

Producción biomasa/ ha=

$217 \times 337 = 73044$  kg/ha

Para carbón acumulado se hace la misma operación.

Una vez obtenidos estos valores se estima el total multiplicando por la superficie total del predio.

Ejemplo: biomasa total del predio=

73044 kg/ha x Superficie del predio en ha

Para estimar el carbón acumulado en la biomasa se hace el mismo procedimiento siguiendo la columna correspondiente para esta variable, en el Cuadro 4.

Cuadro 2. Estimación de biomasa y carbono acumulado en Kg. / árbol,

DIÁMETRO BASAL BASL	BIOMASA CALCULADA $Y = -1.454 + 0.668 (X)$	CARBONO ACUMULADO ESTIMADO CON: 48.86%*
5	3,556996	1,737948
6	6,225025	3,041547
7	10,02989	4,900604
8	14,73792	7,200948
9	20,34912	9,942581
10	26,86349	13,1255
11	34,28103	16,74971
12	42,60173	20,8152
13	51,8256	25,32199
14	61,95264	30,27006
15	72,98285	35,65942
16	84,91623	41,49007
17	97,75277	47,762
18	111,4925	54,47523
19	126,1354	61,62974
20	141,6814	69,22554
21	158,1306	77,26262
22	175,483	85,741
23	193,7386	94,66066
24	212,8973	104,0216
25	232,9592	113,8238
26	253,9242	124,0674
27	275,7924	134,7522

DIÁMETRO BASAL	BIOMASA ESTIMADA CON: $Y = -1.454 + 0.668 X$	CARBONO ACUMULADO ESTIMADO CON: 48.86%*
28	298,5638	145,8783
29	322,2384	157,4457
30	346,8161	169,4544
31	372,297	181,9043
32	398,6811	194,7956
33	425,9683	208,1281
34	454,1587	221,902
35	483,2523	236,1171
36	513,249	250,7735
37	544,1489	265,8712
38	575,952	281,4101
39	608,6582	297,3904
40	642,2676	313,812
41	676,7802	330,6748
42	712,196	347,979
43	748,5149	365,7244
44	785,737	383,9111
45	823,8622	402,5391
46	856.96	418.74
47	896.52	438.04
48	936.97	457.080
49	978.31	478.00
50	1020.54	498.63



Cuadro 3. Ejemplo procedimiento 1 para el cálculo de biomasa total y carbono acumulado en un arbolado, utilizando información de campo y de la tabla 2 de esta publicación.

No del árbol	Sitio 1 DB <sup>1</sup>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg	Sitio 2 DB <sup>1</sup>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg	Sitio 3 DB <sup>1</sup>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado g	Sitio 4 DB <sup>1</sup>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg
1	9	20.34912	9.942581	10	26.86349	13.1255	15	72.98285	35.65942	50	1020.54	498.63
2	8	14.73792	7.200948	12	42.60173	20.8152	19	126.1354	61.62974	10	26.86349	13.1255
3	18	111.4925	54.47523	11	34.28103	16.74971	20	141.6814	69.22554	12	42.60173	20.8152
4	23	193.7386	94.66066	15	72.98285	35.65942	25	232.9592	113.8238	9	20.34912	9.942581
5	33	425.9683	208.1281	17	97.75277	47.762	30	346.8161	169.4544	19	126.1354	61.62974
6	37	544.1489	265.8712	35	483.2523	236.1171	10	26.86349	13.1255	21	158.1306	77.26262
7	42	712.196	347.979	20	141.6814	69.22554	11	34.28103	16.74971	24	212.8973	104.0216
8	50	1020.54	498.63	25	232.9592	113.8238	13	51.8256	25.32199	39	608.6582	297.3904
9	12	42.60173	20.8152	13	51.8256	25.32199	17	97.75277	47.762	13	51.8256	25.32199
10	26	253.9242	124.0674	40	642.2676	313.812	28	298.5638	145.8783	25	232.9592	113.8238
11	35	483.2523	236.1171	30	346.8161	169.4544	15	72.98285	35.65942	20	141.6814	69.22554
12	8	14.73792	7.200948	21	158.1306	77.26262	14	61.95264	30.27006	21	158.1306	77.26262
13	16	84.91623	41.49007		0	0	9	20.34912	9.942581	18	111.4925	54.47523
14		0	0		0	0	19	126.1354	61.62974	26	253.9242	124.0674
15		0	0		0	0	35	483.2523	236.1171		0	0
Producción kg en 400 m <sup>2</sup>		3922.60372	1916.578437		2331.41467	1139.12928		2194.53395	1072.249301		3166.18934	1546.994221

DB<sup>1</sup>: Diámetro basal

\*Estimado de la tabla 2 en base al DB

Cuadro 4. Ejemplo procedimiento 2 para el cálculo de biomasa total y carbono acumulado en un arbolado, utilizando información de campo y del Cuadro 2.

No del árboles muestreados	Siti o 1 DB <sub>1</sub>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg	Siti o 2 DB <sub>1</sub>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg	Siti o 3 DB <sub>1</sub>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg	Siti o 4 DB <sub>1</sub>	*Peso biomasa kg	*Carbono acumulado kg
1	9	20.34912	9.942581	10	26.86349	13.1255	15	72.98285	35.65942	50	1020.54	498.63
2	8	14.73792	7.200948	12	42.60173	20.8152	19	126.1354	61.62974	10	26.86349	13.1255
3	18	111.4925	54.47523	11	34.28103	16.74971	20	141.6814	69.22554	12	42.60173	20.8152
4	23	193.7386	94.66066	15	72.98285	35.65942	25	232.9592	113.8238	9	20.34912	9.942581
5	33	425.9683	208.1281	17	97.75277	47.762	30	346.8161	169.4544	19	126.1354	61.62974
6	37	544.1489	265.8712	35	483.2523	236.1171	10	26.86349	13.1255	21	158.1306	77.26262
7	42	712.196	347.979	20	141.6814	69.22554	11	34.28103	16.74971	24	212.8973	104.0216
8	50	1020.54	498.63	25	232.9592	113.8238	13	51.8256	25.32199	39	608.6582	297.3904
9	12	42.60173	20.8152	13	51.8256	25.32199	17	97.75277	47.762	13	51.8256	25.32199
10	26	253.9242	124.0674	40	642.2676	313.812	28	298.5638	145.8783	25	232.9592	113.8238
11	35	483.2523	236.1171	30	346.8161	169.4544	15	72.98285	35.65942	20	141.6814	69.22554
12	8	14.73792	7.200948	21	158.1306	77.26262	14	61.95264	30.27006	21	158.1306	77.26262
13	16	84.91623	41.49007		0	0	9	20.34912	9.942581	18	111.4925	54.47523
14		0	0		0	0	19	126.1354	61.62974	26	253.9242	124.0674
15		0	0		0	0	35	483.2523	236.1171		0	0
Producción kg en 400 m <sup>2</sup>		3922.60372	1916.578437		2331.41467	1139.12928		2194.53395	1072.249301		3166.18934	1546.994221
Producción promedio/árbol		301.7	147.42		194.28	93.91		146.3	71.48		226.15	110.49
Total de árboles/sitio	13			12			15			14		
Densidad estimada/ha	325			300			375			350		

DB<sup>1</sup>: Diámetro basal

\*Estimado de la tabla 2 en base al DB

## LITERATURA REVISADA

1. Cantú V. J. , Silva C. F, J., Manzano C. M., Martínez M. J. Curva de desarrollo del rebrote en una población de *Prosopis glandulosa*, bajo aprovechamiento en el Norte de Nuevo León; segunda reunión nacional de innovación agrícola y forestal; septiembre de 2007, Guadalajara Jalisco.
2. Martínez M. J., Cantú V. J., Manzano C. M., Estimación de la sobrevivencia de mezquite (*Prosopis levigata*), en reforestaciones en N. L; segunda reunión nacional de innovación agrícola y forestal; septiembre 2007; Guadalajara, Jalisco.
3. Martínez M. J., Silva. C. FJ., Cantú V. J., Manzano C. M. Estimación de biomasa en una plantación joven de mezquite, *Prosopis levigata*, en Gral. Terán N. L., segunda reunión nacional de innovación agrícola y forestal, septiembre de 2007, Guadalajara, Jalisco.
4. Torres. E. L. M., Cano P. A. Elaboración de tablas de volumen para *Pinus rodís* Ende., y *Abies vegarii*. Var. Macrocarpa mtz., en Sierra de Arteaga Coahuila. SAGARPA. INIFAP- CIR- Noreste; Campo experimental de Sierra de Arteaga; Arteaga Coahuila. Mex. Folleto técnico. Mayo de 1993.
5. Villanueva .D. J; Jasso I. R., González C. G., Sánchez C. J. El Mezquite en la Comarca Lagunera. Alternativas de producción integral para ecosistemas desérticos; INIFAP- CENID –RASPA; Folleto Técnico No. 14, noviembre de 2004, Gómez Palacios , Durango Méx.
6. Primer informe semestral a CONACYT 2006 del proyecto 1400 CONAFOR – CONACYT; Responsable del proyecto. Manzano Camarillo Mario G., Profesor investigador del Centro de Calidad Ambiental del ITESM Campus Monterrey.
7. Segundo informe semestral a CONACYT 2007 del proyecto 1400 CONAFOR – CONACYT; Responsable del proyecto. Manzano Camarillo Mario G., Profesor investigador del Centro de Calidad Ambiental del ITESM Campus Monterrey.
8. Protocolo del proyecto “Desarrollo de metodologías para evaluar la captura de carbono en mezquiales del noreste de México” aprobado en la Convocatoria CONAFOR – CONACYT 2005-02 con la Clave de registro: 14800