

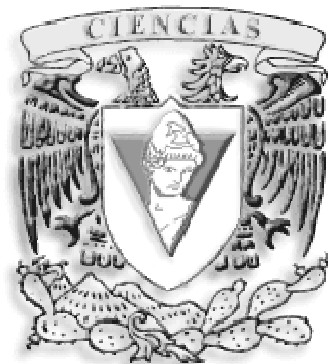


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Estimación del contenido y captura de carbono
en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca
alta del río Magdalena, D. F.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A
MÓNICA IVONNE ESPINOSA PÉREZ



DIRECTORA DE TESIS:
DRA. LUCIA ALMEIDA LEÑERO
CO-DIRECTOR DE TESIS:
BIÓL. JOSÉ ANTONIO BENJAMÍN ORDÓÑEZ DÍAZ.

MÉXICO, D. F.,

ENERO, 2005

Se agradece ampliamente al Programa de Becas para la Elaboración de Tesis de Licenciatura en Proyectos de Investigación (PROBETEL) por la beca otorgada durante el periodo julio-diciembre de 2004, misma que permitió la realización de la tesis titulada:

“ Estimación del contenido y captura de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D. F. “

A cargo de la Dra. Lucia Almeida Leñero con la codirección del Biól.
José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz.

A Dios por darme la vida, la capacidad y las ganas de seguir adelante

A mi papá, Manuel por el amor que siempre me das, por apoyarme, por tus consejos, por estar con nosotros todo el tiempo, te quiero mucho pa.

A mi mamá, Lourdes por todo el amor que me das, por todas las cosas bellas, los consejos, las enseñanzas y el apoyo que siempre recibo de ti, te quiero mucho ma.

A mis hermanos: Claudia (Caya), por ayudarme con mis tareas y ciertos exámenes en la prepa; Yemilin (Chapis), por confiarme ciertas locuras; Lourdes (Chiquis) por escuchar y compartir algunos puntos de vista y Emmanuel (Saron) por enseñarme como piensa el sexo opuesto en muchos aspectos, a todos por estar a mi lado siempre, por todos los momentos que pasamos juntos jugando y haciendo mil cosas.

A mi sobrina Xiomara por dejarme crecer a su lado y compartir con nosotros sus travesuras, juegos y canciones.

A mi sobrina Dayana por traer a nuestras vidas un poco más de luz.

A Pepe por todas las **cosas** que hemos compartido juntos, por tus consejos, por el amor que me has ofrecido durante toda mi carrera y porque te amo.

A mis cuñados Mario y Freddy por querer mucho a mis hermanitas y a sus bebés.

A mis tías Pola y Catalina por recibirnos siempre con los brazos abiertos, por los “cariñitos apache” y por sus buenos deseos.

A mi abuelita Gabriela por que es un gran ejemplo de tenacidad y fortaleza y porque la quiero muchísimo.

A todos los integrantes de mi familia paterna y materna, tíos y primos gracias por brindarme algunos momentos de su vida y uno que otro consejo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por estar a mi lado en todo momento y compartir mis locuras, por todo su apoyo a lo largo de mis estudios los quiero mucho.

Al Biól. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz por aceptar ser codirector, por todas las ideas, observaciones, recomendaciones y sugerencias sobre mi tesis. Gracias por tus palabras de aliento cuando parecía que no la terminaría.

A la Dra. Lucia Almeida por dirigir este trabajo, por su apoyo a larga distancia, su interés y sus comentarios.

A la Dra. Lourdes Villers por toda su ayuda y paciencia durante el taller y por sus acertadas correcciones durante el desarrollo de mi tesis.

Al M en C. Víctor Ávila por aceptar que usará datos de su tesis para realizar la mía, por estar siempre dispuesto a ayudar y por brindarme su amistad.

A la Dra. María de Jesús Ordóñez Díaz por formar parte de mi sínodo y por el tiempo dedicado a la revisión de mi tesis.

A la Dra. Beatriz Ludlow por las correcciones y las sugerencias sobre este trabajo, por su amistad y apoyo durante las horas que compartimos en el laboratorio.

A mis amigos de la prepa: Sonia, Alejandro, Álvaro; a mis amigos del zoológico: Osvaldo, Carlos, Luis; y a otros amigos como Evelyn les agradezco el abrirme su corazón y estar conmigo durante etapas importantes de mi vida.

A las amazonas: Eden, Fabiola, Rocio, Erika A, Erika S, Valentina y Dulce (m. honorífica) por compartir tantos momentos juntas, clases, salidas de campo, algunas fiestas, por sus consejos y apoyo en nuestras reuniones, las quiero a todas.

A mis compañeros del laboratorio: Julio, Ariadna, Vero, Ana Elisa, Víctor, José, Sinué, Silvia, Sara, Gaby, Julieta y Mariana, gracias por su compañía y amistad.

A todos aquellos con los que forme equipo en las materias, para no herir sentimientos les doy las gracias por vivir conmigo esta gran aventura.

A los profesores que influyeron para que estudiara esta carrera, porque fueron y son mis modelos a seguir, gracias por compartir sus conocimientos de una manera tan especial.

A ti, cosa tan especial e importante en mi vida, por tu paciencia en todo momento, porque aunque no te vea estás a mi lado y sabes que te lo agradezco.

A todas las personas que directa o indirectamente intervinieron en la realización de este sueño, les doy las gracias de todo corazón.

CONTENIDO

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
ANTECEDENTES.....	15
Captura y contenido de carbono	15
Situación nacional sobre los estudios de captura de carbono	17
Justificación	20
OBJETIVOS	21
General.....	21
Particulares.....	21
ÁREA DE ESTUDIO	22
Generalidades de la cuenca alta del río Magdalena (CARM).....	22
Relieve.....	22
Geología	22
Edafología.....	23
Hidrología	24
Climatología.....	24
Vegetación.....	24
Fauna.....	26
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	27
MÉTODO.....	29
Cartografía.....	29
Muestreo aleatorio estratificado	30
Intensidad de muestreo.....	31
Dasometría	31
Parámetros estructurales	31
Parámetros para cuantificar el contenido de carbono.....	32
Biomasa.....	33
Incremento corriente anual (ICA)	34
Edad	35
Estimación del contenido de carbono.....	37
Estimación del potencial de captura de carbono	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Intensidad de muestreo.....	42
Parámetros estructurales	42
Estructura vertical	42
Estructura horizontal	42
Parámetros para cuantificar el contenido de carbono.....	42
Biomasa.....	42
Incremento corriente anual (ICA)	42
Edad	42
Estimación del contenido de carbono.....	42
Estimación de la captura potencial de carbono	42
CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto Invernadero.....	9
Figura 2. Fuentes y sumideros de carbono	11
Figura 3. Mapa de vegetación y uso de suelo en la cuenca alta del río Magdalena.	25
Figura 4. Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la cuenca alta del río Magdalena, D. F.	28
Figura 5. Diagrama metodológico utilizado en el bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	29
Figura 6. Mapa de sitios de muestreo por comunidad del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM, D. F.	39
Figura 7. Estructura vertical del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 8. Estructura vertical de las comunidades A. <i>Pinus hartwegii</i> ; B. <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal y C. Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 9. Estructura horizontal del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 10. Estructura horizontal de las comunidades A. <i>Pinus hartwegii</i> ; B. <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal y C. Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 11. Biomasa arbórea y densidad de individuos en las comunidades del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 12. Incremento corriente anual de la especie <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 13. Edad promedio por sitio en las tres comunidades del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 14. Contenido de carbono por sitio en las comunidades del bosque <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42
Figura 15. Escenario de captura potencial de carbono para el 2007 y 2012 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9), <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal (s1-s5) y Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9).	42
Figura 16. Escenario de captura potencial de carbono para el 2017, 2022 y 2027 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9), <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal (s1-s5) y Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9).	42
Figura 17. Escenario de captura potencial de carbono para el 2037, 2047 y 2052 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9), <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal (s1-s5) y Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i> (s1-s9).	42
Figura 18. Captura potencial de carbono en las tres comunidades del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los gases de efecto invernadero.	10
Tabla 2. Emisiones de México para 1990.	12
Tabla 3. Especies de animales presentes en la cuenca alta del río Magdalena, D F.	26
Tabla 4. Clases de alturas y diámetros en el bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	32
Tabla 5. Vegetación y uso de suelo en la CARM.	40
Tabla 6. Características de las comunidades del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	40
Tabla 7. Características de cada sitio en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 8. Impacto humano en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 9. Características de cada sitio en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal.	42
Tabla 10. Impacto humano en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal.	42
Tabla 11. Características de cada sitio en la comunidad Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 12. Impacto humano en la comunidad Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 13. Biomasa mínima y máxima del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.	42

Tabla 14. Densidad, volumen y biomasa arbórea de cada sitio en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 15. Densidad, volumen y biomasa arbórea de cada sitio en la comunidad <i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal.....	42
Tabla 16. Densidad, volumen y biomasa de cada sitio en la comunidad Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	42
Tabla 17. Incremento corriente anual por comunidad del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.....	42
Tabla 18. Contenido de carbono del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la CARM.....	42

RESUMEN

Los bosques son los ecosistemas terrestres que capturan más carbono, por lo tanto han sido parte de los principales temas en las reuniones internacionales sobre cambio climático global. La evaluación del contenido de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena, D. F., es una de las primeras acciones que nos permitan conocer la capacidad que tiene éste bosque para mitigar la emisiones de carbono. Además de su importancia dado que se encuentra dentro de un área natural protegida en una zona urbana. El método utilizado se deriva a partir de reuniones internacionales convocadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) desde 1994.

El área de estudio tiene una superficie de 2,926 ha, donde 1,014 ha (35%) corresponden al bosque de *Pinus hartwegii*. De acuerdo con la cobertura del estrato arbóreo se dividió en tres comunidades: la comunidad *Pinus hartwegii* cubre 679 ha, la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal tiene una superficie de 133 ha y la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* una de 203 ha. En cada comunidad se evaluó la estructura, se estimó el incremento corriente anual (ICA) y se calculó la edad del arbolado, finalmente se estimó el contenido y la captura potencial de carbono.

El diámetro normalizado (DN) promedio del bosque es de 0.17 m con una altura promedio de 9.22 m. El contenido carbono total estimado para el bosque de *Pinus hartwegii* es de 44,564.21 tC/ha. El ICA difiere de una comunidad a otra, teniendo incrementos desde 0.017 hasta 4.62 m³/ha/ año; asimismo, se obtuvo la edad promedio para cada comunidad: *Pinus hartwegii* 30 años, *Pinus hartwegii*-Pastizal 34 años y Pastizal-*Pinus hartwegii* 39 años. La captura potencial de carbono consiste en realizar escenarios de crecimiento de los árboles a partir del ICA, la edad del bosque y el contenido de carbono obtenidos durante el año de muestreo. La estimación de captura potencial de carbono se realizó a 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 y 50 años.

Considerando los resultados obtenidos en captura de carbono se sugieren intervenciones inmediatas de manejo forestal con la finalidad de mantener el

incremento corriente anual del bosque, inclusive aumentarlo para potenciar la captura de carbono.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera se ha convertido en un problema mundial; dentro de éstos GEI's se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua (H_2O), el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los clorofluorocarbonados (CFC's) cuya característica principal es absorber la radiación infrarroja en la atmósfera dando origen al efecto invernadero (Figura 1).

El efecto invernadero ocasiona un incremento en la temperatura global del aire a nivel planetario provocando el cambio climático a largo plazo.

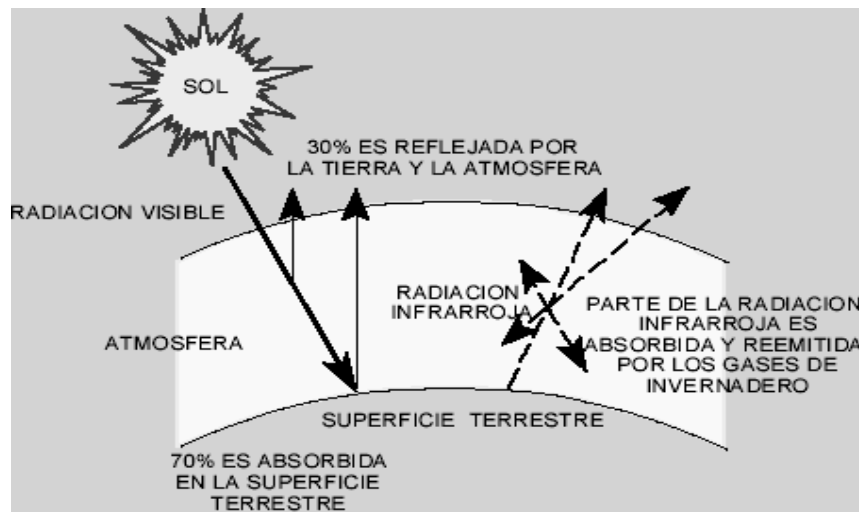


Figura 1. Efecto Invernadero
Fuente: Ordóñez, 1999; Zamora, 2003

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en 1995 definió el cambio climático global, como las modificaciones termodinámicas de la atmósfera a nivel planetario como consecuencia del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Gay et al., 1991). Es posible afirmar que el cambio climático es el problema ambiental más importante del siglo XXI y tendrá repercusiones muy importantes en relación con las estrategias de ordenamiento de los recursos a nivel mundial (Apps y Kurz, 1991).

Se estima que el CO_2 es el GEI que más se emite como resultado de las actividades humanas; siendo el responsable del 64% del efecto invernadero (Lashof y Ahuja, 1990; Ordóñez, 1999). Si se compara con el registro a largo plazo, actualmente la concentración atmosférica de CO_2 es de ~ 370 ppmv (casi un

35% más elevada que en cualquier momento de los últimos 420 000 años) debido principalmente a perturbaciones causadas por el hombre al ciclo del carbono. La concentración está aumentando en una tasa que es al menos 10, y quizás hasta 100 veces, más rápida, de lo que se había observado anteriormente (Falkowski *et al.*, 2000). En los últimos años se ha registrado un aumento en la cantidad global de carbono de 3 GtC/año (IPCC, 2001), la principal fuente de emisiones es la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Bolín *et al.*, 1986). El incremento exponencial de CO₂ ocurre desde finales del siglo XVIII, se estima que para mediados del siglo XXI habrá una concentración similar al doble de la preindustrial (Houghton *et al.*, 1995) y en consecuencia se ha registrado un aumento en la temperatura de 1.5°C (IPCC, 2001). A su vez el incremento de la temperatura tendrá efectos sobre la fisiología de las plantas y la producción de biomasa (Kimball, 1983).

En la Tabla 1 se describe la fuente principal, la concentración preindustrial y actual así como el tiempo de vida en la atmósfera de algunos GEI.

Tabla 1. Características de los gases de efecto invernadero.

Gas	Fuente principal	Concentraciones preindustriales ppbv	Concentraciones actuales ppbv	Vida atmosférica (años)
CO ²	Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios en uso de suelo tropical.	280 000	370 000	50-200
CH ⁴	Cultivo de arroz bajo agua, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, producción y consumo de combustibles fósiles	700	1745	12
NOx	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, procesos industriales (producción de ácido adípico y ácido nítrico).	275	1745	150-180
CFC	Aerosoles, refrigerantes, aislantes	0	3	65-130

ppbv = partes por billón de volumen

Fuente: Goudie, 1990; Jaramillo, 1994; Ordóñez, 1999.

Los GEI que presentan las mayores concentraciones a nivel atmosférico son el CO₂ y el vapor de agua, cuyos montos son regulados por los ciclos globales del carbono y el ciclo hidrológico respectivamente (Ahuja, 1990).

Se define el ciclo del carbono como el movimiento de éste en sus distintas formas entre la superficie terrestre, su interior y la atmósfera, seguido por un mecanismo de intercambio como lo son la fotosíntesis, la respiración y la oxidación (Ciesla, 1996). Éste equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece un balance de carbono a través de procesos almacenadores de carbono y de las fuentes de emisión (Ordóñez, 1999).

Las diferentes clases de cobertura vegetal y usos del suelo, y los océanos son sumideros y fuentes naturales de emisiones netas de CO₂ (Figura 2) a la atmósfera. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre, tienen la posibilidad de mitigar los GEI por medio de la captura de carbono al asimilar el CO₂ atmosférico, a través de la fotosíntesis (Masera, 1995; Ordóñez *et al.*, 2001). Además juegan un papel muy importante en el ciclo de carbono y se considera que pueden ayudar a reducir desde un 20 hasta un 50% las emisiones netas de CO₂ (IPCC, 1995).



Figura 2. Fuentes y sumideros de carbono
Fuente: Ordóñez, 1999.

Las actividades del hombre como el cambio de uso de suelo, la deforestación y la degradación forestal disminuyen de manera considerable la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques (Ordóñez y Masera, 2001).

El IPCC (1995) estima que las emisiones de México contribuyen con el 1.45% a las emisiones totales de carbono que se dan anualmente en nuestro planeta. Siendo los principales emisores de gases de efecto invernadero, el sector energía (por el uso de combustibles fósiles), el cambio en el uso del suelo y la deforestación con 30.2 MtC y los procesos de la industria del cemento (Gay y Martínez, 1995). La información sobre las emisiones de México por sector para 1990 se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Emisiones de México para 1990.

Fuente	Emisiones MtC (5)	Porcentaje
Sector energía	83.8	71.5
Cambio de uso de suelo y forestería	30.2	25.8
Industria del cemento	3.1	3.1
TOTAL	117.1	100

Fuente: Ordóñez, 1999.

Las causas de la deforestación varían de acuerdo con las regiones ecológicas y los tipos de bosques y selvas; entre ellas se encuentran: el cambio de uso de suelo forestal, la tala clandestina, los incendios forestales y los desmontes no controlados. Las áreas forestales se desmontan por diversas razones, ya sea para ampliar la producción agrícola, en particular para el cultivo y la ganadería o debido a los incendios (FAO, 1999).

Los efectos del cambio de uso de la tierra se traducen en cambios en los ciclos biogeoquímicos, dentro de procesos que tienen una base de ámbito local y acaban presentando consecuencias globales (Ludevid, 1998). Por lo tanto, es necesario conservar los bosques con manejo adecuado y proponer fórmulas estratégicas de reforestación en zonas altamente degradadas, permitiendo una regeneración de la cobertura vegetal acorde al tipo de suelo, fisonomía del terreno y cercanía de cuerpos de agua, e integrando este proceso en todo momento a las actividades

agrícolas y pecuarias de una región determinada (Ordóñez, 1999). Además, es importante conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y las modificaciones de los flujos de carbono derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo (Fragoso, 2003); así como su potencial en contenido y captura de carbono.

El contenido de carbono se refiere al carbono almacenado en la biomasa seca tomando en cuenta las condiciones actuales de estructura. Mientras la captura de carbono es la capacidad de almacenar carbono en forma sólida y estable por un tiempo determinado, constituyendo alguna estructura del árbol hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, en el momento de su liberación (por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ regresa al ciclo del carbono (Ordóñez, 1999).

Las plantas capturan carbono de forma directa a través de la fotosíntesis que transforma el CO₂ en biomasa y parte de ésta es indirectamente capturada como carbono orgánico por el suelo durante los procesos de descomposición. La cantidad de carbono capturado en un sitio refleja el balance a largo plazo entre las entradas y las salidas de carbono en el ecosistema. Dixón *et al.* (1994) afirman que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto a su latitud, dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo.

A diferencia de las especies anuales, los árboles almacenan los componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se deben considerar como las reservas naturales de carbono (Acosta-Mireles *et al.*, 2002).

En México, de acuerdo con las estadísticas forestales, los bosques, selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan el 74% del territorio nacional, cubriendo una superficie de 146.1 millones de hectáreas (SEMARNAT-INE, 2001). Su importancia, además de que mitigan los gases de efecto invernadero, se basa en las siguientes consideraciones:

- a) biológica, debido a su gran diversidad

- b) ambiental, debido a que estabilizan los suelos, conservan los ciclos hídricos, capturan carbono y regulan el clima
- c) social, porque son una fuente de productos de subsistencia de la población rural
- d) económica, porque constituyen una fuente de productos maderables

ANTECEDENTES

Captura y contenido de carbono

Ante una crisis ambiental poco estudiada a finales del siglo pasado se desarrollan una serie de reuniones internacionales, la primera de ellas es la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente o Cumbre de Estocolmo en 1972. El planteamiento de ésta fue la problemática ambiental, incluyendo la contaminación atmosférica por su posible incidencia en el cambio climático global.

Durante 1985 se aprobó la convención de Viena para la protección de la capa de ozono, ratificada dos años después al celebrarse el protocolo de Montreal, cuyo objetivo fue regular las emisiones de compuestos que destruyeran la capa de ozono, especialmente los clorofluorcarbonados.

Uno de los sucesos más relevantes en cuanto a las reuniones sobre el medio ambiente, es el surgimiento en 1988 del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) como un órgano adscrito a la Organización Mundial de Meteorología (OMM). En ese mismo año se llevó a cabo la conferencia de Toronto, donde se manifiesta un objetivo político de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (Rivera, 2000).

Estas reuniones adquieren carácter internacional hasta 1992 en la Cumbre de Río de Janeiro, donde 155 países manifestaron su interés en estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero (Orego, 1998; Aristizabal y Guerra, 2002).

La Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) sugirió la continuación de las negociaciones a través de las Conferencias de las Partes (COPS), con la idea de materializar acciones para mitigar el calentamiento global. El objetivo de la COP-1 (Berlín, Alemania, 1995) fue consolidar la voluntad de los países signatarios sobre el control del cambio climático global. Se estableció una “fase piloto” abierta a todas las partes de la CMCC para llevar a cabo actividades de implementación conjunta (AIC). La COP-2 (Ginebra, Suiza, 1996) reflejaría la posición de los países industrializados, con Estados Unidos a la cabeza, mostrando los intereses que separaban a estos países del anexo I y los países en vías de desarrollo en cuanto al tema de la reducción de emisiones. La fase piloto

de las AIC se ratificó sin fijar niveles o cuotas de emisiones de CO₂ u otros gases de efecto invernadero (Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

En la COP-3 (Kyoto, Japón, 1997) se elaboró el marco legal bajo el cual todos los países adscritos a la CMCC se comprometían a mitigar las acciones antrópicas que contribuyeran al calentamiento global, mediante el establecimiento de normas y procedimientos conocidos como el Protocolo de Kyoto (Totten, 1999).

La COP-4 (Buenos Aires, Argentina, 1998) ratificó lo acordado en Kyoto, subrayando la necesidad de organizar actividades de proyectos certificados, así como definir los aspectos de diseño y operación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (Beaumont, 1999).

El objetivo de las negociaciones en la COP-5 (Bonn, Alemania, 1999) fue agilizar la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto¹, pero nuevamente se evidenciaron los intereses entre los diferentes bloques. Durante la COP-6 (La Haya, Holanda, 2000) estuvo en riesgo la estabilidad del Protocolo de Kyoto. Hasta el 2001 en la COP-7 (Bonn, Alemania) se logró un acuerdo en cuanto a las reglas para poner en vigor el Protocolo de Kyoto, a pesar de la reticencia de los Estados Unidos y el llamado “grupo sombrilla”.

La COP-8 (Marrakech, Marruecos, 2001) finalizó los detalles operacionales del Protocolo de Kyoto, se avanzó en el fortalecimiento del flujo de apoyo financiero y tecnológico a los países en vías de desarrollo para que puedan cambiarse en el futuro a fuentes energéticas sostenibles. Además se eligieron 15 miembros para formar el Cuerpo Ejecutivo del Mecanismo de Desarrollo Limpio (Convención Marco de Cambio Climático, 2001).

¹ Las tres categorías en las que el Protocolo de Kyoto designa las responsabilidades de los países firmantes son:

a) Países del anexo I, se conforma por 39 países desarrollados o con economías de mercado en transición y son los de mayor responsabilidad y capacidad de acción ante el cambio climático. En 1990 produjeron cerca del 55% de las emisiones totales.

b) Países del anexo II, constituido por un subconjunto de 25 países desarrollados del anexo I, los cuales proporcionan ayuda económica y tecnológica a los países del No anexo I a fin de enfrentar el cambio climático.

c) Países del no anexo I, son países cuyas economías están en desarrollo, a los cuales no se les obliga a reducir o contabilizar sus emisiones del GEI. México forma parte de esta categoría (ONU: CMCC, 1998).

Hasta la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Johannesburgo, Sudáfrica, 2002) se realizaron negociaciones para lograr que los países se comprometieran con acciones concretas que hagan posible el alcance de los objetivos y metas del Desarrollo Sostenible. Cabe destacar que Rusia ratificó su respaldo al Protocolo de Kyoto, con lo que el tratado contaría con suficientes productores importantes de gases de efecto invernadero para poder entrar en vigencia (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Por su parte, para proponer estrategias viables y dirigidas a la mitigación del cambio climático, el Protocolo de Kyoto establece legalmente compromisos vinculantes a los países del Anexo I para reducir colectivamente las emisiones de GEI en una proporción superior al 5% con respecto a los niveles de 1990 para el período entre el 2008 y el 2012 (Totten, 1999; Aristizabal y Guerra, 2002).

El protocolo de Kyoto establece tres mecanismos de flexibilidad que son: el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el Mercado Internacional de Derechos de emisiones (MIDE) y las Actividades de Instrumentación Conjunta (AIC). Con la finalidad de ayudar a los países del Anexo I a cumplir sus compromisos de reducción, mediante la implementación de proyectos forestales que promuevan el desarrollo sostenible en un país en vías de desarrollo (Peña del Valle, 2003).

Como resultado de la creciente preocupación sobre el medio ambiente y el calentamiento global, hay una confluencia mundial sugiriendo realizar actividades que promuevan la conservación de la cobertura vegetal: inventarios forestales, programas de investigación, transferencia tecnológica, protección de sumideros de carbono, intercambio de información y participación ciudadana (Parlamento Latinoamericano *et al.*, 1998). Por lo anterior, se han desarrollado metodologías para la estimación del contenido de carbono en los bosques.

Situación nacional sobre los estudios de captura de carbono

En México, desde 1997 se han realizado diversos estudios relativos a tecnologías de mitigación de GEI con el propósito de analizar el potencial y los costos de los principales sectores en el país: energético, forestal, transporte y agrícola.

El estudio "Support for National Action Plan", coordinado por el Instituto de

Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, con fondos de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos, planteado por el Instituto Nacional de Ecología (INE), permitió que en el sector forestal se realizaran estudios enfocados al manejo forestal, la reforestación y la promoción de las opciones agroforestales. Además de promover la captura de carbono y el manejo sustentable de los bosques en los altos de Chiapas; mediante la adquisición de Proto Créditos de Carbono del Fideicomiso local (SEMARNAT-INE, 2000).

El Gobierno de México ha impulsado proyectos para cuantificar la captura de CO₂ en bosques, el primer estudio apoyado en este sentido fue desarrollado por Ordóñez (1998), que evaluó la captura de carbono en un predio manejado del bosque templado en la comunidad indígena de San Juan Nuevo, Michoacán, mediante la utilización del modelo de simulación CO2FIX (Nabuurs *et al.*, 2001). Realizó una estimación dinámica del potencial de captura de carbono generando escenarios predictivos sobre la captura de carbono a corto, mediano y largo plazo, proyectando las tendencias del manejo forestal por tipo de especie forestal, proporcionando los lineamientos metodológicos básicos en la obtención de los parámetros cuantificables y sugirió la elaboración de estudios específicos para determinar parámetros que no han sido cuantificados a nivel regional (Ordóñez, 1998).

El modelo de estimación CO2FIX se fundamenta en el ciclo del carbono e integra el crecimiento anual y las tasas de pérdida de las principales combinaciones de biomasa, incluyendo además la relación de la dinámica de descomposición de la materia orgánica en el suelo (Moren *et al.*, 1997; Ordóñez, 1999). Ha sido aplicado en diferentes ecosistemas forestales, como el bosque tropical lluvioso, el bosque boreal y el bosque templado deceduo; se ha utilizado para las especies *Pinus caribbea* en Brasil y Venezuela, *Pinus radiata* en Nueva Zelanda y Australia, y *Pinus pseudostrobus* en México (Nabuurs y Moren, 1993; Ordóñez, 1999), principalmente en la evaluación de plantaciones o ecosistemas manejados.

Además de estimar el contenido de carbono se puede conocer la capacidad de captura de carbono en los bosques. En la estimación del contenido de carbono se utilizan los inventarios de carbono, los cuales contabilizan el carbono fijado en el periodo de la realización del estudio. Estos proyectos requieren métodos de medición confiables, para estimar el contenido y captura de carbono que cumplan con las normas establecidas por el IPCC.

Además del CO2FIX, existen varios métodos para estimar el contenido de carbono que parten del conocimiento de la biomasa y para evaluar éste parámetro se utilizan formulas alométricas y volumétricas. Mediante los datos de un inventario se puede calcular la biomasa a través de las ecuaciones anteriores, siendo necesario obtener en campo el diámetro normalizado² (DN) y la altura de los árboles.

Peña del Valle (2003) realizó un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala-Puebla, cuyo principal objetivo fue estimar el contenido de carbono en el área forestal, indicando algunas actividades humanas realizadas en la misma zona. Estableció un punto de partida en la creación de una línea base y evaluó el potencial del Parque Nacional La Malinche como reservorio de carbono y las perspectivas futuras para ofrecer servicios ambientales. El cálculo de la biomasa forestal lo llevó a cabo mediante ecuaciones alométricas, para las coníferas de los géneros *Abies* y *Pinus* y las latifoliadas *Quercus* y *Alnus*, obteniendo un resultado de 2,002,955.29 tC totales almacenadas en un área de 22,952 ha.

En el predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro Michoacán, Fragoso (2003) calculó la biomasa forestal aérea usando ecuaciones volumétricas y considerando el incremento corriente anual (ICA) se obtuvo la captura potencial de carbono con una proyección a 10 años, basado en los lineamientos del IPCC (1994). Una característica importante del área de estudio de Fragoso, es la presencia de una propuesta integral de plan de manejo contemplando al bosque como un almacén de carbono. Los resultados por especie fueron: *Abies religiosa* 15,800 tC con una superficie aproximada de 257.5 ha, *Pinus pseudostrobus* 5,433 tC almacenadas en 279.15 ha, *Quercus laurina* 3,040 tC en una superficie de 124 ha y un conjunto

² DN = diámetro normalizado o diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro a 1.3 m sobre el piso.

de hojas con 367 tC en una superficie de 44.6 ha, en total se obtuvo la cantidad de 24,640 tC en un área de 340.7 ha.

Las ecuaciones alométricas se consideran una forma confiable y practica para estimar la biomasa y el contenido de carbono de un lugar, han sido utilizadas en superficies forestales de clima templado-frío para estimar la biomasa aérea total y foliar, a partir del diámetro normalizado (DN). También se han utilizado para estimar el carbono presente en diferentes tipos de vegetación (Brown *et al.*, 1989; De Jong *et al.*, 1995).

Ayala (1998) en su tesis profesional calculó dos ecuaciones alométricas, para coníferas $PT = 0.084 * DN^{2.745}$ y para latifoliadas $PT = 1.91 * DN^{1.782}$, a partir del DN. Éstos antecedentes fueron el punto de partida para calcular la biomasa y posteriormente la estimación del contenido y captura potencial de carbono.

Justificación

El dióxido de carbono es el GEI más importante, uno de los responsables del cambio climático; por lo que resulta indispensable realizar estudios de caso a nivel regional, particularmente en los ecosistemas forestales, ya que permiten obtener datos más precisos sobre los flujos y almacenes de carbono en los bosques y selvas (Ordóñez, 1999).

El bosque de *Pinus hartwegii* tiene una amplia distribución a partir de los 3,000 m snm en las áreas montañosas del país, por lo tanto su nivel de manejo es casi nulo dada la dificultad de acceso a las zonas. Además de que es el pino mejor adaptado a las bajas temperaturas y resistente a incendios.

Los bosques de *Pinus hartwegii* son en el mejor de los casos bosques poco perturbados o sin manejo; por lo que es posible restringir la estimación de captura de carbono por especie (Ordóñez, De Jong, Masera, 2001). Ésta evaluación resulta importante en bosques cercanos a megaciudades dado que representan un medio de mitigación de las emisiones de GEIs.

OBJETIVOS

General

Estimar el contenido y la captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena, D. F.

Particulares

- 1.- Describir estructuralmente el bosque de *Pinus hartwegii*.
- 2.- Obtener la biomasa del bosque mediante una ecuación volumétrica y calcular el ICA (incremento corriente anual).
- 3.- Conocer la edad del bosque de *Pinus hartwegii* para estimar el contenido y la captura potencial de carbono.
- 4.- Estimar el contenido de carbono a partir de la biomasa.
- 5.- Estimar la captura potencial de carbono realizando proyecciones a corto, mediano y largo plazo del crecimiento del bosque de *Pinus hartwegii*.

ÁREA DE ESTUDIO

Generalidades de la cuenca alta del río Magdalena (CARM)

La cuenca alta del río Magdalena forma parte de la cuenca de México ubicada dentro de la Cordillera Volcánica Transmexicana, en la vertiente occidental de la sierra de las Cruces. Se encuentra entre los paralelos 19°14'35" y 19°17'53" de latitud norte y los meridianos 99°15'06" y 99°20'18" de longitud oeste, con un intervalo altitudinal de los 2,570 a los 3,850 m snm.

La superficie total del área es de 2,926 ha, donde la mayor parte se extiende sobre la delegación Magdalena Contreras y en las zonas más altas pertenece a las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa del Distrito Federal (Ávila, 2004).

En julio de 1932 fue decretada Zona Protectora Forestal (ZPF) cuyos límites son: al norte con los terrenos de los pueblos de San Bartolo Ameyalco, Santa Rosa y el Desierto de los Leones, entre la Cruz de la Colostitla y el cerro de San Miguel, al sur con los montes de la Hacienda Sierra de Eslava y el Ejido de San Nicolás Totolapan, al poniente con el municipio de Ocoyoacac en el Estado de México y al oriente con el pueblo de San Nicolás Totolapan (Nieto de Pascual, 1969).

Relieve

Los bosques de la cuenca alta del río Magdalena se desarrollan en un relieve montañoso. El extremo noreste de la cuenca constituye la parte más baja con pendientes inclinadas que forman un desnivel de 400 m y que corresponde al piedemonte de la Sierra de las Cruces en su ladera oriental de la porción sur. El cerro más alto con 3850 m de altitud, es el Muñeco, en el extremo SW de la cuenca, dentro del municipio de Ocoyoacac, Estado de México.

La acción erosiva hídrica ha tenido un importante efecto sobre el modelado del relieve montañoso. La corriente del río Magdalena ha formado el valle intermontano longitudinal joven (Álvarez, 2000).

Geología

El basamento de la cuenca alta del río Magdalena está constituido por macizos de la sierra de las Cruces, cuya edad se registra en el Terciario Superior. Esta

sierra presenta una dirección NE-SO y es uno de los principales puntos de actividad de la Cordillera Volcánica Transmexicana.

Se formó por una serie de emisiones pacíficas de lavas ácida, ya que muestra bancos piroclásticos que indican una manifestación de erupciones volcánicas importantes. Además se observan indicios de algunos conos volcánicos con estructuras muy erosionadas o sepultadas por formaciones posteriores, como los cerros San Miguel y la Palma. Las emisiones arrojadas por dichos conos son de andesita, horblenda e hiperstena, de principios del Plioceno (Cervantes, 1969).

Las condiciones climáticas semiáridas pero con lluvias intensas arrasaron las formaciones consolidadas y llevaron a la depositación de extensos bancos aluviales en el flanco este de la sierra de las Cruces, cuya constitución se conoce como Formación Tarango. Esta ocupa toda la parte baja de la cuenca a partir de los 2,800 m de altitud y esta formada por materiales clásticos y poligénicos, derivados de la destrucción y erosión de los elementos del Terciario medio y superior. Durante el Cuaternario aumentó la actividad volcánica formándose la sierra del Chichinautzin. Esta barrera de 2,000 m de espesor interrumpió el drenaje hacia el sur de la cuenca, entre la sierra Nevada y la sierra de las Cruces (Ontiveros, 1980).

Edafología

Los suelos son principalmente andosoles cuya formación es a partir de materiales ricos en vidrios volcánicos, generalmente ácidos y se presentan en una topografía accidentada. Fijan fosfatos y son susceptibles a la erosión hídrica y eólica que forman cárcavas y barrancos profundos. Su uso es esencialmente forestal para pináceas y bosque mixto (Cervantes y Alfaro, 2000). Son suelos jóvenes que carecen de perfiles y características bien definidas.

En la parte baja de la cuenca los andosoles son de tipo húmico de textura media limosa a franca arenosa localizándose desde la zona urbana hasta el primer Dinamo. En el segundo y tercer Dinamo se tienen suelos pobres en materia orgánica, son ácidos y nutrientes. En el primer y tercer Dinamo, se observan mezclas de andosol húmico con litosol de textura media limosa con una fase lítica a menos de 50 cm (COCODER, 1988).

Hidrología

El río Magdalena surge cerca de la Puerta del Pedregal, a 3,640 m snm, y recorre la cañada de Cieneguillas. Tiene dos afluentes por su margen derecho, el más importante es el Acopilco. Los demás afluentes proceden de los cerros El Chinaco, San Miguel y El Media Luna (Cuevas, 1962).

Tiene una longitud total de 21.6 km, de los cuales 13 recorren los bosques de la cuenca. Después, penetra en la zona urbana hasta la presa Anzaldo, con un recorrido de 4,000 m. A partir de ésta el río es entubado y dirigido al río Churubusco en un trayecto de 2,000 m. Las aguas siguen su recorrido por el canal del desagüe, para salir de la cuenca de México a través de los túneles artificiales de Tequisquiac, donde llega a la cuenca del río Tula (Álvarez, 2000).

Climatología

De acuerdo con García (1987), en la parte baja de la cuenca alta del río Magdalena comprendida entre los 2,400 y 2,800 m snm se encuentra el tipo subclimático C(w₂) (w) (b) i' g que representa al clima templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos y un cociente de P/T mayor de 55.3; con verano fresco largo, temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente entre 6.5 y 22°C, con poca oscilación térmica y marcha de la temperatura tipo ganges. Desde el tercer Dinamo hasta la parte alta, de los 2,800 a los 3,500 msnm el clima es Cb' (w₂) (w) (b') i g. Sólo difiere del anterior por tener una temperatura media anual entre 5 y 12°C, además de que la oscilación térmica es isotermal ó menor a 5°C.

Julio es el mes con mayor cantidad de precipitación alcanzando un valor superior a 250 mm y coincide con la isoyeta anual de 1,200 mm. El porcentaje de lluvia invernal es menor del 5% con respecto a la total anual y los porcentajes altos de lluvia para el período mayo-octubre varían del 80 al 94% de la lluvia total anual, lo cual indica que el régimen de lluvia es estival.

Vegetación

La zona de estudio está comprendida en la provincia Florística de las Serranías Meridionales, dentro de la región Mesoamericana de montaña. La caracterizan elementos holárticos predominantes en el estrato arbóreo, así como neotropicales,

que son más abundantes en los estratos arbustivo y herbáceo, formando un complejo mosaico con elementos autóctonos (Figura 3). Las áreas montañosas aisladas propician el desarrollo de numerosos endemismos (Rzedowski, 1978).

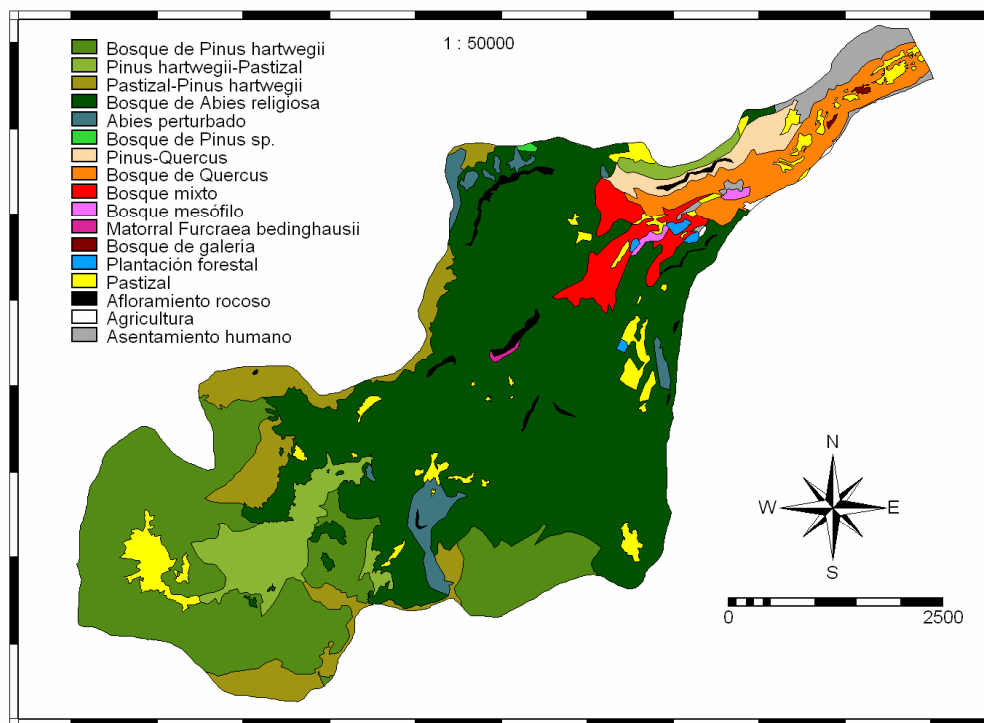


Figura 3. Mapa de vegetación y uso de suelo en la cuenca alta del río Magdalena.
Fuente: Ávila-Akerberg, 2004.

De acuerdo con Rzedowski (1978), las comunidades vegetales presentes en la cuenca son: bosque de *Abies*, bosque mesófilo de montaña, bosque de *Pinus hartwegii* y bosque de *Quercus*. Debido al gradiente climático y las condiciones de humedad de la zona, la vegetación presenta una disposición en bandas altitudinales más o menos bien definidas, aunque se mezclan el bosque mesófilo de montaña, el bosque de *Quercus* y el bosque mixto.

La cuenca alta del río Magdalena presenta cinco comunidades vegetales: *Pinus hartwegii-Trisetum altijugum* (3,400-3,750 m snm), *Abies religiosa-Senecio angulifilius* (2,900-3,500 m snm), bosque mixto (2,800-3,200 m snm), *Quercus*

rugosa-Quercus laurina (2,650-2,800 m snm) y bosque mesófilo de montaña (2,600-2,900 m snm)(Ávila-Akerberg, 2002).

Fauna

La diversidad faunística de la zona ha disminuido, debido a factores tales como la sobreexplotación y los cambios de hábitat de los animales resultado de las actividades humanas. Aún cuando el área de estudio forma parte de una de las ciudades más grandes del mundo cuenta con algunas especies animales (Tabla 3).

Tabla 3. Especies de animales presentes en la cuenca alta del río Magdalena, D F.

INEGI, 1995		Ávila- Akerberg, 2004	
Nombre común	Especie	Nombre común	Especie
Urraca	<i>Cyanocita cristata</i>	Víbora de cascabel	<i>Crotalus triseriatus</i> y <i>C. Variegatus</i>
Calandria	<i>Icterus bullockii</i>	Culebra de agua	<i>Thamnophis scaliger</i>
Colibrí	<i>Colibrí thalassinus</i>	Rana de árbol	<i>Hyla eximia</i>
Lechuza	<i>Asio otus</i>	Lagartija	<i>Sceloporus torquatus</i>
Búho	<i>Buho virginianus</i>	Lagartija de collar negro	<i>S. grammacus</i> ssp. <i>microlepidatus</i> , <i>S. aeneus</i>
Zenzontle	<i>Minus polyglottos</i>	Lagartija de vientre azul	<i>Eumeces copeil</i>
Ruiseñor	<i>Catharus aurontirostris</i>	Falso escorpión	<i>Barisia imbricata</i>
Víbora de cascabel	<i>Crotalus triseriatus</i>	Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>
Lagartija	<i>Sceloporus microlepidotus</i>	Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>
Hormiga	<i>Pogonomyrmex barbatus</i>	Comadreja	<i>Mustella frenata</i>
Mariposa	<i>Rothschildia orizabae</i>	Aguililla cola roja / Halcón cola roja	<i>Buteo jamaicensis</i>
Ardilla	<i>Scirus Nelson</i>	Codorniz coluda neovolcánica	<i>Dendrortonyx macrourea</i>
Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>		

Bosque de *Pinus hartwegii*

La distribución del bosque de *Pinus hartwegii* a lo largo del Cordillera Volcánica Transmexicana con clima Cw se sitúa entre los 3,000-4,000 m snm prácticamente en todas las elevaciones montañosas de México (Rzedowski, 1988).

Pinus hartwegii es considerado como el pino mexicano mejor adaptado a las frecuentes heladas nocturnas del clima de alta montaña (Sánchez de Tagle, 1978). Su extremo superior establece el límite de la vegetación arbórea en los picos más altos del país. En las partes bajas *Pinus hartwegii* forma asociaciones de estatura elevada (15–20 m), pero hacia los 4,000 m snm constituye con frecuencia un bosque abierto y achaparrado de 5–8 m (Figura 4).

Pinus hartwegii está asociado en sus niveles bajos a *Cupressus lusitanica* y *Alnus sp.*; se desarrolla sobre sustratos más o menos ricos en humus. De 3,200 a 3,900 m snm es posible observar pequeños manchones de *Abies religiosa* entremezclados con esta comunidad hasta los 3,600 m snm. Es un bosque monoespecífico y abierto. El estrato herbáceo se compone principalmente de gramíneas como *Calamagrostis toluensis*, *Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluensis*. También es común encontrar *Penstemon gentianoides*, *Lupinus montanus*, *Senecio roseus*, *Acaena elongata*, *Eryngium columnare*, *Cirsium ehrenbergii* y *Baccharis conferta* entre otros (Hernández *et al.*, 1992).

Éste bosque forma el límite de la vegetación arbórea, entre febrero y marzo, cuando la frecuencia de incendios inducidos es mayor, los incendios avanzan por debajo dicho límite; en cambio, los incendios naturales, con una mayor incidencia entre abril y octubre, avanzan hacia arriba del límite de la vegetación arbórea, protegiendo las poblaciones de *Pinus hartwegii* (Lauer, 1978).

Los árboles de *Pinus hartwegii* pueden llegar en 100 años a tener 30 m de altura y son utilizados para la fabricación de papel. El valor socioeconómico del bosque *Pinus hartwegii* es el mismo que tiene el bosque de *Abies religiosa* (Ern, 1973).



Figura 4. Bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena, D. F.

MÉTODO

La Figura 5 muestra las etapas seguidas para la estimación del contenido de carbono y a partir de los parámetros de edad del bosque e incremento corriente anual (ICA), obtener una estimación de la captura potencial de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena.

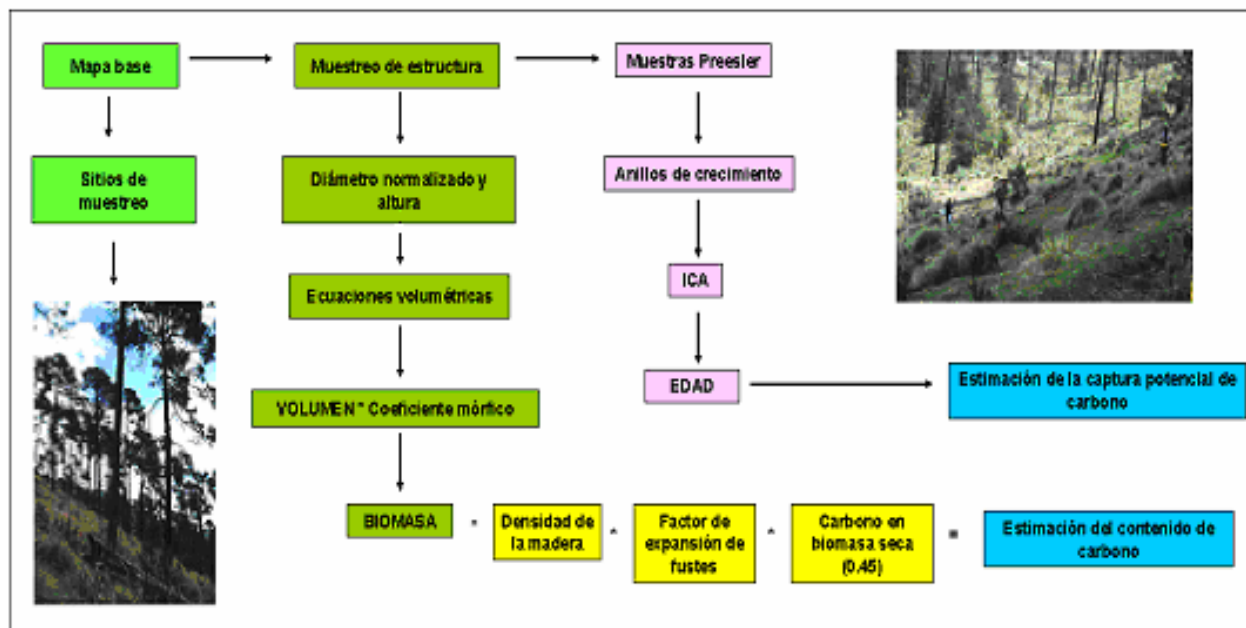


Figura 5. Diagrama metodológico utilizado en el bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Cartografía

Los mapas son la manera más usual de representar a la vegetación, su elaboración se facilita si se tiene disponibilidad de imágenes de satélite, de ortofotos y de bases topográficas. El procesamiento cartográfico de la información se realizó a través del Sistema de Información Geográfica SIG ILWIS 3.0 (Integrated Land and Water Information System; ITC, 2001) que integra diferentes módulos (López-Blanco *et al.*, 1995). Dicho sistema permitió complementar la información de las ortofotos digitales 1:20,000 (INEGI, 1999) con las bases de datos vectoriales presentes en el mapa de vegetación de la cuenca alta del río Magdalena elaborado por Ávila- Akerberg (2004).

Para conocer la superficie total del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena y localizar los sitios de muestreo realizados, se elaboró un mapa escala 1:20,000. Utilizando tres fotografías aéreas pancromáticas escala

1:75,000 (INEGI SINFA 1999) y un estereoscopio, se realizó la delimitación de la cuenca siguiendo el parteaguas del río Magdalena y terminando en el límite con el área urbana. Posteriormente, a partir de seis ortofotos digitales 1:20,000 (INEGI, 1999) se fotointerpretó en pantalla delimitando los polígonos de las diferentes coberturas de vegetación. Estas fotografías tienen una resolución en el terreno de 1.5 m por píxel. La dimensión de cada una es de 6'40" de longitud por 7'30" de latitud, la finalidad de este formato diseñado por INEGI es que al ensamblarlas se obtenga la cobertura de una carta topográfica escala 1:50,000 (Ávila-Akerberg, 2004).

Para la fotointerpretación se tomaron en cuenta elementos del bosque de *Pinus hartwegii* como son: las características del follaje, la forma de la copa y su manifestación sobre la fotografía aérea (Ayala, 1995). Así mismo, se utilizaron fotografías 1: 7,000 para ver con más detalle la distribución del bosque.

Muestreo aleatorio estratificado

La distribución de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena va de los 2,900 m snm hasta el límite superior de la vegetación arbórea a los 3,850 m snm, por lo tanto el muestreo se realizó entre los 3,400 y 3,800 m snm.

Los sitios fueron determinados a partir de la distribución de *Pinus hartwegii*, se generaron puntos aleatorios dentro del bosque en el programa ILWIS. Cada sitio tiene un superficie de 625 m², siendo en total 23 sitios que cubren un área total de 1.44 ha.

Este tipo de muestreo es utilizado en zonas extensas y heterogéneas; consiste en la subdivisión previa del sitio en unidades homogéneas de acuerdo con algún criterio de vegetación (Matteucci y Colma, 1982).

En este estudio se consideró la división realizada por Ávila-Akerberg (2004) en tres comunidades con distintos porcentajes de cobertura de *Pinus hartwegii* como del pastizal: *Pinus hartwegii*, *Pinus hartwegii*-Pastizal y Pastizal-*Pinus hartwegii*. La subdivisión en unidades antes del muestreo aleatorio incrementa la precisión de las estimaciones. Posteriormente se muestrea cada sitio de manera aleatoria formando parte de una muestra que resulta representativa.

Intensidad de muestreo

Para conocer la intensidad de muestreo requerida se utilizaron el diámetro normalizado (DN) y la varianza de cada sitio.

El tamaño de la muestra fue establecido a partir de la siguiente fórmula:

$$N = \frac{t^2 (S\%)^2}{(E\%)^2}$$

N = número de la muestra

t² = valor de tablas de t de student

S% = coeficiente de varianza

E% = error 5%

Dasometría

Los datos estructurales usados en este trabajo se tomaron de los levantamientos realizados por Ávila-Akerberg en el 2002, estos fueron: el diámetro normalizado (DN) de individuos mayores a 1.3 m de altura, cobertura y especies herbáceas acompañantes. Así como algunos datos de localización: coordenadas UTM, altitud con GPS y altímetro, pendiente en porcentaje obtenido con clinómetro y orientación en grados.

Parámetros estructurales

Los datos obtenidos en campo permitieron el análisis de las comunidades del bosque de *Pinus hartwegii*, a partir de su densidad, área basal, estructura diamétrica y vertical. La densidad de árboles es un dato obtenido directamente en los levantamientos.

El área basal es una medida del espacio horizontal ocupado y puede ser considerada para estimar el volumen y la biomasa de especies arbóreas o arbustivas (Mostacedo y Fredericksen, 2000) y como indicadora de la cobertura, dominancia o abundancia de una especie en un sitio. En árboles este parámetro se mide a partir del diámetro normalizado (DN) o el perímetro como sigue:

$$AB = \pi (DN^2 / 4)$$

$$AB = \text{Área basal (m}^2\text{)}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$DN = \text{diámetro normalizado (m)}$$

Con la finalidad de reducir el error al estimar la altura de los individuos, ésta se calculó mediante el uso de la siguiente ecuación alométrica, propuesta por Franco *et al.* (2004):

$$h = -0.0027DN^2 + 0.5968 DN + 0.5027$$

$$h = \text{altura (m)}$$

$$DN = \text{diámetro normalizado (m)}$$

Se obtuvieron ocho clases de alturas y siete clases diamétricas para la descripción estructural del bosque (Tabla 4).

Tabla 4. Clases de alturas y diámetros en el bosque de *Pinus hartwegii*.

Clases	Altura (m)	Clases	DN (cm)
1	0.5-3.5	1	5-10
2	3.6-6.6	2	11-20
3	6.7-9.7	3	21-30
4	9.8-12.8	4	31-40
5	12.9-15.9	5	41-50
6	16-19	6	51-60
7	19.1-22.1	7	> 61
8	> 21.2		

Parámetros para cuantificar el contenido de carbono

Los parámetros necesarios para poder cuantificar el contenido de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca son: densidad de la madera para la especie de *Pinus hartwegii*, la biomasa y el incremento corriente anual (ICA).

El dato de densidad de la madera usado se obtuvo a través de los cálculos realizados para *Pinus hartwegii* en el volcán La Malinche, Tlaxcala-Puebla (Rojas com. pers.).

$$D = 0.4965 \text{ t/m}^3$$

Biomasa

Uno de los almacenes principales de biomasa³ y por lo tanto de carbono es la parte aérea del estrato arbóreo. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de la población de cada estrato por comunidad vegetal. De tal forma la determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de sistemas forestales, naturales, alterados o inducidos por el hombre (Acosta-Mireles, *et al.* 2002).

Una estimación del contenido de carbono en un bosque requiere que inicialmente se estime el peso seco de la biomasa. La estimación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes y, representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o almacenado en una superficie cuando los bosques son manejados para alcanzar los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (Brown, *et al.* 1986).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco. Una forma de estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown, 1997). Las técnicas para la estimación de la biomasa de los árboles en pie y otra vegetación no presentan grandes dificultades (Husch, 2001), se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para determinar el peso seco total (biomasa total del árbol).

A partir de los datos de estructura para cada árbol se calculó su volumen, multiplicándose por el coeficiente mórfico forestal, ya que el tronco de *Pinus hartwegii* tiene una forma cónica; utilizando la siguiente fórmula:

³ Biomasa: masa total de organismos vivos en una zona (IPCC, 2001).

$$V = (AB)(h)(0.7)$$

V = Volumen (m³)

AB = Área basal (m²)

h = altura (m)

0.7 = coeficiente mórfico forestal

Para obtener la biomasa específica del área del bosque de *Pinus hartwegii*, el volumen individual se multiplica por la densidad de la madera, este resultado por el número de individuos en una hectárea y finalmente por la superficie del bosque.

$$B = (V) (d)$$

B = biomasa (t)

V = volumen (m³)

d = densidad de la madera

(0.4965 t/m³)

Incremento corriente anual (ICA)

El ICA es el aumento volumétrico de un árbol en cierto número de años (Grijpma, 1984 y Ordóñez, 1999). El crecimiento de los árboles depende de las especies, su edad y la calidad del sitio en el cual crecen.

La calidad de un sitio es una medida de la capacidad productiva para el crecimiento de una especie determinada. Las curvas de calidad del sitio son el resultado de la relación entre factores como propiedades del suelo y la precipitación (Grijpma, 1984).

Para calcular el ICA del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena, se tomaron 23 muestras de los árboles con el taladro Pressler en el 2002: 9 en las comunidades de *Pinus hartwegii* y Pastizal-*Pinus hartwegii* y 5 en *Pinus hartwegii*-Pastizal. Posteriormente se realizó un tratamiento de secado y montado en pequeños soportes de madera, para facilitar su medición. Los anillos de crecimiento fueron más evidentes después de tratar las virutas con lijas de diferentes grosores de grano (150, 360, 600 y 1,500).

Para conocer la distancia entre cada anillo se utilizó un micrómetro con platina de fase deslizable, conectado a una computadora con el programa TRIMS⁴ (Gutiérrez, 2001). Las muestras fueron analizadas mediante un microscopio estereoscópico, cuyo ocular tiene una cruz que permite señalar en cada anillo de crecimiento la madera de primavera y la de otoño. Cada viruta se mide de la médula a la corteza, cada vez que se localiza un anillo se manda una señal a la computadora y automáticamente se guarda la información. Este método proporciona una exactitud de 0.01 mm. Finalmente los datos se exportaron como archivos de EXCEL.

De acuerdo con el número de anillos de crecimiento del árbol, se determinó su edad y el diámetro hipotético de cada muestra. Por ejemplo, el anillo del año 0 es de 0 mm, el anillo del año 1 es igual a la suma del año 0 más la diferencia entre el año 0 y el año 1. A partir del DN hipotético se usó una ecuación alométrica propuesta por Franco *et al.* (2004), cuyo objetivo es estimar la altura de los árboles por medio de su diámetro e indirectamente conocer el volumen.

Una vez sistematizada la información de la distancia entre anillos se procede a calcular la diferencia entre el volumen de una edad del árbol respecto a la anterior.

$$ICA = v2 - v1$$

ICA = incremento corriente anual (m³/ha/año)

v1 = volumen año 1

v2 = volumen año 2

Después de tener los datos de ICA para cada árbol por año en las tres comunidades se hizo un promedio que se multiplicó por el número de individuos de cada comunidad.

Edad

Para conocer la edad de los árboles se utilizaron muestras tomadas con un taladro Pressler en algunos de los sitios de cada comunidad. A partir de los datos de ICA obtenidos mediante el uso del programa TRIMS se calculó la altura y el DN año

⁴ Tree Ring Incremental Measuring System de la compañía Madera Software localizada en 2509 North Campbell Avenue 386. Tucson Arizona 85719, USA.

por año de cada árbol muestreado hasta los cien años, posteriormente se estimó la edad de los árboles registrados en campo usando el DN y la altura.

Estimación del contenido de carbono

El cálculo del contenido de carbono se realizó mediante la aplicación de los datos obtenidos en campo (altura y DN) y los parámetros obtenidos a partir de ellos (biomasa).

Después de obtener la biomasa por individuo, se multiplica por el factor de expansión de fustes (1.3). La finalidad de esta constante es tomar en cuenta otros componentes de la biomasa obtenidos indirectamente como las raíces, el follaje y las ramas.

Se obtiene el producto de la biomasa con el factor de contenido de carbono, este valor muestra cuál es la cantidad de carbono almacenado en un árbol. De acuerdo con los datos del IPCC (1994), se sugiere que determinada cantidad de materia vegetal seca contiene de 45 a 50 % de carbono.

$$CC = (B)(1.3)(0.45)$$

CC = contenido de carbono
(tC/0.06 ha)

B = biomasa (t/0.06 ha)

1.3 = factor de expansión para fustes

0.45 = proporción de carbono en la
biomasa seca (tC)

Finalmente se obtiene el contenido de carbono de cada sitio, una vez calculado este dato en una hectárea se multiplica por la superficie total del bosque de *Pinus hartwegii*, dando como resultado una estimación de las toneladas de carbono contenido durante el año de muestreo.

Estimación del potencial de captura de carbono

Para el cálculo del potencial de captura de carbono se utilizó el contenido de carbono, el incremento corriente anual (ICA) y la edad promedio de cada comunidad por sitio.

Para conocer el incremento en volumen de los árboles cada año, se utilizó el ICA. El volumen calculado para cada sitio se sumó al ICA correspondiente al año de inicio de la proyección, posteriormente con el resultado obtenido se realizó el mismo tratamiento.

Para la estimación de la captura potencial de carbono se utilizaron los datos de biomasa en toneladas, el volumen en m³ y la densidad de la madera (0.496 t/m³).

La simulación de captura se obtuvo para 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 y 50 años, a partir de la edad promedio en cada comunidad por sitio. Para la simulación no se utilizaron los árboles de 100 años de edad, debido a que su crecimiento es casi nulo.

Simulación por sitio:

$$\text{CPC} = (B) (1.3)(0.45)$$

CPC = captura potencial de carbono
tC/0.06 ha)

B = biomasa del sitio (t)

1.3 = factor de expansión para fustes

0.45 = proporción de carbono en la
biomasa seca

Una vez obtenido el contenido de carbono por sitio, se multiplicó el valor de cada comunidad por su superficie para conocer la captura potencial de carbono durante todos los escenarios generados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cartografía

En la cuenca alta del río Magdalena, el bosque de *Pinus hartwegii* ocupa una superficie de 1,014.14 ha (Figura 6), su distribución se localiza a partir de los 3,400 hasta los 3,850 m snm.

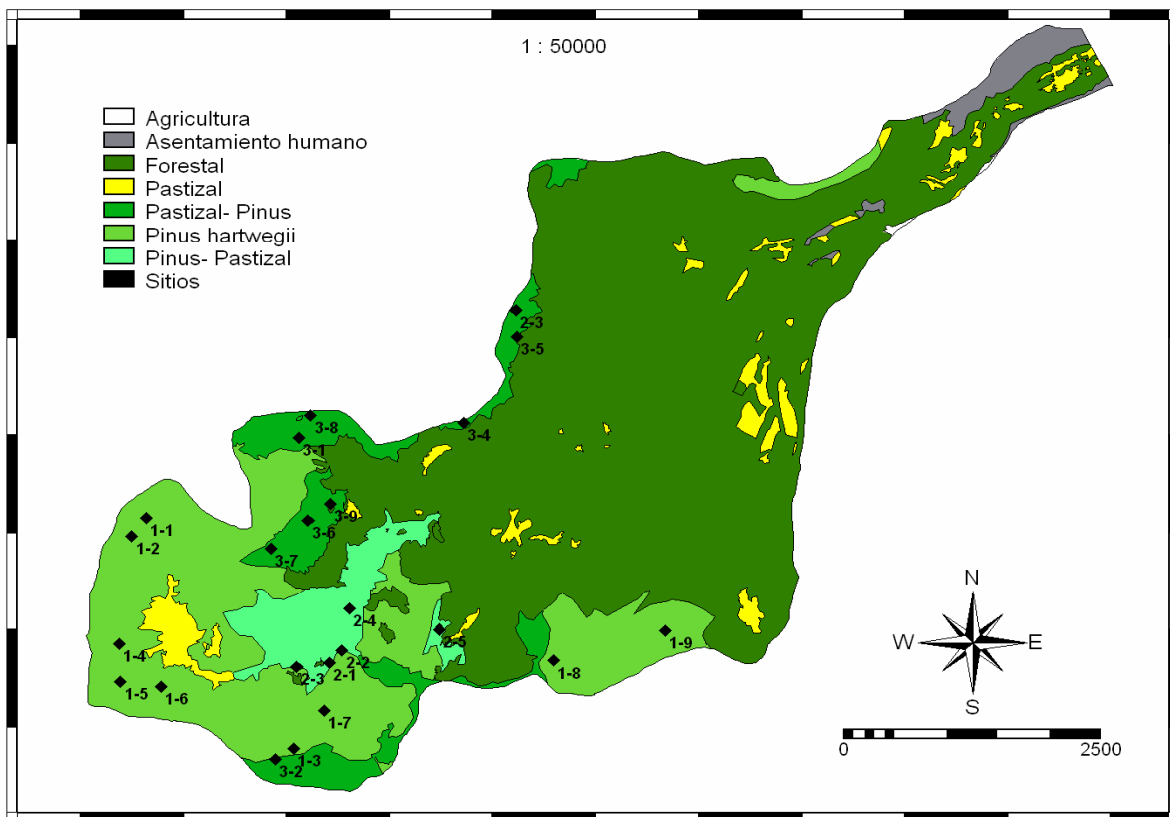


Figura 6. Mapa de sitios de muestreo por comunidad del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM, D. F.

En la cuenca se reconocen cuatro tipos de uso de suelo: 1) *Pinus hartwegii*; 2) Forestal, incluye otros bosques como los de *Abies religiosa*, *Quercus laurina* y

Quercus rugosa; 3) Pastizal, zona abierta con manejo continuo de ganadería; 4) Agricultura y Asentamientos humanos se concentran en la parte baja de la misma dentro de la mancha urbana de la ciudad de México (Tabla 5).

Tabla 5. Vegetación y uso de suelo en la CARM.

Categorías	No. de polígonos	Superficie (ha)
<i>Pinus hartwegii</i>	2	678.83
<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	5	132.72
Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	7	202.59
Forestal	10	0.17
Pastizal	49	0.01
Asentamiento humano	2	52.67
Agricultura	2	0.22
Total	77	2,925.43

La categoría del bosque de *Pinus hartwegii* presenta diferencias en cobertura, estructura y conservación, por lo tanto para detallar más los resultados se dividió en tres comunidades: *Pinus hartwegii*, *Pinus hartwegii*-Pastizal y Pastizal-*Pinus hartwegii* con base a diferencias en cobertura, estructura y conservación (Tabla 6).

Tabla 6. Características de las comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad	Asociación	No. de sitios	Intervalo de altitud m snm
<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Calamagrostis tolusensis</i>	9	3,598-3,734
<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	<i>Calamagrostis tolusensis</i>	5	3,420-3,578
	<i>Muhlenbergia quadridentata</i>		
Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	<i>Calamagrostis tolusensis</i>	9	3,500-3,750
	<i>Muhlenbergia quadridentata</i>		

Intensidad de muestreo

La superficie de muestreo de 1.44 ha es representativa, de acuerdo con la varianza presente en el DN. Aunado a que el manejo forestal de la zona es mínimo una muestra de 0.14% resulta adecuada para realizar un estudio sobre las condiciones estructurales del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena.

En la estimación de la captura potencial de carbono se requirió conocer la edad del bosque, cuyo análisis se realizó con una intensidad de muestreo menor al 1%.

Durante la fotointerpretación se pudieron detectar diferencias dentro de la superficie del bosque de *Pinus hartwegii* (tonos y textura), por lo tanto se pudo regionalizar áreas muy densas para definir la comunidad de *Pinus hartwegii* con una cobertura del 39%, la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal en áreas menos densas con una cobertura aproximada y finalmente la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* con presencia escasa de árboles respecto a los pastos, cuya cobertura es del 22%.

Parámetros estructurales

Se trabajó principalmente en la primera y segunda comunidad, debido a la accesibilidad de la zona y a la disponibilidad de tiempo para el trabajo de campo.

Comunidad de *Pinus hartwegii*. La comunidad tiene una superficie de 679 ha donde se realizaron 9 sitios de muestreo, sus laderas se orientan hacia el N, S, E, NE, NW y SE; se distribuyen entre los 3,592 y los 3,734 m snm; tiene la más alta regeneración de individuos de *Pinus hartwegii*, una densidad total de 280 individuos con 32 árboles en promedio por sitio, para una superficie de 0.56 ha. La asociación encontrada en esta comunidad es con *Calamagrostis toluensis*.

Los árboles tienen una altura promedio de 10.94 m y un diámetro promedio de 18 cm. El área basal total de la comunidad es de 9.06 m² (Tabla 7). Presenta un grado de perturbación bajo; en dos sitios se registran señales de incendios y las cortezas de los árboles muestran un color negruzco mientras se presenta en el estrato herbáceo *Lupinus montañus*.

Tabla 7. Características de cada sitio en la comunidad *Pinus hartwegii*.

Sitio	Asociación*	Orientación	Altitud	Densidad	DN (m)	Altura (m)	Área basal(m ²)
1	1	SE	3,570	23	0.19	10.07	1.02
2	1	SE	3,673	20	0.16	9.18	0.52
3	1	S	3,665	16	0.18	10.41	0.48
4	1	NW	3,598	40	0.16	8.84	1.38
5	1	NW	3,609	51	0.14	7.96	1.67
6	1	W	3,592	65	0.14	18.49	1.64
7	1	W-E	3,610	8	0.35	17.4	0.93
8	1	SE	3,734	24	0.13	7.66	0.47
9	1	S	3,607	33	0.15	8.46	0.81
Total				280	1.61	98.48	0.35
Promedio				31	0.18	10.94	0.04

1= *Calamagrostis tolucensis*

Considerando el estado de conservación en la comunidad de *Pinus hartwegii* y la densidad de individuos juveniles y adultos (Tabla 8) se reconoce la importancia de productividad que pueden tener los bosques en la cuenca.

Tabla 8. Impacto humano en la comunidad *Pinus hartwegii*.

Sitio	Altitud m snm	Impacto humano	Densidad	Individuos con DN < 5cm	Clasificación del bosque ⁵
1	3,670	poca	23	5-9	Abierto
2	3,673	poca-incendios	20	20-23	Semiabierto
3	3,665	-	16	1-4	Abierto
4	3,598	poca	40	26	Abierto
5	3,609	poca-incendios	51	95	Semiabierto
6	3,592	poca-incendios	65	80	Semiabierto
7	3,610	muy poca	8	2-3	Semiabierto
8	3,734	muy poca	24	33	Semiabierto
9	3,607	poca	33	65	Semiabierto
			280		

⁵ La clasificación dada a cada comunidad se basa en la densidad de individuos por área muestreada, la de cerrado toma en cuenta los sitios con coberturas de 66 a 100%; la categoría Semiabierto se refiere a una cobertura de 33-66%; y la de abierto incluye coberturas de 0 a 33%.

Aún cuando esta comunidad presenta la densidad arbórea más alta, en siete sitios (0.44 ha) el bosque es semiabierto, el porcentaje de cobertura arbórea va de 33 a 66% mientras que en los sitios con bosque abierto se presenta menos del 33%.

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. Ésta comunidad tiene una superficie de 133 ha dentro de la cual se realizaron 5 sitios de muestreo, se orientan hacia el NE, NW, W-E y SE; se distribuyen de los 3,420 a los 3,578 m snm, la densidad total es de 144 individuos en una superficie de 0.31 ha con un promedio de 29 árboles por sitio. La asociación encontrada en esta comunidad es con *Muhlenbergia quadridentata*.

La altura promedio es 9.26 m y el diámetro promedio es de 17 cm. La superficie que ocupa el área basal es de 4.70 m² (Tabla 9). La dominancia de la especie *Pinus hartwegii* disminuye frente a la presencia de los pastos, por lo tanto la posibilidad de desarrollar actividades antropogénicas aumenta sobre todo en las áreas próximas a los caminos o cercanas al río; sin embargo, existen pocas evidencias de disturbio, principalmente la presencia de basura y en algunos sitios rastros de ganado.

Tabla 9. Características de cada sitio en la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal.

Sitio	Asociación	Orientación	Altitud	Densidad	DN (m)	Altura (m)	Área basal(m ²)
1	1	NW	3,480	38	0.19	10.42	0.05
2	1	SE	3,420	33	0.14	8.19	0.02
3	1	NE	3,471	9	0.20	10.93	0.04
4	1	NE	3,425	35	0.16	8.69	0.04
5	2	SE	3,578	29	0.14	8.07	0.02
Total				144	0.83	46.29	0.17
Promedio				29	0.17	9.26	0.001

* 1= *Calamagrostis tolucensis* y 2= *Muhlenbergia quadridentata*

De acuerdo con Ávila-Akerberg (2004), el estado de la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal en relación al manejo de la zona es adecuado; sin embargo, la productividad del bosque basándose en la densidad del arbolado es poco prometedor considerando que en el sitio se observan pocos árboles jóvenes

respecto a los adultos. Corresponde a un bosque abierto cuyo valor más alto en cobertura es de 33% o semiabierto donde se observa una cobertura de 33 a 66% (Tabla 10).

Tabla 10. Impacto humano en la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal.

Sitio	Altitud m snm	Impacto humano	Densidad	Individuos con DN < 5 cm	Clasificación del bosque
1	3,480	poca	38	5	Semiabierto
2	3,420	-	33	7	Semiabierto
3	3,471	poca	9	7	Abierto
4	3,425	poca	35	2	Semiabierto
5	3,578	poca	29	-	Abierto
			144		

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*. La comunidad cubre un área de 203 ha, se realizaron 9 sitios de muestreo; la orientación de las laderas es hacia el S, W, SE y NE; se distribuyen desde los 3,501 hasta los 3,736 m snm hacia la parte más alta de la cuenca. Dada la pequeña cantidad de árboles de *Pinus hartwegii* en esta comunidad tiene una densidad total de 88 individuos con un promedio de 10 árboles por sitio, aumenta en altitudes superiores a los 3,600 m snm, en una superficie total de 0.5 ha. La regeneración de *Pinus hartwegii* es la más baja que existe entre las tres comunidades mencionadas. Esta comunidad presenta un sitio (625 m²) de muestreo cuya vegetación es de *Pinus hartwegii*-*Abies religiosa*, que corresponde a un parche aislado de *Abies religiosa* localizado en un terreno con pendiente pronunciada, por lo cual la especie que regenera es la segunda. Se observan dos asociaciones, con *Muhlenbergia quadridentata* y *Calamagrostis tolucensis*.

En la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* se presenta una altura promedio de 12.19 m y un diámetro promedio de 21 cm, el área basal de ésta es de 3.48 m²(Tabla 11). En tres de los sitios (0.19 ha) existe evidencia de incendios forestales con las cortezas carbonizadas, mientras en el estrato herbáceo se observa la especie *Lupinus montanus*.

Tabla 11. Características de cada sitio en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*.

Sitio	Asociación	Orientación	Altitud	Densidad	DN (m)	Altura (m)	Área basal(m ²)
1	1	S	3,638	9	0.11	6.74	0.01
2	2	NE	3,651	9	0.41	20.04	0.13
3	1	N	3,521	8	0.24	13.18	0.09
4	1	NW	3,576	5	0.23	12.61	0.04
5	2	N	3,501	7	0.30	15.65	0.08
6	1	E	3,606	23	0.15	8.50	0.02
7	2	E	3,540	17	0.13	7.66	0.02
8	2	S	3,736	4	0.18	10.05	0.04
9	1	SE	3,500	6	0.16	15.28	0.02
Total				88	1.89	109.7	0.44
Promedio				10	0.21	12.19	0.05

* 1= *Calamagrostis toluensis* y 2 = *Muhlenbergia quadridentata*

Las características de actividades de impacto humano (basura, tala, pastoreo) en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* y la clasificación dada al bosque con base en la densidad arbórea de cada sitio permite conocer a grandes rasgos el estado de conservación presente durante el periodo de muestreo (Tabla 12).

Tabla 12. Impacto humano en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*.

Sitio	Altitud m snm	Impacto humano	Densidad	Individuos con DN < 5 cm	Clasificación del bosque
1	3,638	poca	9	3-5	Abierto
2	3,651	poca	9	1-2	Semiabierto
3	3,521	poca	8	-	Abierto
4	3,576	poca	5	-	Abierto
5	3,501	poca	7	-	Abierto
6	3,540	poca	17	-	Semiabierto
7	3,606	poca-incendio	23	3	Semiabierto
8	3,736	poca-incendio	4	-	Semiabierto
9	3,500	poca	6	45 (oyamel)	Cerrado
			88		

Existe una relación proporcional entre la densidad de individuos y el área basal en las comunidades del bosque de la cuenca, a mayor densidad mayor área basal. Aún cuando las densidades de los sitios son altas relativamente, se observa una reducida área basal, debido principalmente a la presencia de muchos individuos de tallas menores que a su vez tendrán un importante papel en el mantenimiento forestal de la zona.

Estructura vertical

Se midieron 512 árboles en el bosque de *Pinus hartwegii*, la mayoría se distribuyen en las primeras clases de alturas (<10 m) cuyo valor mínimo es de 0.5 m y el valor máximo es de 9.7 m (Figura 7).

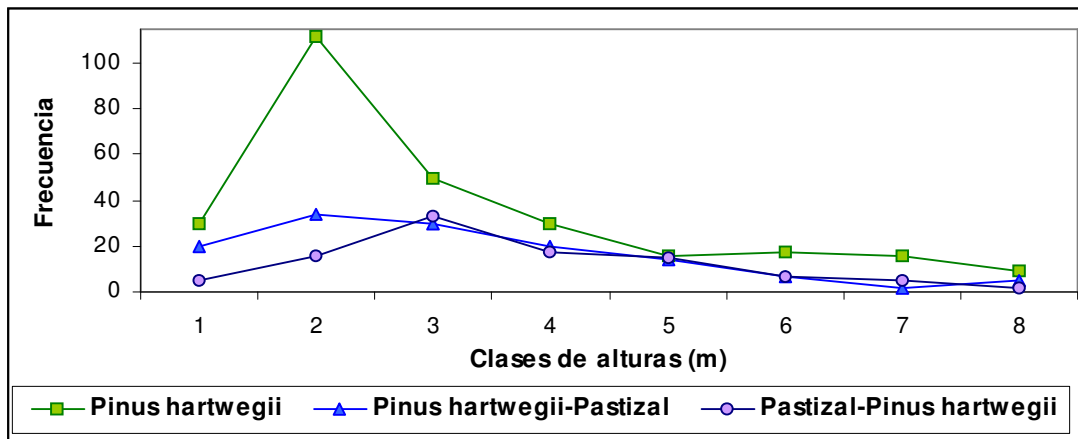


Figura 7. Estructura vertical del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad *Pinus hartwegii*. El 76% de los árboles de esta comunidad tienen una altura entre 0.8 y 8.3 m (Figura 8, A), en las clases restantes muestra una reducción de individuos debido a la alta regeneración de la zona. La gráfica resultante es de tipo leptocúrtica, donde las clases 1, 2, 3 y 4 (0.5-12.8) tienen frecuencias mayores al 5% y menores al 10% de individuos. Mientras las clases 5, 6, 7 y 8 (12.9->21.2 m) presentan las menores frecuencias. La clase 2 (3.6–6.6 m) es la que agrupa un mayor número de árboles (112) mientras que la clase 8 (> 21 m) tiene aproximadamente 10 individuos.

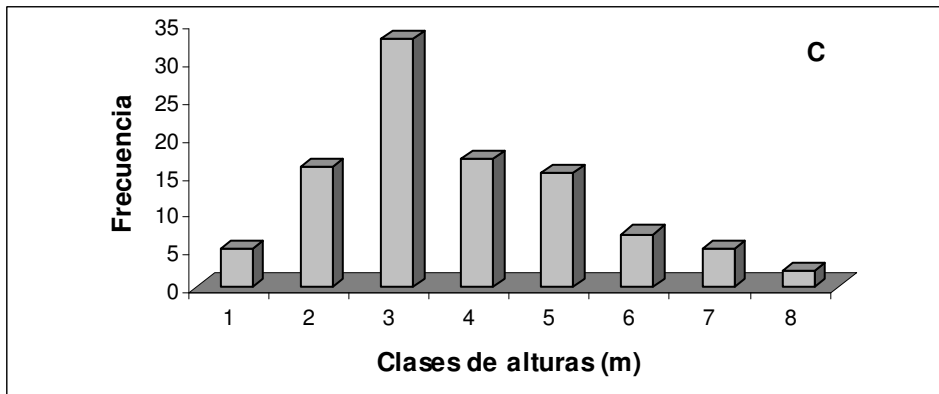
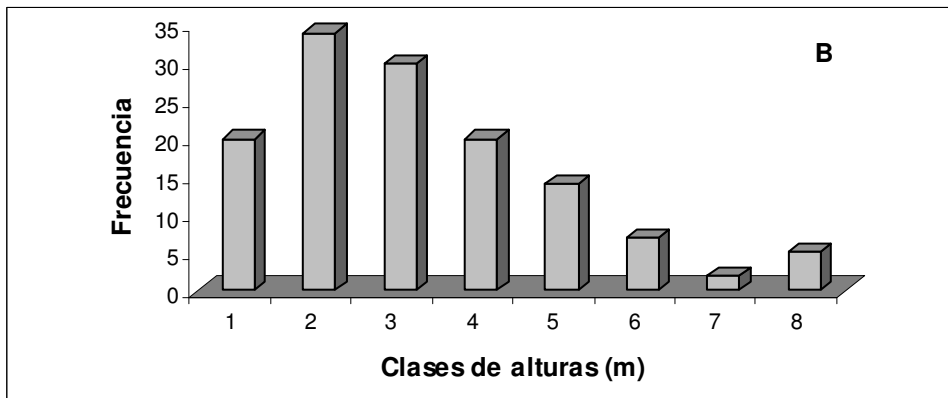
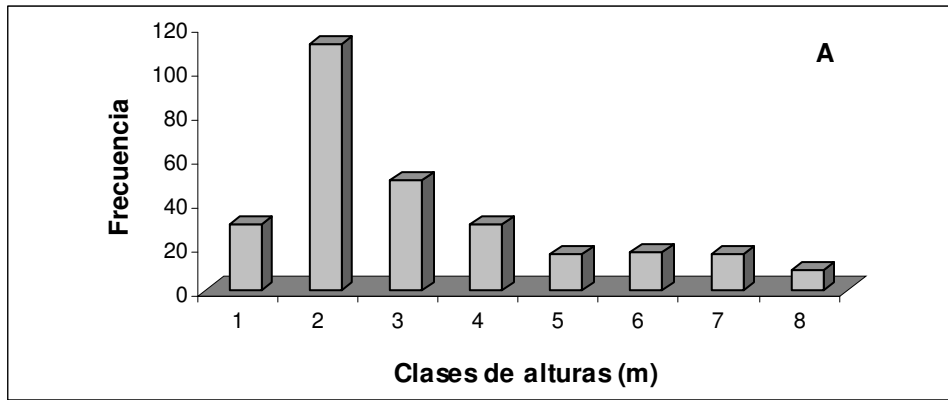


Figura 8. Estructura vertical de las comunidades A. *Pinus hartwegii*; B. *Pinus hartwegii*-Pastizal y C. Pastizal-*Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. El 78% del número total de árboles muestreados se distribuye en las primeras clases, con alturas entre 0.5 y 15.9 m (Figura 8, B) sólo en las últimas tres clases se agrupan menos de 10 árboles. La gráfica obtenida para esta comunidad presenta una tendencia gaussiana cargada a la izquierda. La ausencia de individuos observada en las tres últimas clases de la gráfica, indica la dominancia de los árboles pequeños, por ser un bosque joven con una regeneración de mediana a alta. Las clases 2 y 3 (3.6-9.7 m) tienen el mayor número de árboles mientras la clase 7 (19.1-21.1 m) tiene menos de 5 individuos.

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*. El 76% del número total de árboles está representado en las clases 2, 3, 4, 5 y 6 con alturas entre 3.6 y 19 m (Figura 8, C), por otro lado la clase 1 (0.5-3.5 m) y las clases 7 y 8 (19.1->21.2) tienen 5 árboles como máximo. La gráfica en esta comunidad es leptocurtica, donde las clases 2 a 6 presentan frecuencias mayores al 5% y menores al 10% de individuos.

Estructura horizontal

La mayoría de los individuos forman parte de las tres primeras clases diamétricas, cuyo valor mínimo es de 5 cm y un valor máximo de 20 cm (Figura 9).

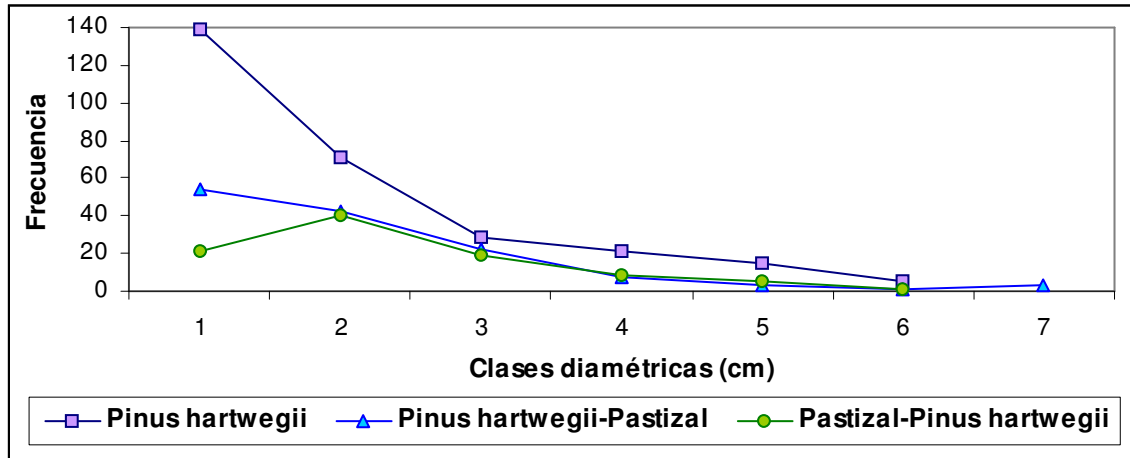


Figura 9. Estructura horizontal del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad *Pinus hartwegii*. Las mayores frecuencias se observan en las tres primeras clases (5-20 cm), la clase 1 que tiene árboles de 5 a 10 cm de diámetro cuenta con aproximadamente 140 individuos mientras la clase 7 no tiene ningún árbol. Esta comunidad presenta una gráfica con tendencia gaussiana sesgada a la izquierda y con una clara dominancia de los individuos con DN pequeño cuyo valor máximo es de 20 cm (81%), no tiene árboles de diámetros mayores a 61 cm (Figura 10, A). Con estos datos se confirma la presencia de un bosque joven, cuya capacidad productiva se está iniciando.

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. Las primeras tres clases tienen frecuencias desde 20 hasta 60 árboles, a diferencia de la clase 6 (41-50 cm) donde sólo se observan dos árboles. El 86% de la densidad total se agrupa en las clases 1, 2 y 3 (Figura 10, B) y no tiene árboles agrupados en la clase 6. La gráfica muestra una tendencia gaussiana sesgada a la izquierda.

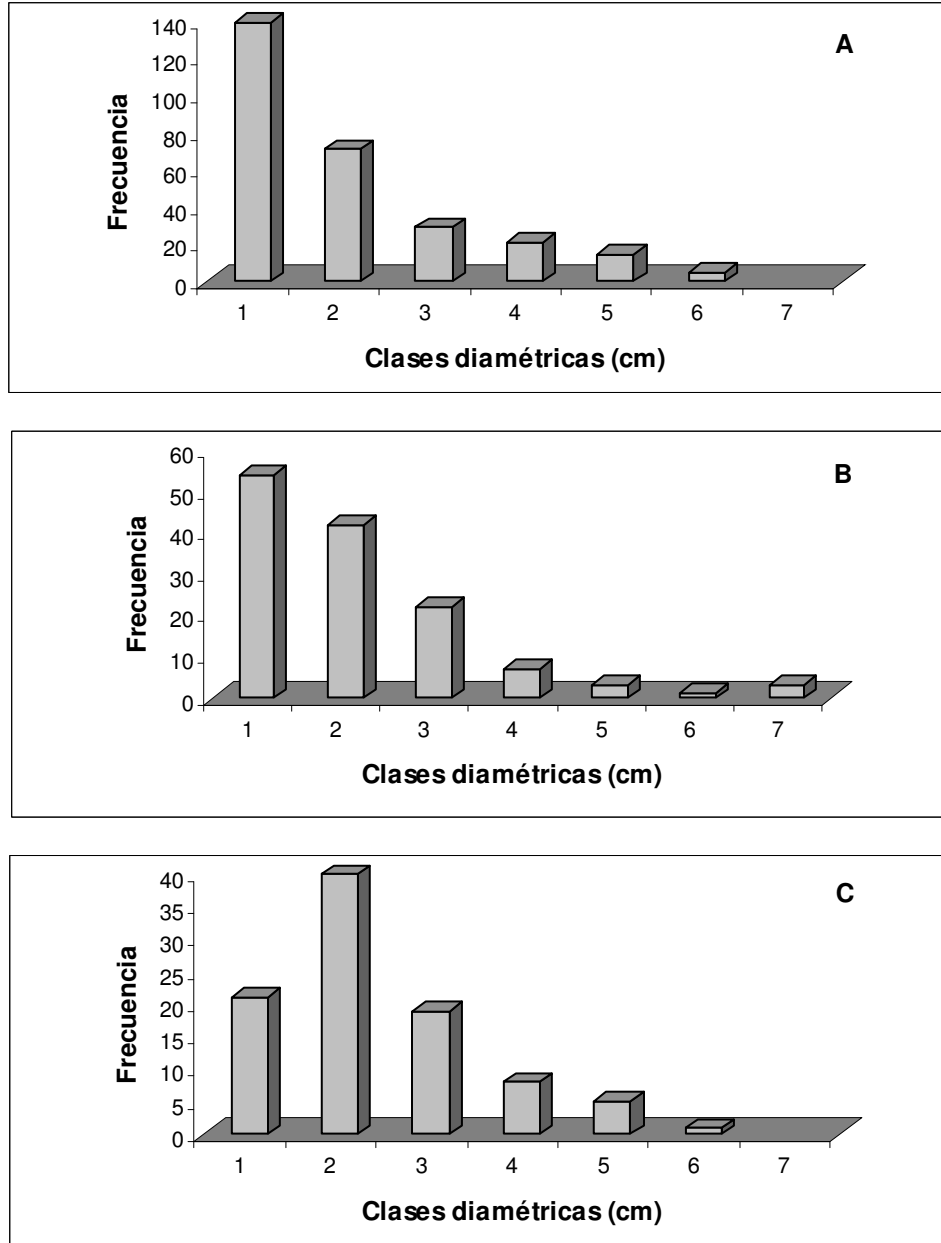


Figura 10. Estructura horizontal de las comunidades A. *Pinus hartwegii*; B. *Pinus hartwegii*-Pastizal y C. Pastizal-*Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*. Las tres primeras clases agrupan la mayor cantidad de individuos con diámetros entre 5 y 20 cm, a partir de la clase 4 hasta la 7 se observa una disminución en cuanto a la frecuencia de árboles cuyos diámetros son mayores a 25 cm. Se observa un aumento en individuos en la segunda clase hasta aproximadamente 40 árboles, mientras la clase 1 y 3 tienen la misma frecuencia de árboles (Figura 10, C). El porcentaje de árboles jóvenes en

esta comunidad es de 88%. La gráfica de esta comunidad es gaussiana sesgada hacia la izquierda.

Presenta un distribución típica de “J” invertida, lo cual indica que se trata de un bosque joven, con buena regeneración y alto reclutamiento de individuos de *Pinus hartwegii* (Figuroa-Rangel *et al.*, 2000). De acuerdo con Rozas (2002) esta distribución es “balanceada” y se presenta cuando la mayoría de los individuos se concentran en las clases de diámetros menores, además de una disminución progresiva hacia las diamétricas mayores.

Las características de la población que presenta esta distribución es la capacidad de autoperpetuarse en el tiempo debido a la regeneración, establecimiento y reclutamiento activo de las especies dominantes entre las diferentes clases de tamaño (Sánchez-Velásquez, *et al.*, 1991; Rozas, 2002 y Ruiz-Jiménez, *et al.*, 2000). Este bosque es por lo tanto multietáneo, es decir, formado por más de una cohorte (Rozas, 2002) que alcanzan su madurez en diferentes periodos de tiempo (Figuroa-Rangel y Olvera-Vargas, 2000).

Parámetros para cuantificar el contenido de carbono

Biomasa

De acuerdo a los datos de altura, diámetro normalizado y área basal se puede conocer la biomasa del bosque de *Pinus hartwegii*, esperándose valores bajos de tal parámetro debido a las tallas pequeñas reportadas en los datos de campo y observadas a través de las gráficas de estructura.

El valor total de la biomasa de cada comunidad está relacionado con parámetros como la densidad de individuos y el volumen en metros cúbicos que se obtuvo en los sitios de muestreo. La cantidad total de biomasa para los 23 sitios del bosque de *Pinus hartwegii* es de 105.16 t/1.4 ha con un promedio de 0.21 t/0.06 ha (Tabla 13).

Tabla 13. Biomasa mínima y máxima del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad	Superficie ha	Superficie muestreada	Biomasa (ton/0.06 ha) Mínima	Biomasa (ton/ 0.06 ha) Máxima	CC total tC/ superficie muestreada
<i>Pinus hartwegii</i>	678.83	0.56	2.13	11.68	31.61
<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	132.72	0.31	1.46	12.73	18.64
Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	202.59	0.56	0.50	8.65	11.28

Comunidad *Pinus hartwegii*. Los sitios 4 y 6 tienen una biomasa similar, sin embargo existe una diferencia en cuanto a la densidad de individuos; el sitio 4 tiene 40 individuos mientras el sitio 6 tiene 65 individuos (Tabla 14). La mayor cantidad de biomasa se encuentra en el sitio 5 y los sitios 2, 3 y 8 presentan las menores cantidades de biomasa, además de tener densidades que no difieren significativamente. Al contrario de lo que podría esperarse, el sitio 7 teniendo ocho individuos cuenta con 7.10 t de biomasa, lo cual tiene justificación tanto en la altura como en el DN registrado en campo. Ésta comunidad tiene una biomasa total de 54.6 t/0.56 ha con un promedio de 0.19 t/0.06 ha por sitio.

Tabla 14. Densidad, volumen y biomasa arbórea de cada sitio en la comunidad *Pinus hartwegii*.

Sitio	Densidad	Volumen (m ³)	Biomasa (t/ 0.06 ha)
1	23	12.67	6.29
2	20	4.76	2.36
3	16	4.92	2.13
4	40	17.73	8.81
5	51	23.53	11.68
6	65	18.86	9.37
7	8	14.30	7.10
8	24	4.47	2.21
9	33	8.19	4.07
Total	280	108.81	54.02

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. La mayor cantidad de biomasa se encuentra en el sitio 11 cuya densidad es de 35 individuos; el sitio 10 tiene alrededor de 1.5 t/0.06 ha de biomasa y a diferencia de la comunidad anterior se cumple la relación entre el aumento de la densidad del arbolado y el aumento en

la biomasa para el sitio mencionado (Tabla 15). Por otro lado, para el sitio 7 que cuenta con una densidad de 33 árboles presenta una cantidad de biomasa de 8.04 t/0.06 ha. Con los datos anteriores es posible decir que la mayoría de los árboles presente en el bosque son jóvenes. De tal forma, la biomasa total de la superficie muestreada es de 35.27 t/0.31 ha con un promedio de 0.22 t/0.06 ha.

Tabla 15. Densidad, volumen y biomasa arbórea de cada sitio en la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal.

Sitios	Densidad	Volumen (m ³)	Biomasa (t/0.06 ha)
4	38	23.68	11.76
7	33	0.80	8.04
10	9	2.94	1.46
11	35	25.64	12.73
15	29	2.59	1.28
Total	144	55.64	35.27

Comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii*. La biomasa no difiere de manera significativa de un sitio a otro, a excepción del sitio 2 que aún cuando presenta una densidad de arbolado baja tiene el mayor valor tanto de volumen como de biomasa (Tabla 16). De igual forma los sitios 6 y 7, cuya densidad es de 17 y 23 individuos en una superficie de 625 m² respectivamente, deberían presentar uno de los datos más altos de biomasa, sin embargo la mayoría de los árboles presentes en dichos puntos son delgados con 0.14 m de DN promedio y con alturas pequeñas en promedio 8.08 m. La biomasa total de los individuos muestreados en esta comunidad es de 19. 2 t/0.56 ha con un promedio de 0.22 t/0.06 ha.

El constante cambio de uso de suelo en la zona genera la apertura de claros muy extensos dentro del bosque y por ende se altera su capacidad de regeneración, así como el potencial de captura de carbono que pudiera desarrollar en determinado tiempo.

Tabla 16. Densidad, volumen y biomasa de cada sitio en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*.

Sitio	Densidad	Volumen (m ³)	Biomasa (t/0.06 ha)
1	9	1.01	0.51
2	9	17.41	8.65
3	8	3.93	1.95
4	5	2.19	1.09
5	7	6.46	3.21
6	17	3.87	1.92
7	23	2.55	1.27
8	4	1.50	0.74
9	6	1.19	0.59
Total	88	40.12	19.92

A pesar de lo anterior existe en la mayoría de los sitios una relación directa entre la densidad de individuos y la biomasa, conforme aumenta la densidad se obtiene un aumento de la biomasa y viceversa (Figura 11).

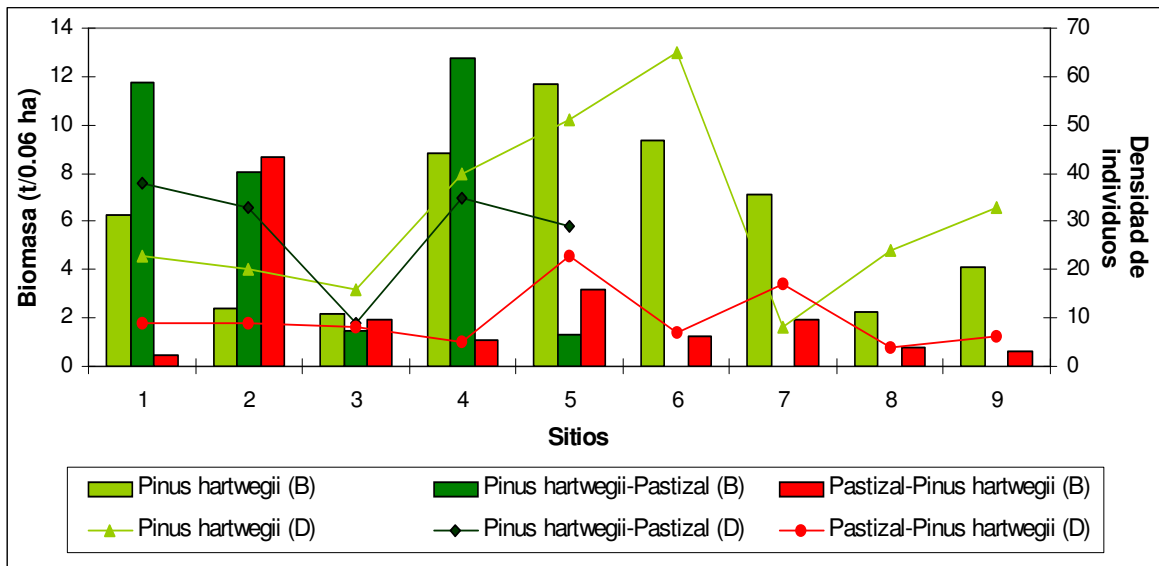


Figura 11. Biomasa arbórea y densidad de individuos en las comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Incremento corriente anual (ICA)

El cálculo del ICA es indispensable para evaluar la capacidad del bosque como sumidero de carbono (Tabla 17; Anexo 2).

Tabla 17. Incremento corriente anual por comunidad del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Edad	Incremento corriente anual (m ³ / ha/ año)		
	Promedio		
	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>
1	0.07	0.04	0.03
5	0.31	0.20	0.17
10	0.88	0.52	0.37
15	1.54	0.99	0.67
20	1.43	1.23	0.85
25	2.03	0.72	0.63
30	1.69	1.09	0.72
35	1.37	0.64	0.39
40	1.65	0.64	0.45
45	0.93	0.69	0.75
50	0.50	0.92	1.09
55	1.33	0.61	1.15
60	0.97	0.82	1.06
65	0.31	0.50	0.49
70	0.87	0.62	0.76
75	1.85	0.59	0.81
80	0.95	0.61	0.56
85	2.82	0.56	0.45
90		0.90	1.32
95		1.30	1.17
100		0.10	0.81
105		0.09	2.62
110		0.39	3.91
Promedio	2.18	2.39	0.80

El crecimiento de la especie *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena presenta diferencias de una comunidad a otra, para *Pinus hartwegii* el ICA es exponencial hasta los 25 años posteriormente decae; la comunidad *Pinus*

hartwegii-Pastizal tiene un ICA exponencial hasta los 30 años mientras la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* crece exponencialmente hasta los 20 años de edad. Sin embargo, es importante mencionar que el crecimiento de un árbol esta determinado por diversos factores del medio, en el caso de la CARM resulta interesante encontrar las fluctuaciones en los valores del ICA, ya que dada la cercanía con la ciudad de México, los altos niveles de contaminantes en diferentes periodos posiblemente intervienen en la etapa de desarrollo de dicha especie forestal.

El ICA es un parámetro que si bien nos indica el aumento en volumen de los árboles en una hectárea a través de un año no significa que sea un valor acumulativo, por lo tanto se pueden obtener valores altos y bajos durante el crecimiento de la especie.

Existen diferencias entre las comunidades del bosque principalmente estructurales, a pesar de ello se observa un patrón de crecimiento similar (Figura 12) con incrementos diferenciales: la comunidad *Pinus hartwegii* tienen un ICA promedio de 2.18 m³/ha/año; en la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal el ICA promedio es de 2.39 m³/ha/año y la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* tienen en promedio 0.80 m³/ha/año.

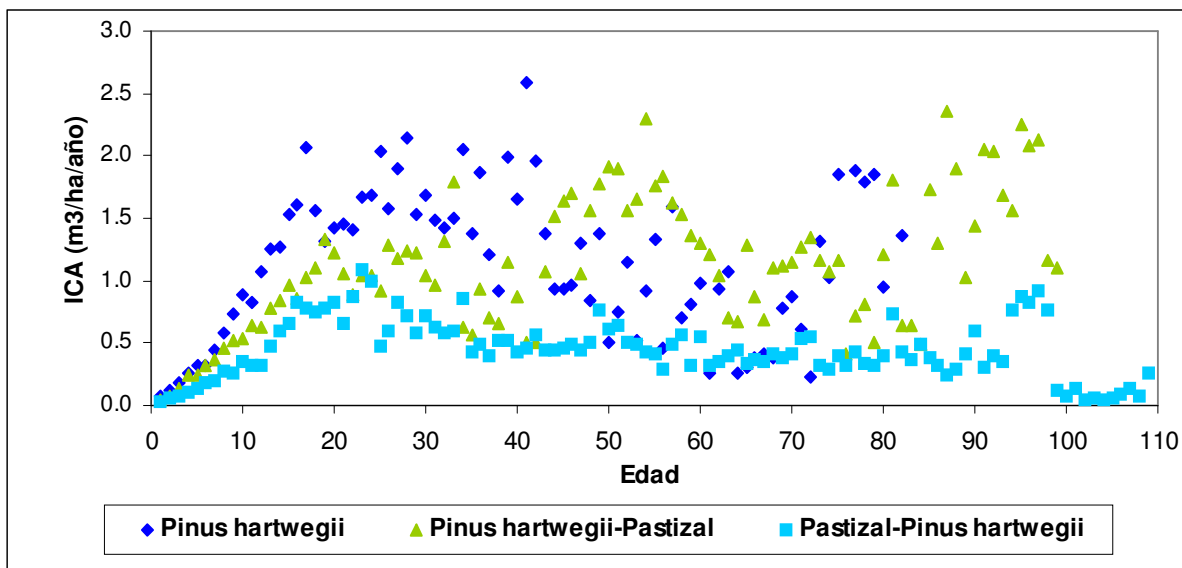


Figura 12. Incremento corriente anual de la especie *Pinus hartwegii* en la CARM.

El crecimiento de los árboles depende de la especie, su edad y de la calidad del sitio en el cual crecen. El modelo de crecimiento de las especies forestales en relación con su edad generalmente sigue una curva en forma de S, inicialmente crecen lento, después rápidamente y luego la velocidad de crecimiento se reduce nuevamente (Grijpma, 1984).

Comunidad *Pinus hartwegii*. Durante los primeros diez años el crecimiento es lento, a partir de los 10 y hasta los 40 años se acelera el crecimiento y se detiene a partir de los 45 hasta los 70 años.

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. El periodo de crecimiento lento es casi imperceptible en los primeros 5 años, a partir de los 25 años se observan valores altos y bajos hasta que decae la curva cerca de los 100 años. Esta comunidad presenta la tasa más alta de crecimiento debido a factores como la orientación de sus laderas principalmente hacia el SE y NE donde influye la incidencia del sol, un mayor contenido de humedad en el suelo dada la cercanía con el río Magdalena y la pendientes que alcanzan inclinaciones desde 10 hasta 75%.

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*. La fase de crecimiento lento ocurre alrededor de los primeros 15 años, aumenta a los 20 años y disminuye a partir de los 35 años manteniéndose constante hasta los 90 años. La tasa de crecimiento de esta comunidad es la más baja de las tres comunidades, debido tal vez a la presencia de elementos que perturben las fases naturales de crecimiento de los bosques como por ejemplo, las altas concentraciones de ozono, los incendios forestales no controlados, periodos de escasas lluvias y las actividades productivas antropogénicas (ganadería, agricultura y tala).

Además, el crecimiento de los árboles depende de las propiedades del suelo y de otros factores, como la precipitación. La relación entre estos factores y el crecimiento se puede expresar en curvas de calidad de sitio. La calidad del sitio es una medida de la capacidad productiva de una localidad para el crecimiento de una especie determinada. Las curvas de calidad de sitio sirven para determinar el rendimiento óptimo de una especie en una zona específica. Generalmente

relacionan la edad de los árboles con la altura que alcanzan a esa edad, van de I a V, donde la menor calidad de sitio es V y I la calidad más óptima (Grijpma, 1984)

Edad

La edad es un parámetro importante para la estimación de la captura potencial de carbono en el bosque.

Comunidad *Pinus hartwegii*. Los árboles que integran esta comunidad tienen una edad promedio de 37 años considerando todos los individuos y una edad promedio de 30 años tomando sólo los individuos menores de cien años.

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal. La edad promedio para el conjunto de árboles es de 40 años; sin embargo, si no se consideran aquellos individuos mayores a 100 años la edad promedio se reduce hasta 34 años.

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*. Tiene una edad de 50 años en promedio incluyendo todos los árboles, sin considerar a los mayores de cien años la edad promedio es de 39 años (Figura 13).

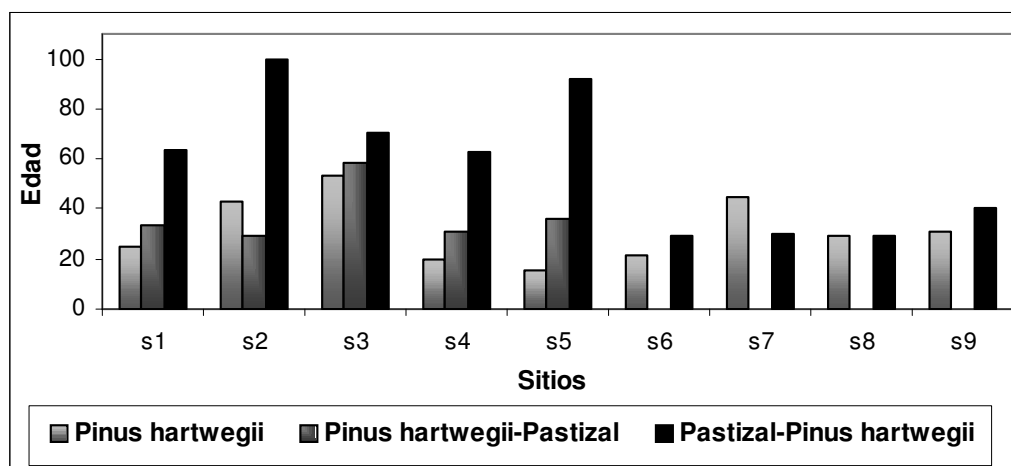


Figura 13. Edad promedio por sitio en las tres comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Estimación del contenido de carbono

El contenido de carbono por comunidad para el bosque de *Pinus hartwegii* dado en tC/0.06 ha, así como el carbono total en la superficie que ocupa cada comunidad se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Contenido de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Sitios	Contenido de carbono (tC/ 0.06 ha)		
	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>
1	3.68	6.88	0.29
2	1.38	2.33	5.06
3	1.25	0.86	1.14
4	5.15	7.45	0.64
5	6.83	1.12	1.88
6	5.48		0.75
7	4.16		0.74
8	1.30		0.43
9	2.38		0.35
Total	31.61	18.64	11.28

Existen diferencias entre las tres comunidades en cuanto a la cantidad de carbono (Anexo 4); sin embargo, presentan árboles con alturas desde <3.5 m hasta >21.2 m, diámetros normalizados de >5cm hasta <61 cm, densidades del arbolado desde 6 hasta 65 individuos, biomasa en toneladas desde 1.01 hasta 25.04 y edades superiores a 109 años.

La estimación del contenido carbono en la superficie muestreada (1.4 ha) es de 61.52 tC, por lo tanto se tienen 43.94 tC/ha (Figura, 14), este dato se extrapola multiplicándolo por la superficie del bosque de *Pinus hartwegii* y considerando las condiciones actuales el contenido de carbono total del bosque es de 44,564.21 tC/ha.

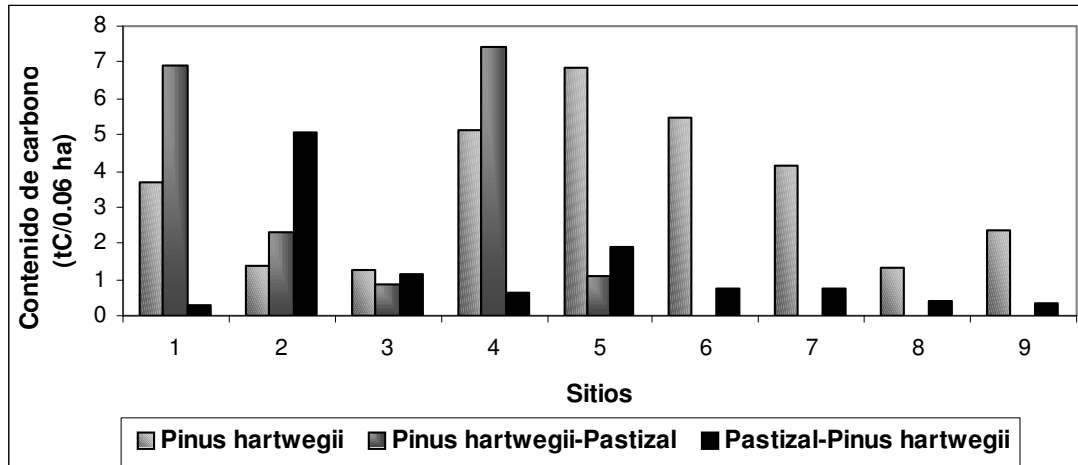


Figura 14. Contenido de carbono por sitio en las comunidades del bosque *Pinus hartwegii* en la CARM.

Este trabajo se realizó dentro de un área natural protegida, al comparar los resultados obtenidos en cuanto a las toneladas de carbono en una hectárea se observa que están por debajo de las estimaciones reportadas en localidades con manejo forestal, esto no quiere decir que las actividades antropogénicas resulten más nocivas que el manejo forestal, sin embargo el regular dichas actividades traería consigo un mantenimiento forestal adecuado de las especies que se desarrollan en la cuenca alta del río Magdalena.

La razón de tal resultado está claramente explicada en la presencia de árboles jóvenes, cuya capacidad de almacenar carbono en su fuste está iniciando. Los bosques jóvenes serán en un futuro próximo las zonas prioritarias de conservación y manejo forestal en países en vías de desarrollo, como parte de los compromisos adquiridos durante las reuniones internacionales sobre cambio climático global, biodiversidad y desarrollo sustentable.

Estimación de la captura potencial de carbono

La proyección de la captura potencial de carbono se inició con los datos obtenidos en campo durante el 2002.

Las condiciones diferenciales presentes dentro de cada comunidad implican hacer una proyección por comunidad. Primero por árbol muestreado, después por sitio y finalmente por comunidad, comenzando con la edad promedio estimada para el 2002 hasta que alcanzará una edad de cien años. De acuerdo con Ordóñez (1999) la captura total de carbono crece de forma constante entre 50 y 100 años, alcanzando estabilidad a partir de la última edad (cien años).

El crecimiento de la especie *Pinus hartwegii* tiene algunas particularidades, como el hecho, de que generalmente pueden alcanzar edades cercanas a 100 años y tener una altura de 30 m (Ern, 1973). De acuerdo con las condiciones en las cuales se desarrolle un área forestal se debe considerar que tan verdadera es una estimación de captura de carbono, ya que puede sobreestimarse o subestimarse. Por las razones antes expuestas se fueron excluyendo aquellos sitios que llegaban a 100 años.

A continuación se presentan escenarios de la captura potencial de carbono para las tres comunidades del bosque en la cuenca alta del río Magdalena:

A 5 años. Para la comunidad *Pinus hartwegii* a 5 años del muestreo se presentará una biomasa de 50.94 t/0.56 ha y un contenido de carbono de 29.8 tC/0.56 ha; en la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal la biomasa será de 227.27 t/0.31 ha con un contenido de carbono de 132.95 tC/0.31 ha y la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* presentará una biomasa de 136.27 t/0.56 ha y una contenido de carbono de 79.72 tC/0.56 ha. Las diferencias observadas responden tanto a la densidad del bosque como a la edad promedio, 43 árboles de un total de 280 en la primera comunidad presentan una edad de 100 años, mientras la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal tiene 14 árboles de 100 años en un total de 132 y la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* con una densidad de 88 árboles tiene 15 individuos con 100 años (Figura 15).

A 10 años. El escenario en el año 2012, incluye a todos los sitios de la comunidad *Pinus hartwegii* y *Pinus hartwegii*-Pastizal, excepto los sitios 6 y 12 de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* cuya edad promedio es igual o mayor a cien años y 92 años respectivamente (Figura 15).

Para la comunidad de *Pinus hartwegii* se tendrá una biomasa de 64.48 t/0.56 ha y una contenido de carbono de 37.91 tC/0.56 ha; en la comunidad de *Pinus hartwegii*-Pastizal se presentará una biomasa de 228.75 t/0.31 ha con un contenido de carbono de 133.82 tC/0.31 ha y en la comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii* se tendrá una biomasa de 138.54 t/0.56 ha y un contenido de carbono de 81.05 tC/0.56 ha.

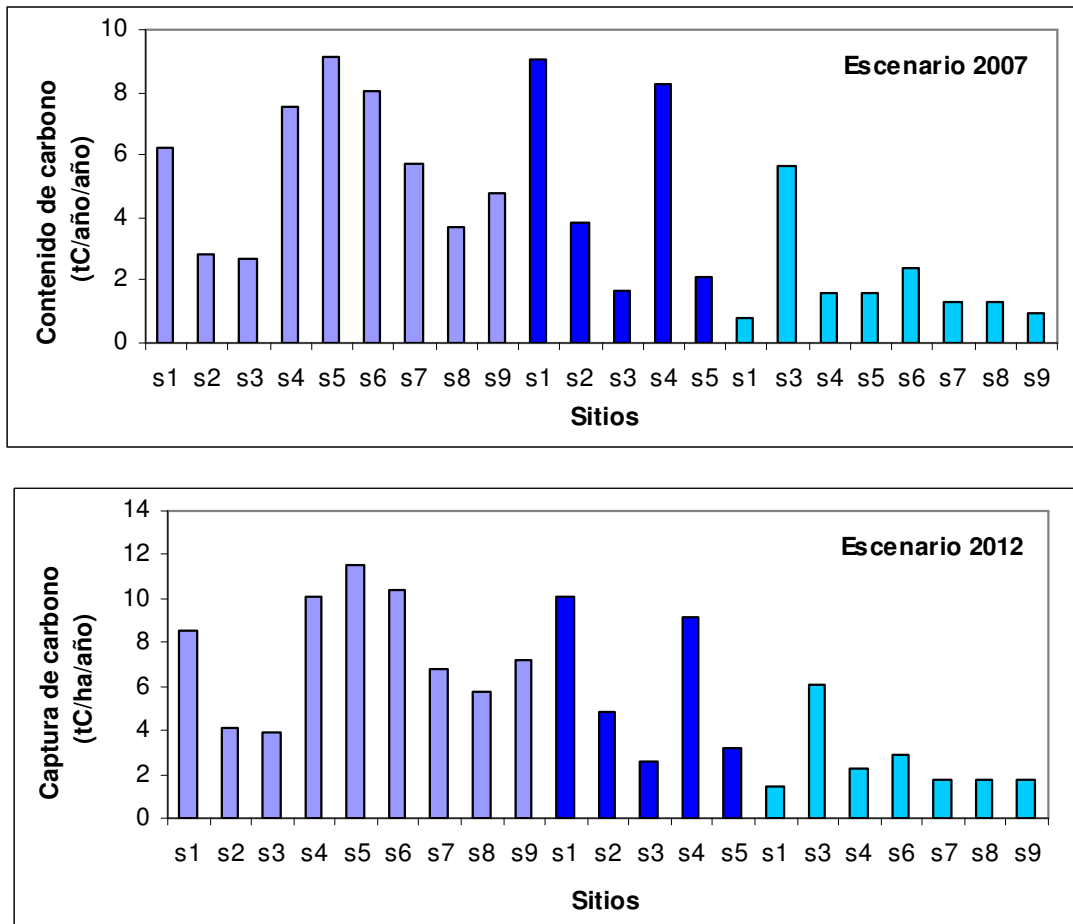


Figura 15. Escenario de captura potencial de carbono para el 2007 y 2012 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: *Pinus hartwegii* (s1-s9), *Pinus hartwegii*-Pastizal (s1-s5) y Pastizal-*Pinus hartwegii* (s1-s9).

A 15 años. En el escenario correspondiente al 2017, no se incluyen los sitios 6 y 12 de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* porque presentan edades entre 90 y 100 años, pero están incluidos todos los sitios de las otras dos comunidades (Figura 16).

La biomasa presente en la comunidad *Pinus hartwegii* será de 83.99 t/0.56 ha con contenido de carbono de 49.13 tC/0.56 ha; para la comunidad de *Pinus hartwegii* se presentará una biomasa de 332.36 t/0.31 ha y un contenido de carbono de 194.43 tC/0.31 ha y en la comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii* la biomasa será de 170.13 t/0.56 ha con un contenido de carbono de 99.53 tC/0.56 ha.

A 20 años. El escenario para el año 2022, se incluyen todos los sitios de las comunidades *Pinus hartwegii* y *Pinus hartwegii*-Pastizal excepto los sitios 6 y 12 por presentar edad mayor a 90 años (Figura 16).

El contenido de carbono para la comunidad de *Pinus hartwegii* será de 61.72 tC/0.56 ha en una biomasa de 105.5 t/0.56 ha; para la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal una biomasa de 327.77 t/0.31 ha tendrá un contenido de carbono de 191.75 tC/0.31 ha mientras que la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* presentará un contenido de carbono de 123.01 tC/0.56 ha en una biomasa de 210.28 t/0.56 ha.

A 25 años. El escenario 2027 incluye los mismos sitios utilizados para el escenario anterior, excepto el sitio 6 y 12 de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* tienen una edad promedio de 16 a 70 años (Figura 16).

Después de 25 años la comunidad *Pinus hartwegii* presentará una biomasa de 118.95 t/0.56 ha y un contenido de carbono de 69.59 tC/0.56 ha; la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal tendrá una biomasa de 371.72 t/0.31 ha con un contenido de carbono de 217.46 tC/0.31 ha y la comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii* tendrá una biomasa de 256.58 t/0.56 ha con un contenido de carbono de 150.10 tC/0.56 ha.

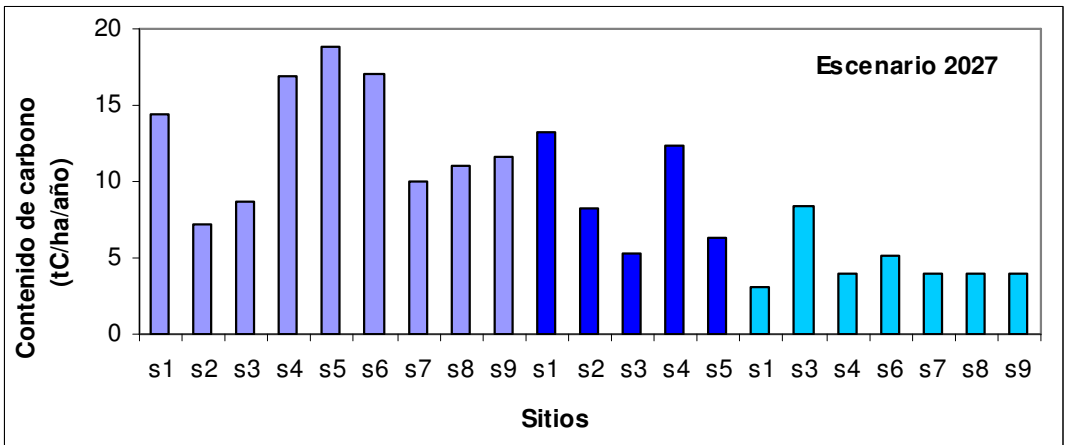
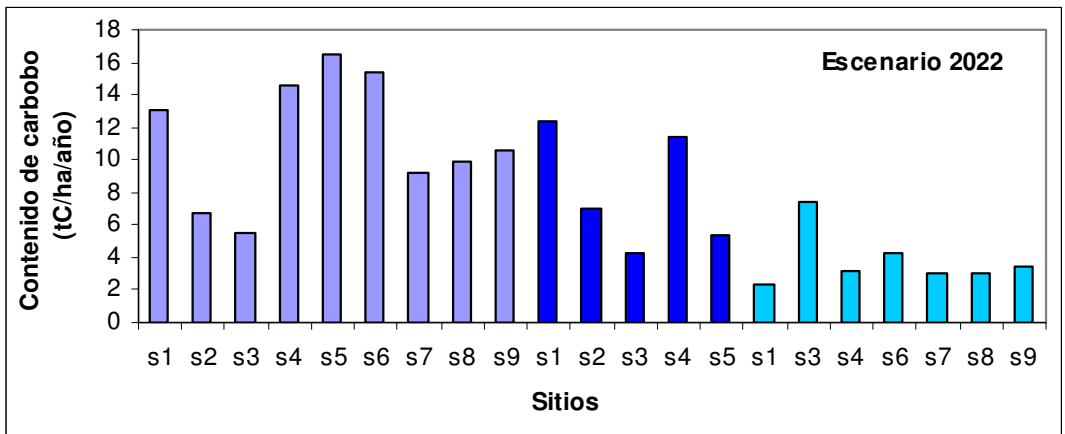
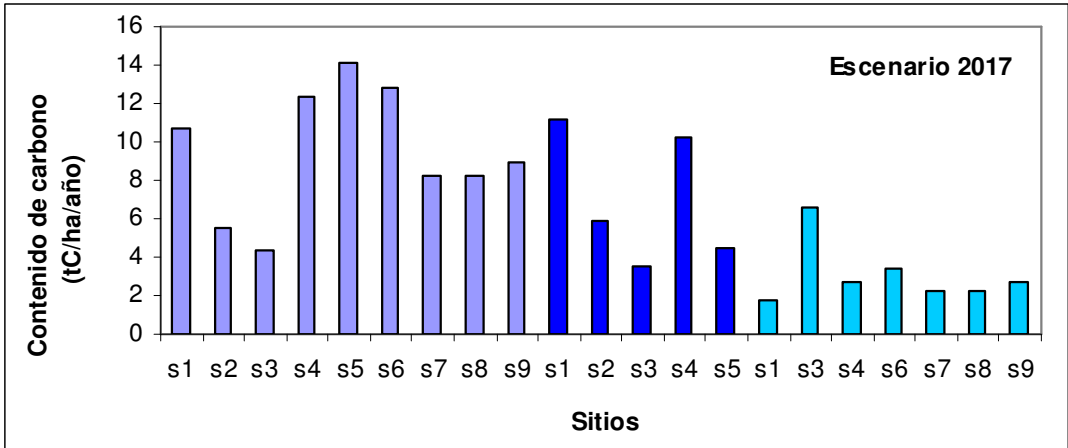


Figura 16. Escenario de captura potencial de carbono para el 2017, 2022 y 2027 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: *Pinus hartwegii* (s1-s9), *Pinus hartwegii*-Pastizal (s1-s5) y Pastizal-*Pinus hartwegii* (s1-s9).

A 35 años. Los sitios incluidos para este escenario presentan una edad promedio de 16 a 63 años, por lo cual queda fuera los sitios 6, 8 y 12 de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* (Figura 17).

El contenido de carbono, para el año 2037, en la comunidad *Pinus hartwegii* será de 158.89 tC/0.56 ha en una biomasa de 271.60 t/0.56 ha; la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal presentará un contenido de carbono de 510.08 tC/0.31 ha en una biomasa de 856.55 t/0.31 ha y la comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii* el contenido de carbono será de 485.62 tC/0.56 ha y una biomasa de 284.09 t/0.56 ha.

A 45 años. Para el escenario del año 2047 quedan excluidos los sitios 2, 5 y 19 de la comunidad *Pinus hartwegii*, el sitio 10 de la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal y los sitios 3, 6, 8, 9 y 12 de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* (Figura 18). En los sitios restantes la edad promedio mínima es de 16 años y la máxima de 40 años.

De acuerdo a las estimaciones realizadas, la comunidad de *Pinus hartwegii* tendrá una biomasa de 307.62 t/0.56ha con un contenido de carbono de 179.96 tC/0.56 ha, la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal presentará una biomasa de 869.01 t/0.31 ha y un contenido de carbono de 508.37 tC/0.31 ha mientras que para la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* la biomasa será de 425.53 t/0.56 ha con un contenido de carbono 248.94 tC/0.56 ha.

A 50 años. El escenario después de 50 años solamente incluye seis sitios de la comunidad *Pinus hartwegii*, cuatro sitios de la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal y cuatro sitios de la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* (Figura 17).

Para el año 2052, el contenido de carbono en la comunidad *Pinus hartwegii* será de 97.22 tC/0.56 ha en una biomasa de 166.18 t/0.56 ha; en la comunidad de *Pinus hartwegii*-Pastizal se presentará un contenido de carbono de 280.25 tC/0.31 ha para una biomasa de 479.05 t/0.31 ha y en la comunidad de Pastizal-*Pinus hartwegii* se tendrá un contenido de carbono de 137.26 tC/0.56 ha en una biomasa de 234.63 t/0.56 ha.

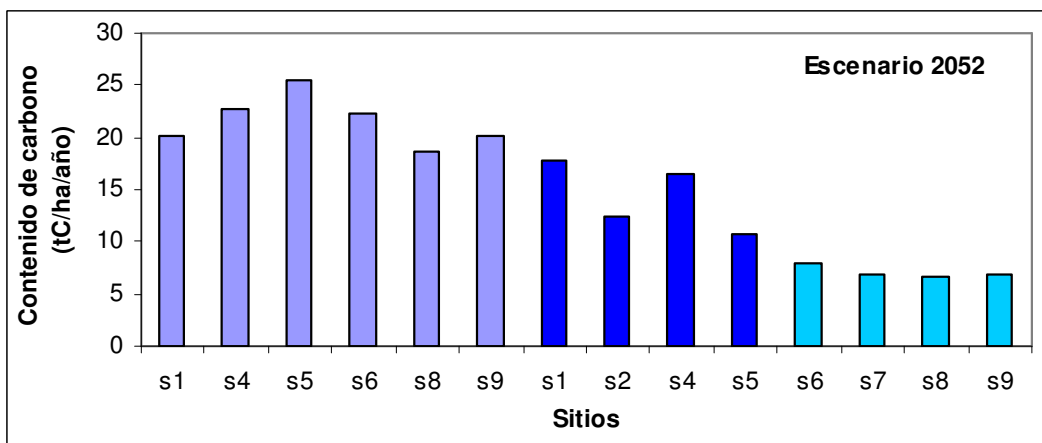
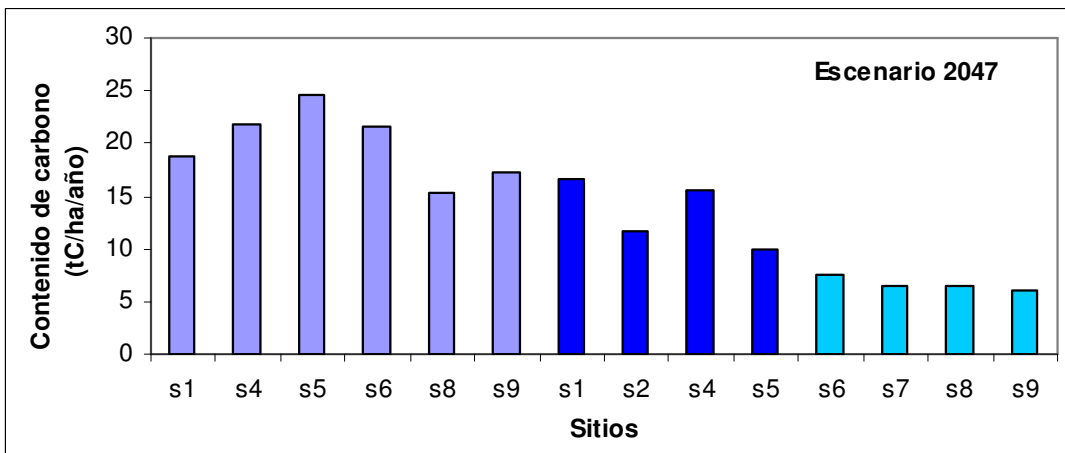
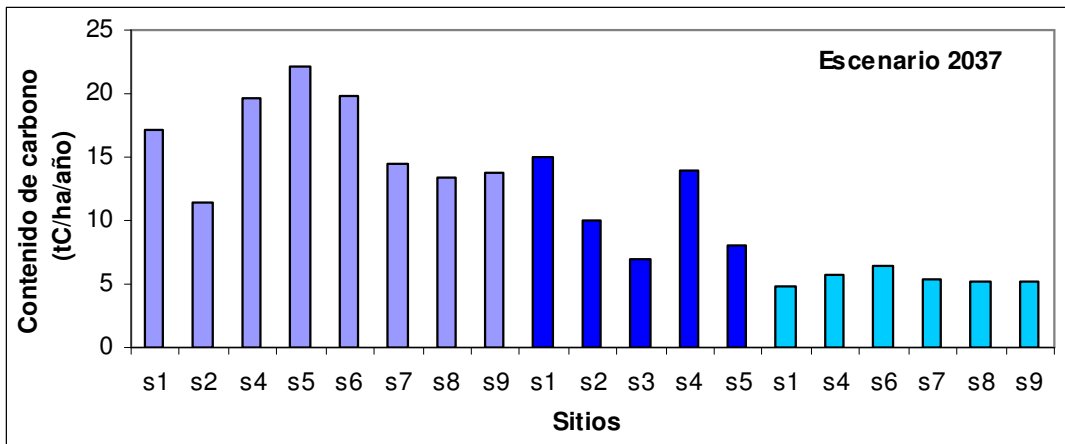


Figura 17. Escenario de captura potencial de carbono para el 2037, 2047 y 2052 por sitio en las comunidades del bosque en la CARM: *Pinus hartwegii* (s1-s9), *Pinus hartwegii*-Pastizal (s1-s5) y Pastizal-*Pinus hartwegii* (s1-s9).

La comunidad *Pinus hartwegii* resulta ser la más importante en cuanto a la captura potencial de carbono, debido a que su edad promedio para el 2002 fue de 30 años, siendo que esta especie alcanza edades cercanas a los 100 años, tienen una probabilidad alta de funcionar como sumidero de carbono durante un periodo de 40 años aproximadamente. Además de ser la comunidad que tiene la tasa más alta de regeneración.

El potencial de captura de carbono de la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal es más alto que en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*, pues todos sus sitios presentan edades promedio desde 16 hasta 53 años mientras que cinco de los sitios en la segunda tienen en promedio edades mayores a 60 años incluso en el sitio 6 todos los árboles tienen cien años.

En cuanto a la comunidad Pastiza-*Pinus hartwegii* puede ser considerada la comunidad más vieja y por lo tanto con el menor potencial de captura de carbono, sin embargo es interesante observar el comportamiento de las tres comunidades respecto al contenido de carbono a través del tiempo en un periodo de hasta 50 años (Figura 18).

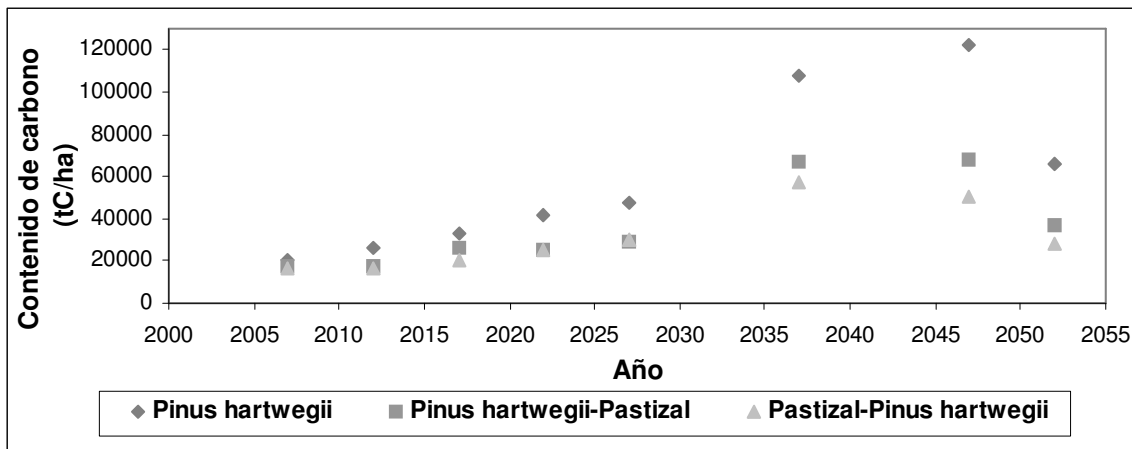


Figura 18. Captura potencial de carbono en las tres comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Los resultados obtenidos muestran por una parte la importancia del bosque de *Pinus hartwegii* como sumidero de carbono, dado que actualmente se encuentra en una fase crecimiento y por ende, su potencial de captura aumentará, si se mantienen medidas de mantenimiento forestal que impliquen la conservación de la

vegetación en la zona y un uso adecuado de los recursos maderables que ésta provee.

Considerando que éste bosque es multietáneo y que presenta diferentes densidades respecto al arbolado en cada comunidad, se puede sugerir que se establezcan dos intervenciones de bajo impacto que promuevan la conservación de la cobertura vegetal así como la capacidad de capturar carbono. Más que nada proteger las áreas de crecimiento potencial, para estimar el éxito de un proyecto de captura de carbono a largo plazo es necesario conocer la cantidad de árboles pueden llegar a tener 100 años: la comunidad *Pinus hartwegii* tiene el 85% de árboles menores de 100 años; en la comunidad de *Pinus hartwegii*-Pastizal es de 89% mientras que en la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* el 83% de los árboles tiene posibilidad de llegar a los cien años.

Una de ellas será la elección de los árboles que tengan la edad máxima que se conoce para la especie *Pinus hartwegii*, mediante la medición de su DN y la otra será la reforestación de las áreas cuya densidad de individuos es baja o después de un evento de tala controlada, en este caso debe tomarse en cuenta el mantener algunos claros dentro del bosque para permitir la regeneración de la especie.

CONCLUSIONES

La superficie total del bosque de *Pinus hartwegii* es de 1,014.14 ha. Se definieron tres comunidades: *Pinus hartwegii* (678.83 ha), *Pinus hartwegii*-Pastizal (132.72 ha) y Pastizal-*Pinus hartwegii* (202.59 ha).

El análisis estructural, por comunidad muestra la presencia de una mayor cantidad de individuos jóvenes en sitios con densidades mayores; de igual forma, los sitios con densidades menores presentan los individuos más viejos. En las tres comunidades se encontró una distribución típica de “J” invertida, de acuerdo con Figueroa-Rangel y Olvera-Vargas (2000) esto indica que se trata de un bosque joven, con buena regeneración y alto reclutamiento de individuos de *Pinus hartwegii*. Así mismo Rozas (2002) señala a esta distribución como “balanceada” y se presenta cuando la mayoría de los individuos se concentran en las clases de diámetros menores, además de una disminución progresiva hacia las clases diamétricas mayores.

El ICA muestra la forma en que crece la masa forestal dentro de cada comunidad: la comunidad *Pinus hartwegii* 2.18 m³/ha/año; la comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal 2.39 m³/ha/año y la comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii* 0.80 m³/ha/año.

El contenido de carbono del bosque de *Pinus hartwegii* en la cuenca alta del río Magdalena es de 44,564.21 tC/ha.

Mediante un análisis dimensional y con parámetros como: densidad de la madera, volumen, biomasa, edad e ICA se realizaron proyecciones a corto, mediano y largo plazo (5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 y 50 años). El resultado obtenido en cada escenario, estará sujeto a mantener las condiciones actuales sin modificaciones drásticas en el manejo de la zona y considerando que el crecimiento de los individuos que fueron medidos permanezca estable.

Las posibilidades de manejo en las comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* de la cuenca alta del río Magdalena es diferencial considerando que se trata de comunidades multietáneas, sin embargo esencialmente se puede hablar de dos intervenciones de bajo impacto: la extracción de individuos con DN

mayores a 35 cm y una edad posible de 90 años para permitir la regeneración y la inmediata reforestación en zonas con bajas densidades de arbolado.

Mantener estrategias de conservación en la cuenca permitirá un aumento en el potencial de captura de carbono que puedan desarrollar las comunidades dentro del bosque de *Pinus hartwegii*.

Considerando que la captura de carbono es un servicio ambiental, conocer el potencial de captura de este tipo de bosques, permitirá por una lado aportar más elementos sobre la importancia y la capacidad de las zonas naturales como sumideros de carbono y por otro generar conocimientos en el área de flujos y almacenes de carbono.

La realización de trabajos de éste tipo deben cumplir con los lineamientos establecidos por el IPCC, además de resultar eficientes en cuanto a la manera de medir el contenido y la captura potencial de carbono. Por otro lado, al considerar diversas condiciones dentro del bosque se da lugar para la realización o reestructuración de los planes de manejo. Las condiciones presentes en la cuenca hacen posible que este estudio de caso sea comparable con trabajos realizados en otras localidades del país con condiciones similares.












BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles, M., J. Vargas-Hernández, A. Velásquez-Martínez y J. Etchevers-Barra. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de las relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 725-736.
- Ahuja, D.R. 1990. Estimating regional anthropogenic emissions of greenhouse gases. Report # 20p-20006, United States Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Washington, D.C. (September).
- Alvarez, K. E. 2000. Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el bosque de los Dinamos; área de conservación ecológica de la Delegación Magdalena Contreras. Tesis de Licenciatura. Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 127 p.
- Apps, M. J. y W. A. Kurz, 1991. The carbon budget of Canadian forests in a changing climate: can forestry be part of the solution? (Abstract). In Extended Abstracts for 'ISCORD '91', 3rd International Symposium on Cold Region Development, Edmonton, June 16-20, 1991. Alberta Res. Council.
- Aristizabal, J. y A. Guerra. 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (*Cordia alliodora*)–cacao(*Theobroma cacao* L.)–plátano (*Musa paradisiaca*). Tesis de Licenciatura. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Bogotá. 108 p.
- Ávila-Akerberg, V. 2002. La vegetación de la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de Licenciatura. Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 86 p.
- Ávila-Akerberg, V. 2004. Autenticidad de los bosques en la de la cuenca alta del río Magdalena: diagnóstico hacia la Restauración Ecológica. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental con Orientación en Restauración Ecológica). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 112 p.
- Ayala, C. 1995. Identificación de dos especies arbóreas de clima templado frío mediante patrones de fotointerpretación. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 97 p.
- Ayala, R. 1998. Ecuaciones para estimar biomasa de pinos y encinos en la meseta central de Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. 70 p.

- ✿ Beaumont, E. 1999. El Protocolo de Kyoto y el Mecanismo para el Desarrollo Limpio. FAO. Buenos Aires. 90 p.
- ✿ Bolin, B., B.R. Döös, J. Jager y R.A. Warrick, 1986. The Green House Effect, Climate Change and Ecosystems. Ed. John Wiley & Sons.
- ✿ Brown, S. y E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 No. 4642: 1290-1293.
- ✿ Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell y P. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review*. 75(1): 80-91.
- ✿ Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO Roma. Forestry Paper 135 p.
- ✿ Caballero, M. 1982. Empleo de coeficientes mórficos en la elaboración de tablas de volúmenes de cedro rojo. Boletín Divulgativo No. 26 B, abril 1982. 2ª ed. INIF: SARH. México. 27 p.
- ✿ Cervantes, B. J. y S. G. Alfaro. 2000. Características de los suelos. En: Garza, G. (coord.). La ciudad de México en el fin del segundo milenio. Ed. Gobierno del Distrito Federal y El Colegio de México. México, D. F. 768 p.
- ✿ Ciesla, W. 1996. Cambio climático, Bosques y Ordenación Forestal. Roma: FAO. 44-45.
- ✿ Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural: Subdirección Regional No. 1. (1988): Estudio de suelos de parte de la comunidad Magdalena Contreras. Delegación Magdalena Contreras, D. F. 47 p.
- ✿ Convención Marco de Cambio Climático. 2001. Comunicado de Prensa de la Convención Marco de Cambio Climático, fechado el 10 de Noviembre.
- ✿ Falkowski, P., Scholes, R. J., Boyle, E., Canadell, J., Canfield, D., Elser, J., Gruber, N., Hibbard, K., Hogbeg, P., Linder, S., MacKenzie, A. F., Moore, B. III, Pedersen, T. F., Rosenthal, Y., Seitzinger, S., Smetacek, V. & Steffen, W. 2000. The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. *Science* 290: 291-296.
- ✿ FAO. 1999. *State of the world's forest* . Rome Information Divison. Roma, Italia.
- ✿ Farjón, A. y B. Styles. 1997. Flora geotrópica Monograph 75. *Pinus (Pinaceae)*. Organization for Flora Neotropica. 291 p.

-  Figueroa-Rangel, B. L. y M. Olvera-Vargas. 2000. Dinámica de la composición de especies en bosques de *Quercus crassipes*. H. et B. en Cerro Grande, Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* 34: 91-98.
-  Fragoso, L. P. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 65 p.
-  Franco, S., A. Ramírez y B. Ordóñez. En prensa. Estimación del contenido de carbono almacenado en el estrato forestal en Peña Ahumada Estado de México.
-  García, E. 1978. Los climas del Valle de México. Colegio de Postgraduados, S.A.R.H., Chapingo, México. 63 p.
-  Gay, C., L. Menchaca y C. Conde. 1991. El efecto invernadero y México. *Ciencias* 22: 3-10.
-  Gay, C. y J. Martínez, 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. *Interciencia*, 20 (6): 336-342
-  Grijpma, P., 1984. Producción Forestal. Secretaría de Educación Pública SEP/Trillas, 4ª Reimpresión. México, D. F. 134 p.
-  Gutiérrez, G. 2001. Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis* y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. México. 102 p.
-  Houghton J., L.G. Meira Filho, J. Bruce, I. Hoesung, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris y K. Maskell. 1995. Radiative Forcing of Climate Change and a evaluation of the IPCC IS922 Emission Scenarios. *Climate Change*: 58-66.
-  Husch, B., C. Miller y T. Beers. 1972. *Forest Mesuration*. The Ronald Press. USA. 410 p.
-  Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono en los bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia- Chile. 9 p.
-  INEGI. 1999. Ortofotos digitales E14A39 A, B, C, D, E y E14A49 A, B, C, D, E escala 1:20,000 (CIUDAD DE MÉXICO). Aguascalientes.
-  INEGI SINFA. 1999. Fotografías aéreas escala 1:75,000. Fotos 89 a 91 de la línea de vuelo 163.

- ✿ INE/SEMARNAT. 2000. Estrategia Nacional De Acción Climática. Estados Unidos Mexicanos. Primera Edición 219 p. <http://www.ine.gob.mx/>
- ✿ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1994. Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✿ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✿ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working group III to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 448 p.
- ✿ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change 2001. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✿ ITC. 2001. Integrated Land and Water Information System (3.0). Geo Software Development, Sector Remote Sensing and GIS.IT Department, Enschede.
- ✿ Lashof, D. A y D. R. Ahuja.1990. Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming. Nature 344: 529-531.
- ✿ Lauer, W. 1978. Timberline studies in Central Mexico. Arctic and Alpine Research 10(2): 386-396.
- ✿ López-Blanco, J., M. I. Valdéz y R. J. Gualdo. 1995. Corrección fotogramétrica de segmentos digitizados de fotografías aéreas aplicando in SIG. SELPER 30: 6-24.
- ✿ Ludevid, M. 1998. El Cambio Global en el Medio Ambiente. Grupo Editorial Alfa Omega, México D. F. 332 p.
- ✿ Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: methodological considerations and results. Interciencia 20(6): 388-395.
- ✿ Matteucci, S. D. y A. Colma. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación, Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D. C.
- ✿ Ministerio del Medio Ambiente. 2002. II Foro Iberoamericano de Ministros de Medio Ambiente. Bávaro, República Dominicana.11-13 de julio, 2002. 6 p.

-  Mostacedo, B y T. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Biología Vegetal, Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR) Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
-  Mohren, G. M. J., J. F. Garza, O. Maser y G. J. Nabuurs. 1997. User's Manual CO₂Fix for Windows: a Dynamic Model of the CO₂Fixation in Forest Stands Version 1.2. IBN Research Report. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. 26 p.
-  Nabuurs, G., J. Garza-Callgaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, T. Lapvetelainen, J. Liski, O. Maser, G. Mohoren, A. Pussinen, M. Schelhaas. 2001. CO2FIX v2.0- manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. ALTEERRA Report xx. Wageningen The Netherlands x p.
-  Nieto de Pascual, P. C. 1995. Estudio sinicológico del bosque de oyamel de La Cañada de Contreras, D. F. Revista Ciencia Forestal en México, 20 (77): 3-34 p.
-  Ontiveros, A. 1980. Análisis físico y algunos aspectos socioeconómicos de La Cuenca del Río Magdalena. Tesis de Licenciatura. Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. 113 p.
-  Ordoñez, J. A. B. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo Michoacán. Tesis de Licenciatura. Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 61 p.
-  Ordoñez, J. A. B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. INE-SEMARNAP. 72 p.
-  Ordoñez, J. A. B.; J. De Jong y O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera y Bosques 7(2): 27-47.
-  Organización de la Naciones Unidas. Convención Marco sobre el Cambio Climático. 1998. Informe de las partes sobre su tercer período de sesiones, celebrado en Kyoto del 1º al 11 de diciembre de 1997. Conferencia de las partes. 52 p.
<http://unfccc.int/cop4/resource/docs/spanish/cop3/g9860812.pdf>
-  Orego, S.1998. Venta de servicios ambientales: posibilidades y limitaciones para el Dpto. del Choco. Fundación ESPAVE - IIAP. Medellín. 26 p.
-  Parlamento Latinoamericano, Ciudadanía Ambiental Global, ALDA. 1998. La lucha contra el Cambio Climático: el compromiso del Parlamento Latinoamericano. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Buenos Aires. 174 p.

- ✿ Peña del Valle, A. 2003. Captura de Carbono: un estudio en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala–Puebla. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 85 p.
- ✿ Rivera, A. 2000. El Cambio Climático: El Calentamiento de la Tierra. Editorial Debate, Barcelona. 270 p.
- ✿ Rodríguez, H. y González, F. 2000. Opciones para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia. Bogotá D. C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No 14. 260 p.
- ✿ Rozas, V. 2002. Estructura y patrones de regeneración del roble y la haya en un bosque maduro del litoral de Cantabria. Invest. Agr. Sist. Rec. For 11(1): 107-136.
<http://inia.es/sitemap/pags/bib/framefo.htm>
- ✿ Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- ✿ Rzedowski, J. y G. C. de Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México, 2ª ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro. Michoacán, 1406 p.
- ✿ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Instituto Nacional de Ecología. 2001. México: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 374 p.
- ✿ Subsecretaría de Ecología. 1989. Conservación Ecológica de los Recursos Naturales, Información básica de la Áreas Naturales protegidas de México. 81 p.
- ✿ Totten, M. 1999. Getting it Right: Emerging Markets for Storing carbon in Forests. World Resources Institute (WRI)- Forests Trends, Washington D.C. 48 p.
- ✿ Villers, L. e I. Trejo V. 1997. Assessment of the vulnerability of the forest ecosystems to climatic change in México. Climatic Research 9: 87-93.
- ✿ Zamora, C. 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 de Licenciatura. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 48 p.

FAO. 1999. *State of the world's forest* . Rome Information Divison. Roma, Italia.
 INE/SEMARNAP.2000. *Estrategia Nacional De Acción Climática. Estados Unidos Mexicanos*. Primera Edición 219 p. (<http://www.ine.gob.mx/>)

ANEXOS

Anexo 1. Intensidad de muestreo. Diámetro normalizado promedio y varianza por sitio en las tres comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM, D. F.

Comunidad	Sitio	DN (m)	Varianza
<i>Pinus hartwegii</i>	1	0.186	0.023
	2	0.160	0.008
	3	0.183	0.005
	4	0.160	0.019
	5	0.146	0.022
	6	0.144	0.011
	7	0.350	0.025
	8	0.131	0.008
	9	0.148	0.010
<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	1	0.193	0.021
	2	0.143	0.011
	3	0.195	0.007
	4	0.162	0.030
	5	0.185	0.020
Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>	1	0.113	0.006
	2	0.403	0.006
	3	0.240	0.004
	4	0.228	0.005
	5	0.297	0.009
	6	0.138	0.005
	7	0.129	0.003
	8	0.180	0.016
	9	0.154	0.007
Promedio total		0.165	
Varianza total		0.005	

Anexo 2. Incremento corriente anual. ICA promedio por sitio en las comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

EDAD	Incremento corriente anual (m ³ / ha/ año)		
	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus hartwegii</i> -Pastizal	Pastizal- <i>Pinus hartwegii</i>
1	0.07	0.05	0.03
2	0.12	0.08	0.06
3	0.18	0.14	0.07
4	0.26	0.25	0.10
5	0.31	0.24	0.13
6	0.32	0.31	0.18
7	0.45	0.37	0.19
8	0.58	0.46	0.28
9	0.73	0.51	0.25
10	0.88	0.54	0.35
11	0.83	0.64	0.32
12	1.08	0.63	0.33
13	1.25	0.78	0.48
14	1.27	0.85	0.60
15	1.54	0.96	0.66
16	1.61	0.86	0.82
17	2.06	1.02	0.79
18	1.56	1.10	0.75
19	1.31	1.34	0.79
20	1.43	1.23	0.82
21	1.46	1.06	0.66
22	1.41	0.89	0.87
23	1.66	1.05	1.08
24	1.69	1.04	0.99
25	2.03	0.91	0.48
26	1.58	1.28	0.60
27	1.90	1.18	0.83
28	2.14	1.25	0.72
29	1.53	1.22	0.58
30	1.69	1.03	0.73
31	1.49	0.97	0.63
32	1.43	1.31	0.59
33	1.50	1.80	0.60
34	2.05	0.63	0.86
35	1.37	0.56	0.43
36	1.87	0.94	0.49
37	1.21	0.70	0.40
38	0.93	0.65	0.53
39	1.99	1.15	0.52
40	1.65	0.87	0.42
41	2.59	0.51	0.46
42	1.95	0.50	0.56
43	1.38	1.08	0.44
44	0.94	1.51	0.44

45	0.93	1.64	0.46
46	0.97	1.70	0.49
47	1.31	1.05	0.44
48	0.84	1.57	0.50
49	1.38	1.78	0.76
50	0.50	1.91	0.62
51	0.75	1.90	0.64
52	1.14	1.57	0.51
53	0.52	1.66	0.48
54	0.92	2.29	0.43
55	1.33	1.76	0.41
56	0.45	1.83	0.29
57	1.59	1.62	0.49
58	0.71	1.53	0.56
59	0.81	1.36	0.32
60	0.97	1.30	0.54
61	0.26	1.20	0.32
62	0.93	1.05	0.35
63	1.08	0.71	0.40
64	0.26	0.67	0.44
65	0.31	1.28	0.34
66	0.38	0.88	0.37
67	0.41	0.68	0.36
68	0.38	1.10	0.41
69	0.78	1.12	0.39
70	0.87	1.16	0.41
71	0.61	1.27	0.53
72	0.23	1.35	0.55
73	1.32	1.16	0.33
74	1.03	1.07	0.29
75	1.85	1.16	0.39
76	4.26	0.41	0.33
77	1.89	0.72	0.42
78	1.79	0.81	0.33
79	1.86	0.50	0.31
80	0.95	1.21	0.40
81	3.94	1.80	0.73
82	1.37	0.64	0.43
83	<u>2.82</u>	0.65	0.36
84		0.49	0.48
85		1.73	0.38
86		1.30	0.32
87		2.36	0.25
88		1.91	0.29
89		1.03	0.42
90		1.44	0.60
91		2.05	0.30
92		2.03	0.40
93		1.68	0.36
94		1.56	0.77

95		2.25	0.87
96		2.08	0.83
97		2.12	0.91
98		1.16	0.77
99		1.10	0.12
100		2.34	0.07
101		4.44	0.13
102		2.77	0.04
103		3.78	0.06
104		1.90	0.04
105		4.07	0.06
106		3.34	0.09
107		2.05	0.13
108		5.63	0.08
109		4.71	0.26
Promedio	2.18	4.06	0.81

Anexo 3. Datos particulares por árbol de cada sitio en las 3 comunidades del bosque de *Pinus hartwegii* en la CARM.

Comunidad *Pinus hartwegii*

Sitio	DN (cm)	Altura (m)	V (m3)	Edad	Biomasa (t)	C.C (tC)
s1	2.0	1.69	0.0004	2	0.0002	0.0001
	3.5	2.56	0.0017	4	0.0005	0.0003
	4.2	2.96	0.0029	5	0.0007	0.0004
	4.3	3.02	0.0031	6	0.0007	0.0004
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0008	0.0005
	5.1	3.48	0.0050	7	0.0010	0.0006
	5.5	3.70	0.0062	8	0.0012	0.0007
	6.2	4.10	0.0087	9	0.0015	0.0009
	6.5	4.27	0.0099	10	0.0016	0.0010
	6.8	4.44	0.0113	10	0.0018	0.0011
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.5	5.38	0.0214	14	0.0028	0.0016
	12.7	7.65	0.0678	23	0.0063	0.0037
	30.0	15.98	0.7905	94	0.0351	0.0205
	30.0	15.98	0.7905	94	0.0351	0.0205
	30.3	16.11	0.8130	95	0.0358	0.0209
	32.2	16.92	0.9645	100	0.0404	0.0237
	34.3	17.80	1.1511	100	0.0459	0.0268
	34.7	17.96	1.1890	100	0.0470	0.0275
	37.0	18.89	1.4216	100	0.0534	0.0312
39.5	19.86	1.7039	100	0.0608	0.0356	
40.3	20.17	1.8008	100	0.0633	0.0370	
41.0	20.43	1.8884	100	0.0656	0.0383	
s2	6.0	4.01	0.0081	9	0.0014	0.0008
	6.4	4.19	0.0093	9	0.0016	0.0009
	6.4	4.19	0.0093	9	0.0016	0.0009
	6.4	4.19	0.0093	9	0.0016	0.0009
	6.7	4.37	0.0107	10	0.0017	0.0010
	6.8	4.46	0.0115	10	0.0018	0.0011
	9.2	5.78	0.0271	15	0.0033	0.0019
	9.5	5.96	0.0299	16	0.0036	0.0021
	9.5	5.96	0.0299	16	0.0036	0.0021
	12.7	7.66	0.0683	23	0.0063	0.0037
	18.1	10.44	0.1890	51	0.0128	0.0075
	21.0	11.85	0.2875	69	0.0172	0.0101
	22.3	12.46	0.3401	74	0.0194	0.0113
	22.3	12.46	0.3401	74	0.0194	0.0113
	22.9	12.76	0.3685	76	0.0205	0.0120
	24.8	13.66	0.4628	84	0.0240	0.0141
	24.8	13.66	0.4628	84	0.0240	0.0141
	24.8	13.66	0.4628	84	0.0240	0.0141
26.1	14.24	0.5334	89	0.0266	0.0155	
33.7	17.57	1.0994	100	0.0444	0.0260	
s3	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006

	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0076	0.0045
	15.7	9.21	0.1248	36	0.0096	0.0056
	16.0	9.36	0.1317	38	0.0100	0.0058
	16.3	9.51	0.1390	94	0.0104	0.0061
	18.2	10.47	0.1907	51	0.0129	0.0076
	18.5	10.62	0.1998	53	0.0133	0.0078
	18.5	10.62	0.1998	53	0.0133	0.0078
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	20.0	11.36	0.2498	64	0.0156	0.0091
	21.0	11.84	0.2872	69	0.0172	0.0101
	21.5	12.09	0.3071	70	0.0180	0.0105
	24.6	13.55	0.4508	82	0.0236	0.0138
	25.3	13.87	0.4882	87	0.0250	0.0146
	34.9	18.04	1.2082	100	0.0475	0.0278
s4	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.5	5.38	0.0214	14	0.0028	0.0016
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0126	0.0074
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	21.0	11.84	0.2872	69	0.0172	0.0101
	26.0	14.19	0.5275	87	0.0264	0.0154
	33.0	17.26	1.0332	100	0.0425	0.0248
	35.0	18.08	1.2179	100	0.0478	0.0279
	37.0	18.89	1.4216	100	0.0534	0.0312

	48.0	22.93	2.9043	100	0.0898	0.0526
	49.0	23.26	3.0708	100	0.0936	0.0548
	53.0	24.55	3.7911	100	0.1095	0.0641
	59.0	26.32	5.0362	100	0.1357	0.0794
	22.5	12.56	0.3497	74	0.0197	0.0115
s6	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	10	0.0019	0.0011
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039

	14.0	8.33	0.0897	28	0.0076	0.0045
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0113	0.0066
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0113	0.0066
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0113	0.0066
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0126	0.0074
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0126	0.0074
	22.0	12.33	0.3280	74	0.0189	0.0110
	35.0	18.08	1.2179	100	0.0478	0.0279
	37.0	18.89	1.4216	100	0.0534	0.0312
	40.0	20.05	1.7641	100	0.0624	0.0365
	44.0	21.53	2.2921	100	0.0755	0.0442
	44.0	21.53	2.2921	100	0.0755	0.0442
	45.0	21.89	2.4372	100	0.0790	0.0462
	54.0	24.86	3.9849	100	0.1137	0.0665
s7	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	28.0	15.10	0.6507	92	0.0306	0.0179
	35.0	18.08	1.2179	100	0.0478	0.0279
	42.0	20.81	2.0177	100	0.0688	0.0402
	44.0	21.53	2.2921	100	0.0755	0.0442
	51.0	23.92	3.4200	100	0.1014	0.0593
	57.0	25.75	4.5992	100	0.1267	0.0741
s8	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0039	0.0023
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	21.0	11.84	0.2872	69	0.0172	0.0101
	26.0	14.19	0.5275	87	0.0264	0.0154
	26.0	14.19	0.5275	87	0.0264	0.0154
	27.0	14.65	0.5871	92	0.0284	0.0166

	29.0	15.54	0.7185	94	0.0328	0.0192
	37.0	18.89	1.4216	100	0.0534	0.0312
s9	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0113	0.0066
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0113	0.0066
	20.0	11.36	0.2498	64	0.0156	0.0091
	20.0	11.36	0.2498	64	0.0156	0.0091
	23.0	12.80	0.3723	76	0.0206	0.0121
	27.0	14.65	0.5871	92	0.0284	0.0166
	28.0	15.10	0.6507	92	0.0306	0.0179
	36.0	18.49	1.3173	100	0.0505	0.0296
	37.0	18.89	1.4216	100	0.0534	0.0312
	41.0	20.43	1.8884	100	0.0656	0.0383
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
Promedio	17.8	10.94	0.389	30	0.193	0.113
Total			108.810		54.024	31.604

Comunidad *Pinus hartwegii*-Pastizal

Sitio	DN (cm)	Altura (m)	V (m3)	Edad	Biomasa (t)	C.C (tC)
s1	4.0	2.85	0.0025	5	0.0012	0.0007
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0012	0.0007
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0017	0.0010
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0023	0.0014
	5.5	3.70	0.0062	8	0.0031	0.0018
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036

8.0	5.10	0.0180	13	0.0089	0.0052	
8.5	5.38	0.0214	14	0.0106	0.0062	
9.0	5.66	0.0252	15	0.0125	0.0073	
9.5	5.93	0.0294	16	0.0146	0.0085	
12.0	7.28	0.0576	21	0.0286	0.0167	
12.0	7.28	0.0576	21	0.0286	0.0167	
13.0	7.80	0.0725	24	0.0360	0.0211	
14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261	
14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261	
14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261	
15.0	8.85	0.1094	34	0.0543	0.0318	
16.0	9.36	0.1317	40	0.0654	0.0383	
16.0	9.36	0.1317	40	0.0654	0.0383	
16.5	9.61	0.1439	42	0.0715	0.0418	
18.0	10.37	0.1847	51	0.0917	0.0537	
19.0	10.87	0.2157	57	0.1071	0.0626	
23.0	12.80	0.3723	77	0.1848	0.1081	
24.0	13.27	0.4202	80	0.2087	0.1221	
24.5	13.50	0.4456	81	0.2213	0.1294	
25.0	13.74	0.4720	84	0.2343	0.1371	
25.0	13.74	0.4720	84	0.2343	0.1371	
26.0	14.19	0.5275	88	0.2619	0.1532	
31.5	16.62	0.9068	100	0.4502	0.2634	
34.0	17.67	1.1232	100	0.5577	0.3262	
45.0	21.89	2.4372	100	1.2100	0.7079	
45.0	21.89	2.4372	100	1.2100	0.7079	
46.5	22.42	2.6647	100	1.3230	0.7740	
53.5	24.70	3.8874	100	1.9301	1.1291	
63.0	27.38	5.9756	100	2.9669	1.7356	
s2	3.0	2.27	0.0011	4	0.0006	0.0003
	3.5	2.56	0.0017	4	0.0009	0.0005
	3.5	2.56	0.0017	4	0.0009	0.0005
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0012	0.0007
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0017	0.0010
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0017	0.0010
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0017	0.0010
	5.4	3.65	0.0059	8	0.0029	0.0017
	6.4	4.19	0.0093	9	0.0046	0.0027
	6.7	4.37	0.0107	10	0.0053	0.0031
	7.2	4.66	0.0132	11	0.0066	0.0038
	8.0	5.12	0.0181	13	0.0090	0.0053
	9.4	5.85	0.0282	15	0.0140	0.0082
	9.5	5.96	0.0299	16	0.0148	0.0087
	10.2	6.30	0.0359	17	0.0178	0.0104
	10.4	6.40	0.0379	17	0.0188	0.0110
	10.9	6.71	0.0443	18	0.0220	0.0129
	11.2	6.85	0.0473	19	0.0235	0.0137
	12.2	7.36	0.0598	22	0.0297	0.0174
	12.9	7.76	0.0713	24	0.0354	0.0207
	14.9	8.79	0.1073	31	0.0533	0.0312

	15.8	9.25	0.1268	38	0.0630	0.0368
	17.3	10.00	0.1636	47	0.0812	0.0475
	18.5	10.60	0.1986	53	0.0986	0.0577
	20.1	11.43	0.2552	65	0.1267	0.0741
	20.9	11.79	0.2826	69	0.1403	0.0821
	22.3	12.46	0.3401	74	0.1689	0.0988
	25.6	14.01	0.5044	87	0.2504	0.1465
	26.7	14.50	0.5672	91	0.2816	0.1648
	29.8	15.89	0.7753	94	0.3849	0.2252
	36.0	18.50	1.3206	100	0.6557	0.3836
	36.9	18.86	1.4135	100	0.7018	0.4106
	38.2	19.36	1.5529	100	0.7710	0.4510
s3	8.0	5.10	0.0180	13	0.0025	0.0015
	9.4	5.87	0.0285	15	0.0034	0.0020
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	20.5	11.60	0.2681	69	0.0164	0.0096
	22.8	12.71	0.3631	75	0.0203	0.0119
	23.0	12.80	0.3723	76	0.0206	0.0121
	23.5	13.04	0.3958	80	0.0215	0.0126
	24.0	13.27	0.4202	80	0.0225	0.0131
	33.0	17.26	1.0332	100	0.0425	0.0248
s4	3.0	2.27	0.0011	4	0.0004	0.0002
	3.0	2.27	0.0011	4	0.0004	0.0002
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0006	0.0004
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0006	0.0004
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0006	0.0004
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0006	0.0004
	4.2	2.96	0.0029	5	0.0007	0.0004
	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	5.5	3.70	0.0062	8	0.0012	0.0007
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0014	0.0008
	6.5	4.27	0.0099	10	0.0016	0.0010
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0032	0.0018
	9.5	5.93	0.0294	16	0.0035	0.0021
	9.7	6.04	0.0312	16	0.0037	0.0021
	10.5	6.47	0.0392	17	0.0043	0.0025
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0047	0.0028
	11.3	6.90	0.0485	20	0.0050	0.0029
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.5	8.07	0.0808	26	0.0071	0.0042
	13.5	8.07	0.0808	26	0.0071	0.0042
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0076	0.0045
	15.5	9.10	0.1203	36	0.0094	0.0055
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0100	0.0058
	17.5	10.12	0.1704	49	0.0119	0.0070
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	22.0	12.33	0.3280	73	0.0189	0.0110
	22.2	12.42	0.3366	74	0.0192	0.0112

	23.0	12.80	0.3723	76	0.0206	0.0121
	25.6	14.01	0.5048	87	0.0256	0.0150
	26.0	14.19	0.5275	87	0.0264	0.0154
	27.2	14.74	0.5995	92	0.0289	0.0169
	78.0	30.63	10.2441	100	0.2372	0.1388
	81.0	31.13	11.2285	100	0.2558	0.1497
s5	5.0	3.42	0.0047	7	0.0010	0.0006
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0019	0.0011
	7.5	4.83	0.0149	11	0.0022	0.0013
	8.5	5.38	0.0214	14	0.0028	0.0016
	11.5	7.01	0.0510	20	0.0052	0.0030
	11.5	7.01	0.0510	20	0.0052	0.0030
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0056	0.0033
	12.5	7.54	0.0648	23	0.0061	0.0036
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0066	0.0039
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0076	0.0045
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0088	0.0051
	15.5	9.10	0.1203	35	0.0094	0.0055
	16.0	9.36	0.1317	38	0.0100	0.0058
	16.5	9.61	0.1439	42	0.0106	0.0062
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	19.0	10.87	0.2157	57	0.0141	0.0082
	20.0	11.36	0.2498	64	0.0156	0.0091
	20.5	12	0.2681	70	0.0164	0.0096
	22.0	12.33	0.3280	75	0.0189	0.0110
	23.0	12.80	0.3723	76	0.0206	0.0121
	23.0	12.80	0.3723	76	0.0206	0.0121
	25.5	13.97	0.4993	87	0.0254	0.0148
Promedio	16.6	9.259	0.386	34	0.245	0.127
Total			55.641		35.269	18.640

Comunidad Pastizal-*Pinus hartwegii*

Sitio	DN (cm)	Altura (m)	V (m3)	Edad	Biomasa (t)	C.C (tC)
s1	3.0	2.27	0.0011	4	0.0006	0.0003
	4.0	2.85	0.0025	5	0.0012	0.0007
	4.5	3.13	0.0035	6	0.0017	0.0010
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0039	0.0023
	8.0	5.10	0.0180	13	0.0089	0.0052
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0543	0.0318
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0778	0.0455
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0917	0.0537
	26.0	14.19	0.5275	87	0.2619	0.1532

s2	31.0	16.41	0.8669	100	0.4304	0.2518
	33.5	17.47	1.0776	100	0.5350	0.3130
	34.0	17.67	1.1232	100	0.5577	0.3262
	35.0	18.08	1.2179	100	0.6047	0.3537
	42.0	20.81	2.0177	100	1.0018	0.5861
	42.0	20.81	2.0177	100	1.0018	0.5861
	43.0	21.17	2.1523	100	1.0686	0.6251
	48.3	23.03	2.9537	100	1.4665	0.8579
	54.0	24.86	3.9849	100	1.9785	1.1574
S3	14.6	8.64	0.1013	30	0.0503	0.0294
	19.6	11.16	0.2358	60	0.1171	0.0685
	21.0	11.84	0.2872	69	0.1426	0.0834
	24.0	13.27	0.4202	80	0.2087	0.1221
	24.2	13.36	0.4303	80	0.2136	0.1250
	25.7	14.06	0.5104	87	0.2534	0.1483
	26.0	14.19	0.5275	87	0.2619	0.1532
	37.0	18.89	1.4216	100	0.7058	0.4129
S4	13.0	7.80	0.0725	24	0.0360	0.0211
	19.0	10.87	0.2157	57	0.1071	0.0626
	22.8	12.71	0.3631	75	0.1803	0.1055
	28.3	15.23	0.6706	94	0.3329	0.1948
	31.0	16.41	0.8669	100	0.4304	0.2518
S5	13.0	7.80	0.0725	24	0.0360	0.0211
	26.0	14.19	0.5275	87	0.2619	0.1532
	29.0	15.54	0.7185	94	0.3567	0.2087
	30.0	15.98	0.7905	94	0.3925	0.2296
	30.0	15.98	0.7905	94	0.3925	0.2296
	37.5	19.09	1.4756	100	0.7326	0.4286
	42.5	20.99	2.0844	100	1.0349	0.6054
s6	5.0	3.42	0.0047	7	0.0023	0.0014
	6.0	3.99	0.0079	9	0.0039	0.0023
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	9.3	5.82	0.0277	15	0.0137	0.0080
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0169	0.0099
	12.5	7.54	0.0648	23	0.0322	0.0188
	13.0	7.80	0.0725	24	0.0360	0.0211
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261
	16.0	9.36	0.1317	40	0.0654	0.0383
	16.5	9.61	0.1439	42	0.0715	0.0418
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0917	0.0537
	17.5	10.12	0.1704	48	0.0846	0.0495
	17.5	10.12	0.1704	48	0.0846	0.0495
	25.5	13.97	0.4993	87	0.2479	0.1450
	32.0	16.84	0.9478	100	0.4706	0.2753
s7	5.0	3.42	0.0047	7	0.0023	0.0014
	6.5	4.27	0.0099	10	0.0049	0.0029
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036
	7.0	4.55	0.0123	11	0.0061	0.0036

	8.0	5.10	0.0180	13	0.0089	0.0052
	8.5	5.38	0.0214	14	0.0106	0.0062
	8.5	5.38	0.0214	14	0.0106	0.0062
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0125	0.0073
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0125	0.0073
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0169	0.0099
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0223	0.0130
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261
	14.0	8.33	0.0897	28	0.0446	0.0261
	14.5	8.59	0.0993	29	0.0493	0.0288
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0543	0.0318
	15.0	8.85	0.1094	34	0.0543	0.0318
	15.5	9.10	0.1203	36	0.0597	0.0349
	17.0	9.87	0.1568	46	0.0778	0.0455
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0917	0.0537
	18.0	10.37	0.1847	51	0.0917	0.0537
	23.0	12.80	0.3723	76	0.1848	0.1081
	29.0	15.54	0.7185	94	0.3567	0.2087
s8	6.0	3.99	0.0079	9	0.0039	0.0023
	12.0	7.28	0.0576	21	0.0286	0.0167
	19.0	10.87	0.2157	57	0.1071	0.0626
	35.0	18.08	1.2179	100	0.6047	0.3537
s9	24.0	13.27	0.4202	80	0.2087	0.1221
	27.5	14.87	0.6184	92	0.3070	0.1796
	9.0	5.66	0.0252	15	0.0125	0.0073
	10.0	6.20	0.0341	17	0.0169	0.0099
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0223	0.0130
	11.0	6.74	0.0448	18	0.0223	0.0130
Promedio	21.0	12.18	0.456	39	0.226	0.132
Total			40.115		19.917	11.280

Bosque de *Pinus hartwegii*

	DN (cm)	Altura (m)	V (m3)	Edad	Biomasa (t)	C.C (tC)
Promedio	0.165	9.221	0.4	31	0.205	0.120
Total			218.81		105.16	61.521