



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

CONSIDERACIONES PARA
EL BALANCE DE CARBONO:
EVALUACIÓN DEL MOVIMIENTO DE BIOMASA
EN EL PARQUE NACIONAL MALINCHE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

FABIOLA ROJAS GARCÍA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA DE LOURDES VILLERS RUÍZ

MÉXICO, D.F.

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

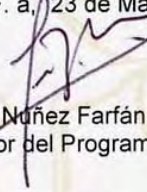
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 28 de Abril de 2008, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** de la alumna **FABIOLA ROJAS GARCÍA** con número de cuenta **97114057** con la tesis titulada "**Consideraciones para el balance de carbono: evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche**", realizada bajo la dirección de la **DRA. MARÍA DE LOURDES VILLERS RUÍZ**.

Presidente: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ
Vocal: DRA. MARÍA CECILIA DEL CARMEN NIETO DE PASCUAL POLA
Secretario: DRA. MARÍA DE LOURDES VILLERS RUÍZ
Suplente: DR. MARIO GONZÁLEZ ESPINOSA
Suplente: DR. VÍCTOR JOAQUÍN JARAMILLO LUQUE

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a, 23 de Mayo de 2008.


Dr. Juan Nuñez Farfán
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente de la interesada.

RECONOCIMIENTOS

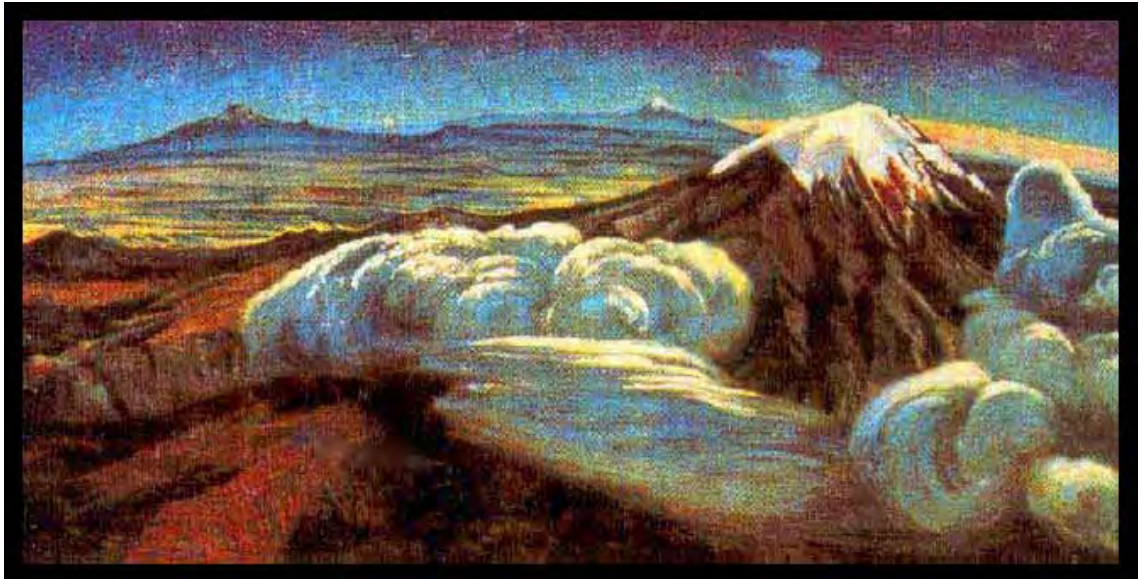
Se agradece ampliamente las becas otorgadas por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del Posgrado en Ciencias Biológicas y del proyecto de investigación 52464.

El Comité Tutoral del presente proyecto de investigación estuvo formado por:

Dra. María de Lourdes Villers Ruiz

Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez

Dr. Víctor Joaquín Jaramillo Luque



Los volcanes, 1950
Dr. Atl

*“Para curar las enfermedades del alma
no hay mejor remedio que 20°C bajo cero
entre las cumbres de un volcán...
Huyendo, loco de amor a los volcanes”*

DEDICATORIA

A Dios

Padre por darme amor, discernimiento, familia y amigos
Jesucristo por ser mi amigo, por ser perdón y la reconciliación con el Padre
Espíritu Santo por darme el carisma de conocer la libertad con amor
María Señora y Niña por ser mi ejemplo y guía.

A mi Familia

A Juan Luís Rojas y Carmen García, Mis lindos! Gracias por la familia en que crecí, por los hermanos que me dieron y por el amor que nos dan a todos. Gracias por su apoyo absoluto en cada decisión de mi vida y participar con entusiasmo de cada una de ellas. Pero sobre todo por demostrarme que existe el amor para siempre.

A mis hermanas Lety y Lupita, gracias por ser mis amigas y por ser tan diferentes a mí, porque la mayor riqueza esta en la heterogeneidad. Lety con tu alegría inagotable y Lupita con tu fortaleza impresionante, o las mezclas de las dos. Gracias por todas las invaluable pláticas que me han regalado, que sin duda han enriquecido mi forma de pensar.

A mi hermano Vicente y mi cuñada Lucy, gracias por traer a mi vida la mayor de mis alegrías. Ámense mucho y procuren dar un hogar construido con mucho amor a Los hijos. Gracias por esas formas de consentirme, por ser mis amigos y ayudarme en todo momento.

A mis sobrinos Alejandra y Juan Luís, a los dos por existir, por cambiarme la vida, por hacerme sonreír cada que los veo, por hacerme parte de sus juegos, logros y aprendizajes, darme el amor más sincero y por dejarme crecer con ustedes. Gracias M'hijitos porque con sus manos pequeñitas obran milagros que son mi mayor inspiración para qué día a día pretenda ser una mejor persona. Los adoro!

A mis amigos

A todos mis amigos de la Parroquia San Vicente de Paúl, especialmente a Fernando Miranda, Gabriela Castillo, Toño y Fede Jiménez, Arturo Estrada Vite, y Gustavo Campos. Porque con ustedes pude acercarme más a Dios, tanto que pude entender el llamado de Fer.

A mis viejos amigos Carlos Omar Rangel, Mayla Romero (mi madrinita), Sara Luz García, Montserrat Carmona, Cecilia Lozano, Rosa Ventura y Mario Martínez.

A mis amigas las Amazonas: Mónica Espinosa, Edén Rodríguez, Rocío Montiel, Valentina López, Erika Arroyo y Erika Sánchez, gracias por su apoyo, sus porras y regaños, por la fiestas y chismes, las comiditas, las pláticas sin fin y porque a pesar de la posible lejanía que puede generarse entre una y otra siempre existirá un lazo unificador entre nosotras. Las quiero.

A mi amigo Iván Chirino, a quién conozco desde la licenciatura y con quién compartí hombro con hombro esta etapa de mi formación, desde estudiar para el examen de ingreso al Posgrado, la primera materia donde sentimos el rigor de la maestría, los nervios de cada tutorial, hasta el día de hoy, gracias porque no importo la distancia para sentirte conmigo.

A mi amigo Julio Wong, Peewee! gracias por ser mi confidente y compañero incondicional, por todas las veces que me llevaste a Malinche y por la diversión en todas las salidas a campo, incluyendo las salidas a tu tercer hogar Santa María Yavesía.

A mis amigos los Biólogos: Fabiola Villela, Paulina Arias, Dulce Moreno, Natalia Cárdenas, Lorena Alamilla, Alberto Mondragón, Julio Romero, Citlalli Manjarrez, Charly Ángeles, Gustavo Valdez, Ana Estrada, José Luís Reyes, Ruth Torres, Imuris Urbina, Víctor Ávila, Alejandra Aguilar, Genaro Gutiérrez, Pedro Tenorio, Beatriz González, Diana Castañeda, Rafael Magaña, Evelyn Piña, Arell Plancarte, Rodrigo González, Gerardo Cerón, Edgardo Mendoza, Aldo Bernal, Leonardo González, Ricardo Cruz, Patricia Hernández y Leonardo Alvarado.

A mis amigos los Geógrafos: Pedro Montes, Osvaldo Franco y Ricardo López.

¡GRACIAS A TODOS!

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Lourdes Villers, mi directora de tesis, con quién he compartido logros académicos y personales, porque me ha estimulado para ampliar mis líneas de estudio, porque ha atendido a mis inquietudes y dudas, porque de forma crítica ha insistido para que supere mis aciertos y errores, por aceptarme como alumna desde el ya transitado Taller de Bosques Templados y apoyarme substancialmente durante mi formación profesional, sobretodo por ser una gran amiga.

A la Dra. Irma Trejo por el tiempo invertido en la revisión detallada de este trabajo y recomendaciones. Gracias por todas las pláticas académicas y de vida que compartimos en el Instituto de Geografía o camino a Yavesía. Y por enseñarme que hay bosques más allá de Malinche.

Al Dr. Víctor Jaramillo por sus recomendaciones durante los tutorales, el tiempo invertido en la revisión y las valiosas aportaciones para enriquecer la discusión de este trabajo, especialmente por su apoyo y enseñanzas durante la materia de Ecología de Ecosistemas, en el CIEco de Morelia.

A la Dra. Cecilia Nieto de Pascual por formar parte del Jurado que revisó este trabajo, por los consejos editoriales y por las andanzas en la materia de Ecología del Bosque Templado que ampliaron mi percepción de este ecosistema. Y por esas largas y entretenidas pláticas.

Al Dr. Mario González Espinosa por formar parte del Jurado que revisó este trabajo, por los consejos a larga distancia, por sus atenciones en el D.F. y recomendaciones.

A la Coordinación General de Ecología del Estado de Tlaxcala, por todo el apoyo recibido para la realización de esta tesis, en la oficina y en el volcán. Especialmente al Ing. Miguel Salinas, por todos los documentos prestados y las dudas que siempre me resolvió. De igual modo agradezco a los ecoguardas del Parque Nacional Malinche quienes se brindaron a ayudarme en campo sobre todo en la búsqueda de parajes e incendios: Rene Vargas, Julio Carrillo, Pablo Dolores, Alejandro Sánchez, Antonio Atriano, Saúl Pedraza, Adolfo Cruz, Sergio Guzmán, Vicente Sánchez, Artemio Martínez, Daniel Espinoza, Gildardo Hernández, Manuel Sánchez, Jorge Sánchez, Miguel Camacho y Carlos Fuentes.

A todos mis amigos que me acompañaron a la Malinche: Julio Wong, Mónica Espinosa, Ariadna Flores, Ana Elisa Peña, Charly Ángeles, Andrea López, Gonzalo Valdivia, Verónica Aguilar, Sinue Ferreira, José Hernández, Beatriz González-Moreno, Leticia Rojas, Osvaldo Franco, Ricardo López, Diana Castañeda, Beatriz González, Karin Bilo y Marlou Scheltes. Gracias porque el trabajo de campo resulta cansado pero honestamente todas y cada una de las salidas al volcán fueron divertidas y gracias a ustedes livianas.

A mis maestros de diferentes grados que me han formado como estudiante Profra. Blandina Villanueva, Biól. Angélica Soto, Biól. Rocío Islas, Dra. Olimpia Jiménez, Dra. Flor de María Aceff, M. en C. Rosa María Fonseca, Dra. Nelly Diego, Dra. Ana Elisa Peña del Valle y al perseguido por la sabiduría el Dr. Zenón Cano-Santana.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por todo lo que me ha dado: conocimiento, amigos, profesores, alegría y llanto, aulas, arte, estrés, laboratorios, oportunidades, ciencia, fiestas, 2.5 dioptrías, becas, salidas de campo a ecosistemas increíbles, mi Profesión y por lo que me sigue dando **GRACIAS POR SIEMPRE!**

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
Parque Nacional Malinche.....	9
Generalidades	9
Geología	10
Edafología	10
Hidrología	10
Clima	11
Vegetación.....	12
MÉTODO.....	13
Biomasa aérea forestal almacenada en el Parque	14
Mapa de Vegetación.....	14
Inventario forestal	14
Estimación de la biomasa aérea forestal.....	15
Ganancia de biomasa: reforestación	19
Mapa de áreas reforestadas.....	19
Inventario forestal	19
Estimación de la biomasa en áreas reforestadas	20
Pérdida de biomasa: incendios forestales	21
Mapa de áreas incendiadas.....	21
Inventario forestal	21
Estimación de la biomasa afectada por incendios.....	22
Pérdida de biomasa: extracción de productos forestales	24
Mapa de áreas de extracción de productos forestales	25
Estimación de la biomasa forestal extraída por manejo	25
RESULTADOS	26
Biomasa aérea forestal almacenada en el Parque	26
Mapa de vegetación	26
Comunidades vegetales	26
Estructura de las comunidades vegetales	30
Densidad básica de la madera	34
Estimación de la biomasa arbórea	34
Entrada de biomasa: reforestación.....	38
Mapa de áreas reforestadas.....	38
Estructura de las áreas reforestadas en 2005.....	40
Estimación de la biomasa de las áreas reforestadas	40
Pérdida de biomasa: incendios forestales	42
Mapa de áreas incendiadas.....	42
Estructura del bosque en las áreas incendiadas	43
Estimación de la biomasa arbórea afectada por incendios	45
Pérdida de biomasa: extracción de recursos forestales	47

Mapa de áreas de extracción de productos forestales 48
Estimación de la biomasa forestal extraída por manejo 48
Evaluación final 51
DISCUSIÓN..... 52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 60
LITERATURA CITADA 63

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición de las parcelas permanentes ubicadas en el Parque Nacional Malinche.....	31
Cuadro 2.	Densidad básica de la madera de cinco especies de amplia distribución en el Parque Nacional Malinche.....	34
Cuadro 3.	Estimación de la biomasa de las parcelas permanentes de muestreo.....	35
Cuadro 4.	Biomasa estimada para el estrato arbóreo de las comunidades vegetales presentes en el Parque Nacional Malinche.....	37
Cuadro 5.	Predios seleccionados por la CGET para ser reforestados en el año 2005 en el Parque Nacional Malinche.....	38
Cuadro 6.	Estructura de los sitios reforestados en el Parque Nacional Malinche durante el año 2005.....	40
Cuadro 7.	Estimación de la biomasa que se plantó en el Parque Nacional Malinche.	41
Cuadro 8.	Total de incendios que afectaron el estrato arbóreo durante los años 2005 y 2006.....	42
Cuadro 9.	Composición de las parcelas para incendios en el año 2006 en el Parque Nacional Malinche.....	43
Cuadro 10.	Estimación de la biomasa de las parcelas para incendios.....	45
Cuadro 11.	Biomasa afectada por incendios forestales en su estrato arbóreo de las comunidades vegetales presentes en el Parque Nacional Malinche.....	45
Cuadro 12.	Biomasa afectada por incendios forestales en 2006 en el Parque Nacional Malinche.....	46
Cuadro 13.	Municipios pertenecientes al estado de Tlaxcala que extrajeron productos forestales durante los años 2005 y 2006.....	47
Cuadro 14.	Productos forestales que se extrajeron del Parque Nacional Malinche con permiso de las autoridades durante 2005 y 2006.....	48
Cuadro 15.	Biomasa extraída durante 2005 y 2006 del Parque Nacional Malinche.....	50
Cuadro 16.	Evaluación final de los movimientos de biomasa en el Parque Nacional Malinche durante los años 2005 y 2006.....	51
Cuadro 17.	Estimación de la biomasa de árboles del Parque Nacional Malinche mediante el uso de ecuaciones alométricas y volumétricas.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes que forman parte de la evaluación.....	13
Figura 2. Descripción de una parcela de monitoreo permanente y los parámetros inventariados por árbol.....	14
Figura 3. Estimación de la biomasa aérea forestal	16
Figura 4. Parámetros estructurales inventariados en los círculos de las áreas reforestadas.....	20
Figura 5. Categorías del arbolado post-incendio y los parámetros estructurales inventariados.....	22
Figura 6. Mapa de las principales comunidades vegetales y usos de suelo del Parque Nacional Malinche, se muestra el polígono de límite del Parque de acuerdo al decreto presidencial.....	27
Figura 7. Estructura de las principales especies del Parque Nacional Malinche, de acuerdo al inventario de las parcelas de monitoreo permanente	33
Figura 8. Mapa de los sitios reforestados en 2005 en el Parque Nacional Malinche. ...	39
Figura 9. Mapa de los rodales incendiados en el año 2006, con afectación del estrato arbóreo en el Parque Nacional Malinche.	44
Figura 10. Mapa de los puntos ubicados con GPS de la extracción de productos maderables del Parque Nacional Malinche durante los años 2005 y 2006...	49

RESUMEN



El Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche presenta una dinámica de uso que se repite año tras año, de tal manera que se puede pensar en un movimiento de biomasa reiterativo, por ello el objetivo principal del presente trabajo fue evaluar las entradas y salidas de biomasa en esta ANP, en función del Programa de Manejo del Parque. Las principales acciones que modifican la biomasa aérea forestal del Parque son la reforestación, la extracción de madera y los incendios forestales. Inicialmente se elaboró un mapa de las comunidades vegetales y uso de suelo del volcán, el procesamiento cartográfico se realizó en el SIG ILWIS y se basó en la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas (escala 1:25,000). Se identificaron diez comunidades vegetales. Para la corroboración en campo se utilizaron los inventarios de 15 parcelas permanentes de 1 ha. Los atributos estructurales de las especies arbóreas, como el tamaño de los individuos y su abundancia, permitieron delimitar las comunidades, sobre la base de la dominancia de una especie. Para calcular la biomasa se aplicaron ecuaciones volumétricas convencionales y se calculó el valor específico de la densidad básica de la madera de *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*. El cálculo de biomasa por comunidad se hizo con base a la combinación de estas cinco especies dominantes. Se encontró que la superficie forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha, donde se almacenan 4,881,685 t de biomasa. Una vez que se conoció la biomasa almacenada en La Malinche, se estimó para los años 2005 y 2006, la biomasa que entró por reforestación, la biomasa retirada con autorización después de incendios severos y la biomasa que salió del Parque por extracción autorizada. La magnitud de almacenamiento de biomasa de La Malinche es muy importante, pero esta condición puede verse alterada en pocos años. Si se observa que en dos años se extrajeron de forma legal alrededor de 18,800 t de biomasa y que por reforestación solo ingresaron 2.3 t. Es necesario garantizar la

permanencia de las comunidades vegetales presentes en el volcán La Malinche. Igualmente resulta imperante revisar los estatutos del Programa Integral de Manejo a fin de procurar el buen estado y/o restauración de las comunidades a través de un manejo adecuado. Por lo anterior es de suma importancia brindar alternativas viables para las localidades del Parque Nacional Malinche, que reemplacen las actividades silvícolas y que sean congruentes con la categoría actual del ANP.

Palabras clave: Programa Integral de Manejo, biomasa, ecuaciones volumétricas, reforestación, incendios forestales, extracción de madera, Parque Nacional Malinche.

ABSTRACT



The Integrative Management Program of Malinche National Park, presents a dynamics that repeats every year, in such a way that it is possible to consider a movement of biomass. Thus the primary goal of the present study was to evaluate the entrances and exits of biomass in this PNA, based on the Management Program. The main actions that modify the forest aerial biomass of the park are reforestation, wood extraction and forest fires. Initially a vegetal communities map of the volcano was elaborated, the cartographic processing was made in the GIS ILWIS and it was based on the photo-interpretation of 32 aerial photographs (scale 1:25,000). Ten vegetal communities were identified. For the field confirmation the inventories of 15 permanent 1 ha plots were used. The structural attributes of the arboreal species, as well as the size of the individuals and their abundance, allowed the delimitation of the communities, based upon the dominance of a particular species tree. In order to calculate the biomass to conventional volumetric equations and calculation used and the specific gravity of the wood of the five native species: *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* and *Alnus jorullensis*. The calculation of biomass by community took control of base to the combination of these five dominant species. The forest surface of the National Park Malinche is 20,607 ha, where storage of biomass is 4,881,685 t. After having completed the stored biomass data in Malinche, the specific biomass for the years 2005 and 2006 were investigated, the biomass that entered by reforestation, the removed biomass authorized after severe fires and the biomass left at the park by authorized extraction. The magnitude of storage of biomass of the Malinche is very important, but this may change throughout the years. It was observed that in the two years of research 18,800 t of biomass had been extracted in a legal manner and only 2.3 t of biomass had been reforested. Is necessary guarantee the permanence of the present

vegetation communities in the area of the La Malinche volcano. It is furthermore important to review the different sections of the Integrative Management Plan in order to ensure the healthy status and restoration of the vegetation communities. It is highly important for the sustainable exploitation of natural resources to offer less invasive alternatives to the local communities, that replace the current forests activities and that are congruent with the category of the PNA.

Key words: Integrative Management Program, biomass, volumetric equations, reforestation, forest fires, wood extraction, Malinche National Park.

INTRODUCCIÓN



El cambio climático se definió en la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC) como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007).

La alteración en la composición de la atmósfera se debe al incremento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI). Entre los GEI se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), el metano, los óxidos de nitrógeno, clorofluorocarburos, el vapor de agua, entre otros. El CO_2 y el vapor de agua están regulados por los ciclos globales del carbono (C) y el ciclo hidrológico respectivamente.

La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de las interacciones entre diversos ciclos biogeoquímicos, particularmente el ciclo del C, los ciclos de nutrientes y el ciclo hidrológico, todos los cuales pueden resultar modificados por las actividades humanas. 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 el ciclo global de C (IPCC, 2007).

En el ciclo del C se establece un balance entre las fuentes de emisión y los almacenes. La circulación del C comienza en la reserva atmosférica. Las plantas superiores adquieren el CO_2 atmosférico por medio de la fotosíntesis, pero una parte del CO_2 regresa a la atmósfera. Los principales sumideros de C son el suelo, los océanos, los bosques tropicales, templados, boreales y los pastizales.

Sin embargo, la funcionalidad de los ecosistemas terrestres se ha visto rebasada en los últimos 200 años por un desbalance en el ciclo del C, reflejado en el incremento del CO₂ atmosférico de 280 a 379 partes por millón en 2005. Las causas principales de este incremento son las emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles y del impacto del cambio en el uso de suelo (IPCC, 2007).

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

México presenta características 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 GEI. De acuerdo con Trejo y Hernández (2005), el 69.7 % de la superficie del territorio nacional tiene cobertura vegetal de los cuales el 17.3 % son bosques, el 15.8 % son selvas, el 29.9 % es matorral xerófilo, el 6.3 % es pastizal y el 0.5 % es vegetación hidrófila.

En México se han realizado numerosos estudios con el propósito de estimar el almacenamiento de C en bosques, donde se utilizan 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 (DAP). Estos estudios tienen como fin último la incorporación de sus resultados en las negociaciones internacionales, programas gubernamentales y organizaciones civiles frente al cambio climático.

La estimación del C almacenado en bosques tiene especial interés en las Áreas Naturales Protegidas (ANP), debido a que su definición jurídica y su creación mediante un decreto presidencial, exigen regímenes especiales de protección que promueven que el C almacenado en bosques se conserve a largo plazo.

Las actividades que pueden llevarse a cabo en las ANP se establecen de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y su programa de manejo. La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) administra actualmente 161 ANP, que representan el 11.56 % del territorio nacional, de éstas sólo 52 cuentan con programas de conservación y manejo publicados.

Entre éstas ANP se encuentra el Parque Nacional Malinche que ha sido una zona ampliamente estudiada desde el punto de vista físico-ambiental (Gómez, 2002; Peña del Valle, 2003; Rojas, 2004; Wong, 2005; Castillo, 2006; Castro, 2007). A partir de la publicación del decreto de Parque Nacional en el volcán La Malinche se han realizado esfuerzos públicos y privados para concretar los objetivos de restauración, protección, fomento y uso racional de los recursos (GTP, 2001).

En el año 2001, los gobiernos de Tlaxcala y Puebla tomaron la determinación de elaborar el Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche Tlaxcala-Puebla. El programa estipula procedimientos que implican movimientos de biomasa dentro del ANP, que se repiten anualmente con el fin de evitar el cambio en el uso de suelo de forestal a cualquier otro, tener un control en la extracción de recursos forestales, realizar programas estatales de reforestación y vigilar, controlar y monitorear los incendios y las áreas incendiadas.

Actualmente en la jurisdicción del estado de Tlaxcala, se realizan actividades de conservación y manejo de los recursos naturales bajo los lineamientos del programa de manejo. Sin embargo, la jurisdicción del estado de Puebla exhibe procesos graduales y continuos de deterioro de los recursos naturales, principalmente por la falta de coordinación interinstitucional.

Por lo anterior es necesaria una evaluación de las actividades que repercuten directamente en el balance de C del bosque y son permitidas por el Programa Integral de Manejo. En el presente trabajo se realiza una evaluación de los movimientos de biomasa en el Parque Nacional Malinche que estará vigente hasta que cambien las directrices del programa de manejo o se haga otro.

OBJETIVOS



El **objetivo general** de este trabajo es evaluar los movimientos de biomasa en el Parque Nacional Malinche con base en las actividades contempladas en el Programa Integral de Manejo vigente.

En tanto que los **objetivos particulares**, derivados del anterior, son los siguientes:

- 🌲 Elaborar el mapa de vegetación del Parque Nacional Malinche
- 🌲 Estimar la biomasa almacenada en el Parque Nacional Malinche, por tipo de bosque
- 🌲 Evaluar la ganancia de biomasa por los programas de reforestación
- 🌲 Estimar la pérdida de biomasa por causa de incendios forestales
- 🌲 Calcular la pérdida de biomasa por la extracción de productos forestales

ÁREA DE ESTUDIO



Parque Nacional Malinche

Generalidades

El Eje Neovolcánico Transmexicano constituye uno de los rasgos más característicos de la geología de México (Demant, 1978). Es una región geológicamente activa y concentra la mayor parte de la población e infraestructura del país. Se distribuye en la porción central del país más o menos en el paralelo 19° N. Se extiende de Oeste a Este desde el océano Pacífico hasta el Golfo de México y se considera de origen reciente.

En esta provincia se encuentran los grandes volcanes de México, como el Pico de Orizaba (5,610 m), Popocatepetl (5,465 m), Iztaccíhuatl (5,230 m), Nevado de Toluca (4,680 m), La Malinche (4,461 m), Nevado de Colima (4,240 m) y volcán de Colima o de Fuego (3,838 m) (Yarza, 2003).

El volcán La Malinche se localiza entre los estados de Tlaxcala y Puebla, su posición geográfica esta entre los de 19°06'04" y 19°20'06" latitud Norte y 97°55'41" y 98°10'52" longitud Oeste.

El volcán fue decretado ANP por el Presidente Lázaro Cárdenas el 21 de septiembre de 1938, con el carácter de Parque Nacional (Diario Oficial de la Federación, 1938). El propósito de su creación fue salvaguardar los ecosistemas forestales en beneficio de las comunidades rurales y para la protección del área de recarga de los acuíferos del valle poblano tlaxcalteca.

El Parque Nacional Malinche comprende una superficie total de 46,095 ha, de las cuales 33,163 ha (72%) corresponden al estado de Tlaxcala y 12,932 ha (28%) al estado de Puebla.

El Gobierno del estado de Tlaxcala, a través de la Coordinación General de Ecología (CGET) administra este Parque, bajo un acuerdo de cooperación entre ambas entidades (Diario Oficial de la Federación, 1996).

Geología

El volcán La Malinche es de origen poligenético (formado por varios eventos eruptivos), su formación data del Mioceno. Aunque se ha considerado a La Malinche como un volcán extinto, presentó una erupción en el 8,000 AC y debido a que se han reportado otros volcanes que han hecho erupción después de un largo período de inactividad, se identifica a este volcán como potencialmente activo y en reposo en la actualidad (Castro, 2007). La estratigrafía del volcán está compuesta principalmente por depósitos piroclásticos de composición dacítica andesítica (Castro y Siebe, 2007).

Edafología

Los suelos de La Malinche corresponden a derivados de cenizas volcánicas y se consideran de origen reciente. De acuerdo con la clasificación de Allende (1968) se localizan Litosoles de textura media, asociación de Andosoles Húmicos con Regosoles Dísticos de textura gruesa, asociación de Fluvisoles Eutricos con Luvisoles Orticos de textura gruesa. Estos suelos muestran un proceso de andosolización que se clasifica dentro del Orden Inceptisol. Por esta razón, los suelos que predominan en esta área son poco o nada útiles para el aprovechamiento agrícola y muy propensos a la erosión.

Hidrología

La Malinche forma parte de la cuenca hidrológica del río Atoyac–Zahuapan, aportando volúmenes considerables a las aguas subterráneas y de afloramiento, de la presa Manuel Ávila Camacho (Hommer, 2002).

Las condiciones del suelo y subsuelo y las fuertes pendientes, dan lugar a un drenaje muy rápido, registrándose principalmente corrientes temporales. El volcán tiene solo una corriente permanente, conocida como río Barranca Grande (GTP, 2001).

En las laderas inferiores, el nivel freático se está bastante profundo (Espejel, 1998). En 1976, la precipitación pluvial de La Malinche provocaba un escurrimiento anual de $430\text{m}^3/\text{ha}$, estas aguas llenan los mantos freáticos con 150 millones de m^3 al año, sin embargo, a medida que se desforesta, disminuye esta infiltración y, por el contrario, aumenta el arrastre y la erosión del suelo (GTP, 2001).

Clima

El clima que predomina en gran parte de la Sierra Nevada y la región poblano tlaxcalteca es templado con lluvias en verano de acuerdo con el Sistema Climático de Köppen (Jáuregui, 1968).

En el volcán La Malinche existe según la clasificación de Köppen modificado por García (1976) un tipo de clima templado subhúmedo de manera dominante. Los principales tipos de clima en el volcán, de acuerdo a dicha clasificación son:

C (w_1) (w).- Clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Temperatura media anual entre 11 y 17°C , temperatura de mes más frío entre 3 y 18°C . Porcentaje de precipitación invernal con respecto a la anual menor a 5. Se presenta en la parte meridional de la región.

C (b') (w_2) (w).- Clima semifrío y subhúmedo con lluvias en verano. Temperatura media anual entre 5 y 12°C , temperatura del mes más frío -3 y 18°C . Precipitación del mes más seco menor a 40 mm, porcentaje de precipitación invernal con respecto a la anual menor de 5. Se presenta en las laderas superiores del volcán.

E (T) H.- Clima frío. Temperatura media del mes más caliente menor a 6.5°C . Temperatura media anual entre 2 y 5°C , temperatura del mes mas frío menor a 0°C , se presenta en la cima del volcán.

Vegetación

La mayor parte del territorio mexicano queda incluido dentro del reino neotropical y solo una fracción de la superficie del país queda inscrita en el reino holártico. El Parque Nacional Malinche queda dentro del reino neotropical, ubicado en la región xerófita mexicana y la provincia de la altiplanicie, la cual se extiende desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Michoacán, Estado de México, Tlaxcala y Puebla (Rzedowski, 1978).

A pesar de la importancia a nivel florístico que representa La Malinche no existe un estudio de la totalidad del Parque Nacional sobre su flora. No obstante, López *et al.* (2005) realizaron una revisión de los trabajos mencionan o describen la vegetación.

Se hace referencia a trabajos desde 1927 hasta 2005, que incluyen la descripción de los bosques de La Malinche, la vegetación montañosa de Puebla y Tlaxcala, estudios ecológicos por tipo de bosque, reportes de coníferas y muérdagos enanos presentes en el volcán, la revisión de las gramíneas del estado de Tlaxcala, y listados de especies utilizadas por los pobladores del volcán. Con base en colectas y revisión bibliográfica estructuraron un listado de 404 especies de flora fanerogámica (López *et al.*, 2005).

Villers *et al.* (2006) elaboraron una guía botánica del Parque Nacional Malinche, con el objetivo de contribuir al conocimiento y apreciación de las principales comunidades y especies vegetales del volcán. 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 interpretación y cartografía precisa.

MÉTODO



Con base en las actividades de manejo y conservación que se plantean en el Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche (GTP, 2001), se esquematiza en la Figura 1 las principales acciones que modifican la biomasa aérea forestal del Parque, durante la vigencia del Programa que inició en 2001. En el presente estudio la biomasa corresponde a la definición de Garzuglia y Sacket (2003): cantidad total de materia orgánica aérea presente en todos los árboles incluyendo hojas, ramas, tronco principal y corteza.

Se evaluaron los componentes señalados en la Figura 1 para los años 2005 y 2006 como un ejemplo para entender los procesos que afectan la cantidad de biomasa en el ANP. Se presenta como entrada de biomasa la reforestación, y como salidas la extracción de madera y los incendios forestales, estos aspectos forman parte de las modificaciones y dinámica forestal de La Malinche.

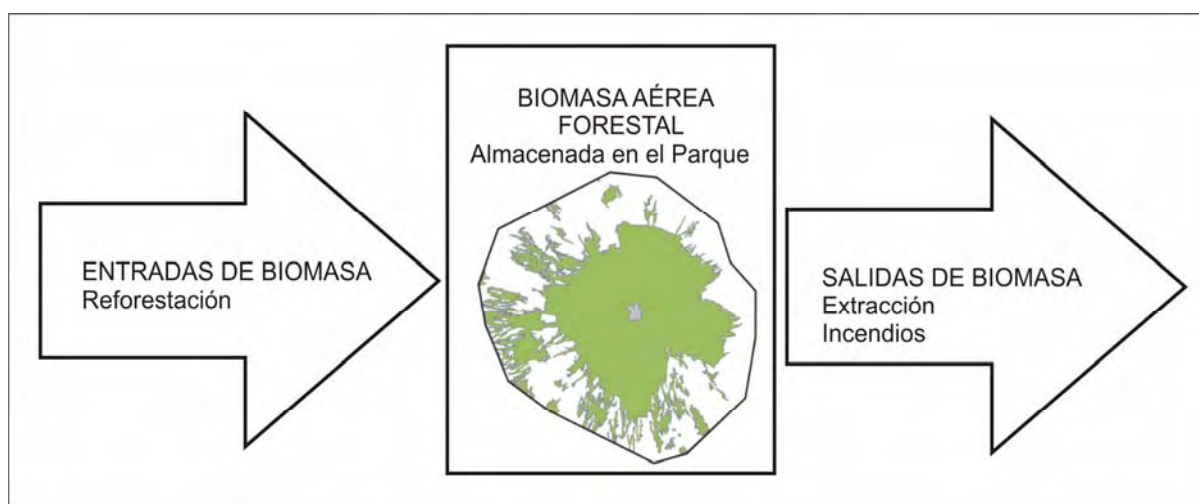


Figura 1. Componentes que forman parte de la evaluación.

Biomasa aérea forestal almacenada en el Parque

Mapa de Vegetación

Se elaboró un mapa de las comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche. Para ello se efectuó la fotointerpretación de 32 fotografías aéreas, con escala 1:25,000 del volcán (SECODUVI, 2001), basada en los elementos dominantes del estrato arbóreo (forma de la copa y características del follaje) y su manifestación sobre la fotografía aérea como tonos, texturas y formas (Ayala, 1995).

El procesamiento cartográfico de la información se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) ILWIS (Integrated Land and Water Information System) versión 3.3.

Inventario forestal

Para la verificación de la fotointerpretación se contó con la información de 15 parcelas de monitoreo permanente (Peña del Valle, 2003 y Rojas, 2004). Cada parcela está formada por 10 círculos de 0.1 ha, separados por 50 m del centro del primero al segundo, cubriendo un área total de 1 ha (Figura 2). En cada círculo se inventariaron todos los árboles con altura mayor a 1.3 m, se registró el DAP y altura total de cada individuo.

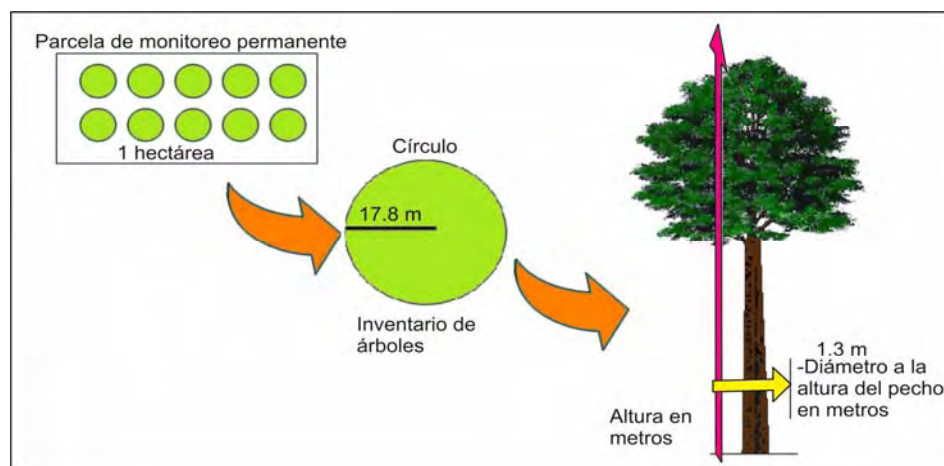


Figura 2. Descripción de una parcela de monitoreo permanente y los parámetros inventariados por árbol.

Con el fin de nombrar las distintas comunidades fotointerpretadas se considero 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 se calculó el valor de importancia por especie arbórea. El valor de importancia se construyó de la siguiente forma (Kent y Coker, 1992):

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

Donde:

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

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

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

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 en los que esta presente la especie, 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, o de cada comunidad definida, se requiere conocer el volumen del árbol y la densidad de la madera (Figura 3). Los datos del inventario forestal respecto a la estructura del árbol y especie, se utilizaron para obtener el volumen.

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

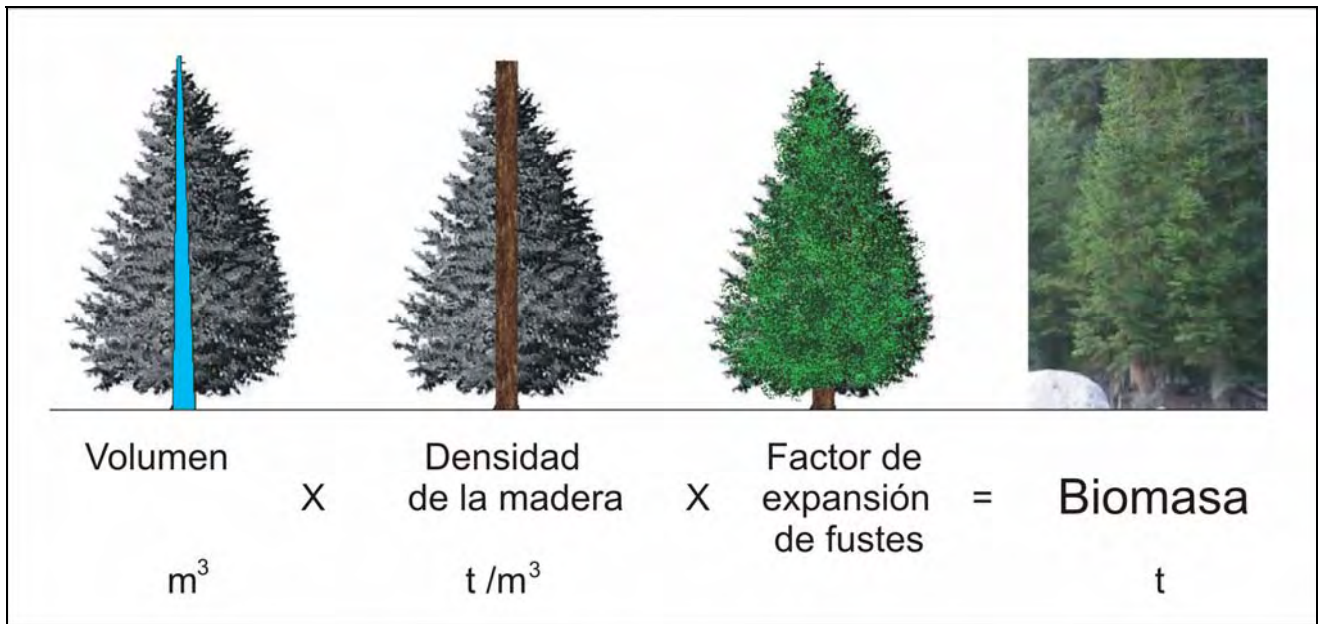


Figura 3. Estimación de la biomasa aérea forestal

El volumen se multiplicó por el valor específico de la densidad de la madera de las cinco especies nativas. Después se multiplica por la constante del factor de expansión de fustes (FE), para incluir otros componentes de la biomasa, que no se pueden conseguir por no mediciones directas, como las ramas y el follaje.

Volumen

Para obtener el volumen de cada árbol registrado en el inventario en metros cúbicos se utilizó la ecuación convencional propuesta por Grijpma (2001):

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

Donde:

V= volumen (m^3)

DAP²= diámetro a la altura del pecho al cuadrado (m)

$\pi / 4 = 0.7854$

h= altura del árbol (m)

CM= coeficiente mórfico forestal

Densidad de la madera

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

Cada núcleo de madera, se guardó en un popote de plástico para su traslado y se almacenó en una hielera para evitar su deshidratación. Luego de que se obtuvo el núcleo de madera, se cubrió la herida del árbol con cera de Campeche, para protegerlo de parásitos o plagas.

Después de 24 horas de la extracción, los núcleos de madera se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001g 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):

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

Donde:

V_v = 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 (P_o) de los núcleos de madera se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 100 a 105° C, durante 24 horas y se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001g. Con los dos valores obtenidos se aplicó la fórmula de la densidad de la madera, propuesta por Valencia y Vargas (1997):

$$D_b = P_o / V_v \quad (4)$$

Donde:

D_b = densidad básica de la madera (g/cm^3)

P_o = peso anhidro (g)

V_v = 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 multiplicó por la densidad específica de la madera, y a su vez, este resultado se multiplicó por el factor de expansión de fustes (FE), como sigue:

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

Donde:

B= biomasa ($t \text{ ha}^{-1}$)

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 se sumaron los valores de todos 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.

Se utilizó el valor promedio de las parcelas, y se recalculó según la composición vegetal y la superficie en hectáreas de cada comunidad fotointerpretada.

Ganancia de biomasa: reforestación

A partir del año 2001 en el que entró en vigor el del Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche, se ha pretendido realizar un programa anual de reforestación con especies nativas, contribuyendo en gran parte al mejoramiento de los servicios ambientales que se obtienen del Parque. En el período de evaluación de este estudio únicamente se llevó a cabo un programa de reforestación en agosto de 2005.

La plantación incluyó 201,078 arbolitos de *Pinus montezumae* Lamb. y 69,447 arbolitos de *P. pseudostrobus* Lindl., en 453 ha distribuidas en cinco municipios cuyo territorio se encuentra dentro del Parque Nacional Malinche. Se evaluó la biomasa aportada por este programa de reforestación conforme a los datos registrados por González (2008) durante 2006.

Mapa de áreas reforestadas

Se hicieron recorridos en campo a fin de rodalizar cada una de las áreas reforestadas en 2005 (González, 2008). Los puntos levantados en campo con el GPS se guardaron en un archivo vectorial en el SIG (ILWIS) a fin de poder generar el polígono de las áreas reforestadas y conocer la superficie de éstas en hectáreas.

Inventario forestal

Para calcular la biomasa se contó con los resultados finales de la evaluación de la reforestación de 2005 (González, 2008). Esta evaluación recabó la información 49 círculos de 250 m², de acuerdo con la superficie del rodal reforestado. En cada círculo se inventariaron todos los arbolitos plantados, se registró la especie, el diámetro de la base y altura total de cada individuo durante 2006 (Figura 4).

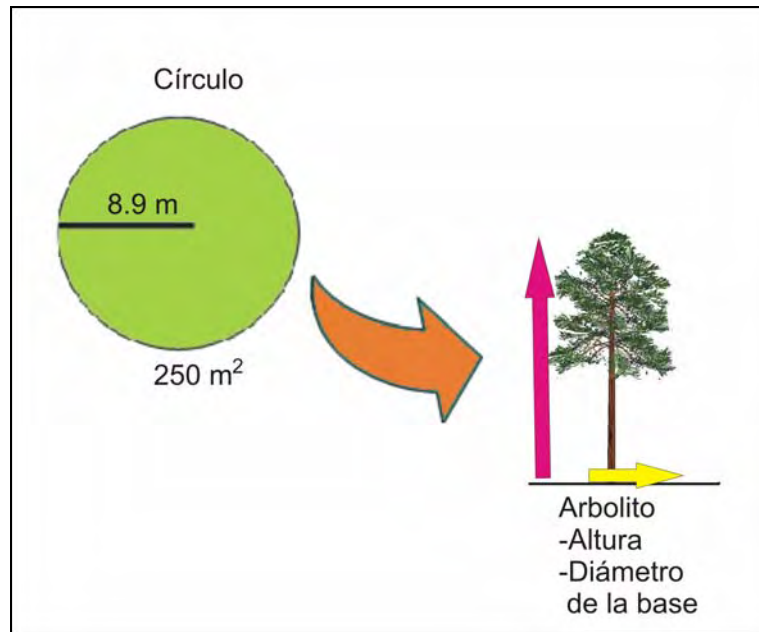


Figura 4. Parámetros estructurales inventariados en los círculos de las áreas reforestadas.

Estimación de la biomasa en áreas reforestadas

Se realizó la evaluación de acuerdo a la densidad de individuos por hectárea, la especie introducida y datos estructurales (González, 2008).

Para calcular la entrada de biomasa por reforestación de igual forma en que se hizo el cálculo de la biomasa almacenada en el Parque, se requiere conocer el volumen del árbol y la densidad específica de la madera.

Volumen

Los datos estructurales de cada árbol se utilizaron para obtener el volumen, con la ecuación convencional de Grijpma (2001).

Biomasa

El volumen se multiplicó por el valor específico de la densidad de la madera, y por el factor de expansión de fustes. De la misma manera que para el cálculo de la biomasa aérea forestal almacenada en el Parque se siguió la recomendación de Brown y Lugo (1984).

Pérdida de biomasa: incendios forestales

Para estimar la biomasa forestal afectada por los incendios forestales, se hizo una revisión de los reportes de las áreas incendiadas que tiene la CGET, para los años 2005 y 2006.

Los registros de la CGET incluyen la fecha del incendio, las coordenadas geográficas de los sitios afectados, el municipio al que pertenecen, el predio, el paraje, la causa así como el estrato y la superficie en hectáreas.

Los incendios a considerar en este trabajo son lo que afectaron el estrato arbóreo de forma tal que los árboles dañados sean viables para ser retirados según señala el Programa Integral de Manejo y, por consiguiente, constituyen una pérdida de biomasa forestal.

Mapa de áreas incendiadas

Se realizaron recorridos de campo de los parajes incendiados, a fin de rodalizar las áreas, verificar que el incendio haya afectado el estrato arbóreo y comparar la superficie reportada por la coordinación y la evaluada en campo. Los puntos levantados en campo con el GPS se guardaron en un archivo vectorial en el SIG (ILWIS) a fin de obtener el polígono del incendio y conocer su superficie en hectáreas.

Inventario forestal

Se levantó el inventario forestal de 1 ha por cada incendio, siguiendo el procedimiento de las parcelas de monitoreo permanente (Figura 2). Por tratarse de rodales incendiados en cada círculo, se registró la especie, y se clasificó dentro de cada una de las siguientes categorías: tocón (árbol que fue retirado, por lo que se registró su área basal y altura), árbol muerto (árbol chamuscado muerto en pie, no tiene hojas verdes en ninguno de los tres tercios de la copa), rebrote (árbol chamuscado con rebrotes en el primer tercio de la copa) y árbol vivo (árbol que solo se chamuscó durante el incendio, pero en los tres tercios de la copa porta hojas verdes) (Figura 5).

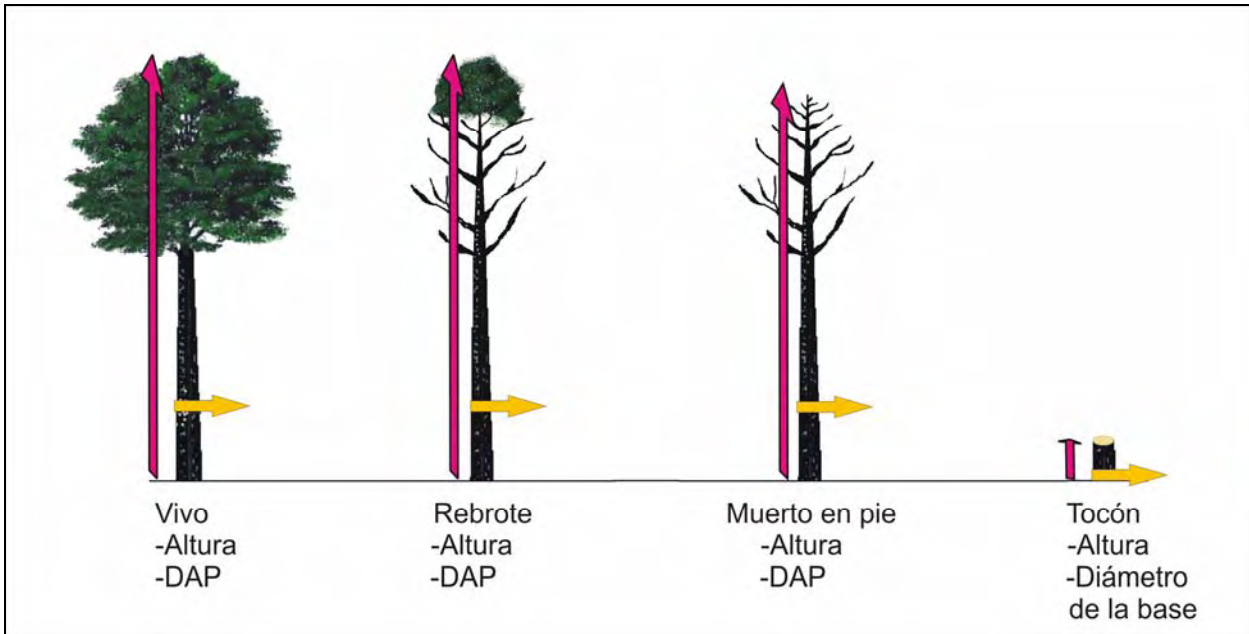


Figura 5. Categorías del arbolado post-incendio y los parámetros estructurales inventariados.

A partir de las especies registradas en cada hectárea inventariada por incendio, se calculó el valor de importancia por especie arbórea como el determinante de la composición, de acuerdo con la fórmula propuesta por Kent y Coker (1992).

Estimación de la biomasa afectada por incendios

Para calcular la biomasa de los rodales afectados por incendios, se requiere conocer el volumen del árbol y la densidad de la madera (Figura 3). Por lo anterior en el caso de los tocones, se calculó el parámetro de altura, debido a que existe una correlación entre altura y DAP por especie (Rojas, 2004); a partir de los datos medidos de cada especie se obtuvo una fórmula para calcular la altura de los tocones.

Volumen

Para obtener el volumen de cada árbol registrado en el inventario en metros cúbicos se utilizó la ecuación convencional propuesta por Grijpma (2001).

Biomasa

Una vez obtenido el volumen de cada árbol inventariado se multiplicó este valor por la densidad específica de la madera, y a su vez este resultado se multiplicó por el factor de expansión de fustes, de acuerdo con Brown y Lugo (1984).

Debido a que durante el levantamiento del inventario forestal en los rodales incendiados se registró la condición del árbol (Figura 5), se estimó la biomasa total afectada, la biomasa viable para ser retirada por manejo representada por las categorías de tocón y árbol muerto en pie, y la biomasa resistente al incendio, es decir lo árboles que presentaron rebrote y los que quedaron vivos.

Pérdida de biomasa: extracción de productos forestales

El Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche regula la extracción de recursos naturales, para lo cual se contempla un programa anual, en el cual las comunidades asentadas dentro y en la zona de influencia del Parque puedan hacerlo de manera controlada. Los productos forestales extraídos más comunes son el carbón utilizado para cocinar y tablas, polines, vigas, morillos y leña, utilizados para la construcción de muebles y casas.

El carbón es el producto de la ignición controlada de troncos de *Quercus* spp. L. y *Alnus jorullensis* Kunth. , el cuál tiene un rendimiento de leña verde a carbón de 10-15% en peso o volumen, de acuerdo con el Programa Integral de Manejo 500 Kg de este producto corresponden a 2.38 m³ de madera.

Los morillos son fustes desprovistos de corteza y ramas de un árbol joven de *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham. de aproximadamente 10 años de edad, con un diámetro basal de 15 cm y una longitud de 6 m. Ocho piezas de morillos equivalen a 1.3 m³ de madera.

Las vigas se labran a mano, de una base rectangular de 13 por 25 cm y una longitud de 6 m, a partir de un fuste de *Pinus* spp. o *Abies religiosa*. Ocho vigas corresponden a 4.90 m³ de madera.

Las tablas y los polines proceden de fustes de *Pinus* spp. o *Abies religiosa*. Las tablas miden 25 cm de ancho, 2.5 cm de grueso y 3 m de longitud. Los polines son postes con base cuadrangular de 10 por 10 cm y una longitud de 3 m. Tres docenas de ambos productos corresponden a 3.3 m³ de madera.

Para evaluar la pérdida de biomasa por extracción de productos forestales, se contó con los registros de la CGET cuyo control se lleva en cada caseta de vigilancia forestal del Parque. Los registros contemplan el nombre del usuario, el municipio, la ubicación del árbol aprovechado y la cantidad del recurso en Kg, m³ o número y clase de piezas obtenidas.

Mapa de áreas de extracción de productos forestales

De los registros de la CGET, se utilizaron los puntos georreferidos de donde se extrajeron productos forestales; estos datos se guardaron en un archivo vectorial en el SIG (ILWIS) a fin de conocer y señalar las áreas donde se permitió el aprovechamiento o la extracción

Estimación de la biomasa forestal extraída por manejo

El Programa Integral de Manejo establece claramente las especies que pueden ser aprovechadas y cuales son sus productos: para obtener carbón, cuando se utilizan troncos de *Quercus* spp. y *Alnus jorullensis*; los morillos se obtienen de árboles jóvenes de *Abies religiosa* y las vigas, tablas y polines pueden proceder de *Pinus* spp. o *Abies religiosa*. Con base en lo anterior se infirió que especie se trataba a partir del tipo de producto forestal y al sitio de extracción.

Volumen

Se convirtieron todos los registros de extracción atendiendo a las especificaciones de la CGET, que indican que 500 Kg de carbón equivalen a 2.38 m³ de madera, una pieza de morillo es igual a 0.14 m³ de madera, una pieza de viga equivale a 0.6125 m³ de madera y una pieza de tabla o polín corresponde a 0.0916 m³ de madera.

Biomasa

La biomasa extraída se estimó a partir de la especie inferida, el volumen de madera reportados por la CGET y la densidad de la madera estimada en este estudio, para seguir la recomendación de Brown y Lugo (1984).

RESULTADOS



Biomasa aérea forestal almacenada en el Parque

Mapa de vegetación

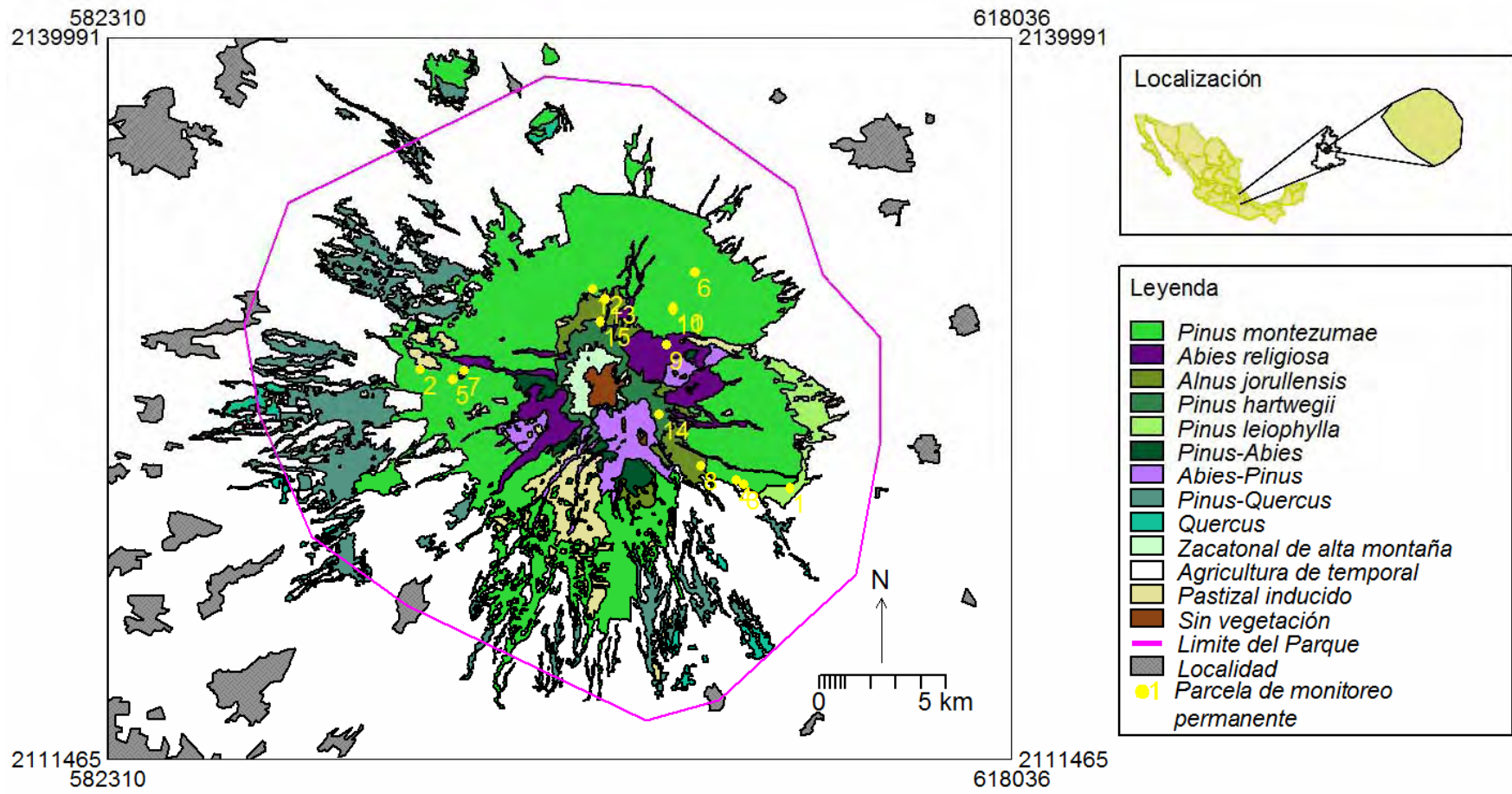
La fotointerpretación resultante mostró que el área forestal cubre 20,607 ha (44.7 % de la superficie total del Parque) y las áreas destinadas a la agricultura de temporal ocupan 23,332 ha de la superficie del Parque (50.6 %).

El valor de importancia de las especies se tomó en cuenta para el ajuste en la fotointerpretación, lo que permitió la rodalización de las principales comunidades vegetales, que se presentan en el mapa (Figura 6).

Durante este proceso se generalizaron diez tipos de comunidades vegetales: 1) el bosque dominado por *Pinus montezumae*, 2) bosque de *Abies religiosa*, 3) bosque de *Alnus jorullensis*, 4) bosque de *Pinus hartwegii*, 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.

Comunidades vegetales

Los atributos estructurales, como el tamaño de los individuos y su abundancia, permitieron delimitar las comunidades, sobre la base de la dominancia o codominancia de las especies arbóreas. A continuación se describen las más destacadas comunidades vegetales del Parque Nacional Malinche.



Elaboró: Biól. Fabiola Rojas García
 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.
 Fecha 17 de agosto de 2007

Figura 6. Mapa de las principales comunidades vegetales y usos de suelo del Parque Nacional Malinche, se muestra el polígono de límite del Parque de acuerdo al decreto presidencial

El **bosque de *Pinus montezumae*** es la comunidad vegetal de mayor extensión en el volcán La Malinche, con 12,170 ha, esto es 59% de la superficie forestal. Por ello, ocho de las 15 parcelas de monitoreo permanente (2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 y 13), en donde se levantaron los inventarios, se ubicaron dentro de esta comunidad vegetal. Este bosque se desarrolla desde los 2800 hasta los 3550 m. *Pinus montezumae* es la especie más abundante. Es un bosque moderadamente alto (25 m), denso y generalmente monoespecífico, aunque en ocasiones comparte la dominancia con *P. pseudostrobus*, *P. teocote* Schltld. & Cham., *P. patula* Schltld. & Cham. y *Arbutus xalapensis* Kunth. En esta comunidad vegetal como resultado de plantaciones forestales se encuentran *Cupressus benthamii* Endl., *Salix paradoxa* Kunth y *Crataegus mexicana* Moc. Sessé. En el estrato arbustivo se encuentra *Buddleia cordata* Kunth, asimismo en el estrato herbáceo están *Muhlenbergia macroura* (Kunth) Hitchc., *Penstemon campanulatus* (Cav.) Willd., *Lupinus montanus* Kunth, *Castilleja tenuiflora* Benth., *Salvia laevis* Benth., *Cirsium subuliforme* Ownbey y *Senecio sinuatus* Gilib.

El **bosque de *Abies religiosa*** es una comunidad vegetal que destaca por su majestuosidad y belleza; en La Malinche esta comunidad perennifolia se desarrolla entre los 2900 y 3700 m. Esta comunidad crece casi siempre 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 forestal del Parque Nacional, con 1,366 ha. La especie dominante es *Abies religiosa* con árboles de 25 m de altura promedio y hasta de 50 m. Se desarrolla sobre suelos a menudo casi totalmente revestidos por musgo, en el estrato arbustivo se encuentran *Senecio cinerarioides* Kunth., *Baccharis conferta* Kunth, *Ageratina glabrata* (Kunth) R. M. King & H. Rob., *Asplenium monanthes* L. y *Fuchsia thymifolia* Kunth; y entre las herbáceas *Festuca amplissima* Rupr., *Castilleja arvensis* Schltld. & Cham., *Salvia elegans* Vahl., *Senecio callosus* Sch. Bip. y *Vicia pulchella* Kunth. Se presenta en forma monoespecífica o puede existir en forma mixta con especies del género *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 dos parcelas de monitoreo permanente (7 y 9).

El **bosque de *Alnus jorullensis*** es una comunidad vegetal caducifolia que en La Malinche se observa entre los 3150 y los 3700 m. En esta comunidad es común la hojarasca abundante, ocupa 3.7% de la superficie forestal de La Malinche con 756 ha. Aquí se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (8 y 12). La especie dominante es *Alnus jorullensis* con árboles con una altura promedio de 12 m. En el estrato arbustivo se localiza *Roldana angulifolia* (DC.)H. Rob. & Brettell y en el estrato herbáceo *Astragalus guatemalensis* Hemsl. y *Stellaria cuspidata* Willd. ex Schltld. Pueden encontrarse las asociaciones ***Alnus-Pinus*** y ***Alnus-Quercus***.

El **bosque de *Pinus hartwegii*** se distribuye en el volcán La Malinche por arriba de los 3400 m y hasta los 4000 m 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 presenta en 657 ha, ocupando 3.2% de la superficie forestal del Parque, por lo anterior en esta comunidad se establecieron dos parcelas de monitoreo permanente (14 y 15). En su estrato arbustivo se distribuye *Senecio mairetianus* DC., mientras que en el herbáceo *Eryngium proteaeflorum* F.Delaroche, *Cirsium nivale* (Kunth), *Robinsonecio gerberifolius* (Sch. Bip. ex Hemsl.) T.M.Barkley & Janovec Sch. Bip., *Lupinus aschenbornii* S. Schauer y *Trisetum altijugum* (E.Fourn.) Scribn. Es posible observar pequeños manchones de *Abies religiosa* entremezclados con esta comunidad hasta los 3700 m, a partir de esta altitud y hasta los 4000 m se presenta como un bosque monoespecífico.

El **bosque de *Pinus leiophylla*** en el volcán La Malinche se distribuye en altitudes entre los 2600 y menores a 2900 m. En la mayoría de los casos se trata de un bosque mixto o bien áreas donde se han realizado programas de reforestación con *Pinus leiophylla* Lam. con una altura promedio de 22 m. El estrato arbustivo se puede encontrar *Arctostaphylos pungens* Kunth, *Barkleyanthus salicifolius* (Kunth) H. Rob. & Brettell y *Roldana barba-johannis* (DC.) H.Rob.& Brettell, y en el herbáceo *Fleischmannia pycnocephala* (Less.) R.M. King y *Stevia monardifolia* Kunth. Esta comunidad ocupa 2.5% de la superficie forestal del Parque Nacional, con 520 ha. Por ello se estableció solo una parcela de monitoreo permanente en esta comunidad (1).

El **bosque de *Quercus*** es una comunidad vegetal caducifolia que se desarrolla en altitudes entre los 2300 y hasta los 2800 m. En La Malinche existen algunas reminiscencias de encinares 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, como *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***. El estrato arbustivo se puede encontrar *Pernettya prostrata* (Cav.) DC. y *Roldana barba-johannis*. En el estrato herbáceo se distribuyen *Cunila lythrifolia* Benth. y *Viola painteri* Rose & House. Esta comunidad ocupa en 1.9% de la superficie forestal del Parque, con 385 ha.

El **zacatonal de alta montaña** que comprende individuos de *Festuca tolucensis* Kunth, *Gnaphalium lavandulaceum* DC y *Senecio roseus* Sch. Bip., es una comunidad vegetal que se desarrolla 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 se observa esta comunidad a partir de los 3900 y hasta alrededor de los 4300 m, en aproximadamente 306 ha. El único elemento arbóreo que se puede encontrar es *Juniperus monticola* Martínez que crece en forma de matorral y rastrera.

Estructura de las comunidades vegetales

Para poder hacer un cálculo general de biomasa por comunidad, se tomó como referencia a los inventarios de 15 parcelas de monitoreo permanente, establecidas en las distintas comunidades vegetales de La Malinche. Las especies arbóreas presentes en cada parcela, la densidad de individuos, la dominancia y el valor de importancia escalado a 100 % se presentan en el Cuadro 1.

En total se inventariaron 4,411 árboles. Para obtener la biomasa por parcela se respetó la composición de las especies arbóreas por lo que se calculó la biomasa de *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis* en virtud de que son las más importantes según su valor de dominancia, con respecto a la totalidad de las especies inventariadas.

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

Parcela (1 ha)	Comunidad vegetal	Altitud (m)	Especies arbóreas	Densidad (# de árboles/ ha)	Dominancia (m ²)	Valor de importancia escalado a 100%
1	<i>Pinus leiophylla</i>	2851	<i>Pinus leiophylla</i>	89	21.59	59.46
			<i>Quercus sp.</i>	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 sp.</i>	28	1.05	11.66
			<i>Salix paradoxa</i>	16	0.76	8.87
			<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
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 sp.</i>	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

El género *Quercus* solo se registró en dos parcelas de monitoreo permanente. Existen mecanismos de hibridación en este género, 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 fueron contempladas para la evaluación de biomasa almacenada en el Parque.

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 7). Para *Pinus montezumae* y *P. hartwegii* se observan distribuciones normales, en las que hay un número alto de individuos de DAP pequeños. La curva de *Abies religiosa* muestra una tendencia sigmoidea cargada a la izquierda, donde en la clase I se registraron 732 individuos. Rojas (2004) refiere que los individuos de la clase I (0.1-12 cm) corresponden a árboles juveniles, que van desde plántulas hasta individuos de máximo 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), debido a que este rodal es resultado de una plantación y en el momento de la evaluación ya eran árboles maduros. En el caso de *Alnus jorullensis* un gran número de individuos pertenecen a las primeras tres categorías diamétricas; sin embargo, no se puede relacionar el DAP con la edad hasta que no se lleve a cabo el análisis de los anillos de crecimiento.

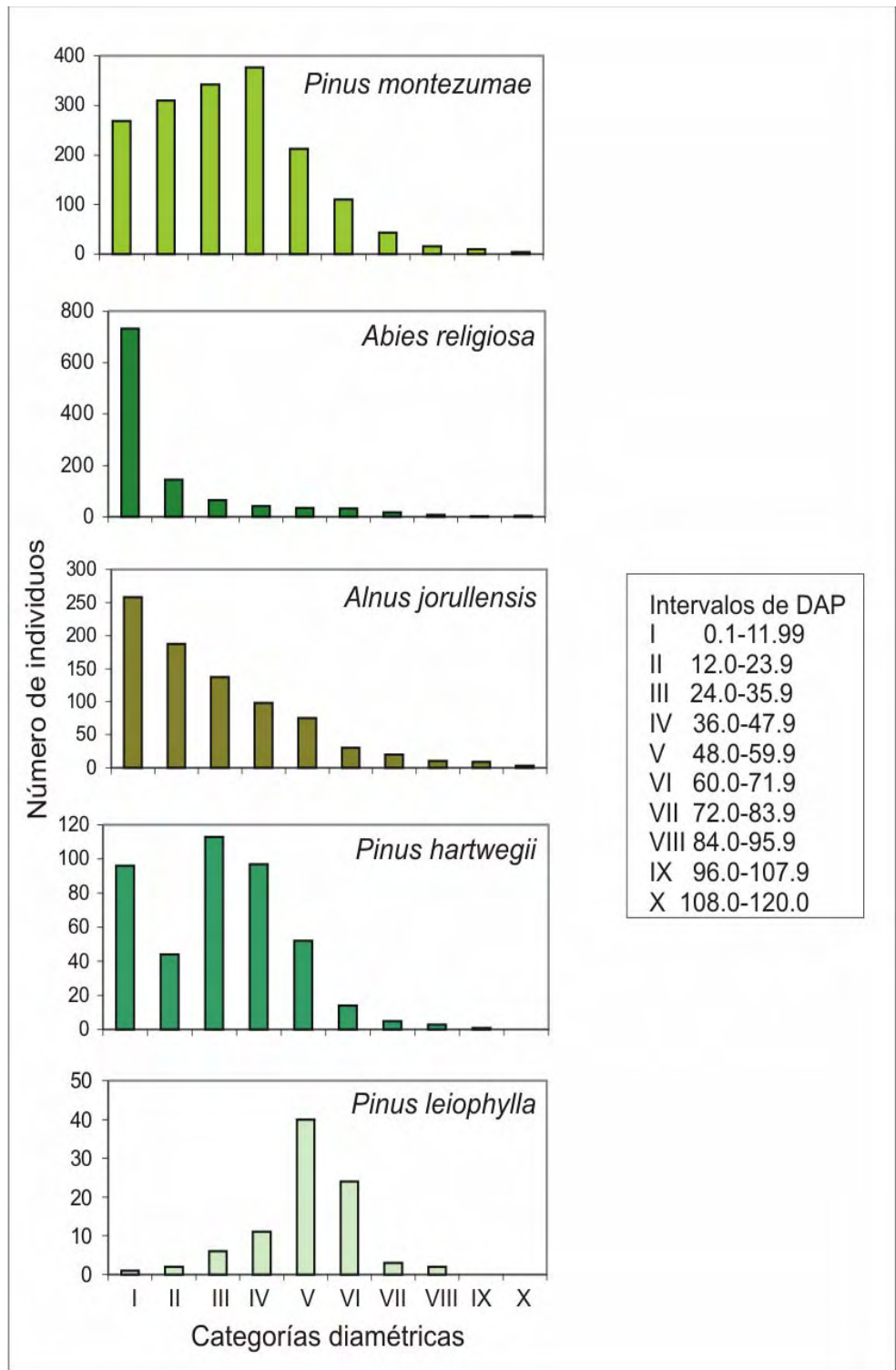


Figura 7. Estructura de las principales especies del Parque Nacional Malinche, de acuerdo al inventario de las parcelas de monitoreo permanente

Densidad básica de la madera

Los valores de densidad determinados permitieron ubicar la madera de las cinco especies dentro de la clasificación según Markwar y Meck (Echenique y Díaz, 1972). En el Cuadro 2 se presenta la densidad básica de madera de las cinco especies que va de 0.29 a 0.51 (g/cm³). Además se indica el número de núcleos de madera utilizados que se extrajeron de las parcelas en las que la especie referida era dominante.

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

Estimación de la biomasa arbórea

Con los valores de densidad básica de las cinco especies y los datos estructurales se pudo estimar la biomasa según la composición de la parcela (Cuadro 3).

Para la estimación de biomasa por comunidad vegetal fue necesario el valor de densidad básica de la madera del género *Quercus*, por ello se utilizó el valor 0.6800 g/cm³ obtenido por Nájera *et al.* (2005).

Cuadro 3. Estimación de la biomasa de las parcelas permanentes de muestreo

Parcela (1ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
2	<i>Pinus montezumae</i>	267.01	178.94
3	<i>Alnus jorullensis</i>	37.78	14.23
	<i>Pinus montezumae</i>	414.82	277.99
	Total	452.59	292.22
4	<i>Alnus jorullensis</i>	14.34	5.40
	<i>Pinus montezumae</i>	570.44	382.28
	Total	584.77	387.68
5	<i>Abies religiosa</i>	18.38	9.26
	<i>Alnus jorullensis</i>	16.73	6.30
	<i>Pinus montezumae</i>	267.24	179.09
	<i>Quercus</i>	8.67	7.66
	Total	311.01	202.31
6	<i>Pinus montezumae</i>	243.99	163.51
10	<i>Pinus montezumae</i>	402.52	269.75
11	<i>Alnus jorullensis</i>	207.86	139.30
	<i>Pinus montezumae</i>	509.84	341.67
	Total	717.70	480.97
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
7	<i>Abies religiosa</i>	221.60	111.60
	<i>Pinus montezumae</i>	34.34	23.01
	Total	255.94	134.62
9	<i>Abies religiosa</i>	743.19	374.29
	<i>Pinus montezumae</i>	33.14	22.21
	Total	776.34	396.50
8	<i>Alnus jorullensis</i>	164.05	61.81
	<i>Pinus montezumae</i>	335.64	224.93
	Total	499.69	286.73
12	<i>Abies religiosa</i>	0.02	0.01
	<i>Alnus jorullensis</i>	532.75	200.71
	<i>Pinus montezumae</i>	136.78	91.67
	Total	669.56	292.39
14	<i>Pinus hartwegii</i>	361.93	233.61
15	<i>Pinus hartwegii</i>	333.01	214.94
1	<i>Pinus leiophylla</i>	375.73	237.19
	<i>Quercus</i>	3.22	2.85
	Total	378.96	240.04

La comunidad de *Pinus montezumae* muestra diferencias en la biomasa estimada que va desde 163,51 t ha⁻¹ (parcela 6) hasta 480,97 t ha⁻¹ (parcela 11). Entre los factores que pueden haber influido en estas diferencias están la densidad de los individuos, la composición de los sitios inventariados, la elevación altitudinal ya que las poblaciones de pinos tienden a volverse más dispersas a mayor altitud, las tallas y edades ya que no son comunidades coetáneas y por otro lado las actividades antrópicas, la cercanía a caminos de paseantes y los incendios forestales (ver densidad en Cuadro 1). 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 encuentran distribuidos en un intervalo de 134,62 t ha⁻¹ (parcela 7) a 396,50 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 inventariadas (Cuadro 1).

Para la comunidad de *Alnus jorullensis* la estimación de biomasa es más semejante entre las parcelas y va desde 286,73 t ha⁻¹ (parcela 8) a 292,39 t ha⁻¹ (parcela 12), y en las dos parcelas inventariadas de esta comunidad también fue similar la densidad forestal. Cabe señalar que la parcela 8 fue nombrada 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 parcelas, van de 214,94 t ha⁻¹ (parcela 15) a 233,61 t ha⁻¹ (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 parcela 15, por lo que se puede pensar que existe una compensación entre densidad de individuos y las tallas (DAP) de los mismos (Cuadro 1).

A partir de la estimación de biomasa por parcela, se pudo calcular la biomasa por tipo de comunidad vegetal del Parque.

La comunidad de *Pinus montezumae* con mayor distribución en el Parque Nacional conjunta el mayor valor de biomasa (3,172,314 t). La comunidad de *Quercus* que es la más restringida en distribución en La Malinche presentó el menor valor de biomasa (1,878 t).

En el Cuadro 4 se muestra el nombre de la comunidad vegetal, la biomasa que correspondería a una hectárea tipo, su correspondiente desviación estándar y coeficiente de variación, la superficie de la comunidad evaluada mediante fotointerpretación y cuantificada con el SIG (ILWIS) y la biomasa total estimada para cada comunidad, así como las comunidades mixtas que se determinaron por fotointerpretación. La superficie forestal del Parque Nacional Malinche es de 20,607 ha, donde se almacenan 4,900,505 t de biomasa.

Cuadro 4. Biomasa estimada para el estrato arbóreo de las comunidades vegetales presentes en el Parque Nacional Malinche.

Comunidad	Biomasa (t ha ⁻¹)	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Superficie (ha)	Biomasa (t)
<i>Pinus montezumae</i>	268.0	80.1	29.9	12,169.9	3,172,314
<i>Pinus-Abies</i>	266.8	185.2	69.4	372.0	99,257
<i>Abies religiosa</i>	265.6	185.2	69.7	1,365.5	362,633
<i>Abies-Pinus</i>	266.8	185.2	69.4	1,008.8	269,138
<i>Alnus jorullensis</i>	289.6	15.0	5.2	755.9	218,882
<i>Pinus hartwegii</i>	224.3	13.2	5.9	656.9	147,318
<i>Pinus leiophylla</i>	237.2	s.d.	s.d.	520.1	123,363
<i>Quercus</i>	4.9	s.d.	s.d.	384.9	1,878
<i>Pinus-Quercus</i>	136.4	186.1	136.4	3,706.3	505,538
Total				20606.6	4,900,505

s.d.= sin datos, por contar solamente con una muestra

Entrada de biomasa: reforestación

En el Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche se propone aplicar reforestación en superficies donde los recursos naturales han sido aprovechados de manera continua, o están severamente alterados o modificados, o que son utilizadas con fines agrícolas y pecuarios de baja intensidad. En los dos años de este estudio únicamente hubo un programa de reforestación que llevó a cabo la CGET.

Mapa de áreas reforestadas

En agosto de 2005 la CGET realizó un esfuerzo de reforestación con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* durante la temporada de lluvias (CGET, 2005), en nueve sitios del Parque Nacional (Cuadro 5).

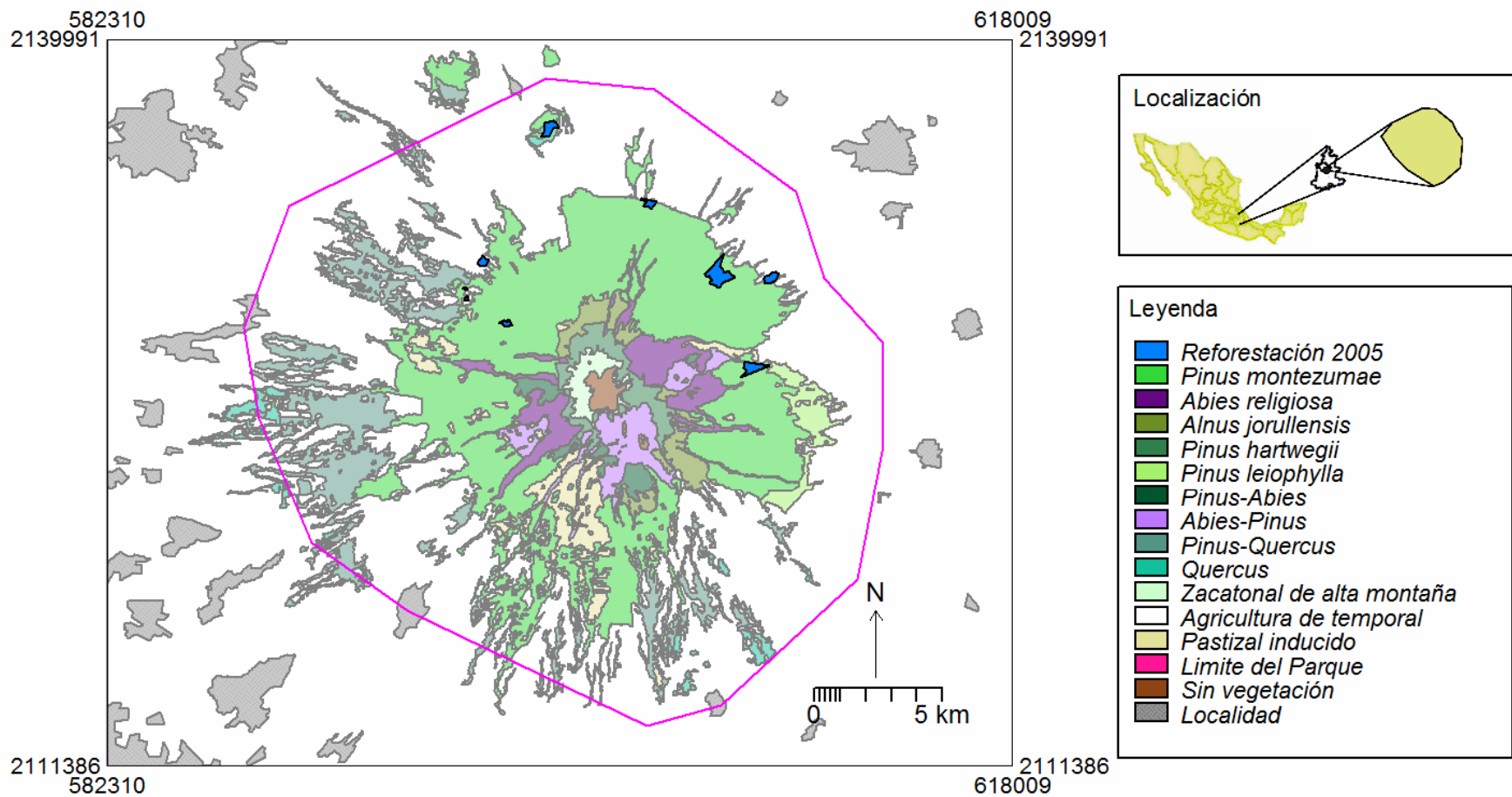
Cuadro 5. Predios seleccionados por la CGET para ser reforestados en el año 2005 en el Parque Nacional Malinche

Predio	Superficie (ha)	Comunidad original
Cerro San Marcos	21.43	<i>Quercus</i> spp.
Zacatonera	11.87	<i>Pinus montezumae</i>
La Tenaja	1.99	<i>Pinus montezumae</i>
Santanajo	11.48	<i>Pinus montezumae</i>
Las Cabañas	28.85	<i>Pinus montezumae</i>
Tres Cruces (Cahuatla)	1.25	<i>Pinus montezumae</i>
Pilares I	61.54	<i>Pinus montezumae</i>

Pilares II	16.9 0	<i>Pinus montezumae</i>
Techichil	6.82	<i>Pinus montezumae</i>

Fuente: González, 2008

La comunidad original se definió por la sobreposición de las áreas de reforestación con el mapa de vegetación y uso de suelo del Parque Nacional Malinche (Figura 8), así como el levantamiento del inventario realizado. En ocho de las áreas, la comunidad original era de *Pinus montezumae* y en el sitio del Cerro San Marcos era de *Quercus* spp.



Elaboró: Biól. Fabiola Rojas García
 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.
 Fecha 1 de octubre de 2007

Figura 8. Mapa de los sitios reforestados en 2005 en el Parque Nacional Malinche.

Estructura de las áreas reforestadas en 2005

González (2008) registró los diámetros y alturas de los arbolitos, y obtuvo los promedios de estos parámetros, así como su densidad de arbolitos por hectárea (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estructura de los sitios reforestados en el Parque Nacional Malinche durante el año 2005

Sitio	Especie plantada	Diámetro (cm)	Altura (m)	Densidad (# de árboles/ ha)
Cerro San Marcos	<i>Pinus montezumae</i>	0.55	0.24	1480
Zacatonera	<i>Pinus montezumae</i>	0.65	0.23	1000
La Tenaja	<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.68	0.17	1520
Santanajo	<i>Pinus montezumae</i>	0.76	0.34	1332
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1.00	0.25	1010
Las Cabañas	<i>Pinus montezumae</i>	0.76	0.34	1332
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1.00	0.25	1010
Tres Cruces (Cahuatla)	<i>Pinus montezumae</i>	2.48	0.17	2080
Pilares I	<i>Pinus montezumae</i>	0.55	0.24	1480
Pilares II	<i>Pinus pseudostrobus</i>	2.68	0.17	1520
Techichil	<i>Pinus montezumae</i>	0.55	0.24	1480

Estimación de la biomasa de las áreas reforestadas

Se estimó la biomasa de cada sitio reforestado (Cuadro 7), con los valores de densidad básica de la madera y los datos estructurales por especie. Para estimar la biomasa de *Pinus pseudostrobus* se utilizó el valor de densidad de la madera de 0.433 g/cm^3 propuesto por Chargoy y Enríquez (1967). Debido a que en el momento del levantamiento del inventario todos los arbolitos tenían prácticamente la misma altura, dependiendo de la especie, las diferencias encontradas se deben al tamaño de la superficie reforestada y a la densidad de arbolitos por hectárea (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 7. Estimación de la biomasa que se plantó en el Parque Nacional Malinche

Sitio	Especie plantada	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
Cerro San Marcos	<i>Pinus montezumae</i>	0.13	0.08
Zacatonera	<i>Pinus montezumae</i>	0.06	0.04
La Tenaja	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.20	0.11
Santanajo	<i>Pinus montezumae</i>	0.17	0.11
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.16	0.09
Las Cabañas	<i>Pinus montezumae</i>	0.41	0.28
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.40	0.23
Tres Cruces (Cahuatla)	<i>Pinus montezumae</i>	0.15	0.10
Pilares I	<i>Pinus montezumae</i>	0.36	0.24
Pilares II	<i>Pinus pseudostrobus</i>	1.72	0.97
Techichil	<i>Pinus montezumae</i>	0.04	0.03
Total		3.81	2.29

Pérdida de biomasa: incendios forestales

La CGET considera a las actividades agropecuarias, actividades forestales, fogatas de paseantes, quema de basureros, elaboración de caminos, fumadores, litigios, rencillas y la búsqueda de autorización para manejo forestal como causas frecuentes de incendios en el Parque Nacional Malinche.

Del total de los registros de la CGET, se localizaron diez áreas incendiadas que afectaron el estrato arbóreo, cuatro incendios ocurridos en 2005 y seis para el año 2006. En el Cuadro 8 se presentan los sitios y el municipio a donde pertenecen, así como la valoración de la superficie afectada por estrato.

Cuadro 8. Total de incendios que afectaron el estrato arbóreo durante los años 2005 y 2006.

No.	ID	Municipio	Superficie afectada (ha)				Total
			Arbolada		No arbolada		
			Renuevo	Arbolado adulto	Matorral y arbustos	Pastizales	
1	a05	Zitlaltepec	0.5			1.0	1.5
2	b05	Zitlaltepec	2.0		2.0	5.0	9.0
3	c05	Chiautempan	0.5			0.5	1.0
4	d05	José María Morelos	0.5		1.0	1.0	2.5
1	A06	Huamantla	0.5			1.0	1.5
2	B06	Ixtenco	1.0			3.0	4.0
3	C06	Zitlaltepec	2.0			4.0	6.0
4	D06	Zitlaltepec	6.0	3.0	25.0	48.0	82.0
5	E06	Xicohtencatl I	0.5		1.5	1.5	3.5
6	F06	Huamantla	22.0		13.0	21.0	56.0

Fuente: Reportes de la Coordinación General de Ecología de Tlaxcala.

Mapa de áreas incendiadas

Una vez que se corroboró en campo el daño de los diez incendios que reportó la CGET con afectación en el estrato arbóreo, se eligieron solo dos de los diez incendios (D06 y F06), debido a que en los otros ocho incendios la afectación del arbolado se reduce a un parcial chamuscado de la corteza, motivo por el que los árboles no son viables para ser retirados.

Estos incendios son importantes porque cuando los árboles están muertos en pie por esta causa las autoridades pueden extender el permiso para extraer del Parque. Los incendios de esta magnitud son el D06 y F06 (Cuadro 8). En la Figura 9 se indica su localización que afectó el arbolado adulto severamente.

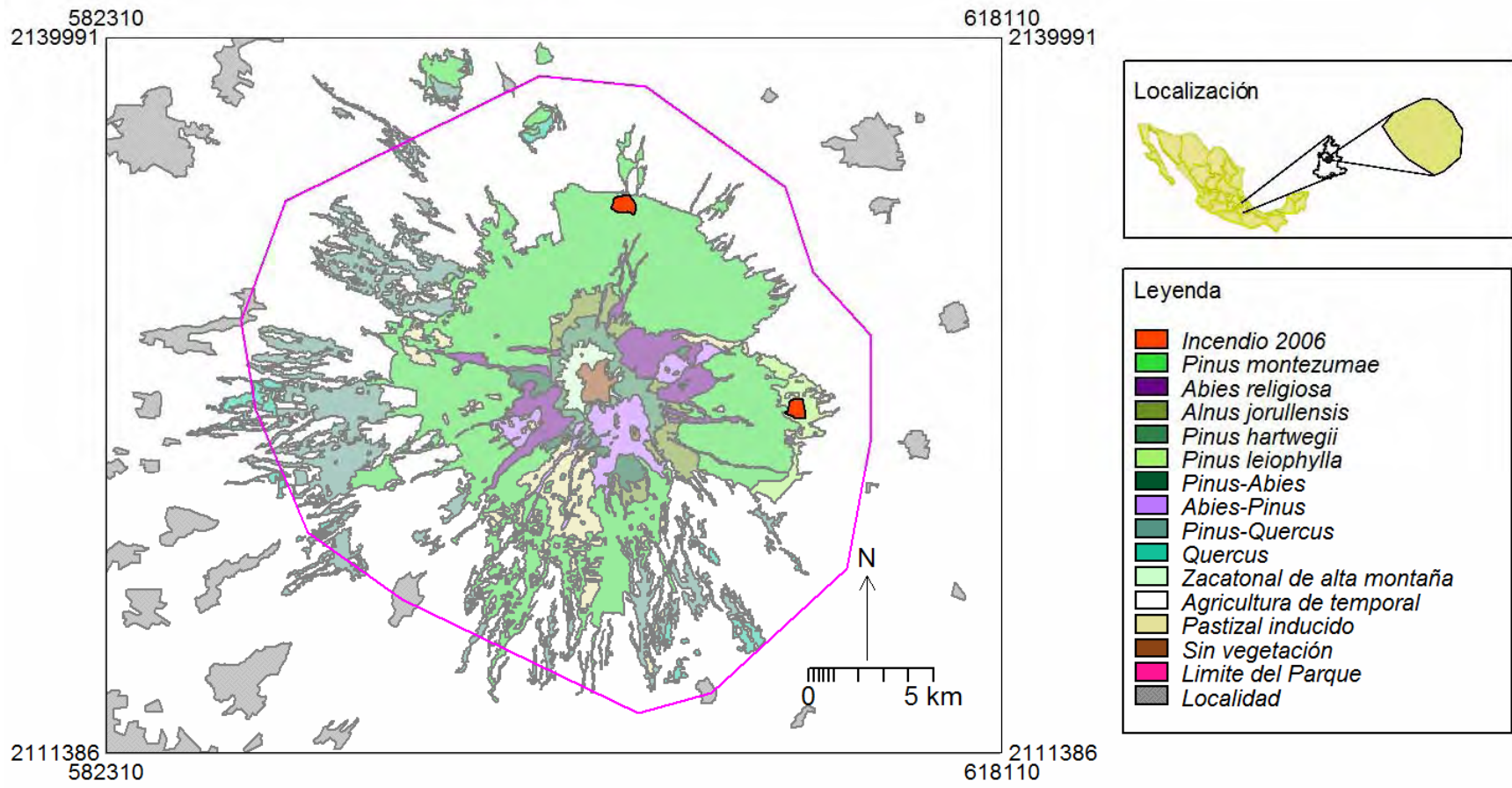
Para el D06, ubicado en el Municipio Zitlatepec, la CGET evaluó una afectación total de 82 ha, donde se incluye pastizales. Como resultado de los recorridos de campo y la medición de estas áreas con el SIG (ILWIS) se encontró que la superficie dañada fue de 47.1 ha. El incendio F06, ocurrido en el municipio de Huamantla fue evaluado por la CGET con 56 ha, y la medición en el SIG (ILWIS) resultó en 52.5 ha.

Estructura del bosque en las áreas incendiadas

En cada uno de los sitios incendiados se levantó el inventario forestal. En la parcela D06 se contabilizaron 1,118 árboles de *Pinus leiophylla*, *Arbutus xalapensis* y *Quercus* spp. La parcela F07 tenía 1,193 árboles de *Pinus montezumae*. En el Cuadro 9 se presentan las especies arbóreas de cada parcela incendiada, la densidad de individuos, la dominancia, el valor de importancia así como el porcentaje en cuanto a composición.

Cuadro 9. Composición de las parcelas para incendios en el año 2006 en el Parque Nacional Malinche.

Parcela incendiada (1 ha)	Especie arbórea	Densidad (# de árboles/ha)	Dominancia (m ²)	Valor de importancia escalado a 100%
D06	<i>Pinus leiophylla</i>	72	17.47	64.84
	<i>Quercus</i> spp.	35	2.78	28.17
	<i>Arbutus xalapensis</i>	3	0.06	6.99
F06	<i>Pinus montezumae</i>	119	25.70	100.00



Elaboró: Biól. Fabiola Rojas García

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.

Fecha 7 de noviembre de 2007

Figura 9. Mapa de los rodales incendiados en el año 2006, con afectación del estrato arbóreo en el Parque Nacional Malinche.

Estimación de la biomasa arbórea afectada por incendios

Se estimó la biomasa de cada parcela incendiada con los valores específicos de densidad básica y los datos estructurales inventariados (Cuadro 10). Para calcular la biomasa del género *Quercus* se utilizó el valor de densidad de la madera propuesto por Nájera *et al.* (2005).

Cuadro 10. Estimación de la biomasa de las parcelas para incendios

Parcela incendiada (1 ha)	Especie	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
D06	<i>Pinus leiophylla</i>	220.78	139.37
	<i>Quercus</i> spp.	11.63	10.28
	Total	232.41	149.66
F06	<i>Pinus montezumae</i>	282.49	189.31

A partir de lo anterior, se pudo estimar la biomasa que resultó afectada en los incendios del año 2006 dentro del Parque Nacional Malinche (Cuadro 11).

Cuadro 11. Biomasa afectada por incendios forestales en su estrato arbóreo de las comunidades vegetales presentes en el Parque Nacional Malinche.

Incendio	Especie afectada	Biomasa (t ha ⁻¹)	Superficie (ha)	Biomasa (t)
D06	<i>Pinus leiophylla</i>	149.7	47.1	7,048.8
	<i>Quercus</i> spp.			
F06	<i>Pinus montezumae</i>	189.3	52.5	9,938.8
Total			99.6	16,987.6

En el año 2006, sufrieron incendios forestales 99.6 ha del Parque Nacional Malinche, lo que impactó al estrato arbóreo que resultó fuertemente afectado y que almacenaba 16,987 t de biomasa.

Debido a que el Programa Integral de Manejo aprueba la extracción de los árboles siniestrados se pudo dividir la biomasa afectada en 2006 en: 1) la biomasa retirada con permiso de las autoridades, que son los tocones; 2) la biomasa viable para ser retirada, representada por los árboles muertos en pie y 3) la biomasa resistente al incendio donde se agruparon los árboles con rebrote y los vivos, al momento de levantar el inventario forestal en campo (Cuadro 12).

Sin embargo, la biomasa resistente puede llegar a ser retirada si los árboles con rebrotes en el primer tercio de la copa son despuntados por los usuarios de productos forestales.

Cuadro 12. Biomasa afectada por incendios forestales en 2006 en el Parque Nacional Malinche.

ID del Incendio	Biomasa retirada con autorización (t)	Biomasa viable para ser retirada (t)	Biomasa resistente (vivos o rebrotes) (t)
D06	713.6	2,090.3	4,244.6
F06	1,488.9	3,433.0	5,016.9
Total	2,202.5	5,523.3	9,261.6

Pérdida de biomasa: extracción de recursos forestales

El Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche pretende regular la extracción de recursos naturales, para ello se contempla un programa anual, en el cual comunidades asentadas dentro y en la zona de influencia del Parque pueden remover recursos del volcán de manera controlada. Las comunidades pertenecen a 16 municipios (Cuadro 13).

Cuadro 13. Municipios pertenecientes al estado de Tlaxcala que extrajeron productos forestales durante los años 2005 y 2006.

Municipio	Número de usuarios	
	2005	2006
Acuamanala de Miguel Hidalgo	7	20
Chiautempan	5	5
Cuaxomulco	11	13
Contla de Juan Cuamatzi	5	0
Huamantla	101	77
Ixtenco	23	9
Mazatecochco de Jose Maria Morelos	21	0
Papalotla de Xicohtencatl	24	15
San Francisco Tetlanohcan	13	22
San José Teacalco	38	33
San Pablo del Monte	159	133
Santa Cruz Tlaxcala	5	5
Teolocholco	91	53
Zitlaltepec de Trinidad Sánchez Santos	76	122
Tzompantepec	0	1

Cada municipio tiene un registro de usuarios cuya fuente principal de ingresos es la extracción de los recursos forestales de La Malinche. El usuario cuenta con una credencial, emitida por el Gobierno del Estado de Tlaxcala, a través de la CGET. Este documento tiene fotografía, nombre y firma del usufructuario, un número consecutivo único y la firma del titular de la dependencia. Por medio del padrón de usuarios se lleva el control de un nivel máximo de extracción en tipo y volumen del recurso forestal.

Los usuarios con credencial o que solo están en el padrón de usuarios, solicitan a los ecoguardas de cada caseta forestal el permiso para la extracción. En las seis casetas de vigilancia de la CGET se valora el requerimiento del recurso y así se determina si procede o no la solicitud. Anualmente la CGET establece los productos que pueden ser extraídos en la jurisdicción de cada caseta (Cuadro 14).

Cuadro 14. Productos forestales que se extrajeron del Parque Nacional Malinche con permiso de las autoridades durante 2005 y 2006.

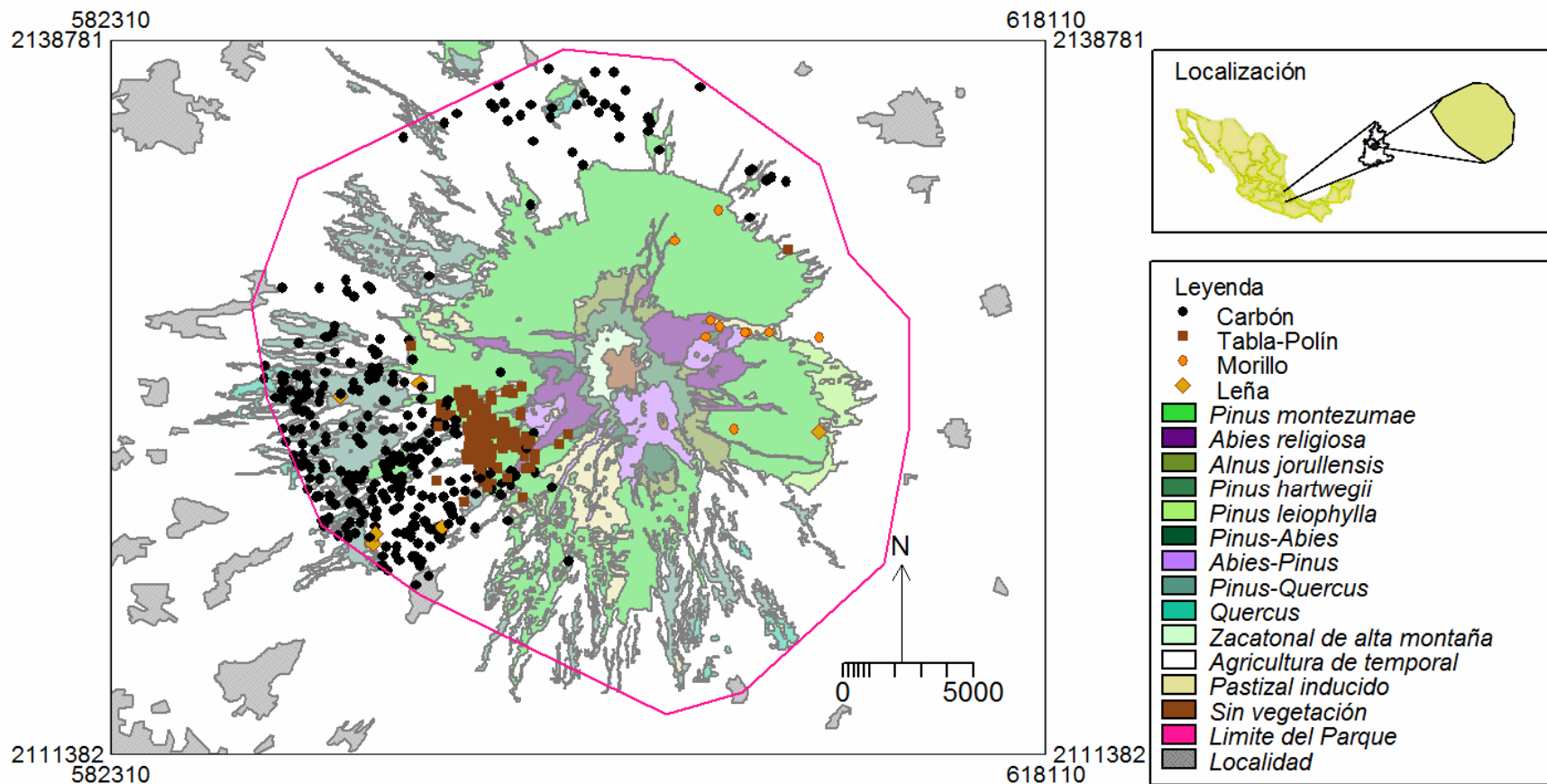
Año	Caseta	Productos forestales
2005	1	Carbón, morillo, tabla, polín
	2	Carbón, morillo, viga
	3	Carbón, morillo, tabla, polín
	4	Carbón, morillo
	5	Carbón, morillo
	6	Leña
2006	1	Carbón, morillo, tabla, polín
	2	Carbón, morillo
	3	Carbón, tabla, polín
	4	Carbón, morillo
	5	Morillo
	6	Leña

Mapa de áreas de extracción de productos forestales

En la Figura 10 se muestran los puntos de colecta de productos forestales del Parque Nacional Malinche, que se basan en los registros de la CGET. La distribución de los puntos corresponde a la comunidad a la que se hace referencia en el Programa Integral de Manejo.

Estimación de la biomasa forestal extraída por manejo

Los árboles de los que se obtienen productos forestales son individuos plagados, secos, muertos en pie, rayados, quemados, mal conformados o en su minoría árboles sanos. De acuerdo con los criterios de la CGET y la ubicación de los puntos de extracción se infirió la especie de los individuos que se manufacturaron para obtener productos maderables durante 2005 y 2006.



Elaboró: Biól. Fabiola Rojas García

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.

Fecha 22 de noviembre de 2007

Figura 10. Mapa de los puntos ubicados con GPS de la extracción de productos maderables del Parque Nacional Malinche durante los años 2005 y 2006

Los datos de extracción registrados por la CGET se convirtieron a volumen en m³ de madera y se multiplicaron por la densidad básica de la madera para estimar la biomasa por especie que se extrajo del Parque Nacional Malinche (Cuadro 15).

Cuadro 15. Biomasa extraída durante 2005 y 2006 del Parque Nacional Malinche

Año	Especie	Productos forestales	Volumen (m ³)	Biomasa (t)
2005	<i>Quecus spp.</i>	Carbón	10,592.8	9,364.1
	<i>Abies religiosa</i>	Morillo	1,475.2	742.9
	<i>Pinus montezumae</i>	Viga	71.07	47.6
	<i>Pinus montezumae</i>	Tabla-Polín	2,125.4	1,424.4
	<i>Pinus montezumae</i>	Leña	284.2	190.4
2006	<i>Quecus spp.</i>	Carbón	3,135.0	2,771.3
	<i>Abies religiosa</i>	Morillo	739.3	372.3
	<i>Pinus montezumae</i>	Tabla-Polín	2,280.1	1,528.0
	<i>Pinus montezumae</i>	Leña	266.4	178.5
Total			20,969.47	16,619.5

Evaluación final

Una vez que se conoció la biomasa aérea forestal almacenada en La Malinche, se estimó para los años 2005 y 2006, la biomasa que entró por reforestación, la biomasa retirada con autorización después de incendios severos y la biomasa que salió del Parque por extracción autorizada del CGET (Cuadro 16).

Cuadro 16. Evaluación final de los movimientos de biomasa en el Parque Nacional Malinche durante los años 2005 y 2006.

Evaluación final	t
Biomasa aérea forestal almacenada en el Parque	4,900,505.0
Biomasa que ingreso al Parque, por reforestación	2.3
Biomasa retirada con autorización, post-incendio	2,202.5
Biomasa que salió del Parque por extracción autorizada	16,619.5
Total	4,881,685.3

DISCUSIÓN



El secuestro 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 C en forma de biomasa aérea (Acosta, et al., 2002).

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 nutrimentos (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); f) evaluar cambios en la estructura (Brown, 1997) y g) en este caso conocer los efectos de una intervención programada y calculada según datos de eventos catastróficos como pueden ser los incendios forestales.

La estimación de la biomasa de los bosques representa una valiosa información para la elaboración de planes de manejo (Escandón *et al.*, 1999). El Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche, refleja una dinámica de uso en el que hay ciertas actividades que se repiten año tras año, de tal manera que se puede pensar en un movimiento de biomasa repetitivo y cíclico, por ello, el objetivo principal del presente trabajo fue evaluar el papel que juegan las prácticas de reforestación y extracción, así como los incendios forestales en el balance de C de esta ANP.

Para conocer la cantidad de biomasa en La Malinche se partió del hecho 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 realizar 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 mucho tiempo y debido a que este tipo de trabajo generalmente 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 fuera de la región en donde se lleva a cabo el proyecto forestal (Gayoso *et al.*, 2002).

Por otro lado, la biomasa de los árboles puede estimarse si se cuenta con 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).

El uso de las ecuaciones alométricas se recomienda en condiciones similares a los sitios de estudio donde fueron desarrolladas (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 generaliza a grandes áreas (Catchpole y Wheeler, 1992) y cuando se involucran individuos de clases menores a 10 cm de DAP (Brown, 1997).

El uso de las distintas funciones de biomasa dependerá del nivel de información del bosque que se va a evaluar. Si se cuenta con la tabla de volumen de existencias reales de madera, lo común será aplicar las funciones volumétricas por especie (Gayoso *et al.*, 2002).

Para estudios regionales se prefiere la aproximación volumétrica ya que es más sencilla de usar (Chidiak *et al.*, 20004). El empleo de estas ecuaciones resulta confiable, rápidamente ejecutable y económico (Hoover *et al.*, 2000; Löwe *et al.*, 2000; Bautista y Torres, 2003; Garzuglia y Saket, 2003; Rodríguez *et al.*, 2006; Vallet *et al.*, 2006).

Para fines comparativos entre los dos tipos de ecuaciones se usaron las ecuaciones volumétricas utilizadas en este trabajo y las alométricas propuestas por Ayala (1998), que son genéricas para algunas especies de coníferas y latifoliadas mexicanas. En el Cuadro 17 se presentan los valores de biomasa obtenidos con ambas ecuaciones, para las especies de amplia distribución en La Malinche. Se buscaron individuos de tallas similares a fin de mostrar las discrepancias entre el uso de ecuaciones alométricas y volumétricas.

Cuadro 17. Estimación de la biomasa de árboles del Parque Nacional Malinche mediante el uso de ecuaciones alométricas y volumétricas.

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Talla	Biomasa estimada con ecuaciones alométricas (t)	Biomasa estimada con ecuaciones volumétricas (t)	Desviación estándar
<i>Pinus montezumae</i>	50.50	21.80	Maduro	1.38	2.05	±0.474
<i>Pinus montezumae</i>	8.00	8.73	Juvenil	0.01	0.02	±0.007
<i>Abies religiosa</i>	51.25	23.39	Maduro	1.43	1.70	±0.191
<i>Abies religiosa</i>	8.60	6.98	Juvenil	0.02	0.01	±0.007
<i>Pinus hartwegii</i>	50.00	23.59	Maduro	1.35	2.09	±0.523
<i>Pinus hartwegii</i>	8.60	5.44	Juvenil	0.02	0.01	±0.007
<i>Pinus leiophylla</i>	51.20	22.01	Maduro	1.43	2.00	±0.403
<i>Pinus leiophylla</i>	7.00	8.43	Juvenil	0.01	0.01	±0.000
<i>Alnus jorullensis</i>	52.00	15.11	Maduro	2.18	0.85	±0.940
<i>Alnus jorullensis</i>	8.00	5.36	Juvenil	0.08	0.01	±0.049
<i>Quercus spp.</i>	31.00	8.43	Maduro	0.87	0.39	±0.339
<i>Quercus spp.</i>	8.00	3.95	Juvenil	0.08	0.01	±0.049

Para los individuos de latifolidas de *Alnus jorullensis* y *Quercus sp.* el valor la biomasa es mayor con el uso de ecuaciones alométricas. En el caso de las coníferas, para los individuos maduros de *Abies religiosa* y *Pinus leiophylla*, la biomasa calculada con ecuaciones alométricas resulto ser la misma (1.43 t) aún cuando su patrón de crecimiento es muy diferente, en la estimación realizada con ecuaciones volumétricas los resultados son mayores y difieren entre especies 1.70 t para *Abies religiosa* y 2.00 t para *Pinus leiophylla*.

En este estudio se pudo aplicar el modelo volumétrico pues se contó con todos los datos necesarios (DAP, altura total y densidad básica de la madera).

Inicialmente se elaboró un mapa de vegetación que contribuyó al mejor conocimiento de la distribución de las comunidades en el Parque Nacional Malinche, pues en trabajos anteriores (GTP, 2001; Peña del Valle, 2003; López *et al.*, 2005; Wong, 2005; Castillo, 2006) no se habían ubicado espacialmente los bosques de *Alnus jorullensis* y de *Pinus leiophylla*. Por otro lado en el mapa se puede observar la cobertura del pastizal inducido, principalmente en la jurisdicción del estado de Puebla. Así como, la reducida extensión de encinares, con respecto al resto de las comunidades.

A partir de la medición de las superficies de las comunidades vegetales de La Malinche, se recurrió a la información de inventarios forestales obtenidos en campo como sugieren Brown, 1997; Schroeder *et al.*, 1997 y Homann *et al.*, 2005. De este modo se pudo conocer que *Pinus montezumae*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *Abies religiosa* y *Alnus jorullensis*, presentaron 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).

Se determinó la densidad de la madera con un método sencillo y riguroso que puede ser replicable fácilmente e hizo posible establecer diferencias entre especies, 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 determinado la densidad de varias especies, dando una mayor certidumbre a trabajos relacionados con biomasa (Rojas y Villers, 2005).

En este trabajo se especificó 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 especie *P. montezumae*.

Este estudio tiene las limitaciones obvias que impone la heterogeneidad de sitios y de las condiciones donde crecen los bosques. 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 comunidad de *Pinus montezumae* se consideró el promedio de los resultados de ocho parcelas de monitoreo permanente 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 de monitoreo permanente, para abarcar diferentes condiciones por comunidad.

La comunidad de *Pinus montezumae* alberga la mayor biomasa aérea en el Parque Nacional, debido a su amplia distribución en el volcán. Además, tratándose de rodales monoespecíficos o asociaciones con *Abies religiosa*, *Alnus jorullensis* u otras especies de *Pinus*, se caracteriza por las grandes tallas que alcanzan los individuos que la conforman. Esta condición favorece la elaboración de tablas, vigas y polines comerciales. Este bosque se extiende en la zona de amortiguamiento y subzona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, de acuerdo con la zonificación del Parque Nacional (GTP, 2001).

En el período de estudio se extrajeron 3,369 t, principalmente en el territorio que ocupa el municipio de Teolocho. Los valores de biomasa fueron muy similares para los años 2005 y 2006, siendo la obtención de tabla y polín la de mayor volumen y con la diferencia que en 2006 no se cortó madera para procesar vigas. En 2005 ingresaron 2.2 t de biomasa por reforestación a esta comunidad, en ocho sitios degradados, ninguno de los cuales, se ubica en las áreas donde se permitió la extracción de productos forestales. Por otro lado, en 2006 surgió un incendio en el municipio de Huamantla, cuya severa afectación dejó árboles muertos en pie, por lo que se extrajeron 1,489 t bajo este criterio. De acuerdo con Villers y López (2004) el bosque de *Pinus montezumae* en el volcán La Malinche es el más vulnerable a sufrir incendios forestales debido a que son áreas poco húmedas, tienen mayor exposición a la radiación solar y a su cercanía con las áreas agrícolas, poblados y caminos.

En la comunidad de *Abies religiosa*, resguardada en las grandes cañadas del volcán La Malinche, también se registraron altos valores de biomasa, aún cuando la especie dominante presenta una madera moderadamente liviana. Suele ser un bosque muy denso, lo que crea condiciones de oscuridad en sus niveles inferiores y se desarrolla sobre suelos húmedos durante todo el año. Esta localizado en la zona núcleo y subzona de uso restringido (GTP, 2001), poco propensa a incendios forestales, lo que la excluye de programas de reforestación.

Resulta contradictorio que en el oyamental se realice la extracción de morillos, ya que de acuerdo con el Programa Integral de Manejo se prohíbe el aprovechamiento de productos forestales justo en los sitios donde se desarrolla. Durante el período de estudio la extracción de morillos fue disímil entre años, pues en 2005 se extrajeron 742 t y para el siguiente año se extrajo cerca de la mitad (372 t). La manufactura de morillos se realizó en las grandes barrancas de los municipios de Huamantla, Ixtenco, Zitlaltepec y Tepatlaxco de Hidalgo.

La comunidad de *Alnus jorullensis* también comprende altos valores de biomasa. Aunque la madera de esta especie es muy liviana, los árboles que la conforman alcanzan grandes tallas, asimismo, cuando se encuentra de forma mixta, los individuos de las otras especies adquieren tallas mayores. Así generalmente se desarrolla una comunidad con dos estratos arbóreos, el menor representado por *Alnus jorullensis*, con DAP muy anchos, y el estrato arbóreo mayor conformado por *Pinus* spp. con menor DAP pero mayores alturas. En esta asociación durante el período de estudio no ocurrieron incendios ni se realizaron reforestaciones. Asimismo, la CGET no tiene registros de extracción de productos forestales en ellas, aún cuando se ubica en la zona de amortiguamiento y subzona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (GTP, 2001).

La comunidad de *Pinus hartwegii* está bastante bien conservada. Pertenece a la zona núcleo subzona de protección (GTP, 2001). Por ello aquí no se permite la extracción de productos forestales. Considerando la superficie que tiene, presentó un alto valor de biomasa, pues su madera es moderadamente pesada. La biomasa estimada puede aumentar significativamente, si los numerosos individuos jóvenes de este bosque en la

ladera Norte del volcán en su mayoría, logran llegar a la madurez, superando las inclemencias climáticas características de la alta montaña.

La comunidad de *Pinus leiophylla* reúne una menor biomasa, pues su distribución es menor en el Parque Nacional Malinche, y su madera es moderadamente pesada. Justo en las áreas donde se desarrolla de forma natural esta especie, o donde se han realizado plantaciones con la misma, el bosque está bajo constante influencia humana, debido a que las poblaciones locales recogen material leñoso y realizan tanto quemadas agrícolas en áreas colindantes con el bosque, como propiamente dentro de éstas, para promover el renuevo de los pastos y llevar sus hatos de ganado menor (principalmente borregos y cabras) a estos lugares. Esta comunidad se localiza en la zona de amortiguamiento y subzona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (GTP, 2001). En el año 2006 ocurrió un incendio severo que afectó al arbolado adulto, por ello la CGET permitió el aprovechamiento de los muertos en pie cuya biomasa se estimó en 714 t, con la viabilidad de extraer 2090 t más.

La comunidad de *Quercus* spp. está muy deteriorada y su extensión se reduce a 384.92 ha, en la que predominan árboles juveniles. Se ubica dentro de la zona de amortiguamiento subzona de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas (GTP, 2001). En los dos años de estudio, de aquí se extrajeron 12,135.4 t de biomasa, para el procesamiento intensivo de carbón en la jurisdicción de los municipios San Pablo del Monte, Teolochocho, Acuamánala de Miguel Hidalgo, San José Teacalco y Tetlanohcan. Aunado a lo anterior, sólo se realizó un esfuerzo de reforestación en encinares del Cerro San Marcos con *Pinus montezumae*.

La magnitud de almacenamiento de biomasa de La Malinche es muy importante, pero esta condición puede verse alterada a corto plazo, si se toma en cuenta que en dos años se extrajeron de forma legal alrededor de 18,800 t de biomasa. Al mismo tiempo, en el Parque se lleva a cabo tala ilegal para extracción de madera, principalmente en la zona Oeste y Suroeste, en particular predios pertenecientes al municipio San Francisco Tetlanohcan y aquellos colindantes con la comunidad de San Miguel Canoa, del estado de Puebla. Muchas veces la corta se realiza en el territorio de Tlaxcala y sale de forma ilícita por el territorio de Puebla.

En algunos predios se realiza la recolección intensiva de leña, que en ocasiones encubre el derribo de árboles sanos, o bien se hace el ocoteo de los árboles de los caminos principales. Estas tácticas se han utilizado por muchos años en las ANP del país. Por ello en mayo de 2007, el Ejecutivo Nacional ordenó una política de cero tolerancia en todas las ANP de México, que prohíbe la extracción de madera. Actualmente patrullas de la Policía Federal Preventiva y comandos del Ejército Nacional, realizan rondines de vigilancia para que este mandato presidencial se cumpla.

Por otro lado mediante un programa de reforestación con especies nativas ingresaron al Parque 2.3 t de biomasa a sitios degradados. Resulta imprescindible garantizar el seguimiento de las plantaciones establecidas para alcanzar a mediano plazo los objetivos de restauración de los bosques.

La cantidad de C que fijan los árboles es aproximadamente el 50% de su biomasa aérea (Brown y Lugo, 1992), por esta razón los resultados de este estudio son una aportación para la construcción de líneas base y escenarios en futuros proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que proporcionarían a las localidades participantes una fuente adicional de ingresos (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2001). De esta forma las actividades de conservación de sumideros de C serían económicamente más atractivas y más competitivas frente a otros usos del suelo e incrementarían los recursos que el gobierno suministra para asegurar la gestión adecuada de La Malinche.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



El Parque Nacional Malinche almacena 4,881,685 t de biomasa en sus 20,607 ha con uso de suelo forestal. Así mismo, tiene en más de la mitad de su territorio total un uso de suelo agrícola, en donde se podría implementar un programa de reconversión y de esta forma aumentar la superficie arbórea.

Dentro de las actividades contempladas en el Programa Integral de Manejo vigente se realizan esfuerzos anuales de reforestación, estratégicamente en rodales incendiados; asimismo contiene rodales con un alto estado de degradación como las áreas de pastizal inducido, que podrían cambiar el actual uso de pastoreo por plantaciones forestales. Es necesario que en los programas de reforestación se involucre el uso de especies nativas de encinos, que sirven como facilitadoras en el incremento de la diversidad, como se ha documentado en los bosques pinarizados de Los Altos de Chiapas, además de que proveen de un recurso básico a las poblaciones como leña para su uso directo o como carbón (González *et al.*, 2008).

Por otro lado, año con año en el Parque Nacional ocurren numerosos incendios forestales que eliminan el estrato herbáceo y arbustivo incluyendo la regeneración de las especies dominantes. Muchos de los incendios inician como quemas agrícolas en la frontera con la zona forestal. El Programa Integral de Manejo consiente que el arbolado afectado severamente por estos siniestros pueda ser extraído de forma legal, lo que produce un efecto contrario puesto que los usuarios incendian rodales cercanos a caminos para conseguir el permiso de la CGET de extraer productos forestales.

Por lo anterior es de suma importancia brindar alternativas viables para las localidades que hacen uso de los recursos del Parque, que reemplacen las actividades de extracción y que sean congruentes con la categoría actual del ANP.

Una alternativa a corto plazo es su integración al programa ProÁrbol, promovido por la Comisión Nacional Forestal desde 2007 (Diario Oficial de la Federación, 2007), cuyo objetivo es impulsar el desarrollo forestal, prioritariamente en los municipios con mayor índice de marginación en México, para recuperar la masa forestal e incrementar la productividad de bosques y selvas de México. La adopción y ejecución de un esquema como ProÁrbol en La Malinche repercutirá eficazmente en el balance de C de sus bosques.

Por otro lado a mediano plazo el Parque Nacional reúne características viables, desde la perspectiva internacional, para desarrollar un proyecto forestal bajo el esquema de MDL, en la zona de amortiguamiento subzona de aprovechamiento sustentable de agroecosistemas, donde se distribuye la comunidad de *Pinus leiophylla* y en menor proporción encinares.

Las estimaciones de este estudio se apegan a los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SEMARNAT-2006 (Diario Oficial de la Federación, 2007). Esta reglamentación busca el establecimiento de criterios estándares que simplifiquen los contenidos de los programas de manejo. Por ello los métodos utilizados en este estudio se pueden realizar en otras ANP del país y si se aplican 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 las ANP se cuenta inventarios que incluyen el volumen comercial o tablas de volumen de existencias reales de madera (GTP, 2001; Gobierno del Estado de Jalisco y CONANP, 2006; Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y CONANP, 2008). Además de que es una metodología sencilla, confiable, rápidamente ejecutable y económica. Debido a que requiere el valor de la densidad básica de la madera por especie, los valores de densidad para las cinco especies descritas en este trabajo pueden ser utilizados para futuras evaluaciones de

biomasa, pues constituyen a la mayoría de las comunidades vegetales en todo el Eje Neovolcánico Transmexicano entre los 2600 y 4000 m (Rzedowski, 1978).

Los resultados de este trabajo podrían considerarse cuando se revisen los estatutos del Programa Integral de Manejo del Parque Nacional Malinche, a fin de actualizarlos y homologar el Programa de Manejo con otros existentes bajo la Norma Oficial y los términos para la elaboración de Programas de Conservación establecidos por la CONANP.



LITERATURA CITADA



- 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.
- Allende, R. 1968. Introducción al estudio de los suelos derivados de cenizas volcánicas o de ando del volcán La Malinche. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 65 p.
- 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.
- Ayala, R. 1998. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 70 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. y A. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 (4642): 1290-1293.
- Brown, S., A. Gillespie y A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Brown, S., y A. Lugo. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17: 8-18.
- 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, Roma. 55 p.

- Caballero, M. 1982. Empleo de coeficientes m3rficos en la elaboraci3n de tablas de vol3menes de cedro rojo. Bolet3n Divulgativo No. 26 B, abril 1982. 2ª ed. INIF-SARH. M3xico. 27 p.
- Castillo, M. 2006. Delimitaci3n de unidades ambientales biof3sicas en el Volc3n La Malinche con base en el an3lisis de unidades morfogen3ticas. Tesis de Maestr3a. Facultad de Filosof3a y Letras, UNAM. M3xico. 135 p.
- Castro, R. 2007. Historia eruptiva del volc3n La Malinche y estudio del emplazamiento del flujo pirocl3stico pilares superior. Tesis de Doctorado. Instituto de Geof3sica, UNAM. M3xico. 158 p.
- Castro, R. y 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. y J. Wheeler. 1992. Estimating plant biomass: A review of techniques. *Australian Journal of Ecology* 17: 121-131.
- CGET. 2005. Coordinaci3n General de Ecolog3a del Estado de Tlaxcala. Resultados de la Reforestaci3n en el Parque Nacional Malinche 2005. Coordinaci3n General de Ecolog3a. Gobierno del Estado de Tlaxcala. Documento no publicado Tlaxcala, M3xico. 11 p.
- Chargoy, A. y M. Enr3quez. 1967. Determinaci3n de las propiedades f3sico mec3nicas de la madera de *Pinus pseudostrobus* como material de construcci3n. Tesis Profesional. Secretar3a de la Defensa Nacional, Escuela Militar de Ingenieros. M3xico. 197 p.
- Chidiak, M., A. Moreyra y C. Greco. 2004. Captura de carbono y desarrollo forestal sostenible en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desaf3os. Banco Interamericano de Desarrollo-Departamento de Desarrollo Sostenible-Divisi3n de Medio Ambiente. 88 p.
- Comisi3n para la Cooperaci3n Ambiental. 2001. M3xico y el incipiente mercado de emisiones de carbono. Oportunidades de inversi3n para peque1as y medianas empresas en la agenda sobre cambio clim3tico mundial. Montreal, Canad3. 115 p.
- Deans, J., J. Mora y 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 y R. Tipper. 1995. Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6): 409-416.
- Demant, A. 1978. Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Revista Instituto de Geología* 2 (2): 172-187.
- Diario Oficial de la Federación. 1938. Decreto que declara Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl. 6 de octubre de 1938. México, Distrito Federal.
- Diario Oficial de la Federación. 1996. Acuerdo de coordinación mediante el cual se transfiere la administración del Parque Nacional denominado La Malinche a los gobiernos de Tlaxcala y Puebla. 27 de febrero de 1996. México, Distrito Federal.
- Diario Oficial de la Federación. 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. 9 de mayo de 2007. México, Distrito Federal.
- Diario Oficial de la Federación. 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. México, Distrito Federal.
- Echenique, R. y G. Díaz. 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. *Boletín Técnico* Num. 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 Jusnajib La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Investigaciones Geográficas* (40): 71-84.
- Espejel, A. 1998. La importancia y el deterioro del recurso bosque en la región de La Malinche. Estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Tlaxcala. México. 194 p.
- Fragoso, P. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio Cerro Grande municipio de Tancítaro Michoacán, México. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, México. 65p.

- Fukuda, M., T. Iehara y M. Matsumoto. 2003. Carbon stock estimates for sugi hinoki forests in Japan. *Forest Ecology and Management* 184: 1-16.
- García, E. 1976. *Apuntes de Climatología*. Offset Larios, S.A. México. 153 p.
- Garzuglia M. y M. Saket. 2003. *Wood volume and woody biomass*. FAO. Roma. 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.
- Gobierno del Estado de Jalisco y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2006. Programa de conservación y manejo Parque Nacional Volcán Nevado de Colima. Documento de trabajo. 148 p.
- Gómez, G. 2002. Descripción de las comunidades de aves del volcán Malinche, Tlaxcala. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 160 p.
- González, B. 2008. Evaluación de reforestación en el Parque Nacional Malinche, Tlaxcala. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México.
- González M., N. Ramírez, A. Camacho y J. Rey. 2008. Restauración de bosques en montañas tropicales de territorios indígenas de Chiapas, México. En: González, M., J. Rey y N. Ramírez (Edits). 2008. Restauración de bosques en América Latina. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE) y Editorial Mundi-Prensa México, México. Pp. 137-162.
- Grijpma, P., 2001. Producción Forestal. Secretaría de Educación Pública-Trillas, 4ª Reimpresión. México, Distrito Federal. 134 p.
- GTP. 2001. Gobiernos de Tlaxcala y Puebla. 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. 102p.
- Homann, P., M. Harmon, S. Remillard y 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.

- Hommer, Y. 2002. Estudio preliminar de aves y mamíferos en la Cañada Grande, en el Parque Nacional Malinche, Tlaxcala. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 69 p.
- Hoover, C., R. Birdsey, L. Heath, y 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.
- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Resumen para Responsables de Políticas. En: Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del PICC. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 116 p.
- Jaramillo, V.; J. Boone, L. Rentería R.; D. Cummins y L. Ellingson. 2003. Biomass, carbon and nitrogen pool in Mexican tropical dry landscapes. *Ecosystems* 6: 609-629.
- Jáuregui, E. 1968. Mesoclima de la región de Tlaxcala. Instituto de Geografía, UNAM. Mexico. 29 p.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. *Vegetation description and Analysis. A practical Approach*, John Wiley & Sons. New York, USA. 363 p.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau y 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. En: 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. y 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 y 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. Zacarías, 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.
- Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2008. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan. Documento de trabajo. 172 p.
- 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.
- 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. 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.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 p.
- 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 y C. Cieszewski. 1997. Biomass Estimation for Temperate Broadleaf Forest of the United States Using Inventory Data. *Forest Science* 43 (3): 424-434.
- SECODUVI. 2001. Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Estado de Tlaxcala. 32 Fotografías aéreas pancromáticas del año 2001 a escala 1:25, 000, México.
- Teller, A. 1988. Biomass, Productivity and wood waste evaluation in Spruce (*Picea abies*) Forest (Strinchmps 983). *Commonwealth Forestry Review* 7 (2): 129-148.
- Trejo, I. y J. Hernández. 2005. Vegetación y uso del suelo. Informe técnico del proyecto Diagnóstico funcional del territorio nacional. SEDESOL- Instituto de Geografía, UNAM. Pp. 100-109.
- 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.
- Vallet, P., J. Dhôte, G. Le Moguédec, M. Ravart y 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., Vande Walle, I., Mertens, J., De Neve, S., Samson, R., Lust, N., Lemeur, R., Boeckx, P., Lootens, P., Beheydt, D., Mestdagh, I., Sleutel, S., Verbeeck, H., Van Cleemput, O., Hofman, G., Carlier, L., 2004. Inventory based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 61: 677-682.
- Villers, L. y J. López. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán La Malinche. En: Villers, L. y J. López (Edits). 2004. Incendios Forestales en México, métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México- Centro de Ciencias de la Atmósfera. Pp. 61-78.
- 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.
- Yarza, E. 2003. Los Volcanes del Sistema Volcánico Transversal. Investigaciones Geográficas 50: 220-234.
- 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 Juárez, México. 48p.