

ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL DEL PARQUE NACIONAL MALINCHE: TLAXCALA - PUEBLA

Fabiola Rojas-García¹ y Lourdes Villers-Ruiz²

RESUMEN

Con el fin de estimar la biomasa arbórea del Parque Nacional Malinche se elaboró un mapa de las comunidades vegetales del volcán. El procesamiento cartográfico se realizó en un SIG y se basó en la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas (escala 1:25,000). Se identificaron diez comunidades vegetales, se utilizaron los inventarios forestales de 15 parcelas de monitoreo permanente de 1 ha, y se calculó el valor de importancia como el determinante de la composición vegetal. *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*, presentaron los máximos valores de dominancia, frecuencia e importancia, en las parcelas de monitoreo permanente. Para estimar la biomasa de los árboles en pie de cada parcela se aplicaron ecuaciones volumétricas convencionales y se calculó el valor específico de la densidad de la madera para las cinco especies. Se calculó la biomasa de las comunidades vegetales del parque en función de la composición vegetal, la talla y la densidad de árboles. Los valores por hectárea fueron extrapolados a la superficie de cada comunidad vegetal. La superficie forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha y ahí se almacenan 4,881,685 t de biomasa, magnitud muy importante que puede verse alterada en pocos años. Por ello deben ofrecerse alternativas a las comunidades locales, para que desarrollen acciones congruentes con la categoría actual del ANP, y favorecer así la conservación de sus recursos naturales.

Palabras clave: Biomasa, composición florística, densidad de la madera, ecuaciones volumétricas, inventario forestal, Parque Nacional Malinche.

Fecha de recepción: 31 de enero de 2008.

Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2008.

¹ Facultad de Ciencias, UNAM. Correo-e: fabiosxto1981@yahoo.com.mx

² Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

ABSTRACT

In order to estimate the forest biomass of Malinche National Park, a map of plant communities of the volcano was designed, the cartographic processing was made through GIS and it was based upon the photo-interpretation of 32 aerial photographs (scale 1:25,000). Ten plant communities were identified, forest inventories of 15 permanent 1 ha-plots were used and the importance value to determine vegetation composition was calculated. *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* and *Alnus jorullensis* showed the maximum dominance, frequency and importance values in the plots. To assess the biomass of the trees of each plot, conventional volumetric equations were used and the specific gravity of the five species was obtained. The biomass assessment of the plant communities of the park was supported by the vegetal composition, size and tree density. Biomass per hectare values were extrapolated to the area of each plant community. The forest surface of the National Park Malinche is 20,607 ha, where 4,881,685 t are stored biomass, which a great amount, a condition that might change throughout the years. Thus, options to develop activities accordant with the category of the NPA must be offered to the local people, which, in the end, will favor the conservation of natural resources.

Key words: Biomass, floristic composition, specific gravity, volumetric equations, forest inventories, Malinche National Park

INTRODUCCIÓN

La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de las interacciones entre diversos ciclos biogeoquímicos, particularmente el ciclo del carbono (C), los ciclos de nutrientes y el ciclo hidrológico, que pueden resultar alterados por la intervención del hombre. Los sistemas ecológicos de la tierra, por medio de los cuales el C queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, desempeñan un papel importante en su ciclo global (IPCC, 2007).

Las actividades humanas han modificado y continúan modificando los flujos naturales del ciclo global de este elemento. Se tiene evidencia que en la década de los noventa aumentaron las emisiones de carbono a la atmósfera debido al cambio de uso de suelo (Houghton, 2003). Por ejemplo, la deforestación reportada a nivel nacional para mediados de la década de los años ochenta fue de 670 mil ha/año, 170 mil correspondieron a bosque templado y 500 mil a bosques tropicales o semitropicales (Masera *et al.*, 1997).

En México existen condiciones propicias para promover la conservación y el manejo de los bosques naturales, la reforestación y el estímulo para la creación de sistemas agroforestales, actividades que se observan como alternativas para mitigar las emisiones de Gases de Efecto de Invernadero. Se han realizado

numerosas estimaciones del almacenamiento de C en bosques, donde se utiliza la información de los inventarios forestales que contabilizan la biomasa a partir de datos medidos en campo como altura del árbol y diámetro a la altura del pecho (Escandón *et al.*, 1999; Ordóñez *et al.*, 2001; Acosta *et al.*, 2002; Fragoso, 2003; Peña del Valle, 2003; Rojo *et al.*, 2003; Zamora, 2003; Monroy y Návar, 2004; Rojas, 2004; Castañeda *et al.*, 2005; Pineda *et al.*, 2005; Rojo *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2006; Rojas, 2008). Estos estudios tienen como fin último la incorporación de sus resultados en las negociaciones internacionales, programas gubernamentales y organizaciones civiles frente al cambio climático.

El Parque Nacional Malinche ha sido una zona ampliamente abordada desde el punto de vista físico-ambiental (Gómez, 2002; Peña del Valle, 2003; Rojas, 2004; Wong, 2005; Castillo, 2006; Castro, 2007). Esta Área Natural Protegida (ANP) cuenta con un Plan de Manejo Integral que plantea poco cambio en el uso de suelo y una extracción controlada de recursos forestales, programas estatales de reforestación y vigilancia para la detección de incendios.

El objetivo del presente trabajo consistió en estimar la biomasa forestal del Parque Nacional Malinche, por tipo de comunidad vegetal con el uso de ecuaciones volumétricas, evaluación especialmente interesante pues al tratarse de una ANP se promueve que el carbono almacenado en la biomasa de sus bosques se conserve a largo plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el volcán la Malinche, que fue decretado Parque Nacional desde 1938. Tiene una superficie total de 46,095 ha, alcanza una altitud de 4 461 m y se distribuye en parte de los estados de Tlaxcala y Puebla. Se localiza entre los 19°06'04" y 19°20'06" latitud Norte y 97°55'41" y 98°10'52" longitud Oeste.

Los suelos proceden de cenizas volcánicas de andesita de hornblenda, que presentan un proceso de andosolización (Castro y Siebe, 2007). Según la clasificación de Köppen modificado por García (1973), en esta zona rige un tipo de clima templado subhúmedo.

El gradiente altitudinal, las diferentes condiciones de suelo y clima, la orientación de la ladera y las grandes barrancas derivan en la distribución de distintos tipos de bosque en la Malinche. Las comunidades vegetales forman intrincados mosaicos y a menudo se organizan en asociaciones, condición que dificulta la fotointerpretación y cartografía precisa (Rojas, 2008).

Mapa de vegetación

Se elaboró un mapa de las comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche. Se efectuó la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas tomadas en 2001, a escala 1:25,000 (SECODUVI, 2001), basada en los criterios propuestos por Ayala (1995).

El procesamiento cartográfico de la información se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica ILWIS (Integrated Land and Water Information System) versión 3.4.

Inventario

Para la verificación de la fotointerpretación se establecieron en campo 15 parcelas de monitoreo permanente, seleccionadas según comunidad vegetal, gradiente altitudinal y orientación de la ladera. Cada parcela de 1 ha se ubicó en la fotografía aérea y se utilizó como unidad de muestreo (como patrón en cuanto a estructura, densidad y composición) en el momento de hacer la fotointerpretación (Peña del Valle, 2003 y Rojas, 2004). Dentro de ellas, se marcaron 10 círculos de 0.1 ha, separados por 50 m del centro del primero al segundo (Figura 1). En cada círculo se inventariaron todos los árboles con altura mayor a 1.3 m, se registró la especie, el DAP y altura total de cada individuo.

Con el fin de nombrar las distintas comunidades fotointerpretadas se consideró que el valor de importancia es determinante para definir la composición vegetal de la comunidad. Por ello, a partir de las especies registradas en el inventario en cada parcela de monitoreo permanente se calculó por especie arbórea y se construyó de la siguiente forma (Kent y Coker, 1992):

Valor de importancia = Densidad relativa + Dominancia relativa + Frecuencia relativa (1)

Donde:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Número de árboles de la especie en el sitio}}{\text{Número total de árboles en el sitio}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{Dominancia de la especie}}{\text{Dominancia de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia de la especie}}{\text{Frecuencia de todas las especies}} \times 100$$

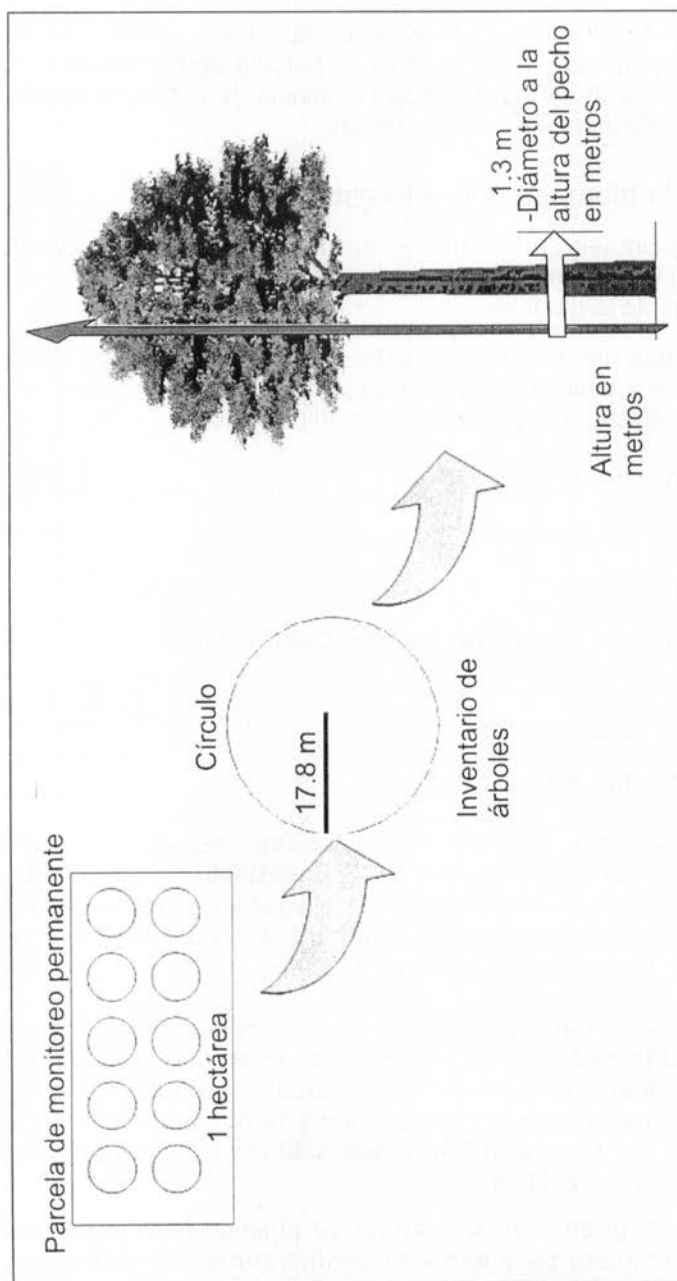


Figura 1. Descripción de una parcela de monitoreo permanente y los atributos de cada árbol registrados durante el levantamiento del inventario.

La dominancia de la especie es la suma de sus áreas basales. La frecuencia de la especie es el número de círculos en la parcela de monitoreo permanente en los que está presente la especie y la frecuencia de todas las especies es la suma de todas las frecuencias de las especies.

Estimación de la biomasa aérea forestal

Para calcular la biomasa de los árboles en pie de cada parcela de monitoreo permanente, o de cada comunidad definida, se requiere conocer el volumen del árbol y la densidad de la madera.

Volumen.- Los datos del inventario forestal registrados en campo respecto a la estructura del árbol y especie, se utilizaron para obtener el volumen de acuerdo con la ecuación convencional propuesta por Grijpma (2001):

$$V = (DAP^2) * (\pi/4) * (h) * (CM) \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen (m^3)

DAP^2 = Diámetro a la altura del pecho al cuadrado (m)

$\pi/4$ = 0.7854

H = Altura del árbol (m)

CM = Coeficiente mórfico forestal

Debido a que algunos géneros portan formas irregulares, la estimación del volumen se corrige al multiplicarlo por 0.7 constante del coeficiente mórfico forestal (CM), que se refiere a la relación entre el volumen de un árbol y el volumen de un cilindro tomando como base el área transversal del árbol a la altura del DAP y la altura del propio árbol (Caballero, 1982).

Densidad de la madera.- Para determinar la densidad de la madera de cada especie, se extrajeron virutas de 5 mm de diámetro, con el uso del taladro Pressler. Se seleccionó un árbol en cada uno de los 10 círculos por parcela de monitoreo permanente de acuerdo con la composición y la dominancia de la especie, se tomó en cuenta que tuviera un DAP mayor a 30 cm y estuviera libre de plagas y enfermedades (Gutiérrez, 2004).

Cada muestra se guardó en un popote de plástico para su traslado y se almacenó en una hielera para evitar su deshidratación; el orificio producido por el taladro se cubrió con cera de Campeche para protegerlo de la infestación de plagas.

Después de 24 horas de la extracción, los núcleos de madera se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001g Sartorius analytic A200S y se registró el peso inicial. Se midió con un vernier el diámetro, se consideró como un cilindro perfecto y se determinó el volumen verde de los núcleos de madera con la fórmula (Valencia y Vargas, 1997):

$$Vv = \pi * D^2 * L / 4 \quad (3)$$

Donde:

Vv = Volumen verde estimado del cilindro de la madera (cm^3)

D = Diámetro del núcleo de madera (cm)

L = Largo del núcleo de madera (cm)

Para obtener el peso anhidro (Po) de los núcleos de madera se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 100 a 105° C BlueM SW-17TA, durante 24 h y se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g utilizada para las muestras húmedas. Con los dos valores obtenidos se aplicó la fórmula de la densidad de la madera, propuesta por Valencia y Vargas (1997):

$$Db = Po / Vv \quad (4)$$

Donde:

Db = Densidad básica de la madera (g/cm^3)

Po = Peso anhidro (g)

Vv = Volumen verde (cm^3)

Biomasa.- Para calcular la biomasa de cada árbol en toneladas, se siguió la recomendación de Brown y Lugo (1984) que indica que una vez obtenido el volumen de cada árbol, su valor se multiplica por la densidad específica de la madera. Asimismo estos autores proponen que el resultado a su vez se multiplique por 1.3, constante del factor de expansión de fustes (FE), para incluir otros componentes de la biomasa, que no se pueden conseguir por mediciones directas, como las ramas y el follaje:

$$B = V * Db * FE \quad (5)$$

Donde:

B = Biomasa (t)

V = Volumen (m^3)

Db = Densidad básica de la madera (t/m^3)

FE = Factor de expansión de fustes

Para el cálculo del valor de biomasa por parcela de monitoreo permanente, se sumaron los valores individuales de los árboles de cada uno de los diez círculos. Se obtuvo un valor promedio por comunidad vegetal de acuerdo con los resultados de las parcelas multiplicado por la superficie en hectáreas de cada comunidad fotointerpretada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios de biomasa en bosques se han usado para diferentes propósitos: a) calcular la distribución de la materia orgánica (Brown, 1997 y Teller, 1998); b) cuantificar los nutrientes (Lim, 1988; Jaramillo *et al.*, 2003); c) determinar la fijación de energía; d) estimar el contenido de C (Brown y Lugo, 1984; Brown *et al.*, 1989); e) medir el incremento corriente anual (Rojas, 2004) y f) evaluar cambios en la estructura (Brown, 1997). La estimación de la biomasa de los bosques representa una valiosa información para la elaboración de planes de manejo (Escandón *et al.*, 1999).

La captura de C en los bosques puede ayudar a moderar el continuo incremento en la concentración atmosférica de CO₂ (Brown, 1996), por ello se busca conocer la capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea (Acosta *et al.*, 2002).

Para conocer la cantidad de biomasa en la Malinche se partió del hecho de que existen varios métodos para estimar este contenido en un bosque. El procedimiento destructivo consiste en cortar el árbol y cuantificar la biomasa en términos de peso seco. A partir de esta técnica se pueden diseñar ecuaciones alométricas que tienen una alta precisión (De Jong *et al.*, 1995; Deans *et al.*, 1996; Schroeder *et al.*, 1997; Ketterings *et al.*, 2001; Vaccaro *et al.*, 2003; Monroy y Návar, 2004), pero implica invertir mucho tiempo debido a que este tipo de trabajo por lo general es llevado a cabo en localidades remotas, el traslado del material hacia los laboratorios es muy complejo y su costo es elevado (Schlegel *et al.*, 2000; Van Camp *et al.*, 2004). Para reducir costos se utilizan ecuaciones alométricas existentes desarrolladas casi siempre fuera de la región en donde se ejecuta el proyecto forestal (Gayoso *et al.*, 2002).

El uso de las ecuaciones alométricas se recomienda cuando se presentan condiciones similares a los sitios de estudio donde fueron elaboradas (López *et al.*, 2003). Aunque desde el punto de vista estadístico estas ecuaciones sólo son aplicables estrictamente a las especies consideradas podrían extrapolarse a un mayor número de especies con arquitectura similar (Acosta *et al.*, 2002). Pero la certidumbre del método alométrico se reduce cuando se hace extensivo a grandes áreas (Catchpole y Wheeler, 1992) y se involucran individuos de clases menores a 10 cm de DAP (Brown, 1997).

Por otro lado, la biomasa de los árboles puede estimarse si se conoce el volumen comercial o de fustes y no su peso (Fragoso, 2003; Fukuda *et al.*, 2003 y Zamora, 2003). Para convertir este valor a biomasa es necesario contar con la densidad básica de la madera, que permite transformar los volúmenes húmedos en biomasa seca, expresada en kilogramos o toneladas por unidad de volumen (Brown *et al.*, 1989).

Para estudios regionales se prefiere la aproximación volumétrica ya que es más sencilla de usar (Chidiak *et al.*, 2004). El empleo de estas ecuaciones resulta confiable, rápidamente ejecutable y económico (Hoover *et al.*, 2000; Lôwe *et al.*, 2000; Bautista y Torres, 2003; Garzuglia y Saket, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006; Vallet *et al.*, 2006). En este estudio se pudo aplicar este modelo pues se calculó la densidad básica de la madera de las principales especies del parque a partir de los datos del inventario en campo.

Mapa de vegetación

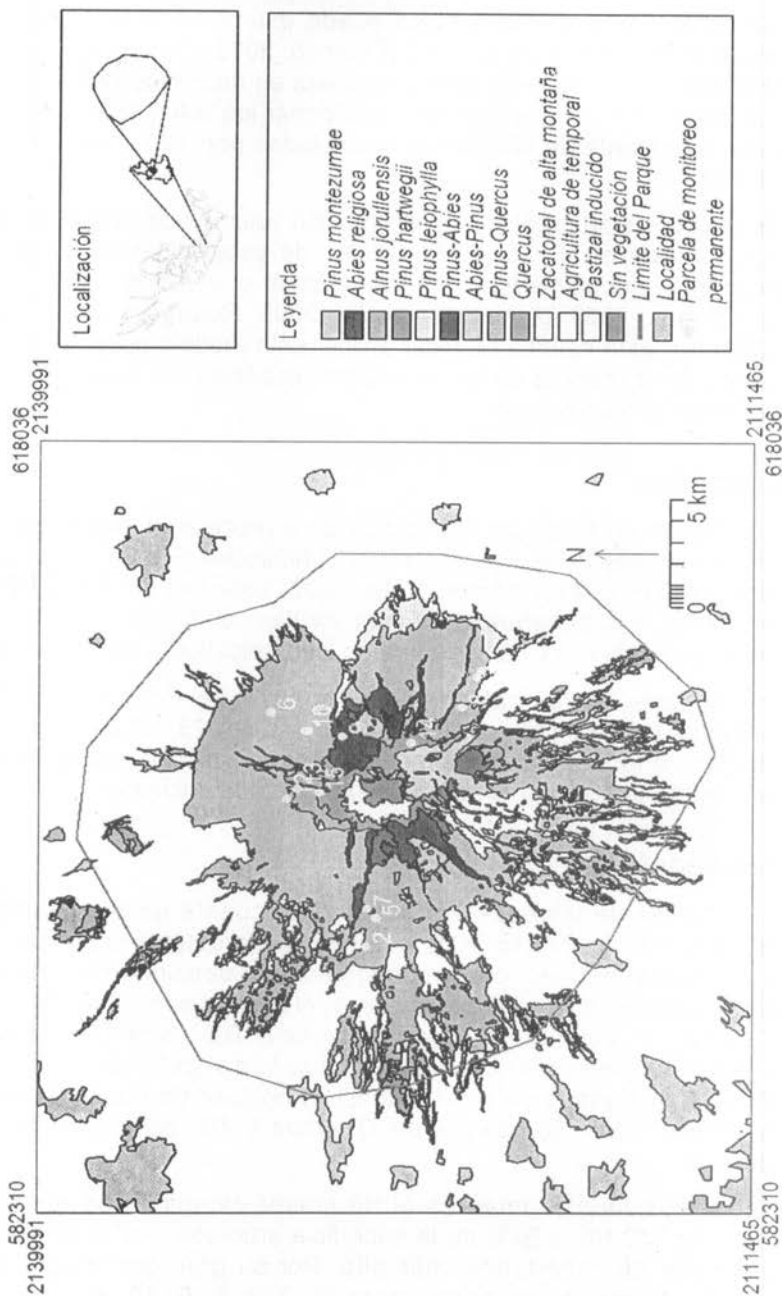
Inicialmente se elaboró un mapa de vegetación para precisar la distribución de las comunidades forestales en el Parque Nacional Malinche (Figura 2), pues en trabajos anteriores (GTP, 2001; Peña del Valle, 2003; López *et al.*, 2005; Wong, 2005; Castillo, 2006) los bosques de *Alnus jorullensis* Kunth. y de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. no habían sido ubicados a nivel espacial.

El área arbolada cubre 20,607 ha de la superficie total del Parque (44.7 %) y las áreas destinadas a la agricultura de temporal ocupan 23,332 ha (50.6 %). El pastizal inducido se localiza, principalmente, en la jurisdicción del estado de Puebla; ahí se advierte también, una reducida extensión de encinares.

Comunidades vegetales

El valor de importancia de las especies se tomó en cuenta para el ajuste en la clasificación de la fotointerpretación, lo que permitió la determinación de diez tipos de asociaciones vegetales, confirmándose con la densidad del arbolado y la dominancia o codominancia de las especies: 1) el bosque dominado por *Pinus montezumae* Lamb., 2) bosque de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham. 3) bosque de *Alnus jorullensis*, 4) bosque de *Pinus hartwegii* Lindl., 5) bosque de *Pinus leiophylla*, 6) bosque de *Pinus-Abies*, 7) bosque de *Pinus-Quercus*, 8) bosque de *Abies-Pinus*, 9) bosque de *Quercus* y 10) zacatonal de alta montaña (Figura 2).

El bosque de *Pinus montezumae* es el de mayor extensión en el volcán La Malinche, con 12,170 ha, o 59% de la superficie arbolada; por lo tanto, esta especie tuvo el valor de importancia más alto. Por su gran dimensión, ocho de las 15 parcelas de monitoreo permanente (2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 y 13), en



Basado en la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas pancromáticas del año 2001 a escala 1:25 000, tomadas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Estado de Tlaxcala, 17 de agosto de 2007.

Figura 2. Mapa de comunidades vegetales y usos de suelo del Parque Nacional Malinche (se muestra el polígono del límite del parque de acuerdo a la actualización del decreto presidencial).

las que se levantaron los inventarios, se ubicaron dentro de esta comunidad vegetal, que se desarrolla desde los 2800 hasta los 3550 m. Reúne a un conjunto de árboles moderadamente altos (25 m), con un promedio de 264 árboles/ha y generalmente monoespecíficos, aunque en ocasiones coexisten con *P. pseudostrobus* Lindl., *P. teocote* Schltdl. & Cham., *P. patula* Schltdl. & Cham. y *Arbutus xalapensis* Kunth. Como resultado de plantaciones forestales en esta comunidad vegetal están presentes *Cupressus benthamii* Endl., *Salix paradoxa* Kunth y *Crataegus mexicana* Moc. Sessé (Rojas, 2008).

El bosque de *Abies religiosa* destaca por su majestuosidad y belleza; en La Malinche esta comunidad perennifolia crece entre los 2900 y 3700 m, por lo general sobre cañadas, barrancos y pendientes muy pronunciadas, donde es protegida de la acción de los vientos fuertes y de la insolación intensa. Ocupa el 6.6% de la superficie arbolada del Parque Nacional, con 1,366 ha. Los árboles miden 25 m de altura en promedio y se han identificado individuos muy altos, hasta de 50 m. Los suelos a menudo están revestidos casi en su totalidad por musgo. Se presenta en forma monoespecífica o puede coexistir con especies de *Pinus* creando las comunidades *Pinus-Abies* ó *Abies-Pinus* que fueron definidas en la fotointerpretación, nombradas y caracterizadas por los valores de importancia y dominancia de estos géneros en campo. En esta comunidad se ubicaron las parcelas de monitoreo permanente 7 y 9 para realizar los inventarios forestales.

El bosque de *Alnus jorullensis* es una comunidad caducifolia que en La Malinche se observa entre los 3150 y los 3700 m de altitud, y en la que es común la hojarasca abundante; ocupa 3.7% de la superficie arbolada del parque con 756 ha. Aquí se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (8 y 12). Los árboles tienen una altura promedio de 12 m. Pueden encontrarse las asociaciones *Alnus-Pinus* y *Alnus-Quercus*.

El bosque de *Pinus hartwegii* se distribuye en el volcán por arriba de los 3400 m y hasta los 4000 m de altitud y constituye el límite superior arbóreo. Los individuos de *Pinus hartwegii* Lindl. portan una altura promedio de 20 m. En sus niveles bajos está asociado con los bosques de *Alnus jorullensis* y de *Pinus montezumae*. Esta comunidad se distribuye en 657 ha y cubre 3.2% de la superficie arbolada del parque; por lo anterior en esta comunidad se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (14 y 15). Es posible observar pequeños manchones de *Abies religiosa* entremezclados hasta los 3700 m y a partir de esta altitud y hasta los 4000 m se presenta como un bosque monoespecífico.

El bosque de *Pinus leiophylla* en el volcán crece en altitudes entre los 2600 y menores a 2900 m. En la mayoría de los casos se trata de un bosque mixto o bien son áreas en las que se han realizado programas de reforestación con *Pinus leiophylla* mismos que tienen una altura promedio de 22 m. Esta comunidad ocupa 2.5% de la superficie forestal del parque, con 520 ha. Por ello se estableció sólo una parcela de monitoreo permanente (1).

El bosque de *Quercus* es una comunidad vegetal caducifolia que se desarrolla en altitudes entre los 2300 y hasta los 2800 m. En Malinche ocupa 385 ha, que corresponden a 1.9% de la superficie arbolada del parque. Asimismo se observan árboles a la orilla de los caminos y como cercas vivas ya que la agricultura de temporal ha cubierto gran parte de su hábitat. La altura promedio de los encinares es de 5 m, las principales especies son: *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl., *Q. crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. dysophylla* Benth. y *Q. laurina* Bonpl., que pueden formar asociaciones mixtas de *Quercus-Pinus* y *Pinus-Quercus* (Villers et al., 2006).

El zacatonal de alta montaña que comprende individuos de *Festuca tolucensis* Kunth, *Gnaphalium lavandulaceum* DC y *Senecio roseus* Sch. Bip. es una comunidad vegetal por encima del límite de vegetación arbórea, donde la disponibilidad de agua para las plantas está restringida ya que es una zona de heladas frecuentes. En el volcán la Malinche esta comunidad está establecida a partir de los 3900 y hasta alrededor de los 4300 m, en 306 ha, aproximadamente. El único elemento arbóreo que se puede encontrar es *Juniperus monticola* Martínez que crece en forma rastrera y de matorral (Villers et al., 2006).

Estimación de la biomasa aérea

Para hacer el cálculo general de biomasa por comunidad se tomaron como referencia los inventarios de las 15 parcelas de monitoreo permanente establecidas en las asociaciones vegetales descritas de la Malinche (inventarios obtenidos en campo como sugieren Brown, 1997; Schroeder et al., 1997 y Homann et al., 2005). Las especies arbóreas de cada parcela, la densidad de individuos, la dominancia y el valor de importancia escalado a 100% se reúnen en el Cuadro 1.

En total se inventariaron 4,411 árboles y de este modo se confirmó que *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis* registraron los máximos valores de dominancia, frecuencia e importancia en los sitios estudiados. Estas especies tienen una amplia distribución en los Parques Nacionales a lo largo del Eje Neovolcánico Transmexicano y que a su vez cuentan con un programa de manejo publicado (Gobierno del Estado de Jalisco y CONANP, 2006; Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y CONANP, 2008).

Quercus sólo se identificó en dos parcelas de monitoreo permanente. Existen mecanismos de hibridación interespecífica en este género (Valencia, 2004), por lo que fue difícil distinguir entre especies durante el levantamiento del inventario forestal. *Arbutus xalapensis*, *Cupressus benthamii*, *Salix paradoxa*, *Crataegus mexicana* y *Casuarina* sp. se registraron durante el inventario, pero fueron poco representativas en cuanto a densidad y dominancia, por lo que no se contemplaron para la evaluación de biomasa almacenada en el Parque.

Cuadro 1. Composición de las parcelas de monitoreo permanente ubicadas en el Parque Nacional Malinche.

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
1	<i>Pinus leiophylla</i>	2851	<i>Pinus leiophylla</i>	89	21.59	59.46
			<i>Quercus</i> sp.	210	0.90	40.54
2	<i>Pinus montezumae</i>	2905	<i>Pinus montezumae</i>	278	19.51	96.50
			<i>Cupressus benthamii</i>	4	0.00	3.50
3	<i>Pinus montezumae</i>	2984	<i>Pinus montezumae</i>	166	27.16	58.43
			<i>Alnus jorullensis</i>	234	4.27	41.57
4	<i>Pinus montezumae</i>	3017	<i>Pinus montezumae</i>	170	34.05	72.27
			<i>Alnus jorullensis</i>	54	2.19	25.85
			<i>Salix paradoxa</i>	2	0.00	1.88
5	<i>Pinus montezumae</i>	3050	<i>Pinus montezumae</i>	212	17.83	61.38
			<i>Quercus</i> sp.	28	1.05	11.66
			<i>Salix paradoxa</i>	16	0.76	8.87

continuación...

continuación Cuadro 1...

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
5		3050	<i>Abies religiosa</i>	20	0.75	6.37
			<i>Alnus jorullensis</i>	6	1.25	5.55
			<i>Arbutus xalapensis</i>	10	0.01	5.07
			<i>Crataegus mexicana</i>	1	0.00	1.10
6	<i>Pinus montezumae</i>	3106	<i>Pinus montezumae</i>	122	15.74	100
7	<i>Abies religiosa</i>	3128	<i>Abies religiosa</i>	191	12.06	68.69
			<i>Pinus montezumae</i>	21	2.08	16.34
			<i>Arbutus xalapensis</i>	23	0.69	14.97
8	<i>Alnus jorullensis</i>	3206	<i>Alnus jorullensis</i>	187	15.45	54.75
			<i>Pinus montezumae</i>	87	18.12	45.25
9	<i>Abies religiosa</i>	3300	<i>Abies religiosa</i>	866	38.58	85.48
			<i>Pinus montezumae</i>	19	1.58	14.52

continuación...

continuación Cuadro 1...

Parcela (1ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (No. de árboles/ha)	Dominancia (m ² /ha)	Valor de importancia escalado a 100%
10	<i>Pinus montezumae</i>	3307	<i>Pinus montezumae</i>	142	24.07	100
11	<i>Pinus montezumae</i>	3320	<i>Pinus montezumae</i>	213	26.64	56.66
			<i>Alnus jorullensis</i>	142	16.89	41.00
			<i>Casuarina</i> sp.	4	0.40	2.34
12	<i>Alnus jorullensis</i>	3371	<i>Alnus jorullensis</i>	201	41.33	65.85
			<i>Pinus montezumae</i>	82	7.95	29.43
			<i>Crataegus mexicana</i>	2	0.03	3.15
			<i>Abies religiosa</i>	1	0.00	1.57
13	<i>Pinus montezumae</i>	3440	<i>Pinus montezumae</i>	179	17.50	91.45
			<i>Alnus jorullensis</i>	3	0.06	5.78
			<i>Abies religiosa</i>	1	0.01	2.76
14	<i>Pinus hartwegii</i>	3660	<i>Pinus hartwegii</i>	105	20.76	100
15	<i>Pinus hartwegii</i>	3700	<i>Pinus hartwegii</i>	320	23.27	100

Los datos de DAP por especie se ordenaron en diez categorías (intervalos de 12 cm), y se obtuvieron las gráficas de la frecuencia por categoría para las cinco especies seleccionadas (Figura 3). Para *Pinus montezumae* y *P. hartwegii* se observa un número alto de individuos de DAP pequeños. La curva de *Abies religiosa* muestra una tendencia cargada a la izquierda, donde en la clase I se registraron 732 individuos. Rojas (2004) realizó el conteo de los anillos de crecimiento y refiere que los individuos de la clase I (0.1-12 cm) corresponden a árboles juveniles, que van desde plántulas hasta individuos de máxime 10 años de edad, resultado del reclutamiento natural.

La curva de *Pinus leiophylla* reúne a la mayor parte de sus individuos en las clases V y VI (entre 48 y 72 cm). En el caso de *Alnus jorullensis* un gran número de individuos pertenecen a las primeras tres categorías diamétricas.

Densidad básica de la madera

Se determinó la densidad de la madera de cinco especies nativas con un método sencillo y riguroso que puede ser replicable fácilmente tomando núcleos (Cuadro 2). A partir de los valores de 0.29 a 0.51 (g/cm³) se catalogó la madera de cada especie en la clasificación de Markwar y Meck (Echenique y Díaz, 1972).

Cuadro 2. Densidad básica de la madera de cinco especies de amplia distribución en el Parque Nacional Malinche.

Especie	Número de núcleos de madera	Densidad básica (g/cm ³)	Desviación estándar	Clasificación de la madera según Markwar y Meck
<i>Pinus montezumae</i>	83	0.5115	± 0.034	pesada
<i>Pinus hartwegii</i>	22	0.4965	± 0.045	moderadamente pesada
<i>Pinus leiophylla</i>	10	0.4856	± 0.042	moderadamente pesada
<i>Abies religiosa</i>	22	0.3874	± 0.066	moderadamente liviana
<i>Alnus jorullensis</i>	20	0.2898	± 0.093	muy liviana

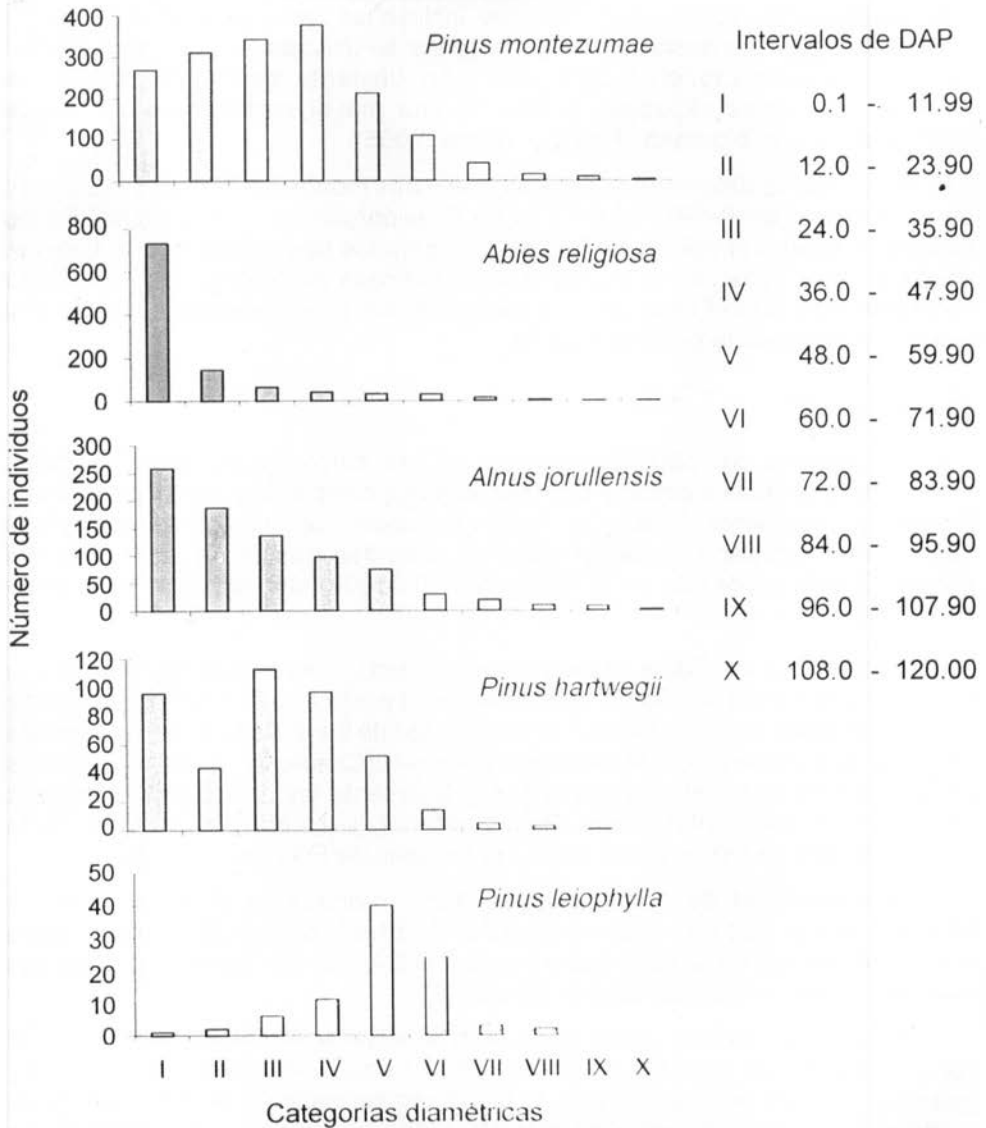


Figura 3. Individuos de cada especie por categoría diamétrica, de acuerdo al inventario de las parcelas de monitoreo permanente del Parque Nacional Malinche.

Se reconocieron diferencias entre ellas, incluso las pertenecientes a un mismo género. Por ejemplo hasta hace algunos años se utilizaba el valor de densidad para *Pinus* estimado en 0.500 g/cm^3 , no obstante se ha establecido la densidad de varias especies, lo que da una mayor certidumbre a trabajos relacionados con biomasa (Rojas y Villers, 2005).

En este caso se determinó la densidad de *Pinus montezumae* en 0.5115 g/cm^3 , de *P. hartwegii* en 0.4965 g/cm^3 y la de *P. leiophylla* en 0.4856 g/cm^3 . De no haberse realizado el cálculo de la densidad para las tres especies y de haberse usado el valor genérico, el monto final de biomasa por comunidad se hubiera sobreestimado para el caso de las especies de madera moderadamente pesada y subestimado para la primera especie.

Biomasa

Con los valores de densidad básica de las cinco especies y los datos estructurales se pudo estimar la biomasa según la composición de las parcelas de monitoreo permanente (Cuadro 3). Para la estimación de biomasa por comunidad vegetal fue necesario incluir el valor de densidad básica de la madera del género *Quercus*, por ello se utilizó el valor 0.6800 g/cm^3 obtenido por Nájera *et al.* (2005).

La comunidad de *Pinus montezumae* muestra diferencias en la biomasa estimada que va desde $163,51 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 6) hasta $480,97 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 11). Estas variaciones están en función de la densidad de los individuos, la composición de los sitios inventariados, la elevación altitudinal (Cuadro 1), las tallas y edades ya que no son comunidades coetáneas y finalmente las actividades antrópicas influyeron en estas diferencias. Por lo anterior, para obtener un valor de la comunidad tipo se promediaron todas las parcelas de *Pinus montezumae*.

En la comunidad de *Abies religiosa* dichos valores se distribuyen en un intervalo de $134,62 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 7) a $396,50 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 9), que se explica por las diferencias en la densidad arbórea y el DAP de los individuos de las dos parcelas de monitoreo permanente (Cuadro 1).

Para la comunidad de *Alnus jorullensis* la estimación de biomasa es más semejante entre las parcelas y va desde $286,73 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 8) a $292,39 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 12), y en las dos parcelas de monitoreo permanente de esta comunidad también fue similar la densidad forestal. Cabe señalar que la parcela 8 fue designada como comunidad de *Alnus jorullensis* debido a que presentó un mayor valor de importancia, pero al realizar la evaluación *Pinus montezumae* tuvo un valor mayor de biomasa.

En la comunidad de *Pinus hartwegii* los valores estimados de biomasa son similares entre las parcelas; van de $214,94 \text{ t ha}^{-1}$ (parcela 15) a $233,61 \text{ t ha}^{-1}$

Cuadro 3. Estimación de la biomasa en las parcelas de monitoreo permanente.

Parcela (1 ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
1	<i>Pinus leiophylla</i>	375.73	237.19
	<i>Quercus</i>	3.22	2.09
	Total	378.96	239.29
2	<i>Pinus montezumae</i>	267.01	178.94
3	<i>Pinus montezumae</i>	414.82	277.99
	<i>Alnus jorullensis</i>	37.78	14.23
	Total	452.59	292.22
4	<i>Pinus montezumae</i>	570.44	382.28
	<i>Alnus jorullensis</i>	14.34	5.40
	Total	584.77	387.68
5	<i>Pinus montezumae</i>	267.24	179.09
	<i>Abies religiosa</i>	18.38	9.26
	<i>Quercus</i>	8.67	7.66
	<i>Alnus jorullensis</i>	16.73	6.30
	Total	311.01	202.31
6	<i>Pinus montezumae</i>	243.99	163.51
7	<i>Abies religiosa</i>	221.60	111.60
	<i>Pinus montezumae</i>	34.34	23.01
	Total	255.94	134.62

continúa...

continuación Cuadro 3...

Parcela (1 ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
8	<i>Alnus jorullensis</i>	164.05	61.81
	<i>Pinus montezumae</i>	335.64	224.93
	Total	499.69	286.73
9	<i>Abies religiosa</i>	743.19	374.29
	<i>Pinus montezumae</i>	33.14	22.21
	Total	776.34	396.50
10	<i>Pinus montezumae</i>	402.52	269.75
11	<i>Pinus montezumae</i>	509.84	341.67
	<i>Alnus jorullensis</i>	207.86	139.30
	Total	717.70	480.97
12	<i>Alnus jorullensis</i>	532.75	200.71
	<i>Pinus montezumae</i>	136.78	91.67
	<i>Abies religiosa</i>	0.02	0.01
	Total	669.56	292.39
13	<i>Abies religiosa</i>	0.05	0.03
	<i>Alnus jorullensis</i>	0.35	0.13
	<i>Pinus montezumae</i>	263.07	176.30
	Total	263.48	176.46
14	<i>Pinus hartwegii</i>	361.93	233.61
15	<i>Pinus hartwegii</i>	333.01	214.94

(parcela 14), pero la densidad de los individuos y las tallas de los árboles son diferentes. En la parcela 14 son menos individuos pero de tallas más grandes que en la 15, por lo que se puede pensar que existe una compensación entre la densidad de individuos y las tallas (DAP) de los mismos (Cuadro 1).

A partir de la estimación de biomasa por parcela de monitoreo permanente se pudo calcular la biomasa por tipo de comunidad vegetal del Parque. En el Cuadro 4 se muestra el nombre de cada una de ellas, la biomasa que correspondería a una hectárea tipo, su desviación estándar y coeficiente de variación, la superficie evaluada mediante fotointerpretación y cuantificada con el SIG (ILWIS) y la biomasa total estimada para cada una, así como para las de masas mezcladas que se determinaron por fotointerpretación. La territorio forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha donde se almacenan 4,900,505 t de biomasa arbórea.

Este estudio tiene las limitaciones que impone la heterogeneidad de sitios. Para la estimación del monto final de biomasa por comunidad, se utilizó el valor promedio de las parcelas y se recalculó según la composición vegetal y la superficie en hectáreas de cada comunidad fotointerpretada. Para la de *Pinus montezumae* se consideró el promedio de los resultados de ocho parcelas de 268.02 t con un coeficiente de variación de ± 29.9 . Para el resto de las comunidades resulta necesario a futuro aumentar el número de parcelas para abarcar diferentes condiciones por comunidad.

El bosque de *Pinus montezumae* alberga la mayor biomasa aérea en el Parque Nacional (3,172,314 t), debido a su amplia distribución en el volcán, a lo que habría que agregarse las tallas grandes del arbolado que lo conforman, tanto en rodales monoespecíficos como en asociaciones con *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis* u otras especies de *Pinus*.

En la comunidad de *Abies religiosa* también se registraron altos valores de biomasa, a pesar de que la madera de esta especie es moderadamente liviana.

La comunidad de *Alnus jorullensis* incorpora valores significativos de biomasa. Aún cuando madera de esta especie también es muy liviana, los árboles alcanzan grandes tallas al igual que las especies forestales asociadas. Se identifican dos estratos arbóreos, el menor representado por *Alnus jorullensis*, con DAP muy anchos, y el estrato arbóreo mayor conformado por *Pinus* spp. con menores diámetros pero con alturas mayores.

La comunidad de *Pinus hartwegii* está bastante bien conservada, lo que se tradujo en un alto valor de biomasa, que resulta, además de su gran cobertura territorial y de que su madera es moderadamente pesada. Este valor puede aumentar en el mediano plazo si se mantienen las condiciones actuales y si la numerosa población de individuos jóvenes de este bosque que crece en la ladera Norte del volcán, logra llegar a la madurez a pesar de las inclemencias climáticas características de la alta montaña.

La comunidad de *Pinus leiophylla* reúne una menor biomasa, por su distribución en el Parque, y porque su madera es moderadamente pesada. Justo en las áreas donde se desarrolla esta especie de forma natural, o donde se han realizado plantaciones con ella, el bosque está bajo constante influencia humana, debido a que los pobladores locales recogen leña y aplican quemas en áreas agrícolas colindantes con los terrenos forestales y dentro de éstas, para promover el renuevo de los pastos y llevar a pastar ahí a sus hatos de ganado ovino y caprino.

La comunidad de *Quercus* spp. está muy deteriorada y su extensión se reduce a 384.92 ha, en la que predominan árboles juveniles.

Los valores estimados de biomasa en el Parque Nacional Malinche por comunidad vegetal mostraron una gran variación. Las diferencias estuvieron en función de la composición vegetal, la talla, la estructura del arbolado y de la densidad forestal como lo sugieren Patenaude *et al.* (2003).

La magnitud de almacenamiento de biomasa de La Malinche es muy importante, condición que puede alterarse a corto plazo debido a que en el Parque se practica tala ilegal para extracción de madera, principalmente en la zona Oeste y Suroeste, en particular en predios colindantes con el estado de Puebla. Muchas veces la corta se realiza en el territorio de Tlaxcala y sale de forma ilícita por Puebla.

En algunos predios se recolecta leña de forma intensiva, lo que en ocasiones encubre el derribo de árboles sanos, o bien se hace ocoteo de los árboles en los caminos principales. Estas tácticas se han utilizado por muchos años en las ANP del país, por lo que es necesario ofrecer alternativas viables para las localidades que hacen uso de los recursos del Parque, de modo que reemplacen las actividades descritas y observar congruencia con la categoría actual que ostenta de Área Natural Protegida (ANP).

CONCLUSIONES

El Parque Nacional Malinche almacena 4,881,685 t de biomasa en sus 20,607 ha con uso de suelo forestal.

Las estimaciones de este estudio se apegan a los lineamientos del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2006 (SEMARNAT, 2007). Por ello los métodos utilizados en este estudio se pueden aplicar en otras ANP del país y si se parte de los mismos supuestos, también sirven para proyectos forestales en predios ejidales, comunitarios o privados.

En este sentido se recomienda el uso de las ecuaciones volumétricas para cuantificar la biomasa arbórea de un sitio, pues en la mayoría de los predios forestales se cuenta con inventarios que incluyen el volumen comercial o tablas de volumen de existencias reales de madera. Además es una metodología sencilla, confiable, rápidamente ejecutable y económica.

Debido a que se requiere el valor de la densidad básica de la madera por especie, los valores para las cinco especies descritas en este trabajo pueden ser utilizados para futuras evaluaciones de biomasa de las comunidades vegetales en la Cordillera Neovolcánica Transmexicana.

Los resultados de este trabajo son una aportación para la construcción de líneas base y escenarios en proyectos de conservación para la compra-venta de C a corto y mediano plazo.

AGRACEDIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del proyecto 52464.

REFERENCIAS

- Acosta, M., J. Vargas, A. Velásquez y J. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36 (6):725-736.
- Ayala, C. 1995. Identificación de dos especies arbóreas de clima templado frío mediante patrones de fotointerpretación. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 97 p.
- Bautista J. y J. Torres. 2003. Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del Ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente* 9 (1): 69-75.
- Brown, S. and A. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 (4642): 1290-1293.
- Brown, S., A. Gillespie and A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S. 1996. Mitigation potential of carbon dioxide emissions by management of forests in Asia. *Ambio* 25 : 273-278.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A Forest Resources Assessment Publication. FAO. Rome, Italy. 55 p.
- Caballero, M. 1982. Empleo de coeficientes mórficos en la elaboración de tablas de volúmenes de cedro rojo. *Boletín Divulgativo* No. 26 B, abril 1982. 2ª ed. INIF-SARH. México. 27 p.
- Castañeda, A., J. Vargas, A. Gómez, J. Valdez y H. Vaquera. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bumelia oldhamii*. *Agrociencia* 39(1): 107-116.
- Castillo, M. 2006. Delimitación de unidades ambientales biofísicas en el Volcán La Malinche con base en el análisis de unidades morfogénéticas. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 135 p.

- Castro, R. 2007. Historia eruptiva del volcán La Malinche y estudio del emplazamiento del flujo piroclástico pilares superior. Tesis de Doctorado. Instituto de Geofísica, UNAM. México. 158 p.
- Castro, R. and C. Siebe. 2007. Late Pleistocene-Holocene stratigraphy and radiocarbon dating of La Malinche volcano, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 162: 20-42.
- Catchpole, W. and J. Wheeler. 1992. Estimating plant biomass: A review of techniques. *Australian Journal of Ecology* 17: 121-131.
- Chidiak, M., A. Moreyra y C. Greco. 2004. Captura de carbono y desarrollo forestal sostenible en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafíos. Banco Interamericano de Desarrollo-Departamento de Desarrollo Sostenible-División de Medio Ambiente. 88 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2007. Acuerdo por el que se expiden las Reglas de Operación del Programa Pro-Árbol de la Comisión Nacional Forestal. 28 de diciembre de 2007. *Diario Oficial de la Federación*. México, Distrito Federal. 3ª. Sección, pp. 1-39.
- Deans, J., J. Mora and J. Grace. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semideciduous tropical moist forest in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88: 215-225.
- De Jong, B., G. Montoya, K. Nelson, L. Soto and R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Echenique, R. y G. Díaz. 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. *Boletín Técnico* Núm. 27. INIF. México. 71 p.
- Escandón, J., B. de Jong, S. Ochoa, I. March y M. Castillo. 1999. Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnabaj La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* (40): 71-84.
- Fragoso, P. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio Cerro Grande municipio de Tancitaro Michoacán, México. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología Presidente Benito Juárez. Uruapan, Mich. México. 65 p.
- Fukuda, M., T. Iehara and M. Matsumoto. 2003. Carbon stock estimates for sugi hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management* 184: 1-16.
- García, E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM, México. 246p.
- Garzuglia, M. and M. Saket. 2003. Wood volume and woody biomass. FAO. Rome, Italy. 30 p.

- Gayoso, J., J. Guerra y D. Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. 157 p.
- Gómez, G. 2002. Descripción de las comunidades de aves del volcán Malinche, Tlaxcala. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 160 p.
- Grijpma, P. 2001. Producción forestal. Secretaría de Educación Pública. Editorial Trillas, S.A. de C.V. 4ª Reimpresión. México, D. F. México. 134 p.
- Gobiernos de Tlaxcala y Puebla (GTP). 2001. Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche. Documento de trabajo. 98 p.
- Gutiérrez, G. 2004. Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis*, y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. México. 102 p.
- Homann, P., M. Harmon, S. Remillard and E. Smithwick. 2005. What the soil reveals: Potential total ecosystem C stores of the Pacific Northwest region, USA. *Forest Ecology and Management* 220: 270-283.
- Hoover, C., R. Birdsey, L. Heath and S. Stout. 2000. How to estimate carbon sequestration on small forest tracts. *Journal of Forestry* 98(9):13-19.
- Houghton, R. A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus* 55B: 378-390.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Resumen para Responsables de Políticas. In: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson (Eds.) Cambio Climático. Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del PICC., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 116 p.
- Jaramillo, V., J. Boone, L. Rentería R., D. Cummins and L. Ellingson. 2003. Biomass, carbon and nitrogen pool in Mexican tropical dry landscapes. *Ecosystems* 6: 609-629.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. Vegetation description and analysis, a practical Approach, John Wiley & Sons Co. New York, NY. USA. 363 p.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau and C. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146:199-209.
- Lim, M. T. 1988. Studies on *Acacia mangium* in Kemasul, Malaysia. Biomass and productivity. *Journal of Tropical Ecology* 4: 293-302.
- López, D., L. Soto, G. Jiménez y S. Hernández. 2003. Relaciones alométricas para la predicción de biomasa forrajera y leña de *Acacia pennatula* y *Guazuma ulmifolia* en dos comunidades del norte de Chiapas, México. *Interciencia* 28(6): 334-339.

- López, J., R. Acosta y A. Alonso. 2005. Plantas. In: Fernández, J. y J. López (Comps.). 2005. Biodiversidad del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala, México. Coordinación General de Ecología del Estado de Tlaxcala. pp. 73-99.
- Löwe, H., Seufert, G. and F. Raes. 2000. Comparison of methods used within the member states for estimating CO₂ emissions and sinks according to UNFCCC and EU monitoring mechanisms: forest and other wooded land. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 4: 315-319.
- Masera, O., M. Ordóñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long terms scenarios. *Climate Change* 35: 265-295.
- Monroy, C. y J. Návar. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2): 29-43.
- Nájera, J., A. Zacarias, J. Méndez y J. Graciano. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 1 (3): 559-576.
- Ordóñez, J., B. De Jong y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7 (2): 27-47.
- Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2008. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl-Zoquiapan. Documento de trabajo. 172 p.
- Patenáude, G. L., B. D. J. Briggs, R. Milne, C. S. Rowland, T. P. Dawson and S. N. Pryor. 2003. The carbon pool in a British semi-natural woodland. *Forestry* 75 (5): 109-119.
- Peña del Valle, A. 2003. Captura de carbono: un estudio en el Parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México. 85 p.
- Pineda, M., G. Ortiz y L. Sánchez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. *Madera y Bosques* 11(2): 3-14.
- Rodríguez, R., J. Jiménez, O. Aguirre y E. Treviño. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL* 9 (2): 179-188.
- Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 68 p.
- Rojas, F. 2008. Consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche. Tesis de Maestría. Instituto de Geología, UNAM. México. 70 p.

- Rojas, F. y L. Villers. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques* 11(1): 63-71.
- Rojo, G., J. Jasso y A. Velásquez. 2003. Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un Cambio Climático Global. *Revista Chapingo Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1): 57-67.
- Rojo, G., J. Jasso, J. Vargas, D. Palma y A. Velásquez. 2005. Biomasa aérea en plantaciones forestales de hule (*Hevea brasiliensis* Mull. Erg.) en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39(4): 449-456.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2000. Manual de procedimientos: muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF. 26 p.
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey and C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43 (3): 424-434.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Estado de Tlaxcala (SECODUVI). 2001. 32 Fotografías aéreas pancromáticas del año 2001 a escala 1:25, 000, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SEMARNAT-2006, que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 9 de mayo. pp. 80-99.
- Teller, A. 1988. Biomass, Productivity and wood waste evaluation in Spruce (*Picea abies*) Forest (Strinchmps 983). *Commonwealth Forestry Review* 7 (2): 129-148.
- Vaccaro, S., M. Arturi, J. Goya, J. Frangi y G. Piccolo. 2003. Almacenaje de carbono en estadios de la sucesión secundaria en la Provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia* 28(9):521-527.
- Valencia, S. y J. Vargas. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques* 3(1): 81-87.
- Valencia, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 33-53.
- Vallet, P., J. Dhôte, G. Le Moguédec, M. Ravart and G. Pignard. 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *Forest Ecology and Management* 229: 98-110.
- Van Camp, N., I. Vande Walle, J. Mertens, S. De Neve, R. Samson, N. Lust, R. Lemeur, P. Boeckx, P. Lootens, D. Beheydt, I. Mestdagh, S. Sleutel, H. Verbeeck, O. Van Cleemput, G. Hofman and L. Carlier. 2004. Inventory based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 61: 677-682.

- Villers, L., F. Rojas y P. Tenorio. 2006. Guía botánica del Parque Nacional Malinche: Tlaxcala-Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México: Centro de Ciencias de la Atmósfera- Instituto de Biología. 196 p.
- Wong, J. 2005. Humedad de los combustibles leñosos y su relación con variables atmosféricas. Su importancia en los incendios forestales en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 66 p.
- Zamora, J. 2003. Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido la Majada municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología Presidente Benito Juárez. Uruapan, Mich. México. 48 p.