

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

BIOMASA AEREA Y POSIBLES EMISIONES DE CO² DESPUES DE UN INCENDIO; CASO DEL BOSQUE “LA PRIMAVERA”, JALISCO, MEXICO

Juan Carlos Castañeda-González; Agustín Gallegos-Rodríguez; Magaly Sánchez-Durán y
Pedro Antonio Domínguez-Calleros

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 1-15.



e-revist@s

BIOMASA AÉREA Y POSIBLES EMISIONES DE CO₂ DESPUÉS DE UN INCENDIO; CASO DEL BOSQUE “LA PRIMAVERA”, JALISCO, MÉXICO

AERIAL BIOMASS AND POSSIBLE CO₂ EMISSIONS AFTER A FIRE; CASE OF THE FOREST “LA PRIMAVERA”, JALISCO, MEXICO

Juan Carlos Castañeda-González¹; Agustín Gallegos-Rodríguez²; Magaly Sánchez-Durán² y Pedro Antonio Domínguez-Calleros³

¹ Ingeniero agrónomo egresado del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara. ²Departamento de Producción Forestal del CUCBA de la Universidad de Guadalajara. ³Facultad de Ciencias Forestales Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Blvd. Durango S/N. col. Valle del Sur C. P. 34120. Durango, Dgo. C.E. pdomingc@hotmail.com.

RESUMEN

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP) es una de las áreas protegidas más importantes del occidente del país, esta zona sufre constantemente grandes daños ocasionados por los incendios, como el suscitado en el año 2005 afectando aproximadamente 11,439 ha, que equivale al 37.5% de la superficie total. El presente estudio se realizó en una área afectada por este incendio, los objetivos fueron; estimar el volumen, biomasa, carbono y CO₂ para *Pinus oocarpa* y *Quercus* spp, especies con mayor peso ecológico en el área. Mediante un sistema de muestreo, se obtuvo una red de 56 sitios circulares de 500 m² (radio de 12.61 m), equidistantes a cada 100 m. En cada sitio, los árboles muertos (en pie o derribados) con por lo menos 7 cm del diámetro a la altura del pecho (DBH) fueron medidos, tomando el área basimétrica como el parámetro principal. . A partir de los datos, se generaron modelos alométricos para estimar el volumen, en función de la medición del DAP. El coeficiente de determinación R² para *Pinus oocarpa* fue 0.87995 siendo el modelo de regresión potencial el que obtuvo mayor ajuste. La valoración de la biomasa fue 40.43 T/ha, que multiplicadas por la fracción del carbón recomendada para las especies estudiadas en esta región equivalen a 20.2 T/ha, dando un valor de 74.1 T/ha del CO₂. En el caso de *Quercus* spp se estimó una R² de 0.87571, ajustándose mejor el modelo de regresión lineal, con un valor promedio por hectárea de 26.5 toneladas de biomasa, que equivale a la estimación del carbono de 13.24 T/ha y a un total de 48.62 T/ha de CO₂ si este fuera emitido a la atmósfera.

Palabras clave: Incendios forestales, carbono, CO₂, modelos alométricos

ABSTRACT

The Area of protection of Flora and Fauna “La Primavera” (APFFLP) is one of the more important protected areas in the western of the Country, and constantly suffers large damage caused by fire, such as the one happened in 2005 when approximately 11,439 ha were affected, equivalent to 37.5% of the total area. This study was conducted in an area affected by fire, where the main goals were: to estimate the timber volume, biomass, carbon and CO₂ of *Pinus oocarpa* and *Quercus* spp species, which have a larger significant value in the ecology of the area. A network of 56 sampling sites was measured; these were 500 m² circular sites (radius 12.61 m), spaced every 100 m. At each site, just dead trees (either cut or standing) with at least 7 cm of diameter at breast height (DBH) were measured, taking the basal area as the main parameter. From the data, allometric models were generated to estimate the volume, depending on the measurement of DBH. The determination coefficient R² for *Pinus oocarpa* was 0.87995 being the exponential regression model the one with the best fit; The valuation of the biomass was 40,43 T/ha, that multiplied by the fraction of the carbon recommended for the species studied in this region is equivalent to 20,2 T/ha, giving a value of 74,1 T/ha of CO₂. In the case of *Quercus* spp it showed a R² of 0.87571, being the linear regression model the best adjusted, with an average of 26.5 T/ha of biomass, meaning a carbon estimation of 13.24 T/ha equivalent to a total of 48.62 T/ha of CO₂ if it were emitted into the atmosphere.

Key words. Forest fires, carbon, CO₂, allometric models.

INTRODUCCIÓN

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP) es una de las áreas protegidas más importantes del occidente del país, constituye un “pulmón” natural de la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. La frecuencia e intensidad de los incendios forestales son una fuerte causa de deterioro de esta zona, siendo particularmente críticos los de 1984, 1987, 1995, 1998, 2005 y 2012, tanto por la superficie afectada como por su intensidad, este último afecto 8, 276 ha, datos

del Gobierno del estado de Jalisco indican que entre 10-20% del arbolado murió como consecuencia del fuego (CNN/ México, 2012).

En la actualidad, la investigación sobre incendios forestales ha cobrado importancia en México y presenta distintos enfoques, entre ellos se contemplan básicamente tres aspectos: a) estudios sobre los efectos del fuego en los ecosistemas forestales, b) actividades de prevención y combate y c) el uso del fuego como herramienta silvícola-pastoril (Villers y López, 2004). El efecto inmediato de los incendios es la reducción de las funciones que cumplen las áreas afectadas (producción, protección o recreación), otra consecuencia del fuego es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas que resultan de la combustión de biomasa. Estos gases liberados contribuyen al calentamiento global, desencadenando en forma gradual un cambio climático a nivel planetario (Castillo *et al.*, 2003). En Áreas Naturales Protegidas, los estudios que incluyan las pérdidas económicas de madera y la producción y liberación de gases con efecto invernadero (GEI), son poco abordados, o realizados en forma aislada. En el APFFLP, se han efectuado trabajos para calcular el volumen en pinos y encinos utilizando modelos de regresión lineal (Gallegos 1997 y Rodríguez 1998). Sin embargo, no se tienen antecedentes de trabajos que estimen el volumen de los árboles utilizando ecuaciones alométricas, es decir mediciones provenientes de datos obtenidos de muestreos directos. Para este trabajo se tomaron los datos del incendio de 2005 (CONANP 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde al paraje denominado “El Pedernal Grande”, ubicada en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera que se sitúa en las coordenadas geográficas $103^{\circ} 28'$ a $103^{\circ} 42'$ de longitud Oeste, y $20^{\circ} 37'$ a $20^{\circ} 45'$ Latitud Norte, en la región central del estado de Jalisco. Su altura varía desde los 1300 a 2300 msnm, abarca una superficie de 30, 500 ha, Figura 1.

Área de Muestreo

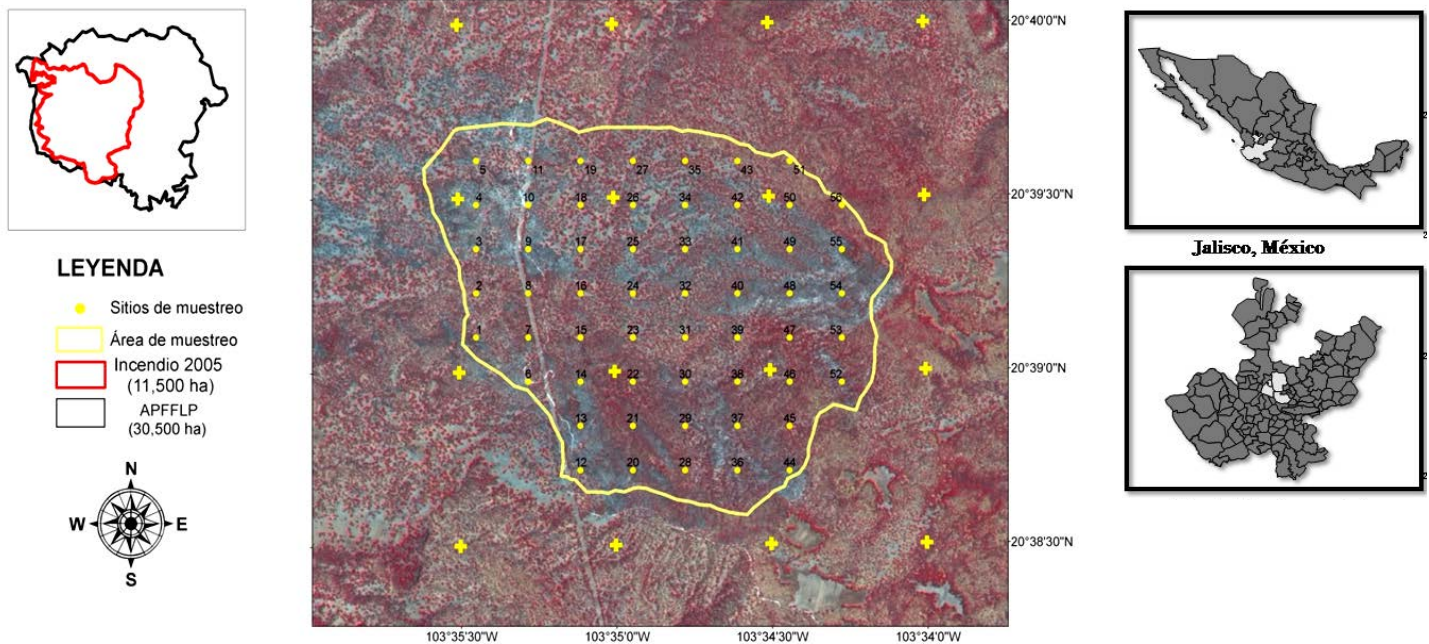


Figura 1. Ubicación del APFFLP en Jalisco, México y los sitios de muestreo en forma sistemática.

Según la clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1988), en el área se registran dos climas: templado subhúmedo S(w1)(w) y semicálido subhúmedo (A)C(w₁)(w), ambos con lluvias en verano e invierno con precipitaciones anuales que fluctúan entre 800 y 1,000 mm, considerando que las precipitaciones invernales son del orden de 5% de la precipitación total. La temperatura media anual es de 20.6° C, siendo el mes más frío enero y el más cálido junio (SEMARNAT, 2000).

El APFFLP se asienta sobre la Sierra La Primavera, la cual se ubica en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, que se caracteriza por manifestaciones recientes de vulcanismo explosivo (Curiel, 1994).

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO (1988), las unidades de suelo que constituyen el APFFLP están representadas por regosol (92%) y litosol (8%), resultantes ambos del intemperismo. Según la clasificación de Rzedowski (1983) la vegetación dominante en el área está compuesta por cuatro tipos, de los cuales en este trabajo son de interés, por su afectación los bosques puros o mezclados que presentan *Quercus* y *Pinus*. Los bosques de pinos son asociaciones siempre verdes con elementos de 3 a 20 m de alto como estrato arbóreo, además de estratos arbustivos y leñosos. El estrato arbóreo está representado por dos especies de pino: el ocote (*Pinus oocarpa*), es el más frecuente y el ocote escobeton (*Pinus devoniana*), el menos abundante es el ocote douglas (*Pinus douglasiana*). La comunidad de encinos se encuentra en gran parte de la sierra La Primavera ya sea pura o formando asociaciones con el bosque de pino y con el bosque tropical caducifolio. La fisonomía del bosque de encino se presenta de forma cerrada a ligeramente abierta y presenta un estrato arbóreo, uno arbustivo y un herbáceo bien definido. En el estrato arbóreo, las principales especies son: los robles de hoja ancha *Quercus resinosa*, *Q. coccolobifolia*, *Q. obtusata*, *Q. rugosa* y *Q. magnoliifolia*, entre otros. Entre los encinos de hoja angosta se pueden citar: *Quercus castanea*, *Q. viminea* y *Q. gentryi* (Reyna, 2004).

Metodología

Con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG), sobre una ortofoto del año 2002 previo al incendio se delimitó el área de muestreo tomando como referencia la cobertura forestal, ya que la zona presentaba desde un 80% a un 100% de cobertura de copa.

Sistema de muestreo

Se realizó un pre-muestreo y con apoyo de un Sistema de Geoposicionamiento Global (GPS) se establecieron 15 sitios circulares de 500 m² con un radio de 12.61 m de manera sistemática, con espaciamiento de 100 m entre sitios, donde se midieron todos los árboles muertos a causa del incendio, tanto derribados como en pie a partir de 7 cm de DAP. Tomando como parámetro principal el área basal, posteriormente se estimó el tamaño de muestra empleando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 * CV\% ^2}{S\bar{x}\% ^2}$$

Donde:

n = Número de sitios de muestreo

t = t de student

$CV\%$ = Coeficiente de variación

$S\bar{x}\%$ = Error estándar porcentual

Sustituyendo datos:

$$n = \frac{2.064^2 * (18.2)^2}{5^2} = 56.4 \text{ sitios}$$

A partir de esta fórmula se obtuvo un total de 56 sitios.

Muestreo

Para la obtención de las muestras se delimitó una subárea de 100 ha, tomando como criterio la presencia de cobertura forestal previo al incendio, por la alta densidad que presentaba.

Bajo un diseño de muestreo sistemático, se obtuvo una red de 56 sitios circulares de 500 m² (radio de 12.61 m), equidistantes a cada 100 m de longitud entre sitios (Figura 1).

Medición de árboles muertos

a) **Árboles en pie:** Para la obtención del volumen se midió de cada árbol los siguientes parámetros:

- Diámetro a la altura del pecho (DAP) 1.30 m sobre el nivel del suelo.
- Altura total

b) **Árboles derribados por el fuego:** En el caso de árboles derribados se tomaron las siguientes mediciones:

- Diámetro a 30 cm a partir de la base
- Medición de secciones a cada 2 m
- ✓ número de sección
- ✓ largo (L) de la sección
- ✓ diámetro (D) en la base de la sección

✓ diámetro (d) en la punta de la sección

Cuadro 1. Fórmulas de cubicación.

1	Huber (Tocón)	$V = D^2 * 0.7854 * L$	Dónde: D ² = Diámetro al cuadrado (0.30 m sobre el nivel de suelo) L = Longitud
2	Smalian (Trozas)	$V = \frac{B + b}{2} * L$	Dónde: $B = \frac{\pi}{4} * D^2$ B = superficie en la base de la troza $b = \frac{\pi}{4} * d^2$ b = superficie en la punta de la troza L = Longitud
3	Cono (Punta)	$V = \frac{D^2 * 0.7854}{3} * L$	Dónde: D ² = Diámetro al cuadrado L = Longitud

La medición de los diámetros se realizó cada 2 m a lo largo del fuste principal, a partir del DAP hasta un diámetro mínimo de 10 cm.

Cubicación del arbolado

Cada sección del árbol fue cubicada, para ello se utilizaron las fórmulas matemáticas que se indican en el Cuadro 1.

La suma de los volúmenes individuales de cada una de las secciones (Tocón, trozas y punta) arroja como resultado el volumen total en (m³).

Análisis de regresión

Para estimar el volumen total de madera muerta se utilizó el método alométrico el cual se basa en ecuaciones matemáticas y parámetros dasométricos.

Para ambas especies se probaron modelos de regresión simple (lineal, potencial, exponencial y logarítmica) para correlacionar el volumen con el DAP.

La selección de la ecuación de regresión que mejor estima el volumen se basó en el modelo que presentó mayor coeficiente de determinación.

Estimación de biomasa

Para la estimación de biomasa se utilizó la metodología sugerida por Torres y Guevara (2002), basada en modelos matemáticos para diferentes tipos de bosques en México y se calcula a partir del volumen, según la fórmula siguiente:

$$\text{Biomasa seca (kg)} = (b_0) + [(b_1) \text{ Volumen (m}^3\text{)}] \quad (1)$$

Se utilizan los siguientes valores, de acuerdo al tipo de bosque (Cuadro 2):

Cuadro 2. Estimadores para obtener biomasa a partir del volumen.

Tipo de bosque	b ₁	b ₀	
	<i>Estimador</i>	<i>Estimador</i>	<i>R²</i>
Coníferas	723,579	-175.492	0.994
Latifoliadas	506,523	0.17	0.969

La estimación de la biomasa corresponde a la contenida en el fuste (tronco) y se excluye la de ramas y follaje; para incorporar estos componentes y obtener la biomasa total árbol (fuste, ramas y hojas), se utiliza un Factor de Expansión de Biomasa (FEB) que depende de las condiciones que se presenten (Alpizar, 1997).

- Si el valor de la biomasa es menor a 190 T/ha el FEB está dado por la ecuación:

$$\text{FEB} = \exp [3.213 - 0.506 \cdot \ln(b)] \quad (2)$$

Donde:

FEB = Factor de Expansión Biomasa

exp = exponente

ln = logaritmo natural

b = biomasa

- Si el valor de biomasa es mayor o igual a 190 ton/ha, el FEB es 1.74.

Para obtener la biomasa total árbol, se multiplica la biomasa por el FEB.

El resultado se comparó con modelos para estimar biomasa en bosques secos de pino y encino (ecuación 3) de México (Brown, 1997) y para el norte del estado de Chiapas (González, 2008), para pinos (ecuación 4) y para encinos (ecuación 5), estos se muestran enseguida.

$$\text{Brown (1997)} \quad B_t = 10^{(-0.535 + \text{LOG}(AB, 10))} \quad (3)$$

$$\text{González (2008)} \quad B_t = -10.4113 + 5.3998 \cdot \text{DAP} + 0.8144 \cdot \text{DAP}^2 \quad (4)$$

$$B_t = 0.1269 \cdot \text{DAP}^{2.5169} \quad (5)$$

Donde:

B_t = Biomasa total

DAP = Diámetro a la altura del pecho

Los resultados obtenidos por cada modelo se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) de un factor (Triola, 2009).

Estimación de carbono

La estimación del carbono almacenado se realizó a partir de la biomasa total árbol, multiplicados por la fracción de carbono FC = 0.5 (IPCC, 1996).

$$\text{Cat} = B_s \cdot F_c \quad (6)$$

Donde:

Cat = Carbono almacenado total

Bs = Biomasa

Fc = Fracción de carbono (0.5) recomendada por la (IPCC, 1996).

Estimación de emisiones de CO₂

Para estimar la emisión de CO₂ por árbol, este equivale a 3.67 veces el peso del carbono según la IPCC (2004). Es decir una tonelada de carbono fijada en un árbol equivale a capturar 3.67 toneladas de CO₂.

RESULTADOS

Resultados dasométricos

Los datos silvícolas generales del área de estudio indican que en los 56 sitios de muestreo se obtuvo un promedio de 536 árboles/ha, 10.10 m² de AB/ha y un promedio de 27 árboles por sitio de ambas especies (*Pinus oocarpa* y *Quercus spp*). El 41% del área basal pertenece a *Pinus oocarpa*, estos arboles tienen una edad entre 35 y 40 años, la categoría diamétrica más frecuente fue la de 15 cm (figura 2).

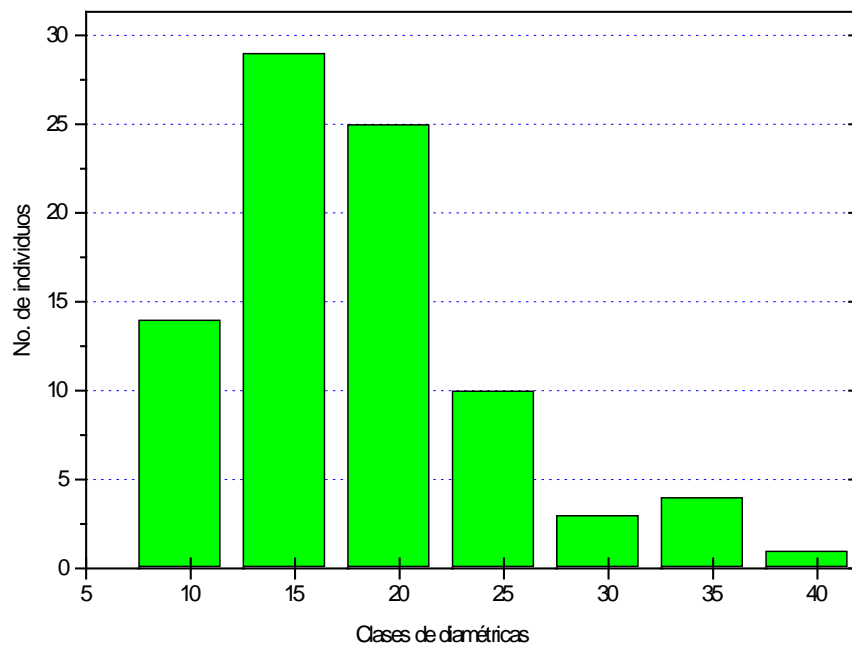


Figura 2. Relación de individuos por clase diamétrica para *Pinus oocarpa*

Estimación de volumen en *Pinus oocarpa*

En el Cuadro 3 se encuentran los modelos de regresión simple probados para correlacionar el volumen con el DAP, este último como variable independiente, el modelo potencial fue el de mejor ajuste con una R² de 0.879. Se obtuvo un volumen promedio de 31.507 m³/ha, incluyendo tanto los árboles derribados como de aquellos medidos en pie; con un volumen promedio por árbol de 0.170 m³.

Cuadro 3. Ecuaciones alométricas para la estimación de volumen de *Pinus oocarpa*.

Ecuación	Modelo de regresión	R ²
$y=a+x^b$	Lineal	0.83619
$y=a*x^b$	Potencial	0.87995
$y=a*\exp(b*x)$	Exponencial	0.82571
$y=a+b*\log^*(x)$	Logarítmica	0.72354

En la Figura 3, se presenta la ecuación de forma gráfica que relaciona las variables DAP y volumen. La distancia vertical entre los puntos y la línea indican la variabilidad y la ubicación de los puntos respecto a la línea (Segura y Andrade, 2008). Por lo tanto el modelo seleccionado es el de mejor ajuste, no se observa una gran dispersión en la distribución de los datos.

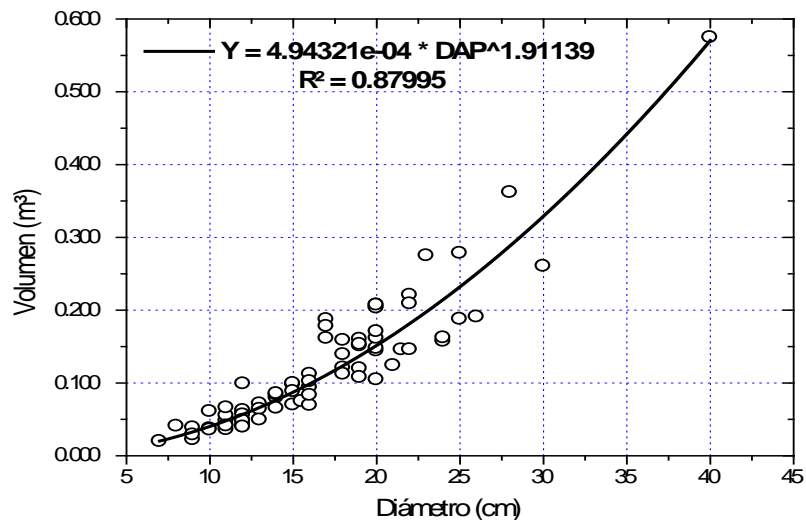


Figura 3. Representación gráfica de la relación diámetro – volumen de *Pinus oocarpa*.

$$Y=0.000494321 (\text{Dap})^{1.91139}$$

Donde:

Estimación de biomasa en *Pinus oocarpa*

En el Cuadro 4 se muestran los modelos utilizados para la cuantificación de biomasa, se observa que los promedios y las desviaciones estándar en los dos primeros modelos no varían mucho, el modelo de Torres y Guevara (2002) presento el mejor ajuste, además el resultado de análisis de varianza efectuado señala diferencias altamente significativas $P < 0,5$, por lo que se opto utilizarlo en este estudio.

Cuadro 4. Biomasa promedio en *Pinus oocarpa* con diferentes modelos.

BIOMASA <i>Pinus oocarpa</i> (Kg)				
AUTOR	MODELO	N	Promedio	Desviación estándar
Torres y Guevara (2002)	$(Kg) = (-175.492 + (723,579) \text{ Volumen (m}^3))$	518	218.5	79.1
Brown (1997)	$B_t = 10^{(-0.535 + \text{LOG} * AB, 10)}$	518	230.0	87.2
González (2008)	$B_t = -10.4113 + -5.3998 * DAP + 0.8144 * DAP^2$	518	337.9	174.7

En este trabajo la biomasa fue estimada solo para la parte aérea (fuste, ramas y hojas), esta se calculo en 40.4 T/ha.

Estimación de carbono y CO₂ en *Pinus oocarpa*

La estimación del carbono almacenado en árboles individuales se realizó a partir de los datos de biomasa con el modelo de Torres y Guevara (2002) se calcularon 20.2 T/ha de carbono, que equivale a 74.1 T/ha de CO₂ emitido a la atmósfera (Cuadro 54); en todos los cálculos se originaron altas variaciones en los valores máximos y mínimos, repercutiendo esto en elevadas desviaciones estándar.

Cuadro 5. Valores promedio de Biomasa, Carbono y CO₂ (T/ha) para *Pinus oocarpa*.

<i>Pinus oocarpa</i>	Biomasa T/ha	Carbono T/ha	CO₂ T/ha
Promedio	40.4	20.2	74.1
Mínimo	15.1	6.2	27.7
Máximo	135	67	247.7
Desviación estándar	14.6	6	29.5

Se contabilizaron 351 arboles/ha del género *Quercus*, estos ocuparon el 59% del área basal en los sitios, se trata de arboles más delgados que los pinos, la categoría diamétrica mas frecuente fue la de 15 cm (figura 4).

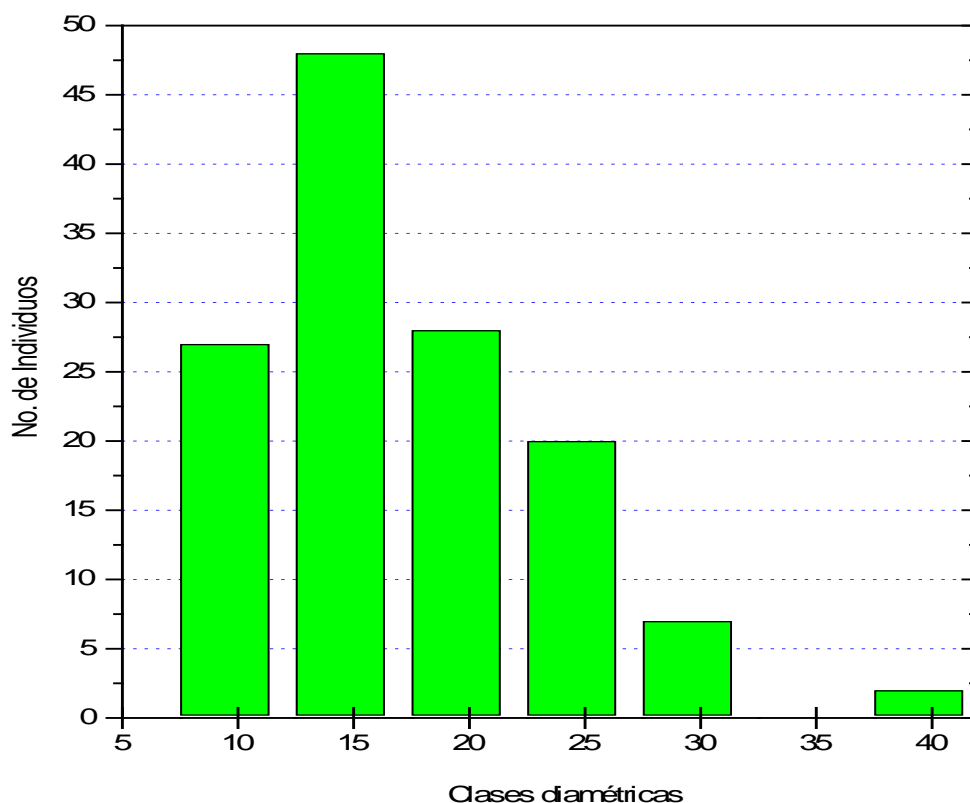


Figura 4. Relación de individuos por clase diamétrica *Quercus* spp.

Para la construcción de la tabla volumétrica se empleó la misma metodología que la de *Pinus oocarpa*, se probaron varios modelos de regresión simple para correlacionar el volumen con el DAP, resultando con el mejor ajuste la ecuación lineal con una R^2 de 0.875 (Cuadro 6), el volumen calculado fue de $7.5 \text{ m}^3/\text{ha}$ y un volumen promedio por árbol de 0.021 m^3 .

Cuadro 6. Ecuaciones alométricas para la estimación de volumen de *Quercus* spp.

Ecuación	Modelo de regresión	R^2
$y=a+b*x$	Lineal	0.87571
$y=a*x^b$	Potencial	0.86907
$y=a*\exp(B*X)$	Exponencial	0.83228
$y=a+b*\log*(X)$	Logarítmica	0.78504

Una vez seleccionado el modelo de mejor ajuste, se graficaron los valores estimados de los árboles muestreados, esto se ilustra en la Figura 5, en la que se relacionan las variables diámetro y volumen, para el rango de dimensiones encontradas en el área de estudio.

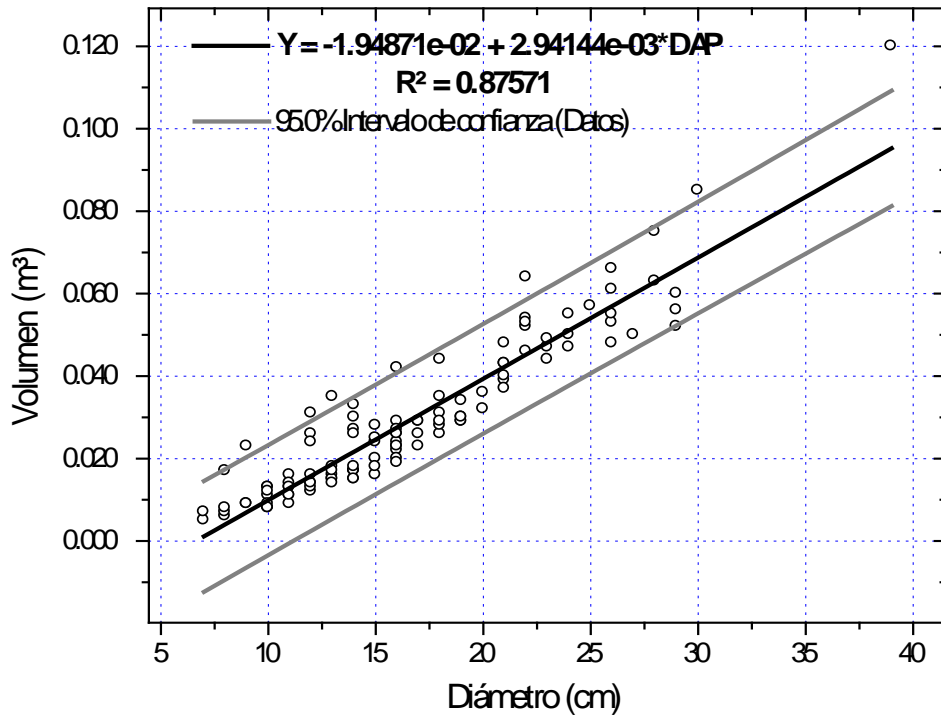


Figura 5. Representación gráfica de la relación diámetro – volumen de *Quercus* spp.

$$Y = -0.00194871 + 0.000294144 (Dap)$$

Donde:

Estimación de biomasa en *Quercus* spp.

La estimación de biomasa para *Quercus* spp. se desarrolló de la misma forma que para *Pinus oocarpa*. El Cuadro 7 contiene los modelos probados, en este se observa que el modelo de Torres y Guevara (2002) muestra el valor más bajo en la desviación estándar. Además el resultado del análisis de varianza indica diferencias altamente significativas $P < 0.05$, por lo que se concluye, que es el modelo que presenta mejor ajuste en la zona de estudio.

Cuadro 7. Biomasa promedio en *Quercus* spp. con diferentes modelos.

BIOMASA <i>Quercus</i> spp. (Kg)				
AUTOR	MODELO	n	promedio	Desviación estándar
Torres y Guevara (2002)	(Kg) = (0.17 + (506,523) Volumen (m³))	983	75.5	28.5
Brown (1997)	$Bt = 10^{(-0.535 + \text{LOG} * AB, 10)}$	983	161.8	60.8
González (2008)	$Bt = 0.1269 * DAP^{2.5169}$	983	241.8	117.2

Estimación de carbono y CO₂ en *Quercus* spp.

El Cuadro 8 muestra la producción de biomasa, solo en la parte aérea (fuste, ramas y follaje), carbono y CO₂ de los arboles del genero *Quercus* estimada a partir del modelo de Torres y Guevara (2002); las altas variaciones en los valores mínimo y máximo originaron que las desviaciones estándar fueran también muy elevadas.

Cuadro 8. Valores promedio de Biomasa, Carbono y CO_2 (T/ha) para *Quercus* spp.

<i>Quercus</i> spp.	Biomasa T/ha	Carbono T/ha	CO_2 T/ha
Promedio	26.5	13.24	48.6
Mínimo	2.9	1.47	5.41
Máximo	59.6	29.8	109.4
Desviación estándar	10	5	18.3

DISCUSIÓN

- Resultados dasométricos

La densidad puede expresarse por el número de árboles y el área basal por unidad de superficie (Hawley y Smith, 1982). Considerando estos parámetros, el sitio en estudio se trata de una comunidad donde los arboles del género *Quercus* tienen una mayor presencia, aunque el volumen (m^3/ha) de los arboles del género *Pinus* es muy superior, 80% del total estimado. La distribución de frecuencias de las categorías diamétricas de los dos géneros (Figuras 2 y 4) adoptan la forma de “J” invertida típica en bosques no intervenidos silvícolamente, como es el caso del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (CONANP, 2007). Lo anterior es la causa de que los valores de densidad para los géneros *Pinus* y *Quercus* en este estudio sean superiores a los reportados por Gallegos (1997) en un predio cercano a este sitio. Esto comprueba que la no intervención silvícola bajo un adecuado programa de manejo favorece la acumulación de material combustible ocasionando la frecuencia e intensidad de incendios en el área.

- Estimación de volumen, biomasa y carbono almacenado. En el presente trabajo se tomó como árboles muestra a individuos muertos por el fuego. Se muestrearon en total 1501 árboles entre pinos y encinos, del género *Pinus* se midieron en total 518 árboles y del género *Quercus* 983, para ambos casos el valor de $R^2 = 0.87$ en el cálculo del volumen resultado en este estudio fue superior al reportado por Gallegos (1997) quien utilizó para los mismos géneros un modelo de regresión exponencial y árboles vivos, las muestras fueron tomadas en un sitio de menor densidad de arbolado ubicado fuera del APFFLP. La cantidad de biomasa almacenada en los rodales estudiados en este sitio puede verse favorecida debido a la mayor densidad de la madera, lo que las hace especies más pesadas (Rodríguez et al., 2006). Díaz-Franco et al. (2007) señalan que para determinar la biomasa y carbono en *Pinus patula* en la región Chignahuapan-Zacatlan en Puebla, resulta altamente confiable la medición del diámetro a 1.3 m (DN), estos autores utilizaron muestras de arboles vivos y con un mayor rango (5 - 65 cm) en las categorías diamétricas que las de este trabajo, esto resulto también en un mayor valor de R^2 . En rodales con predominancia de *Pinus oocarpa* en Chiapas, se estimaron 71 T/ha de carbono lo que representaría 260.57 T/ha de CO_2 (González, 2008). La cantidad de biomasa y carbono almacenado en *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango reportado por Pimienta et al. (2007) fue de 98.1 y 51.1 T/ha, respectivamente, estos investigadores emplearon modelos matemáticos de Sanquetta, et al. (2002), los cuales consideran parámetros como el diámetro a 1.3 m (DAP), altura y densidad de la madera.

Rodríguez et al. (2009) señalan que en la reserva de la biosfera El Cielo en Tamaulipas *Quercus germaena* produjo 17.3 T/ha de biomasa. Esta cantidad es inferior a la estimada para *Quercus* en el sitio, consecuencia de la mayor densidad de la madera de esta especie (Rodríguez, 2009). Lo anterior concuerda con Novoa et al. (2006), quienes calcularon un promedio de 28.5 t/ha de carbono en arboles vivos de *Quercus* un estudio realizado en el APFFLP.

Para estimar el contenido de carbono en las especies vegetales se emplea la biomasa multiplicando su valor por un factor que, dependiendo de la especie, es diferente en cada caso (Zamora, 2003;

Fragoso 2003, Garzuglia y Zaket 2003). De acuerdo a MacDicken (1997) tomado de Rodríguez et al. (2009), mencionan que un 15% de la biomasa total corresponde a la raíz en bosques de Chile. Cairns et al. (1997) señalan para distintos lugares del mundo entre 0.20 y 0.30 de raíz/tallo, es decir 20 a 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea (fustes, ramas y hojas). En este estudio solo se considero la biomasa aérea, por lo que la biomasa total se puede incrementar hasta un 20% del valor dando como resultado en este estudio 72 T/ha, este valor concuerda con el rango de producción de carbono para Áreas Naturales Protegidas en México (Maser, 1995). Sin embargo, es inferior al reportado por (Rodríguez et al., 2009) quienes estimaron 219.3 T/ha en el bosque de pino encino de la Reserva de la Biósfera El Cielo en Tamaulipas, México.

CONCLUSIÓN

El modelo alométrico para estimar el volumen en *Pinus oocarpa* se obtuvo por medio de una ecuación potencial, dando como resultado la ecuación $Y=0.000494321 (DAP)^{1.91139}$ con promedio de 31.507 m³/ha y 0.170 m³/árbol.

Para *Quercus* spp., el mejor ajuste resultó del modelo alométrico con forma lineal, $Y= -0.019487+0.00294144*DAP$ con un promedio de 7.536 m³/ha y 0.021 m³/árbol.

Cabe destacar que ambas ecuaciones consideran una sola entrada (DAP) parámetro accesible y de fácil aplicación en campo. Las ecuaciones resultantes con coeficientes de determinación confiables, son significativas para ambas especies. La cantidad de biomasa para *Pinus oocarpa* y *Quercus* spp., se considera bajo en el APFFLP, en comparación con otros estudios, probablemente se deba al genotipo y fenotipo del arbolado y al escaso nivel productivo forestal que presenta la zona.

La cuantificación de carbono en el presente trabajo, indica que para abril de 2005 las dos especies predominantes del APFFLP contenían un aproximado de 66.9 T/ha, valor estimado durante la descomposición del arbolado por el incendio forestal ocurrido. El resultado de CO₂ fue de 122.5 se considera como un valor, sumidero perdido para ese año.

LITERATURA CITADA

- Alpizar W. 1997. **Proceso metodológico para la cuantificación de carbono de la biomasa en pie en bosque natural y sus estimaciones de no emisiones y fijación.** Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC). Versión en mimeógrafo, sin numeración de páginas.
- Brown S. 1997. **Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono.** Anktara Turquía: Congreso Forestal Mundial. pp. 107-121.
- Cairns M., S. Brown, Helmer E. and G. Baumgardner 1997. **Root biomass allocation in the worlds unplant forest.** Oecologia 111:1-11.
- Castillo M., P. Pedernera y E. Peña. 2003. **Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global.** Revista ambiente y desarrollo de CIPMA. XIX (3 y 4): pp 44-53.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2007. **Programa de Conservación y Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera** (En Prensa - 2do. Borrador Preliminar No oficial) 159 p.
- CNN/México. 2012. **El incendio en La Primavera está "totalmente apagado", afirma Calderón.** En Línea: <http://cnn.mx/n00121>. Mayo 2012.
- Curiel B. A. 1994. **Programa de manejo del Bosque La Primavera.** Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp 16-36.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Ansures, E. Buendia-Rodríguez, E. Flores-Ayala y J.D. Etchevers-Barra, 2007. **Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham.** Madera y Bosques 13(1):25-34.

- FAO/UNESCO. 1988. **Soil Map of the World, Revised Legend**. Roma. Report 60. 119 p.
- Fragoso L.P.I. 2003. **Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro, Michoacán**. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 47 p.
- Gallegos R. A. 1997. **Erfassung und Herleitung von planungsrelevanten Relief-und Vegetationsparameter mit Hilfe von terrestrischen und aerophotogrammetrischen Methoden unter Verwendung eines Geografischen Informations system: Model studie am Beispiel des Lehrwaldes der Universtat Guadalajara/Mexiko**. Tesis doctoral de la Universidad de Gottingen, Alemania. 157 p.
- García E. 1987. **Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)**. Offset Larios, México, D.F.
- Garzuglia, M. y M. Zaket. 2003. **Wood volumen and woody biomass**. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. 30 p.
- González Z. M. 2008. **Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del estado de Chiapas, México**. Tesis Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 81 p.
- Hawley, R.C.; Smith, D.M. 1982. **Silvicultura práctica**. Ediciones Omega S.A. Barcelona.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook and Reference Manual Revised Versión 1996. UNEP, WMO. Módulo (1, 4, 5).
- IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. 2004. **Directrices para la Elaboración de los Informes Nacionales destinados al FRA 2005**. Anexo 5, tablas 3A.1.8, 3.2.2, 3.2.1 y 3.2.4.
- Masera O. 1995. **“México y el cambio climático global: El papel de la eficiencia energética y alternativas de manejo forestal en la reducción de emisiones de bióxido de carbono”**. En: J. J. Jardón (ed.. Energía y medio ambiente: Una perspectiva económico-social. Plaza y Valdés Editores, México pp 157-177
- Novoa L. A., A. Gallegos R., E. Hernández A., R. Villavicencio G., y A. L. Santiago P. 2006. **Estimación de captura de carbono en la biomasa aérea del Bosque la Primavera, Jalisco, México**. Memorias del IV Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba. Memorias en extenso. ISBN 959-16-0408-4 (2006)
- Pimienta De la Torre, D.J., G. Domínguez Cabrera, O. Aguirre Calderón, F. Javier Hernández y J. Jiménez Pérez. 2007. **Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco en Pueblo Nuevo, Durango**. Madera y Bosques 13(1):35-46.
- Reyna B. O. F. 2004. **Guía Ilustrada de los Árboles y Arbustos del Bosque La Primavera, Universidad de Guadalajara**. Departamento de Ciencias Ambientales. Guadalajara, Jalisco, México 117 p.
- Rodríguez R. A. 1998. **Desarrollo de un sistema matemático en la elaboración de planes de manejo sostenible en la Sierra La Primavera, Jalisco, México**. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N. L., México
- Rodríguez L. R., J. Jiménez P., Ó. A. Aguirre C., E. J. Treviño G. y R. Razo Z. 2009. **Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas, México**. Revista Ra Ximhai 5(3): 317-327
- Rzedowski. 1983. **Vegetación de México**. Ed. Limusa. México pp 57-269.
- Segura M. y H. J. Andrade. 2008. **¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?**. Agroforestería en las Américas No. 46, pp 89-96.
- Sanquetta C.,R.,L. Farinha W. y J.E. Arce. 2002. **Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el sur del Estado de Paraná Brasil**. Patagónica Forestal. Revista forestal del sur argentino. 13 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2000. **Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera**. Conanp. México, D. F. pp 15-20.
- Torres R. J. M. y A. Guevara S. 2002. **El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico**. 20 p.
- Triola F. M. 2009. **Estadística**. Décima edición, Pearson Educación, México, 2009 ISBN: 978-970-26-1287-2 Área Matemáticas 904 p.

- Villers R. L. y J. López B. 2004. **En Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán de La Malinche.** In: Villers R. L. y J. López B. (Ed.) Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. México, D. F. pp 61-78.
- Zamora C., J.C. 2003. **Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” municipio de Peribán de Ramos, Michoacán.** Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 47 p.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. José Ciro Hernández Díaz del ISIMA-UJED por su excelente colaboración en la redacción de este trabajo.

Juan Carlos Castañeda-González

Ingeniero agrónomo egresado del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara.

Agustín Gallegos-Rodríguez

Departamento de Producción Forestal del CUCBA de la Universidad de Guadalajara.

Magaly Sánchez-Durán

Departamento de Producción Forestal del CUCBA de la Universidad de Guadalajara.

Pedro Antonio Domínguez-Calleros

Facultad de Ciencias Forestales Universidad Juárez del Estado de Durango. Rio Papaloapan y Blvd. Durango S/N. col. Valle del Sur C. P. 34120. Durango, Dgo. C.E. pdomingc@hotmail.com.