



## Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

# **Análisis del estado de conservación del bosque de *Pinus hartwegii* en una unidad de paisaje de la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F.**

**Presentado por:**  
Maria Eugenia Santillana Ceballos

**Director:**  
Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa

**Tutor Académico:**  
Dr. José Alfredo Bravo Fernández

Alcalá de Henares a, 12 de septiembre de 2013.

A mi cariñosa familia,

### ANEXO 3

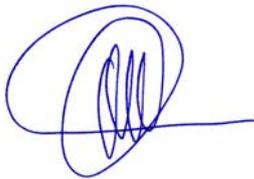
**D./D<sup>a</sup> José Alfredo Bravo Fernández**

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: **Análisis del estado de conservación del bosque de *Pinus hartwegii* en una unidad de paisaje de la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F.**, ha sido realizado bajo mi autorización académica por el alumno/a **D./D<sup>a</sup> María Eugenia Santillana Ceballos**

En Madrid, a 12 de Septiembre de 2013

Firmado:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'J' followed by several vertical strokes and a horizontal line extending to the right.

J.A. Bravo Fernández

Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: **Análisis del estado de conservación del bosque de *Pinus hartwegii* en una unidad de paisaje de la Cuenca del Río Magdalena, México, D.F.**, ha sido realizado bajo mi dirección por la alumna Maria Eugenia Santillana Ceballos.

En México, D.F., a 12 de septiembre de 2013



Firmado:

## Resumen

Para realizar proyectos de manejo y conservación es necesario contar con información ecológica sobre el estado actual del área de estudio y un conocimiento detallado de los factores ambientales (abióticos y bióticos) que promueven y mantienen la diversidad a diferentes escalas. El propósito de este estudio fue hacer hincapié en la importancia que tiene caracterizar una unidad de paisaje de la comunidad de *Pinus hartwegii* en la Cuenca del río Magdalena, para así integrar la información requerida en la generación de un diagnóstico ambiental, ya que la protección de los bosques de la Cuenca del río Magdalena es indispensable para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de la calidad ambiental principalmente del aire y el agua de la Ciudad de México.

El estudio se realizó en una unidad de paisaje (1,250 m<sup>2</sup>) dividida en 5 parcelas (25 m<sup>2</sup>) por medio de la caracterización ambiental, estructura y composición del bosque se obtuvieron valores de importancia relativa (VIR) para las especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. Se analizaron los aspectos geomorfológicos, temperaturas, suelo e incidencia lumínica, así como identificación y distribución espacial de cada individuo en campo. Los resultados obtenidos brindaron un estudio puntual y finalmente se hace una propuesta de manejo para un futuro posible deterioro del bosque debido a las actividades antropogénicas crecientes en el zona.

## Abstract

For management and conservation projects ecological information is needed, such as the current status of the study area and a detailed knowledge of environmental factors (abiotic and biotic) that promote and maintain diversity at different scales. The purpose of this study was to emphasize the importance of characterizing a landscape unit of *Pinus hartwegii* community at the river basin Magdalena, in order to integrate the information required an environmental assessment is generated, because the protection of forests of the river basin Magdalena is essential for the conservation of biodiversity and maintenance mainly of the environmental quality of the air and water of Mexico City.

The study was conducted in a landscape unit (1,250 m<sup>2</sup>) divided into 5 plots (25 m<sup>2</sup>) by the environmental characterization of forest structure and composition were obtained relative importance values (*VIR* in Spanish) for tree, shrub and herbaceous strata. Geomorphological aspects, temperatures, soil and light incidence, as well as the identification and spatial distribution of each individual in the field were analysed. The results provided a precise study and finally a proposal is made for a future management of the forest due to increasing anthropogenic activities in the area.

## **Agradecimientos**

---

Se agradece enormemente al Comité Tutorial del presente trabajo de investigación, integrado por:

Dra. Ana Elena Mendoza Ochoa  
Dr. José Alfredo Bravo Fernández

Al Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).  
Al Sistema Estatal de Becas (SEGOBVER) por la beca otorgada.  
Al Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados (COLPOS) en la Universidad Autónoma de Chapingo por su apoyo en los muestreos de suelo.  
A la Dra. Silvia Castillo por su colaboración y aportación logística en este trabajo.  
A la M. en C. Yuriana Martínez Orea por sus valiosas recomendaciones y aportes en el presente estudio.

## **Agradecimientos personales**

---

A los miembros de mi Comité Tutorial:  
A la Dra. Ana Mendoza por la dirección de esta tesis, su apoyo infinito y confianza, por ser guía en los momentos precisos, gracias de corazón. Su experiencia y conocimiento me orientaron para cumplir este ciclo.

Al Dr. Alfredo Bravo, por su ayuda e interés para la realización de este trabajo, así como sus valiosas aportaciones pese a la distancia.

A mis amigos y compañeros que participaron arduamente en las salidas de campo, las cuáles implicaron mucho esfuerzo y que sin su colaboración no se hubiera podido llevar a cabo: Emmanuel Jiménez, Abdiel Esquivel, Adrián Félix, Valeria Hernández, Luis Carrillo y Fely Lagunes. A Elizabeth Chávez, por su ayuda en los análisis de las fotografías hemisféricas, a Stephanie Krieg y a Mauricio Retana por su apoyo en el diseño digital de las fotografías de las especies colectadas y la elaboración de mapas ilustrativos de este proyecto.

Especialmente a mi familia:

A mi madre Maria Eugenia y a mi padre Humberto, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Siempre están y estarán en mi mente y corazón.

A mis hermanos Humberto y Mauricio, por su cariño, fortaleza y entrega constante. A Sebastián por su paciencia y alegría. A mis cuñadas, Fabiola y Monica, por su entusiasmo y dulzura.

A todos ellos mi admiración, agradecimiento y respeto.  
Espero que compartan este gran logro conmigo.

## Índice

Resumen/ Abstract	i.
Agradecimientos	ii.
<b>I.</b> Introducción	1
Heterogeneidad ambiental y escala espacial	6
Bosques de pino	7
Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	9
Unidades de paisaje	10
Estado de conservación por unidad de paisaje	11
Indicadores de perturbación de un bosque	11
Planteamiento del problema	12
<b>II.</b> Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos particulares	15
<b>III.</b> Plan de Trabajo/ Materiales y Métodos	16
Área de estudio	16
Situación de la zona de protección forestal	17
Selección de sitios	18
Caracterización del bosque	18
Estrato arbóreo	18
Estrato arbustivo y herbáceo	19
Valor de importancia relativo	19
Composición florística	20
Caracterización ambiental	20
Ubicación y aspectos fisiográficos	20
Temperatura	20
Estimación de la heterogeneidad ambiental	21
Suelo	21
Incidencia lumínica	21
Estado de conservación e indicadores de deterioro	22
Elaboración de propuesta de manejo y análisis del estado de conservación	23
<b>IV.</b> Desarrollo del Trabajo y Resultados	24
Composición y estructura del bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	24

	Estrato arbóreo	24
	Estrato arbustivo y herbáceo	28
	Valor de importancia relativo	28
	Composición florística	31
	Caracterización ambiental	32
	Ubicación, aspectos geomorfológicos y heterogeneidad ambiental	33
	Suelo	33
	Incidencia lumínica	34
<b>V.</b>	Discusión	36
	Análisis de la composición y estructura del bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	36
	Propuesta de manejo y análisis del estado de conservación	39
<b>VI.</b>	Conclusiones	44
<b>VII.</b>	Bibliografía	45
<b>VIII.</b>	Anexos	53
	Anexo 1. Distribución de <i>Pinus hartwegii</i> por parcela del bosque de	
	<i>Pinus hartwegii</i> de la Cuenca del río Magdalena	53
	Relación de altura y dap por individuo de	
	<i>Pinus hartwegii</i>	55
	Anexo 2. Catálogo floral del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> de la Cuenca	
	del río Magdalena	57

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Pinus hartwegii</i> en el Cuenca del río Magdalena	13
<b>Figura 2.</b> Localización de la Cuenca del río Magdalena, México D.F.	16
<b>Figura 3.</b> Cauce del río Magdalena	16
<b>Figura 4.</b> Representación de la distribución espacial de la zona de estudio para el estrato arbóreo son las parcelas: A, B, C, D y E y para los estratos arbustivo y herbáceo son las subparcelas: 1, 2, 3, 4 y 5	19
<b>Figura 5.</b> Cobertura de <i>Pinus hartwegii</i> en las parcelas de muestreo	24
<b>Figura 6.</b> Área basal de <i>Pinus hartwegii</i> por parcela (A, B, C, D y E) en la unidad de paisaje	27
<b>Figura 7.</b> Clases diamétricas de <i>Pinus hartwegii</i> en la unidad de paisaje	28
<b>Figura 8.</b> Valores de importancia relativa por parcela (A, B, C, D y E) en el sitio de muestreo correspondientes al estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo en la unidad de paisaje	31
<b>Figura 9.</b> Fotografías hemisféricas por parcela en la unidad de paisaje del bosque de <i>Pinus hartwegii</i>	35

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Categorías e intervalos del área basal de <i>Pinus hartwegii</i>	25
<b>Tabla 2.</b> Categorías e intervalos de clases diamétricas de <i>Pinus hartwegii</i>	28
<b>Tabla 3.</b> Listado florístico del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> de la Cuenca del río Magdalena	32
<b>Tabla 4.</b> Ubicación de las parcelas según el sistema de coordenadas UTM NAD-27 y aspectos geomorfológicos de los sitios de estudio	32
<b>Tabla 5.</b> Análisis del suelo de la unidad de paisaje del bosque <i>Pinus hartwegii</i> de la Cuenca del río Magdalena (pH=potencial de hidrógeno, CE= conductividad eléctrica (S/m = siemens por metro), M.O.= materia orgánica, N= nitrógeno, P= fósforo (ppm = partes por millón), K= potasio)	33
<b>Tabla 6.</b> Parámetros lumínicos de la unidad de paisaje del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> de la Cuenca del río Magdalena	34
<b>Tabla 7.</b> Listado de especies útiles para la propuesta de manejo del bosque de <i>Pinus hartwegii</i> en la Cuenca del río Magdalena	41
<b>Tabla 8.</b> Variables a analizar para la evaluación del estado del suelo (Tomado de Valladares <i>et al.</i> , 2011)	43

## I. Introducción

Los bosques templados de México se encuentran formando la vegetación de las principales cordilleras de México (Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Faja Volcánica Transmexicana y Sierra Madre del Sur). Los principales tipos de bosque son: de pino, de oyamel, de encino, de enebro y mesófilo de montaña.

Los bosques de pino abarcan una superficie de 5,238,681 ha, caracterizados en un 80% por el género *Pinus* spp. Se localiza principalmente en las regiones montañosas del país, en climas donde la temperatura media anual fluctúa entre 6 y 28°C y en altitudes entre 1,500 y 3,000 m, aunque se da el caso del *Pinus caribae*, que se desarrolla al nivel del mar o el de *Pinus hartwegii* que se encuentra en altitudes superiores a los 3,000 m. En el país, las especies de *Pinus* con mayor valor económico por su aprovechamiento maderable son: *Pinus engelmanni*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. arizonica*. El bosque de pino abierto es aquel cuya cobertura de copa oscila entre 10 y 40 %. Las coberturas mayores al 40 % constituyen el bosque de pino cerrado de acuerdo a la “Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos” (SARH, 1999).

El tipo de vegetación más extenso del Distrito Federal es el bosque de pino, que ocupa una superficie de 24,534 ha y se ubica en las partes más altas (comúnmente entre 2,900 y 3,800 msnm) es posible encontrar un bosque en donde la especie casi exclusiva del estrato arbóreo es *Pinus hartwegii*; sin embargo, en algunos sitios como el Volcán Ajusco, es posible encontrar algunos individuos aislados de *Salix paradoxa* y *Juniperus monticola*, y en algunos otros, como en Milpa Alta y Tlalpan (Volcán El Pelado), se presenta *Alnus jorullensis*, especie que en ocasiones llega a formar bosquetes de dimensiones reducidas. El estrato arbustivo es casi nulo, en ocasiones sólo se encuentran individuos aislados de *Berberis schiedeana*, *Baccharis conferta*, *Penstemon gentianoides* y *Senecio cinerarioides*, este último comúnmente en condiciones de disturbio. En el estrato herbáceo, son frecuentes pastos amacollados, tales como, *Muhlenbergia macroura*, *M. quadridentata*, *Festuca tolucensis* y *F. amplissima*, entre otros (SARH, 1999).

Además de los pastos, están *Gentiana spathacea*, *Geranium potentillaefolium*, *Lobelia gruinata*, *Lupinus montanus*, *Eryngium proteaeflorum*, *Senecio toluccanus*,

*Potentilla ranunculoides* y *P. rubra*. También en algunos pinares se pueden encontrar *Arceuthobium globosum* y *A. vaginatum*. Entre los 2,700 y 3,100 m de altitud se puede presentar un bosque en donde el elemento dominante es *Pinus montezumae*, acompañado por *P. pseudostrobus* y *P. teocote*, y en algunos casos por *Quercus laurina*. En el estrato arbóreo es posible encontrar a *Arbutus xalapensis*, *Alnus jorullensis*, *Salix paradoxa*, *Buddleja cordata* y arbustos como *Solanum cervantesii* y *Barkleyanthus salicifolius* (Luna et al., 2007).

Finalmente en las partes altas del Pedregal de San Ángel encontramos un bosque pequeño establecido en suelos muy someros, en donde el elemento dominante es *Pinus teocote*. Por lo general está acompañado por *Pinus rudis* y en los estratos inferiores por elementos aislados de *Buddleja cordata* y *B. parviflora*; en el estrato arbustivo encontramos a *Baccharis conferta*, *Salvia polystachya*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Bouvardia ternifolia* y *Barkleyanthus salicifolius*; y en el estrato herbáceo se encuentra *Penstemon roseus*, *Castilleja tenuiflora*, *Piqueria trinervia*, *Muhlenbergia robusta* y *Zephyranthes fosteri* (Luna et al., 2007).

Los bosques templados enfrentan el grave problema de deforestación, que se define como la transformación a otro uso de la tierra, o a la pérdida de cobertura forestal ya sea permanente o a largo plazo, que ocasiona una reducción de la cobertura inferior al límite del 10% (FAO, 2000). Cuando los bosques se destruyen, se pierden las valiosas contribuciones que hacen al ambiente y a las personas que dependen de ellos (Granados-Sánchez, 2007).

Varios factores directos e indirectos contribuyen a la deforestación; a continuación se presentan en orden de importancia, los factores directos; i) conversión a agricultura y ganadería, ii) conversión debido a desarrollo de infraestructura, iii) manejo forestal para obtener madera, iv) manejo forestal para obtener pulpa y papel, v) obtención de leña y carbón, vi) deterioro por contaminación atmosférica, y vii) incendios. Dentro de los factores indirectos están; i) impactos por la presión poblacional, ii) vínculos con la pobreza, iii) tenencia de la tierra, iv) subsidios gubernamentales para la agricultura y la ganadería y otras actividades, que tienen como consecuencia la desvaloración de los recursos forestales, v) expansión de

agricultura comercial de exportación, y vi) falta de gobernanza y de buenas políticas de conservación (Velásquez *et al.*, 2002).

La superficie territorial de México es de 196.4 millones de hectáreas, de la cual una gran parte tiene potencial forestal. De acuerdo con la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2012 (FRA, por sus siglas en inglés) de la FAO, México se ubica en el lugar número 12 en cuanto a superficie forestal mundial. En el más reciente estudio de la FAO (2012) sobre vegetación se estima que México cuenta con 33.5 millones de hectáreas de bosques, 32.11 millones de hectáreas de selvas, 58.08 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas, 2.58 millones de hectáreas de vegetación hidrófila, 6.95 millones de hectáreas de vegetación inducida y 12.38 millones de hectáreas de pastizales. De acuerdo con el último reporte de la FAO (FRA, 2012) la superficie deforestada en México entre 1990 y 2000 fue de 348 mil hectáreas anuales promedio y entre 2000 y 2005 se estima de 260 mil hectáreas anuales promedio, hablando exclusivamente de la superficie clasificada como bosques y selvas de FAO.

El bosque encierra muchos servicios ecosistémicos que, en conjunto, contribuyen a regular el equilibrio dentro del ambiente y a los cuales no se les puede poner un precio. En primer lugar tenemos el papel ecológico, los bosques participan en la conservación y formación de suelos, manteniendo los elementos básicos para la preservación de los hábitats para la fauna silvestre (Feinsiger, 2001). Igualmente, la vegetación forestal participa en el reciclaje de nutrientes, de tal manera que el bosque es una entidad dinámica en el que se sustenta la flora y la fauna. El bosque contribuye al equilibrio del clima porque absorbe el exceso de luminosidad y calor (por baja conductividad), intercepta el aire húmedo y provoca la precipitación pluvial, frena los vientos y crea una fortaleza aerodinámica, que defiende a los suelos de la erosión (Granados-Sánchez, 2007).

En segundo lugar, se encuentra el reservorio de biodiversidad, los bosques comprenden una gran variedad de árboles, arbustos, hierbas, animales y microorganismos, que se han establecido a través del tiempo, con relación a diversas fuerzas naturales que dirigen su evolución, por tanto, constituyen un reservorio de biodiversidad (Connell, 1993). En los bosques, debido a la elevada densidad de las

copas de los árboles, los estratos inferiores están muy poco desarrollados; así tenemos que la capa inferior está constituida por muy pocas especies, correspondiendo principalmente a musgos, helechos, gramíneas y hongos (Fox, 1999). Asimismo, el clima, que de acuerdo a Chiarucci y colaboradores (2001), regula el nivel de los gases de invernadero (absorción de bióxido de carbono y liberación de oxígeno, como resultado de la fotosíntesis), así los bosques disminuyen la contaminación provocada por el ser humano y proporcionan una atmósfera adecuada para los seres vivos. Además, amortiguan los sonidos reduciendo de esta forma también, la contaminación por ruido.

Igualmente se debe considerar el microclima, puesto que el perfil de temperaturas de un bosque varía según las formas de crecimiento, por ejemplo, en bosques con árboles de tipo pinos o similares, las temperaturas tienden a ser más frescas en la bóveda superior, posiblemente porque la circulación de aire es más intensa que en la bóveda inferior (Waring, 1991). La masa forestal crea un microclima forestal –por influencia de su sombra y sus estratos– el cual es fácil de sentir situándonos dentro del mismo. Bajo la zona arbórea, el ambiente es sombrío, las temperaturas y la velocidad del aire están amortiguadas y la humedad es mayor que en el exterior; por ello, el ambiente se mantiene fresco y corre una suave brisa. El dosel del bosque actúa como una cobija que no permite grandes fluctuaciones de temperatura; así, durante el verano, la temperatura en un bosque es más baja que en el campo abierto, y en invierno más alta (estas diferencias pueden variar de 1 a 6°C) (Viereck, 1993). Como la temperatura está inversamente relacionada con la humedad relativa, cuando la temperatura es baja durante el verano, la humedad relativa es más alta (Swanson y Franklin, 1992; Viereck, 1993). En las montañas, los bosques tienen muchas funciones adicionales, como modificar masas del aire frío y de los vientos que descienden de regiones más altas, así como romper y detener avalanchas o bien proporcionar abrigo contra diversos fenómenos naturales.

El siguiente servicio ecosistémico es el papel hidrológico, ya que en los bosques la captación de agua por precipitación es superior a la evaporación, permitiendo la formación de mantos freáticos que funcionan como importantes reservorios de agua dulce. Asimismo, los bosques contribuyen a la creación de cuencas, acumulan, limpian, regulan y distribuyen los recursos acuíferos, y evitan que las presas y lagos

se llenen de sedimentos (Viereck, 1993). La cubierta forestal, a la par de moderar la desecación, reduce la erosión del suelo disminuyendo tanto la escorrentía de las aguas, como el riesgo de inundaciones y el estancamiento de los embalses y cursos de agua (Vitousek y Reiners, 1995).

La luz, es otro servicio ecosistémico importante debido a que los bosques templados mantienen sus ramas llenas de hojas durante todo el año, el grado de interceptación de la luz en un bosque de coníferas es prácticamente el mismo a lo largo del año. La mayoría de los pinos forma una densa bóveda superior, la cual limita el paso de la luz del sol, lo cual determina que los estratos inferiores no puedan desarrollarse (Zwinger, 1999). En particular, la intensidad de la luz en un bosque de pinos o de oyameles disminuye progresivamente al atravesar la bóveda vegetal, hasta que en la parte inferior sólo llega una pequeña fracción de luz. No obstante, los pinos con copas más abiertas permiten que llegue una mayor cantidad de luz al suelo del bosque, estimulando la formación de un sotobosque herbáceo o arbustivo (Zak, *et al.*, 1994).

Otro servicio ecosistémico en el bosque es el suelo, se caracteriza por ser delgado y ácido; se forma de manera muy lenta debido a las bajas temperaturas y a la cobertura cerosa de las agujas de las coníferas que las protege de la degradación, por lo que permanecen largo tiempo en el suelo sin contribuir a la fertilidad. A través del humus del suelo se desarrollan una infinidad de interrelaciones entre diversos microorganismos y plantas, se ponen a disposición del árbol, minerales y sales imprescindibles para su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, el principal suministro del suelo procede del propio árbol, ya que sus hojas son la primera fuente de materia orgánica que pone en marcha a la comunidad edáfica (Mac Donald *et al.*, 2004).

También es importante considerar a la producción, ya que desde tiempos remotos el bosque ha sido un espacio productivo de madera, leña y muchos productos no maderables para la industria y el sustento del ser humano como son resinas, gomas, perfumes, taninos, productos farmacéuticos, alimentos, etc. Los bosques son parte fundamental del ingreso nacional mexicano; en particular, proporcionan una parte importante del sustento de la población rural en los países en desarrollo, con relación a hojas, semillas, frutos, raíces, tubérculos, savia, gomas, hongos y animales

(Ovington, 1993). Incluso representan una importante fuente de forraje, tanto para el ganado doméstico como para los animales silvestres, por lo que funcionan como áreas de apoyo para aumentar el rendimiento agropecuario. Los bosques son importantes abastecedores de madera y leña. En los países en desarrollo, aportan las tres cuartas partes o más de su fuente de energía primaria (se utiliza ocho veces más de madera para leña que la que se extrae para fines industriales). No obstante, el valor resultante de todas las funciones de los bosques es varias veces superior al de la madera que producen. Las tierras forestales mexicanas son capaces de producir por lo menos 1.8 m<sup>3</sup> de madera x ha<sup>-1</sup>x año (Barnes *et al.*, 2012).

Por último se podemos decir que los servicios ecosistémicos del bosque ofrecen amplias posibilidades para la realización de actividades de esparcimiento y recreativas, por lo que contribuye al bienestar físico y emocional de los usuarios. Los bosques constituyen espacios que son un patrimonio natural que contiene elementos culturales de manejo, que son la base de la educación ambiental. De ahí que, indirectamente la sociedad deba demandar su adecuada conservación, como un elemento imprescindible de lo que hemos calificado como calidad de vida. En este sentido, su valoración depende de las características culturales del grupo social que determina su uso (Flores-Villela *et al.*, 2004).

Con relación a esto, la humanidad ha ido tomando conciencia del valor de la conservación de las masas forestales, de los bosques y del deterioro del medio ambiente que seguiría inexorablemente de continuar la deforestación al ritmo actual. Por tal razón, se hace absolutamente necesaria una protección decidida del bosque. Sin embargo, esta conservación no se satisface con la defensa de una especie concreta, individualizada, por muy preciosa que sea, sino que se tiene que extender a todo el ecosistema que, en su conjunto, ha de ser cuidado y mejorado científicamente para obtener los beneficios que sean razonables. La protección debe abarcar, pues, el suelo y las comunidades de flora y fauna peculiares. Además de tratar la conservación del paisaje (Vogelmann, 2005).

### **Heterogeneidad ambiental y escala espacial**

En los sistemas ecológicos se involucran componentes cualitativamente diferentes, cuyas propiedades varían en el espacio y el tiempo (Kolasa y Rollo, 2001).

Sin embargo, esta variabilidad se manifiesta solo si se analiza en la escala espacial y temporal adecuada. En particular la escala espacial óptima para un estudio depende del objeto de estudio, es decir los organismos que perciben la condición de mosaico (Vega y Peters, 2003). Un “bosque”, por ejemplo, es percibido de diferentes maneras por una plántula que por un árbol, ya que para éste una superficie puede ser homogénea, mientras que para la plántula consistirá en un conjunto de “parches” interconectados (Allen y Hockstra, 1991). Recientemente se ha propuesto que la heterogeneidad ambiental forme parte de las investigaciones de los procesos que estructuran la comunidad (Beckage y Clark, 2003; Jurena y Archer, 2003). Sus características estructurales se han utilizado para conocer la dinámica de la heterogeneidad espacial y temporal de la vegetación.

Investigar los patrones de regeneración y dinámica de claros, explicar la variación microclimática y estimar la productividad son algunas cuestiones relevantes para el conocimiento de las comunidades y elaborar argumentos para su manejo y conservación (Chazdon *et al.*, 1991; Whittaker, 1996; Buongiorno *et al.*, 1994; Chen y Franklin, 2005). En particular, conocer la estructura de los bosques es importante en el análisis y manejo de los ecosistemas forestales (Zenner y Hibbs, 2000). No obstante, es todavía más importante conocer la influencia que los diferentes gradientes ambientales ejercen sobre la estructura de las especies vegetales, en especial para aquellas que se encuentran bajo condiciones restringidas o amenazadas, debido a las actividades antropogénicas (Sánchez-Velásquez *et al.*, 1991).

### **Bosques de pino**

Las comunidades de pino ocupan un lugar especial en la vegetación de México por sus características fisonómicas, florísticas y ecológicas (Rzedowski, 1978). Challenger (2003) menciona que la composición de los bosques de pinos de México es muy variable de una región a otra, e incluso de un sitio a otro dentro de cada región, lo cual se debe a la enorme heterogeneidad de los tipos y subtipos climáticos, a la inclinación y orientación de las laderas, al tipo y profundidad del suelo y a la compleja historia biogeográfica de los ecosistemas que pertenecen a esta zona ecológica. Debido a esta heterogeneidad ambiental, las especies se encuentran distribuidas en forma de parches (Sánchez-González y López-Mata, 2003). En términos generales y en un mosaico ambiental dado, un manchón o parche puede

definirse como “una unidad especial diferente de su entorno, ya sea en apariencia o en sus propiedades”, aunque, el discernimiento de estos parches depende fundamentalmente de la escala espacial (Wu y Loucks, 1995). En varios estudios ecológicos a escala de paisaje, estos parches, se han delimitado bajo diferentes criterios por ejemplo, de acuerdo a la composición de especies, condiciones ambientales, calidad de sitio e intervenciones antropogénicas (Vega y Peters, 2003).

Los pinos se encuentran entre los organismos genéticamente más diversos. Su sistema genético, que favorece la creación y recombinación de la variación genética, les ha permitido evolucionar en conjunto con los cambios ambientales, tanto espaciales como temporales, a los que han estado sometidos desde que iniciaron la divergencia de su forma ancestral hace poco más de 200 millones de años (Ledig, 1998). Sin embargo, esta diversidad se ha visto, sobre todo en los últimos años, seriamente amenazada, debido a la alta tasa de deforestación que se ha ido produciendo. Se estima que en México anualmente se deforestan alrededor de 212 mil hectáreas por diversas causas, entre ellas resaltan incendios forestales, cambios del uso de suelo, plagas y enfermedades y aprovechamiento ilegal (Hernández, 1997). Todo ello ha conllevado a que México —considerado como centro secundario de especiación de los pinos— ocupe el cuarto lugar a nivel mundial por presentar una elevada tasa anual de deforestación (Ledig, 1998).

Este aspecto cobra una connotación especial si se tiene en cuenta que gran parte de este rico patrimonio, constituido en muchos casos por poblaciones genéticamente únicas, se encuentra en serio peligro de extinción (Ledig, 1997). De acuerdo con este autor el 17% de las especies vegetales mexicanas se encuentra en peligro de extinción.

Los bosques de pino (*Pinus* spp.) típicos de la zona ecológica templada subhúmeda de México (Toledo y Ordoñez, 1993) poseen características florísticas y ecológicas especiales, asociadas con factores climáticos y edáficos. Debido a que se disponen en bandas altitudinales más o menos bien definidas (Ávila- Akerberg, 2002), los suelos, generalmente jóvenes, son resultado de manifestaciones volcánicas del Cuaternario, por lo cual carecen de perfiles y características bien limitadas (Ávila- Akerberg, 2002). Estas características muestran un patrón de distribución espacial

discontinuo análogo a un archipiélago (Vázquez-García, 1993; Rzedowski, 1978). Las perturbaciones ocasionadas por el vulcanismo características de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) en el pasado geológico generaron una enorme heterogeneidad de hábitats que probablemente facilitó la especiación y la hibridación de especies (Challenger, 1998; Sánchez-González *et al.*, 2006).

Algunos estudios de Velázquez y Cleef (1993) en varias zonas de la FVT concluyen que la composición y distribución de las comunidades vegetales de estas regiones difieren sustancialmente como un reflejo de las condiciones ambientales distintas (*i.e.* historia geológica, altitud, tipos de suelo y actividades humanas). La composición de los bosques de pino de México varía considerablemente entre regiones e inclusive de un sitio a otro dentro de cada región (Challenger, 1998). Por lo tanto, es importante conocer los factores ambientales asociados a los bosques de pino para generar estrategias dirigidas a su conservación.

### **Bosque de *Pinus hartwegii***

*Pinus hartwegii* o pino de las alturas es perennifolio y se caracteriza por ser una especie típica de las zonas templadas de México. Esta especie forma masas puras de varias decenas de kilómetros cuadrados, especialmente en los volcanes más altos de la región central, donde ya no prosperan otras especies de *Pinus*. Se ubica entre los 16° 20' a 25° 03' de latitud norte y 92° 20' a 103° 55' de longitud oeste. La altitud en la que se encuentra en su hábitat natural varía entre los 3,000 y 4,000 m (Eguiluz, 1978, 1985<sup>a</sup>, 1985<sup>b</sup>; Rzedowski, 1983; Solórzano, 1987). Probablemente sea la especie de pino que alcanza las más grandes alturas en los bosques de México (Eguiluz, 1978; Hernández, 1985; Solórzano, 1987).

*Pinus hartwegii* es un árbol de 15 a 30 m de altura, a veces más; de corteza agrietada, color pardo rojizo; con ramas extendidas y colocadas irregularmente, ramillas muy ásperas, de color moreno rojizo o algo grisáceas con las bases de las brácteas largas y fuertes, a veces agudas y salientes que con frecuencia se descaman como en *Pinus montezumae* (Martínez, 1998; Eguiluz, 1985a, Solórzano, 1987).

Si bien el pino de las alturas se encuentra en masas puras, también se asocia en masas mixtas con *Pinus rudis*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Abies*

*religiosa*, *Alnus firmifolia*. En el estrato arbustivo de los bosques de *Pinus hartwegii* se encuentran las especies: *Lupinus elegans*, *L. montanus*, *Penstemon gentianoides*, *Senecio cinerarioides* y *S. sinautus* y en el herbáceo, son frecuentes: *Acaena elongata*, *Achillea millefolium*, *Agrostis stolonifera*, *Bromus catharticus*, *Bryum procerum*, *Cinna poaformis*, *Cirsium jorullense*, *C. nivale*, *Festuca tolucensis*, *Hymenoxys integrifolia*, *Stipa ichu*, *Muhlenbergia macrocura*, *Poa conglomerata*, *P. annu* y *Plantago major* (Susano, 1981; Rzedowski, 1983; Santillán, 1991).

### **Unidades de Paisaje**

De acuerdo con la Ecología del Paisaje la unidad de paisaje representa espacialmente y de manera integral y sintética los componentes biofísicos y antrópicos del territorio y permite la diferenciación espacial y la caracterización de áreas con ciertos patrones de similitud estructural y dinámica (Pérez-Chacón, 2002). Estas unidades son dinámicas en el sentido de que se pueden manejar hacia atrás o hacia delante en el tiempo.

Para la obtención de las unidades del paisaje, se consideran los criterios ecológicos (un manchón de tipo de vegetación determinado) y geomorfológicos (por ejemplo una ladera o un cuerpo de agua); éstas son porciones de límites naturales, donde los componentes abióticos y bióticos, forman un conjunto de interrelación e interdependencia en sus características ecológicas y culturales que, jerárquicamente se pueden referenciar o asociar en distintas escalas de observación (Zonneveld, 1999).

Lo anterior permite obtener la determinación de formas operativas de conjuntos de la naturaleza en las que se identifiquen directrices adecuadas al manejo sustentable a modo de hacer compatible la influencia del paisaje sobre aspectos de producción de recursos, conservación de la biodiversidad y aspectos de la calidad visual de éste (Sánchez, 1996). Desde un punto de vista práctico la unidad de paisaje, es una herramienta básica de integración de la información territorial y, al mismo tiempo, una trama de referencia espacial para analizar los elementos, la organización y el funcionamiento de los paisajes (Pérez-Chacón, 2002). Obviamente las microvariaciones al interior de la unidad pueden ocurrir, como cambios continuos o discretos en el espacio (Velázquez y Bocco, 2003).

Al trabajar con áreas muy extensas difícilmente se tiene la oportunidad de hacer estudios de campo particulares, profundos y prolongados, sobre las interacciones de las formas de vida presentes con su medio natural y con el entorno humano (Kilpatrick, 1995; Sánchez, 1996). De ahí radica la importancia del uso de las unidades de paisaje, puesto que de esta manera es más viable conocer los rasgos de la biodiversidad local y adquirir la mayor cantidad y calidad posible de información indicativa sobre la región (Hammond *et al.*, 1995).

### **Estado de conservación por unidad de paisaje**

El estado de conservación es una medida de la probabilidad de que una o varias especies siga existiendo en el presente o en el futuro cercano, en vista no sólo del volumen de la población actual, sino también de las tendencias mostradas a lo largo del tiempo, de la existencia de predadores y otras amenazas, así como de las modificaciones en su hábitat. El mantenimiento de los diferentes ecosistemas brindan el beneficio y la sostenibilidad de las generaciones futuras (Williams-Linera, 2007). La conservación de los bosques templados es imprescindible para mantener, planificar y mejorar las áreas forestales (Redford, 1992).

La delimitación de las unidades de paisaje es útil para realizar el reconocimiento general del estado de conservación del sitio. Este puede efectuarse por medio de la interpretación de las imágenes de satélite, fotografías aéreas, además del reconocimiento en campo para poder evaluar la magnitud o el grado de perturbación provocados por actividades humanas y ubicar su cercanía a los asentamientos humanos (García, 1998). Con este método es posible realizar un diagnóstico preliminar de las zonas que necesitan atención prioritaria (Kilpatrick, 1995; Sánchez-González y López-Mata, 2003).

### **Indicadores de perturbación de un bosque**

Los indicadores de perturbación son los tomadores de decisiones y requieren de información oportuna, precisa y fiable acerca del medio ambiente y desarrollo sustentable (Hammond *et al.*, 1995). Al identificar los indicadores de perturbación de los ecosistemas de diferentes escalas espacio-temporales y en distintos niveles jerárquicos se permite desarrollar estrategias de manejo y conservación, que se refieren a la habilidad y capacidad de resistir los cambios abióticos y bióticos que

ocurren después de los disturbios de origen natural o antropogénico (Bellwood *et al.*, 2004). Esta capacidad de recuperación es determinada por variables específicas asociadas a la composición de plantas, productividad, biomasa, acumulación de nutrientes en el suelo y la diversidad ecológica (Pimm, 1999).

Se consideran bosques templados bien conservados, cuando los ambientes permiten que los factores abióticos y bióticos originarios prosperen de forma natural y en donde es baja la densidad de población humana (Walter, 1999). Sin embargo esta situación favorable para los seres vivos nativos está desapareciendo y se ha incrementado el deterioro de los ecosistemas, debido a la deforestación, pérdida de hábitat y fragmentación, plagas, contaminación de agua y aire, entre otros (Prakasch, 2010).

Todos los bosques templados de México están perturbados por las acciones destructivas humanas (Klink, 1993). De acuerdo a Price (2004), se ha demostrado que los ecosistemas son dinámicos y que las perturbaciones son parte de los procesos naturales y el motor de la sucesión. Desde la perspectiva del manejo de recursos naturales, considerando integralmente los aspectos de conservación y restauración, es importante entender la respuesta de los ecosistemas a las perturbaciones (Allen y Hockstra, 1991).

De manera particular para los bosques templados, se puede señalar que los indicadores de perturbación cumplen con los objetivos de evaluar y monitorear el estado del ambiente (estructura y composición), medir tendencias y cambios (altura y cobertura), advertir sobre posibles riesgos ambientales, calcular actuaciones de los mecanismos de regulación y planificación, compatibilizar informaciones y resultados de diferentes niveles territoriales, definir prioridades en la asignación de recursos y colaborar en la coordinación de la gestión ambiental con la planificación del desarrollo económico y social, todo ello con transparencia, confiabilidad y economía (Dourojeanni, 1999).

### **Planteamiento del problema**

En la actualidad, la Cuenca del río Magdalena (CRM) sufre una drástica alteración y una reducción en su superficie original (Toledo y Ordoñez, 1993;

Challenger, 1998). La degradación ecológica ha afectado a los bosques de coníferas debido a un aprovechamiento irracional o a cambios en el uso de la tierra, presentando fuertes daños en su estructura y afectaciones en su dinámica (Challenger, 1998). Ante esta situación, es necesario fomentar la conservación de estos ecosistemas, en especial donde su permanencia es importante para preservar el equilibrio ecológico.

Las decisiones sobre estrategias de conservación frecuentemente se toman en condiciones de información (biológica) limitada y, además bajo presiones de tiempo. Al generar la información biológica necesaria para este fin, el estudio de la diversidad biológica y los factores que la alteran o mantienen, se convierten en un punto central (Monroy-Vilchis, 2003). Con el fin de organizar y facilitar su estudio, se puede considerar diferentes niveles de ordenación como lo son: a) paisajes o ecosistemas; b) asociaciones o comunidades; c) especies; d) poblaciones y e) genes. Esta clasificación es esencialmente espacial, aunque se debe considerar que los sistemas biológicos son dinámicos tanto en espacio como en tiempo (Soulé, 1991).

La zona cubierta por bosque de pino de la CRM posee una alta heterogeneidad ambiental a escala de paisaje; aunado a esto, es un sitio constantemente expuesto a disturbios naturales y antropogénicos, lo que ha traído como consecuencia que se presenten diferencias en la composición y la estructura del estrato arbóreo y herbáceo (Almeida *et. al*, 2007). La comunidad vegetal de *Pinus hartwegii* (1,014 ha) se encuentra en la parte más alta de la CRM, presenta un almacén total de carbono de 44,564 toneladas (tC) y un promedio de 44 tC/ha y una provisión de agua de 8,199,360 m<sup>3</sup> (Almeida *et. al*, 2007) (Figura 1).



**Figura 1.** *Pinus hartwegii* en la Cuenca del río Magdalena.

La comunidad del bosque de *Pinus hartwegii* en la CRM no ha sido anteriormente descrita en términos de su estructura y su composición además de que aún no se tiene conocimiento de los factores que determinan su diversidad biológica a diferentes escalas espaciales.

Debido al deterioro e importancia de la CRM (Almeida *et. al*, 2007), es importante estudiar la comunidad de *Pinus hartwegii* en función de los factores abióticos más relevantes en relación con su composición y estructura, además de determinar su grado de conservación, para tener un estudio descriptivo de la zona que pueda servir como base para programas de manejo, conservación y restauración. Para realizar proyectos de manejo y conservación, es necesario identificar los atributos que puedan reflejar, en gran medida su estado, además de la elaboración de criterios para la caracterización ambiental, promoviendo y manteniendo la diversidad a diferentes escalas (Usher, 1996). Desde hace tiempo, se ha comprobado que la heterogeneidad ambiental determina la distribución de recursos (Noss, 1993) y, por ende, la composición de especies y su abundancia.

El sistema de referencia del presente trabajo se llevó acabo a partir de la revisión bibliográfica de distintos estudios de caso de bosques de pino en México entre los años 1990 y 2012 con el fin de comparar resultados y determinar la situación actual en el bosque de *Pinus hartwegii* en la CRM.

El propósito de este estudio es caracterizar la comunidad de *Pinus hartwegii* en la CRM para poder planear las medidas necesarias de preservación, tales como un plan de manejo, puesto que la protección de los bosques de la CRM es indispensable para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de la calidad ambiental, principalmente del aire y el agua de la Ciudad de México.

## **II. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar la composición y estructura en los estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, para determinar el estado de conservación del bosque de *Pinus hartwegii*.

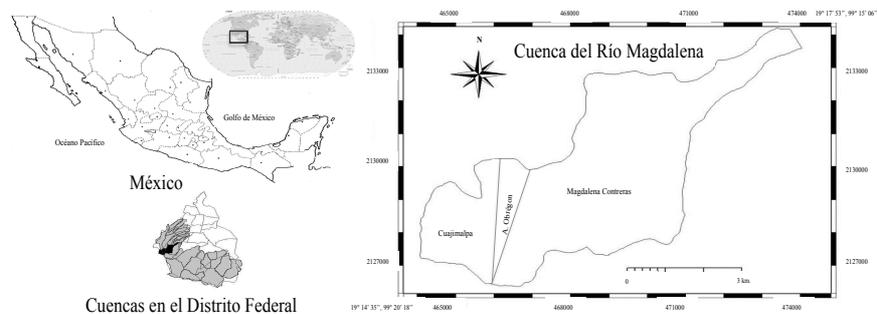
### **Objetivos particulares**

- Delimitar la unidad de paisaje del bosque de *Pinus hartwegii*, que refleje la heterogeneidad ambiental existente en la zona.
- Caracterizar la estructura biótica de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo de la unidad de paisaje del bosque de *Pinus hartwegii*, a través de una escala fina (de parcela y subparcela).
- Caracterizar el ambiente físico de acuerdo a la estructura cuantitativa y cualitativa del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo a nivel de parcela.
- Evaluar el estado de conservación de la unidad de paisaje con respecto al estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo, así como algunos indicadores de perturbación para elaborar una propuesta de manejo en zonas prioritarias que sirva como base para futuros proyectos de conservación y restauración.

### III. Plan de Trabajo/Materiales y Métodos:

#### Área de estudio

La CRM se localiza en la Sierra de las Cruces dentro de la Faja Volcánica Transmexicana en el límite suroeste del Distrito Federal dentro de la cuenca del Valle de México entre las coordenadas geográficas  $19^{\circ} 13' 53''$  y  $19^{\circ} 18' 12''$  N y  $99^{\circ} 14' 50''$  y  $99^{\circ} 20' 30''$  W (Álvarez, 2000). Presenta un relieve montañoso que va de los 2,470 msnm en el noreste a los 3,850 msnm al suroeste (Álvarez, 2000; Ontiveros, 1990). Se localiza en el límite sur-occidental del Distrito Federal y abarca parte de las delegaciones políticas Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, mientras que en el Estado de México abarca la región este del municipio de Ocoyoacac (Figura 2). La extensión total del área es de aproximadamente 2,925 ha (Ávila-Akerberg, 2002).



**Figura 2.** Localización de la Cuenca del río Magdalena, México D.F.

El río Magdalena tiene una longitud total de 21.6 km de los cuales 13 km recorren los bosques de la cuenca alta (Figura 3). El río penetra la zona urbana hasta llegar a la presa Anzaldo, con un recorrido de 4 km. A partir de esta presa el río Magdalena es entubado y dirigido hacia el río Churubusco que también está entubado, en un trayecto de 2 km. Las aguas continúan su recorrido por el gran canal de desagüe, para salir de la Cuenca de México a través de los túneles artificiales de Tequisquiác, donde llega a la Cuenca del río Tula (Álvarez, 2000).



**Figura 3.** Cauce del río Magdalena.

El río Magdalena nace en las estribaciones de los cerros Palma, San Miguel, Cochinos, Coconetla entre los más importantes, a una elevación aproximada de 3,650 msnm, tiene un curso en dirección noreste y un cauce de una longitud aproximada de 21,600 m (Álvarez, 2000). Debido al gradiente altitudinal existen dos tipos de clima, según la clasificación climática de García (1998), en la parte urbana y hasta los 3,050 msnm se presenta el clima templado subhúmedo y en la parte más alta entre los 3,100 a los 3,800 msnm se presenta el clima semifrío.

Los suelos son principalmente Andosoles, ricos en vidrios volcánicos, generalmente ácidos. Éstos fijan fosfatos y son muy susceptibles a la erosión hídrica y eólica que forman cárcavas y barrancos profundos. Los subtipos encontrados son húmico y ócrico y en algunos casos mezclas con litosoles y con feozem de los subtipos háplico y lúvico (Álvarez, 2000).

### **Situación de la zona de protección forestal**

Entre 1936 y 1939, durante el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas, la mayoría de las áreas verdes del país se decretaron Parques Nacionales y Áreas Protegidas de la Cuenca de México. En 1987, las aguas del río Magdalena fueron concedidas a la compañía de Ángel Sánchez, quién construyó los cuatro Dinamos con el fin de aprovechar el torrente del río para la generación de electricidad (DOF, 1932).

Dentro de la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales, existe la categoría de Zona de Protección Forestal, que según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en su artículo 53 son aquellas zonas destinadas a la conservación, protección y restauración suelos, cuencas hidrográficas, vegetación, fauna y en general, todos los recursos naturales existentes dentro de ellas. La CRM fue decretada como la Zona de Protección Forestal de la Cañada de Contreras el 27 de junio de 1932 con una extensión de 3,100 ha aproximadamente (DOF, 1932). Por otro lado, no está bien definido a qué órgano compete su administración ya que el decreto se llevó a cabo a nivel federal, pero actualmente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), específicamente el Instituto Nacional de Ecología, no la contempla dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

## Selección de sitios

Se realizó la revisión bibliográfica y cartográfica de la zona. Se eligió una unidad de paisaje (1,250 m<sup>2</sup>) que había sido georeferenciada anteriormente para el proyecto “Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México” (PMMIAS) (2008 - presente), bajo la responsabilidad de la Dra. Silvia Castillo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Autónoma de México (U.N.A.M.) localizada entre las coordenadas UTM 465000 SO y 2128530 NE. El proyecto tiene como objetivo final realizar una planeación urbana dirigida a la rehabilitación y la restauración de los ríos urbanos en la Ciudad de México, ya que en toda la Cuenca de México se encuentran aproximadamente 51 ríos, los cuales están sumamente contaminados en el área urbana. La rehabilitación de uno podría ser el comienzo de varias iniciativas similares en la región.

## Caracterización del bosque

### a) Estrato arbóreo

Para analizar sus atributos poblacionales y distribución espacial en el bosque constituido por solo una especie, *Pinus hartwegii*, se seleccionaron 5 parcelas de 25 x 25 m (Figura 4, parcelas A, B, C, D, y E). Dentro de cada parcela se registraron a todos los individuos y se les midió la altura, cobertura, densidad (ind ha<sup>-1</sup>) y el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap). El dap se transformó a área basal (m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>) mediante la siguiente fórmula:

$$AB = \pi \frac{dap^2}{4}$$

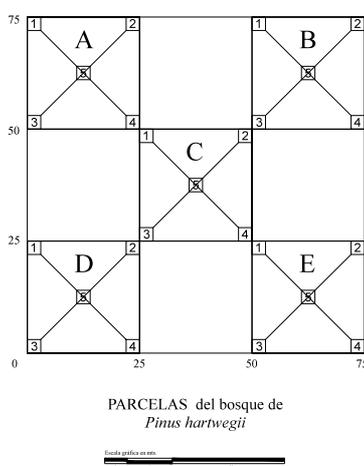
donde  $\pi = 3.1416$

Con el fin de hacer más evidentes los gradientes de tamaño en cuanto al área basal, se elaboraron gráficos organizados en 7 categorías, en donde los intervalos por categoría son de 300 unidades comenzando desde 0. Se obtuvieron las clases diamétricas e igualmente se hicieron gráficos representativos que se organizaron en 4 categorías, en donde los intervalos son de 30 unidades comenzando desde 0. Cabe señalar que para este rubro solo se consideraron los individuos adultos, es decir, que su altura fuera mayor a 3 metros, dado que son individuos referentes del sotobosque.

Se analizó la distribución espacial de la vegetación arbórea con la intención de determinar el arreglo natural de los individuos de la comunidad de *Pinus hartwegii*. Esto se hizo en campo mediante el registro y marcación de cada individuo en un sistema de coordenadas cartesianas, es decir, la posición en metros en la que se presenta cada individuo en el eje de las “x” y en el eje de las “y” en cada una de las parcelas. Posteriormente se elaboraron mapas ilustrativos en AUTOCAD 2002 de la disposición y dap de cada organismo. Con el número de individuos se determinó la abundancia de las especies arbóreas encontradas y se construyeron gráficas de su cobertura por parcela.

### b) Estrato arbustivo y herbáceo

Dentro de cada parcela se establecieron 5 subparcelas de 3 x 3 m (Figura 4, subparcelas 1, 2, 3, 4 y 5). Se identificaron a las especies y a cada individuo se le midió la altura y cobertura y posteriormente se registró la densidad de cada especie ( $\text{ind ha}^{-1}$ ).



**Figura 4.** Representación de la distribución espacial de la zona de estudio para el estrato arbóreo son las parcelas: A, B, C, D y E y para los estratos arbustivo y herbáceo son las subparcelas: 1, 2, 3, 4 y 5.

### c) Valor de importancia relativo

Para estimar el valor de importancia de los arbustos e hierbas, se estimó, además de la cobertura y la densidad, la frecuencia de aparición de cada individuo de todas las

especies en las parcelas de muestreo. Con estas variables se calculó el valor de importancia relativo (VIR) para todas las especies del estrato arbustivo y herbáceo del bosque empleando la fórmula:

$$VIR = \frac{CR + DR + FR}{3}$$

donde, CR es la cobertura relativa, DR es la densidad relativa, FR es la frecuencia relativa de cada especie. El valor de importancia relativa es una medida para asignar a cada especie su categoría de importancia en la comunidad (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Kent y Coker, 1992).

#### **d) Composición florística**

Para determinar la composición florística del bosque de *Pinus hartwegii* se colectaron y procesaron muestras de los organismos encontrados en campo. La identificación de las especies se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología y Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, con la ayuda de las claves taxonómicas para la flora del Valle de México de Rzedowski y Calderón (2005). Asimismo, se revisaron ejemplares colectados previamente en la zona de estudio y que forman parte de un microherbario perteneciente al grupo de Dinámica de Comunidades de la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M.. Finalmente, se elaboró un listado de la flora presente en los sitios muestreados y un catálogo floral descriptivo en versión física y digital que servirá de apoyo para futuras investigaciones del PMMIAS.

### **Caracterización ambiental**

#### **a) Ubicación de la unidad de paisaje y aspectos geomorfológicos**

Mediante el sistema de posicionamiento global (Garmin GPS 60) se registraron las coordenadas UTM de las 5 parcelas, así como la orientación de su ladera (longitud y latitud) y la altitud. La pendiente del terreno se determinó mediante un clinómetro.

#### **b) Temperatura**

El muestreo fue llevado a cabo en cuatro días, 30 y 31 de noviembre y 1 y 2 de octubre de 2013. Se colocaron 2 termómetros durante 1 hora diaria, el primero a 1 m

de altura del suelo (temperatura ambiente) y el segundo a 20 cm de profundidad del suelo (temperatura del suelo). Con los datos resultantes en °C se generaron promedios y se obtuvieron valores máximos y mínimos de temperatura.

### c) Estimación de la heterogeneidad ambiental

Una medida para estimar la heterogeneidad ambiental es el Coeficiente de Variación (CV) el cual se calculó para cada una de las variables ambientales, tales como 1) altitud, 2) pendiente, 3) temperatura ambiente y 4) temperatura del suelo. Este valor sirve para comparar las variabilidades de los resultados obtenidos.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Este coeficiente toma en cuenta la proporción existente entre la media ( $\bar{x}$ ) y la desviación estándar (S) (Stewart et. al., 2000; Terradas, 2001). Se calcularon los valores mínimo, máximo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de cada variable ambiental para las 5 parcelas del bosque de *Pinus hartwegii*.

### d) Suelo

Para el muestreo de suelo, llevado a cabo en el mes de octubre de 2013, se tomaron 3 muestras de cada parcela (15 en total) a 20 cm de profundidad. Para secarlas se colocaron en bolsas de plástico abiertas a temperatura ambiente (18-25 °C) durante 1 mes. Una vez secas y con el fin de tener un muestreo más uniforme se mezclaron las 3 muestras de cada parcela para hacer una sola muestra de cada parcela, teniendo en total 5 muestras. Se realizó el análisis de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica, además de nitrógeno, fósforo y potasio en el Laboratorio de Suelos del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

### e) Incidencia lumínica

Se tomaron un total de 5 fotografías en la unidad de paisaje, 1 por parcela con una cámara Coolpix 900 (Nikon) y un equipo estabilizador WinScanopy colocados horizontalmente a una altura de 60 cm del suelo, siempre orientadas hacia el norte y se modificó directamente con comandos de dibujo en el programa Photoshop CS4 versión 11.0, siempre comparando con la fotografía original, con el propósito de

obtener una imagen representativa de ésta en blanco y negro. El software empleado para el procesamiento fue Gap Light Analyzer (GLA) Versión 2.0 el cual es un programa para la obtención de la estructura del dosel y los índices de transmisión de luz a partir de fotografías hemisféricas.

Entre los parámetros que analiza el software que se utilizó y que se tomaron para este estudio se encuentran, 1) apertura del dosel (proporción de cielo visible en una región específica del dosel sobre el lente, que no se encuentra obstruida por la vegetación), 2) el índice de área foliar (IAF; el área foliar total por unidad de terreno) integrado sobre el cenit considerado un ángulo entre 0 a 75°, y 3) la radiación directa, difusa y total (o global) transmitida (la radiación directa y la difusa son la cantidad de radiación solar directa o difusa, respectivamente, transmitidas por el dosel y el relieve). La radiación total es la suma de la radiación directa más la difusa (Frazer *et al.*, 1999; Régent Instruments Inc., 2002).

### **Estado de conservación e indicadores de deterioro**

Basándose en las anteriores consideraciones, y en el estudio de Navarro (1997 y 2002) y Navarro y Ferreira (2007), la metodología que se propone para el diagnóstico del estado de conservación y el deterioro de los bosques templados, consiste en la aplicación sucesiva de tres indicadores fundamentales, los cuales se explican y valoran a continuación.

#### Indicador 1. Reducción en la extensión original del bosque

- Pérdida de superficies de bosque (cobertura forestal) y su sustitución por otros tipos de cobertura de suelo.

#### Indicador 2. Degradación del bosque

- Cambios en la composición y estructura del dosel forestal con respecto al bosque original.
- Cambios en la composición y estructura del estrato arbustivo y herbáceo: con respecto al bosque original a nivel sotobosque.
- Presencia de señales de impacto antropogénico: caminos y extracción de árboles.

### Indicador 3. Especies

- Cambios en la composición florística: pérdida o sustitución de especies características propias del bosque natural poco o nada degradado y aparición de especies invasoras.

### **Elaboración de propuesta de manejo y análisis del estado de conservación**

Finalmente, para realizar la propuesta de manejo y determinar el estado de conservación del bosque de *Pinus hartwegii*, se tomaron en cuenta tanto los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos en el campo y en el laboratorio, así como la historia de manejo de la zona. Para documentar la historia de manejo de la zona de estudio y su desarrollo a través de los años, se realizó una búsqueda bibliográfica de estudios previos en la zona y en los bosques templados de México.

#### IV. Desarrollo del Trabajo y Resultados

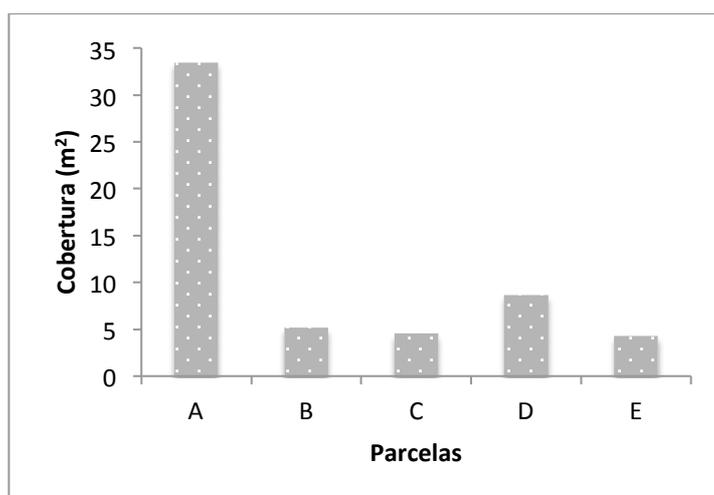
##### Composición y estructura del bosque de *Pinus hartwegii*

###### a) Estrato arbóreo

En la unidad de paisaje se encontró una sola especie arbórea, por lo cual se determinó que se trataba de un bosque monoespecífico de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena. Las coordenadas espaciales registradas mediante la medición de la vegetación arbórea en campo, proporcionan un análisis de la distribución espacial de la vegetación del bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM. Para facilitar la apreciación visual del análisis se realizaron a escala mapas de cada parcela con la ayuda del programa AUTOCAD 2002, dichos diagramas se encuentran en el Anexo 1.

A partir de las mediciones en campo, se obtuvo que el individuo con mayor altura se encuentra en la parcela C con 48 m y los de menor altura en las parcelas B, D y E con 3 m. En cuanto al diámetro a la altura del pecho (dap), el individuo más grande, se encontró en la parcela D con 250 cm, mientras que el de menor dap se presentó en la parcela B con 10 cm.

La parcela que presentó la mayor cobertura de los individuos de *Pinus hartwegii* fue la A con 31.79 m<sup>2</sup> y la C con 5.52 m<sup>2</sup> fue la de menor cobertura (Figura 5).



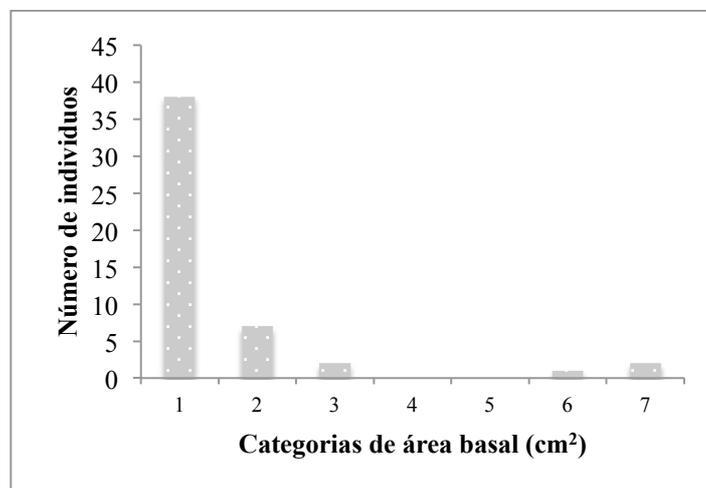
**Figura 5.** Cobertura de *Pinus hartwegii* en las parcelas de muestreo.

Con respecto al área basal, se encontraron 157 individuos, de los cuales 134 se encuentran en las primeras categorías (Figura 6, parcelas A-E), lo que corresponde al 85.35% del total de individuos. (Figura 6). La parcela A es la que contiene el mayor número de individuos en las categorías de tamaño de la Tabla 1 y las menores están presentes en la parcela E.

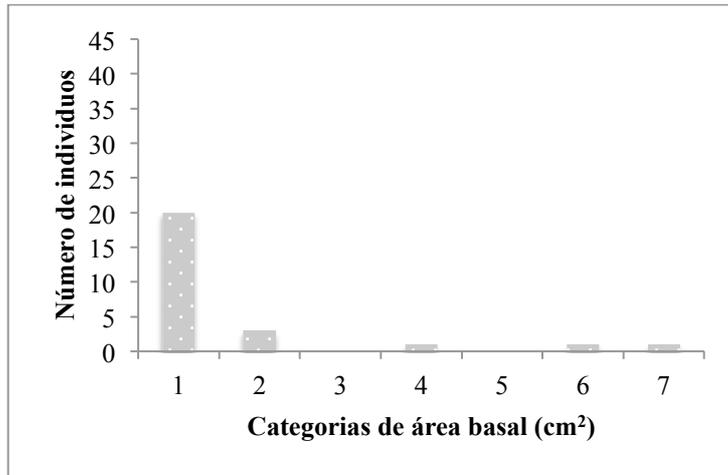
**Tabla 1.** Categorías e intervalos del área basal de *Pinus hartwegii*.

Área basal (cm <sup>2</sup> )	
Categorías	Intervalos
1	0 - 300
2	301 - 600
3	601 - 900
4	901 - 1200
5	1201 - 1500
6	1501 - 1800
7	>1801

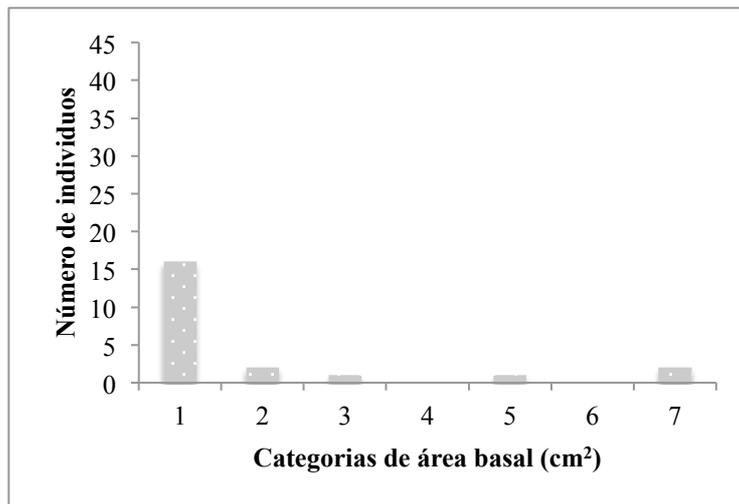
Parcela A



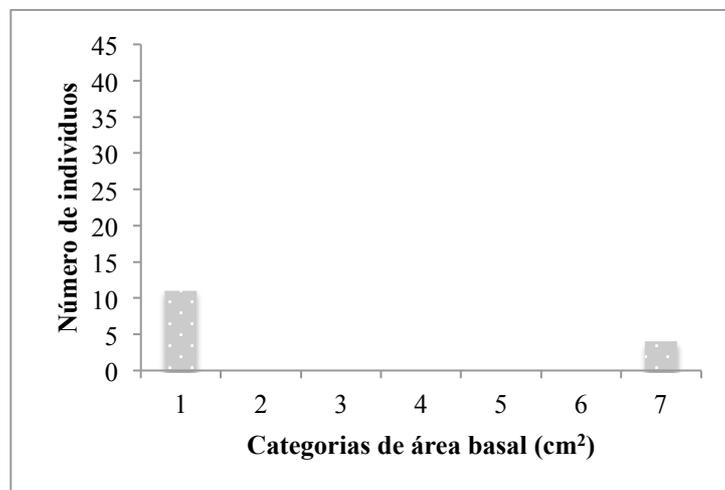
Parcela B



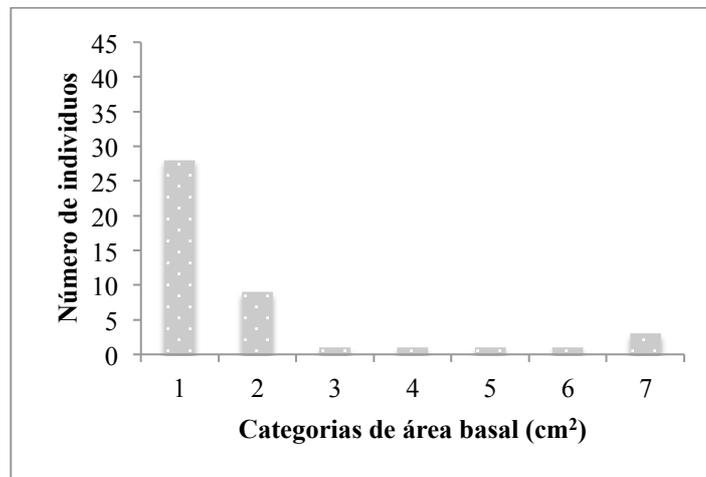
Parcela C



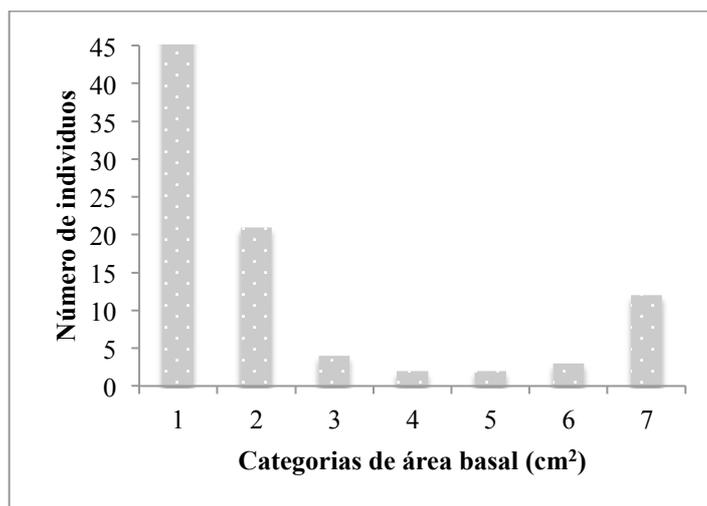
Parcela D



Parcela E



Parcelas A-E

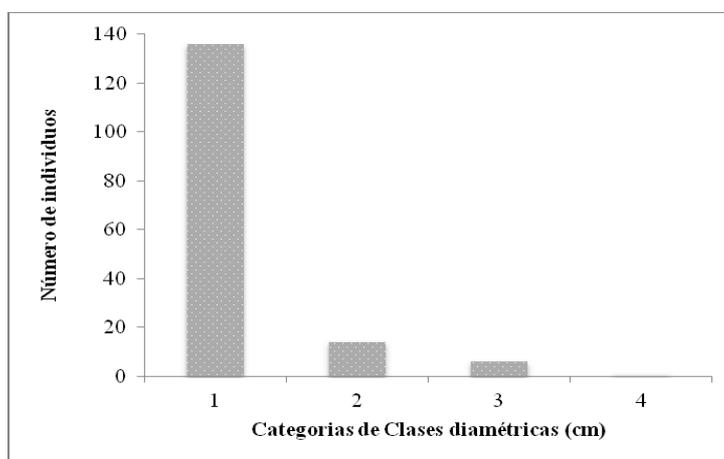


**Figura 6.** Área basal de *Pinus hartwegii* por parcela (A, B, C, D y E) en la unidad de paisaje.

De acuerdo con las mediciones de clases diamétricas, se obtuvo que la categoría con mayor abundancia se encuentra en la 1, que pertenece a los intervalos de 0 a 30 cm y la menor es la categoría 4 con intervalos de 91 a 120 cm (Tabla 2 y Figura 7).

**Tabla 2.** Categorías e intervalos de clases diamétricas de *Pinus hartwegii*.

Clases diamétricas (cm)	
Categorías	Intervalos
1	0 - 30
2	31 - 60
3	61 - 90
4	91 - 120



**Figura 7.** Clases diamétricas de *Pinus hartwegii* en la unidad de paisaje.

#### b) Estrato arbustivo y herbáceo

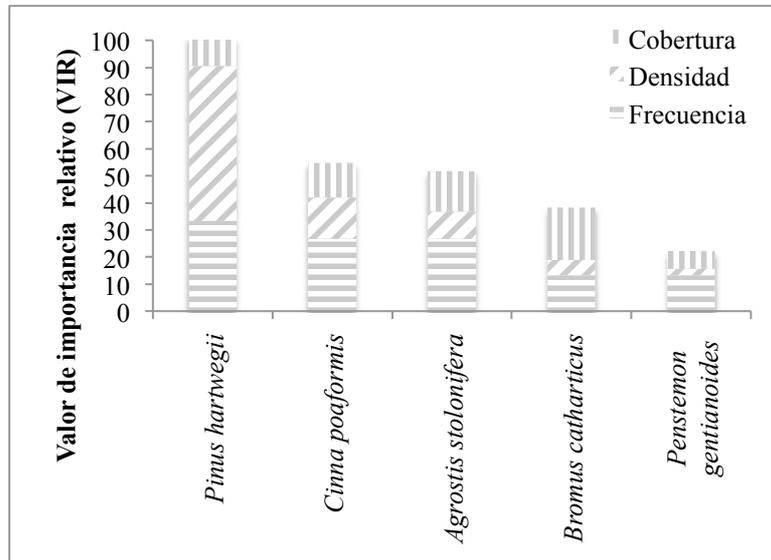
En la unidad de paisaje, se encontró que la especie con mayor altura fue *Bromus catharticus* con 71.54 cm y *Plantago major* fue la menor con 6 cm. De la misma manera, la mayor cobertura perteneció a *Bromus catharticus* (17.17 cm<sup>2</sup>) y la menor a *Plantago major* (1.17 cm<sup>2</sup>).

#### c) Valor de importancia relativo

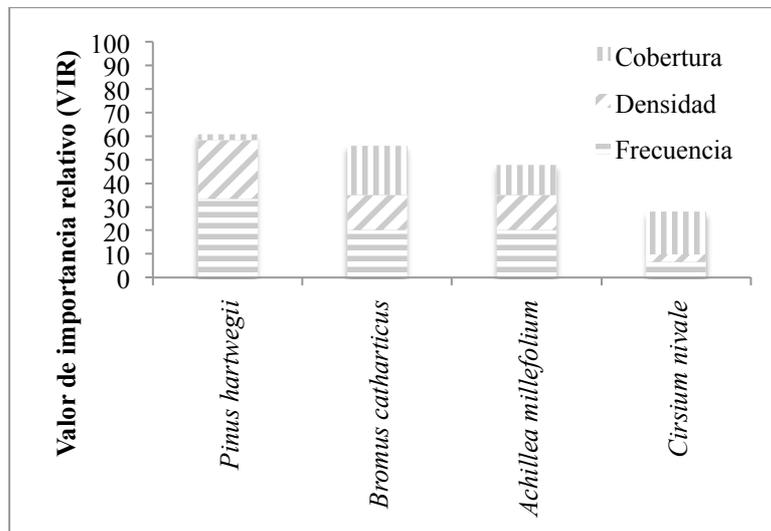
De acuerdo con los valores de importancia relativos (VIR) de los estratos arbustivo y herbáceo (Figura 8 A-E), *Bromus catharticus* fue la especie más importante en las parcelas B y D, el segundo lugar de importancia en las parcelas C y E y el tercero en la parcela A, por tanto en las 5 parcelas el valor más alto se encuentra representado por dicha especie con un VIR= 26.08. El valor más bajo fue ocupado por *Plantago major* (VIR= 1.94) en las cinco parcelas de muestreo.

Por otra parte, en el estrato arbóreo *Pinus hartwegii* está presente en las cinco parcelas de muestreo. El VIR más alto fue en la parcela A, seguido de la parcela E y finalmente por las parcelas B, C y D (Figura 8 A-E).

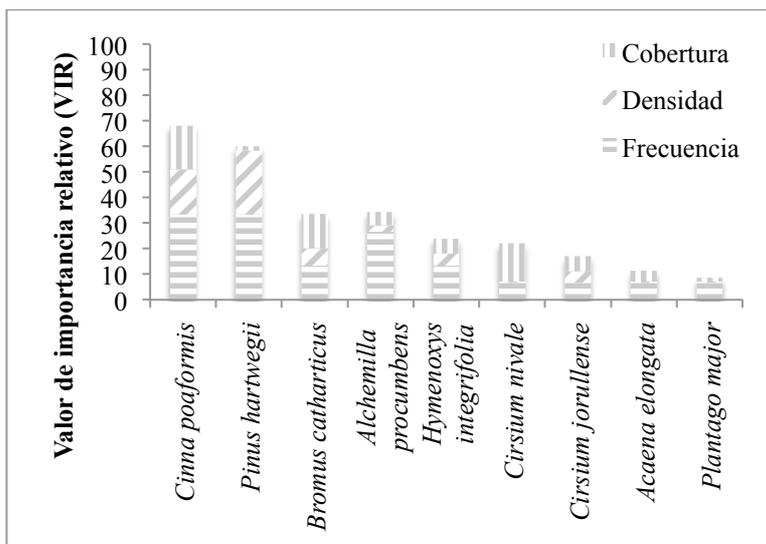
Parcela A



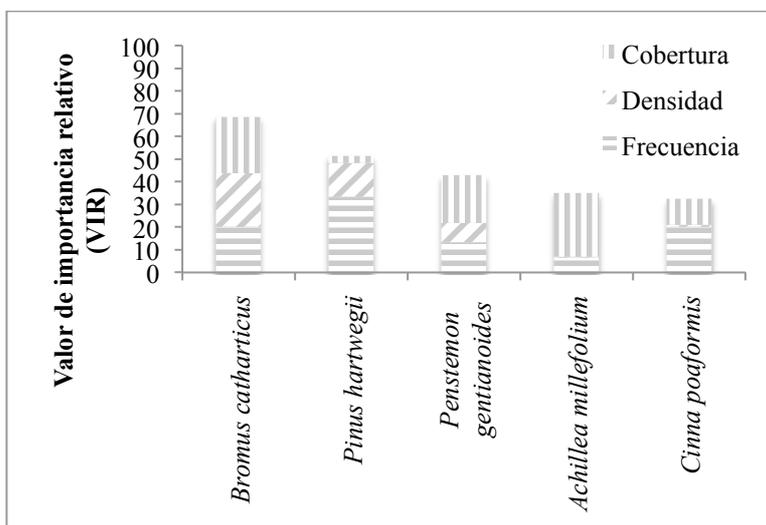
Parcela B



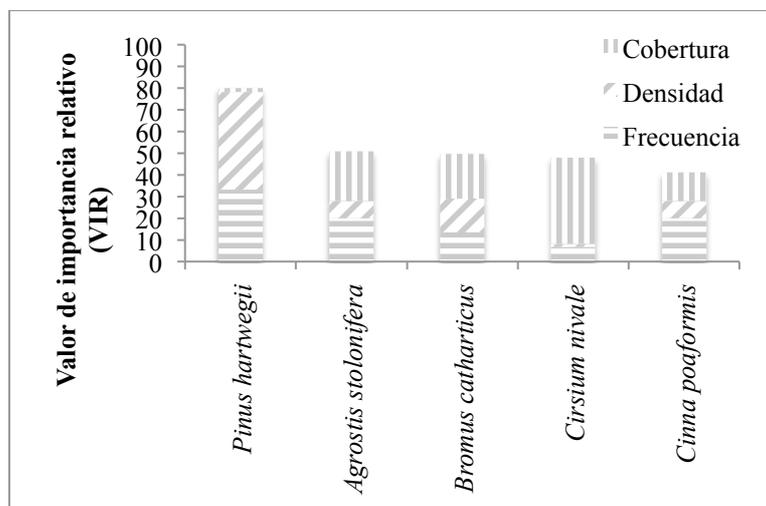
### Parcela C



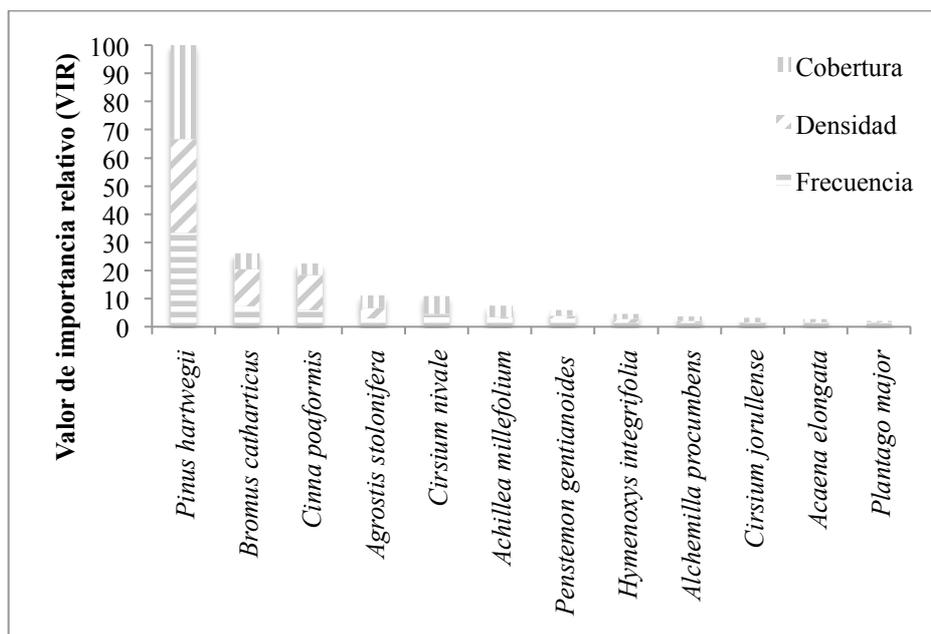
### Parcela D



### Parcela E



### Parcelas A-E



**Figura 8.** Valores de importancia relativa por parcela (A, B, C, D y E) en el sitio de muestreo correspondientes a los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo en la unidad de paisaje.

#### d) Composición florística

Se reconoció una flora que comprende 12 especies, distribuidas en 7 familias y 11 géneros. La familia más representativa es Poaceae con 3 especies, seguida por Asteraceae, Compositae y Rosaceae con 2 especies cada una, Scrophulariaceae, Pinaceae y Plantaginaceae representadas con 1 especie. Respecto a las formas de vida de los organismos, se tienen 1 especie arbórea, 1 especie arbustiva y 10 especies herbáceas.

Con la colección de especies vegetales mostradas en la Tabla 3 se elaboró un catálogo físico y digital, el primero permanecerá en el microherbario del grupo Dinámica de Comunidad de la Facultad de Ciencias de la UNAM y el segundo se puede consultar en el Anexo 2.

**Tabla 3.** Listado florístico del bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena.

	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Autor</b>	<b>Forma de vida</b>
<b>1</b>	Asteraceae	<i>Hymenoxys</i>	<i>integrifolia</i>	Kunth	Herbácea
<b>2</b>	Asteraceae	<i>Achillea</i>	<i>millefolium</i>	L. Watson	Herbácea
<b>3</b>	Compositae	<i>Cirsium</i>	<i>zorullense</i>	Kunth	Herbácea
<b>4</b>	Compositae	<i>Cirsium</i>	<i>nivale</i>	Kunth	Herbácea
<b>5</b>	Poaceae	<i>Agrostis</i>	<i>stolonifera</i>	L. Watson	Herbácea
<b>6</b>	Poaceae	<i>Bromus</i>	<i>catharticus</i>	Vahl.	Herbácea
<b>7</b>	Poaceae	<i>Cinna</i>	<i>poaformis</i>	Walt. Carol	Herbácea
<b>8</b>	Rosaceae	<i>Acaena</i>	<i>elongata</i>	L. Watson	Herbácea
<b>9</b>	Rosaceae	<i>Alchemilla</i>	<i>procumbens</i>	Rose	Herbácea
<b>10</b>	Scrophulariaceae	<i>Penstemon</i>	<i>gentianoides</i>	Kunth	Arbustiva
<b>11</b>	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>hartwegii</i>	Lindl.	Arbórea
<b>12</b>	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>major</i>	L. Watson	Herbácea

### Caracterización ambiental

#### f) Ubicación, aspectos geomorfológicos y heterogeneidad ambiental

Los sitios analizados del bosque presentan diferencias en la orientación de sus laderas, pendientes y el gradiente altitudinal (Tabla 4). Las cinco parcelas presentan pendientes que van desde 10° a 19.8° de inclinación ( $\bar{x} = 18.16^\circ$ , una desviación estándar de  $\pm 5.75^\circ$  y un coeficiente de variación de 31.65) y altitudes comprendidas de 3,600 a 3,789 m.

**Tabla 4.** Ubicación de las parcelas según el sistema de coordenadas UTM NAD-27 y aspectos geomorfológicos de los sitios de estudio.

<b>Parcela</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Orientación</b>	<b>Pendiente (°)</b>
<b>1</b>	465000	2130000	3789	SO	10
<b>2</b>	465500	2129000	3760	SE	18
<b>3</b>	464503	2128000	3700	SE	26
<b>4</b>	466000	2126500	3630	NO	17
<b>5</b>	465004	2128530	3600	NE	19.8

De acuerdo con el registro de la temperatura ambiental, la menor fue de 15.6°C y la mayor de 19.8°C ( $\bar{x} = 17.7^\circ\text{C}$ , desviación estándar de  $\pm 1.52^\circ\text{C}$  y coeficiente de variación de 8.57). La temperatura del suelo se encontraba entre los 8° y los 15.5° ( $\bar{x} = 12.56^\circ\text{C}$ , desviación estándar de  $\pm 3.2^\circ\text{C}$  y coeficiente de variación de 25.5).

#### a) Suelo

Como se observa en la Tabla 5 los parámetros difieren entre sí. El pH ( $\bar{x} = 5.2$ ) nos indica que son suelos moderadamente ácidos, ya que varían de 5.6 en la parcela A a 4.8 en la parcela B. En cuanto a la conductividad eléctrica (CE) ( $\bar{x} = 0.4$ ) se determinó que tiene una salinidad media, teniendo la más alta en 1.14 (parcela B) y la más baja en 0.11 (parcela C). Por otra parte la materia orgánica (M.O.) se encontró en niveles altos ( $\bar{x} = 30.8$ ) fluctuando de 41.5 el más elevado (parcela D) y el menor en 20.5 (parcela A). El contenido de nitrógeno promedio (N) ( $\bar{x} = 1.5$ ) es considerado moderado en promedio, teniendo a la parcela D con 2.08 con el mayor contenido y el menor en la parcela A con 1.03. El fósforo promedio (P) ( $\bar{x} = 1.5$ ) también es considerado como moderado, pues no hay variación en las parcelas B, C, D y E, la única que difiere es en la parcela A con un valor de 1 ppm. El último análisis es el del potasio (K) ( $\bar{x} = 0.5$ ) apreciado como bajo, con la medida más alta en la parcela B con 1.4 y la más baja con 0.2 en las parcelas C y D.

**Tabla 5.** Análisis del suelo de la unidad de paisaje del bosque *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena (pH=potencial de hidrógeno, CE= conductividad eléctrica (S/m = siemens por metro), M.O.= materia orgánica, N= nitrógeno, P= fósforo (ppm = partes por millón), K= potasio).

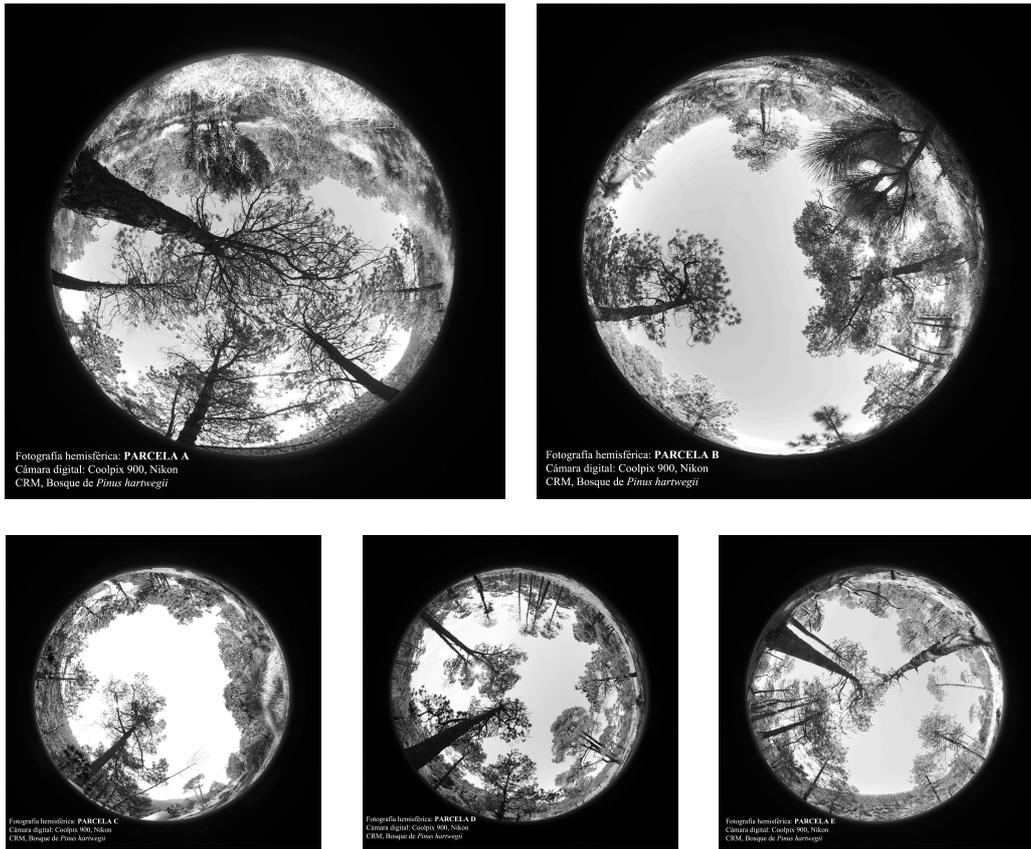
Parcela	pH	CE (S/m)	M.O. (%)	N (%)	P (ppm)	K (cmoles+Kg <sup>-1</sup> )
A	5.6	0.21	20.5	1.03	1	0.4
B	4.8	1.14	29.0	1.45	2	1.4
C	5.3	0.11	28.1	1.41	2	0.2
D	5.3	0.25	41.5	2.08	2	0.2
E	5.2	0.37	34.8	1.74	2	0.4
<b>Promedio</b>	<b>5.2</b>	<b>0.4</b>	<b>30.8</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>	<b>0.5</b>

## b) Incidencia lumínica

Los registros mostraron que la apertura del dosel es mayor en la parcela A (73.3%) comparada con la parcela B (70.1%) que fue la menor (Tabla 6). El índice de área foliar (IAF) mostró que la parcela E fue la mayor con  $0.19 \pm 0.18$  y las menores en las parcelas A, C y D con  $0.19 \pm 0.17$ . La mayor radiación directa, difusa y total fue en la parcela D ( $18.7 \pm 1.2$ ,  $16.3 \pm 1.1$  y  $35 \pm 2.3$ , respectivamente) y la menor en la parcela E ( $16.1 \pm 1.1$ ,  $15.9 \pm 1.1$  y  $32 \pm 2.2$ , respectivamente). De manera ilustrativa se pueden apreciar las fotografías hemisféricas de cada parcela en la Figura 9.

**Tabla 6.** Parámetros lumínicos de la unidad de paisaje del bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena.

Parcela	Apertura del dosel (%)	Índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ )	Radiación directa ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	Radiación difusa ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	Radiación total ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )
A	$73.3 \pm 10.5$	$0.19 \pm 0.17$	$16.9 \pm 1.3$	$15.9 \pm 1.3$	$32.8 \pm 2.6$
B	$70.1 \pm 11.2$	$0.18 \pm 0.18$	$17.7 \pm 1.2$	$16.2 \pm 1.6$	$33.9 \pm 2.8$
C	$70.6 \pm 9.7$	$0.19 \pm 0.17$	$18.2 \pm 1.1$	$15.7 \pm 1.2$	$33.9 \pm 2.3$
D	$71.1 \pm 9.9$	$0.19 \pm 0.17$	$18.7 \pm 1.2$	$16.3 \pm 1.1$	$35 \pm 2.3$
E	$73.2 \pm 10.3$	$0.19 \pm 0.18$	$16.1 \pm 1.1$	$15.9 \pm 1.1$	$32 \pm 2.2$



**Figura 9.** Fotografías hemisféricas por parcela en la unidad de paisaje del bosque de *Pinus hartwegii*

## V. Discusión

### Análisis de la composición y estructura del bosque de *Pinus hartwegii*

Los resultados obtenidos brindaron una aproximación general de las características de la zona a una escala mayor, necesaria para realizar un estudio puntual como lo es el objetivo general de este trabajo. En el desarrollo del proyecto fue posible examinar y analizar de forma general la complejidad de diferentes variables que determinan en gran medida la vegetación que se establece en la zona. La utilización de GPS fue crucial en la descripción de las características de la zona, ya que permite contar con información georreferenciada, y provee la posibilidad de ubicar las coordenadas de los sitios de muestreo y el estado de cada parcela.

La composición florística fue útil a la hora de caracterizar los estratos, en las 5 parcelas de muestreo se presentaron características distintas entre sí. En los estratos arbustivo y herbáceo se encontró que la especie con mayor cobertura y altura fue *Bromus catharticus* y la menor fue *Plantago major*, en ambos rubros. De acuerdo con los valores de importancia relativos (VIR), *Bromus catharticus* fue la especie más importante en las parcelas B y D. La especie menos representativa fue *Plantago major* en las cinco parcelas de muestreo. En cuanto al estrato arbóreo la parcela A se caracterizó por tener la mayor cobertura y área basal, en cambio la C y E, respectivamente, fueron las de menores valores. La parcela D tuvo el dap mayor y la B el menor. La parcela C tuvo la altura más pronunciada por individuo y la menor se encontró en las parcelas B, D, y E. Las clases diamétricas con mayor peso fueron las que iban de los 0 a los 30 cm. El VIR para *Pinus hartwegii* más alto fue en la parcela A, seguido de la parcela E y finalmente por las parcelas B, C y D.

Estos resultados se pueden deber a; 1) las diferentes etapas de desarrollo de los individuos, 2) la posición del árbol en el sitio, 3) la respuesta de cada individuo a la sombra y la caída de ramas. La estructura y composición para los tres tipos de estratos, reflejan un grado medio de heterogeneidad ambiental de la Cuenca a nivel de escala de la unidad de paisaje (Sánchez- González y López-Mata, 2003).

El tipo de suelo sí fue determinante en la distinción de las parcelas ya que, las diferencias entre Andosoles y su mezcla con litosoles y fozem pueden afectar el tipo de vegetación establecida (Price, 2004; Sántibáñez, 2005). Debido a que algunas

variables del suelo como la profundidad de los horizontes y la materia orgánica son factores importantes para la estructura y distribución de la vegetación de los bosques templados, ya que están directamente relacionadas con la retención de humedad del suelo (Sánchez- González y López-Mata, 2003), además de influir en el microclima que condiciona la escorrentía, la erosión y la sedimentación (Birkeland, 2004). Los suelos en este estudio podemos decir que son moderadamente ácidos, con un pH  $\bar{x} = 5.2$ . Aguirre (1998) menciona que los suelos del bosque de *Pinus hartwegii* son ácidos (pH= 5.5) a neutros (pH=7), es decir, los suelos de la zona de estudio se encuentran en buenas condiciones edáficas. Por otra parte, se advierten que algunas variables no resultan muy relevantes para el tipo de vegetación de las parcelas del bosque de *Pinus hartwegii*, por ejemplo la temperatura a esa escala no varía.

El uso de las fotografías hemisféricas resultó bastante ilustrativo para observar las características del dosel y determinar de una manera práctica el tipo de vegetación (por medio de elementos como: apertura del dosel, índice de área foliar (IAF) y radiación) (Valladares 2006).

La apertura del dosel promedio de la unidad de paisaje se comparte con los estudios de Cutini *et al.* (1998) que fue de  $70 \pm 10$  para bosques de pinos. El IAF promedio fue de 0.19 y 0.17, datos parecidos a los encontrados por Nascimento *et al.* (2007) quienes hallaron valores de 0.18 y 0.17  $m^2 m^{-2}$  en bosques de pinos. En pinares puros o mixtos (pino-encino) con presencia de alguna especie de *Pinus* como codominante, los valores oscilan entre 0.8 y  $74 m^2 m^{-2}$  (Anderson, 1981; Cutini, 1996; Cutini *et al.*, 1998; Mussche *et al.*, 2001; Delitti *et al.*, 2005; Valladares, 2006; Navarro *et al.*, 2010). En cuanto a la radiación lumínica, los datos obtenidos en este estudio son similares a los reportados para otros bosques de pino, cuyas estimaciones de radiación directa y difusa varían entre  $15 \pm 1$  y  $16 \pm 1.3$ , respectivamente (Valladares 2006).

Para el diagnóstico del grado de conservación de la unidad de paisaje, es necesario la identificación de los atributos que puedan reflejar en gran medida su estado, además de la elaboración de criterios para su evaluación (Usher, 1996). Para evaluar el grado de perturbación en diferentes ecosistemas se toma en cuenta la

composición biológica, por lo tanto se determinó utilizar las variables de composición y estructura para elaborar tres indicadores de deterioro; 1) reducción en la extensión original del bosque, 2) degradación del bosque y 3) pérdida o sustitución de especies. Estas variables en principio aportan un mayor nivel de confianza en la evaluación debido a la forma precisa en la que han sido estimadas a lo largo de este trabajo.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que el indicador 1 ha sido notorio, ya que como se menciono anteriormente la cobertura entre parcelas varía. El indicador 2 se encuentra presente en la zona de estudio puesto que hay cambios en la composición y estructura de los 3 estratos en estudio, además del impacto antropogénico del bosque de *Pinus hartwegii*. Asimismo se encontró en la parcela C a *Alchemilla procumbens*, especie indicadora de bosque perturbado (Obieta, 2008), que forma parte del indicador 3 considerado para este trabajo.

Las parcelas analizadas en la unidad de paisaje presentan diferencias en la orientación de sus laderas, pendientes y en el gradiente altitudinal. Los tres factores mencionados son de gran apoyo como criterios potenciales de manejo de un bosque. En primer lugar, la orientación de laderas de acuerdo a Thompson *et.al.* (2006) es un criterio que permite definir sitios potenciales de manejo de árboles de nogal americano (*Juglans cinerea*); este criterio es importante debido a que las condiciones presentes en laderas con diferente orientación pueden influir en el establecimiento de ciertas plantas con afinidad Neárticas o Neotropicales, es decir, algunas plantas podrían requerir la humedad que presentan los sitios con exposición al norte mientras que otras pueden establecerse en sitios más secos como los proveen las zonas expuestas al sur, para nuestro caso se cumplen ambas exposiciones pues 3 parcelas tienen una orientación sur y 2 norte, teniendo así un amplio espectro de establecimiento vegetativo.

En segundo lugar, la pendiente es un factor que influye en el establecimiento de ciertas especies, su consideración en la toma de decisiones para el manejo de recursos deber ser primordial (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003; Thompson *et.al.*, 2006). Las pendientes de la Cuenca del río Magdalena presentan, en su mayoría, zonas menores a 19.8°, en este estudio fue similar ya que la pendiente mayor fue de 19.8° y la menor de 10°.

En tercer lugar, la altitud es un criterio para definir áreas prioritarias de una propuesta de manejo, debido a que existen diferencias en cuanto al tipo de vegetación (Thompson *et.al.*, 2006; Molloy y Bilby, 2008). En la zona de estudio no hubo un contraste altitudinal entre parcelas (189 m) que promoviera muchas diferencias en la vegetación existente (12 especies vegetales).

Por último, cabe señalar que con los resultados alcanzados se pudieron detectar contrastes distintivos entre las parcelas de este trabajo, lo cual indica que el bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena, por su difícil acceso a las áreas de estudio, es un bosque en buenas condiciones. No obstante, al contar con pequeños indicios de deterioro (especie indicadora de un bosque degradado e impacto antropogénico) se sugiere para un futuro como medida precautoria una propuesta de manejo del bosque de *Pinus hartwegii*.

### **Propuesta de manejo y análisis del estado de conservación**

La propuesta tiene como objetivo general recuperar la provisión de servicios ecosistémicos que pudieran ser mermados o eliminados en un futuro por distintas actividades (naturales o antrópicas) que hayan degradado los recursos naturales de la Cuenca del río Magdalena. Promoviendo el establecimiento de plantas que generen un funcionamiento óptimo del bosque, es decir cuando las especies nativas del tipo de bosque estén presentes y no haya indicadores de deterioro ambiental.

Es importante aclarar las posiciones que sigue esta propuesta respecto al empleo de especies nativas o exóticas, diversidad genética de las poblaciones y cultivos monoespecíficos o mixtos. El uso de especies nativas o exóticas para programas de manejo es controversial principalmente porque son conocidos los efectos negativos que las plantas exóticas pueden proveer al ambiente y por las ventajas que también pueden ofrecer al medio (Arriaga *et al.*, 1994; Vázquez-Yanes y Batis Muñoz, 1996). Sin embargo, esta propuesta plantea el uso exclusivo de especies nativas ya que éstas tienen plena capacidad de otorgar al sitio de estudio las características que permitan combatir las áreas en vías de degradación, tales como los indicadores de deterioro (reducción en la extensión original del bosque, degradación del bosque y especies invasoras).

Es sustancial que las plantas que se introduzcan en este plan de manejo deriven de bancos de germoplasmas locales, debido a que ingresar plantas foráneas al sitio para aumentar el tamaño de poblaciones con individuos de otras poblaciones, puede resultar en efectos negativos para las poblaciones locales (Eguiarte y Piñero, 1990; Fenste y Dudash, 1994).

Han de elegirse viveros locales para la propuesta de manejo y así promover la variabilidad de especies y conservar la diversidad genética. Finalmente, se va a favorecer el desarrollo de los dispersores y la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Montagnini, 2005).

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, con el propósito de aumentar la cubierta vegetal de esta zona en caso de que sea expuesta a un deterioro ambiental futuro y de acuerdo con el estudio de Zavala (2000), las especies que se sugieren para la plantación en los bosques de *Pinus hartwegii* son las siguientes; como especie arbustiva se consideró a *Penstemon gentianoides* y como herbáceas a *Acaena elongata*, *Achillea millefolium*, *Agrostis stolonifera*, *Bromus catharticus*, *Cinna poaformis*, *Cirsium jorullense*, *C. nivale*, *Hymenoxys integrifolia* y *Plantago major*. Dado que el estrato arbóreo es monoespecífico, se consideró únicamente a la especie *Pinus hartwegii* para el plan de manejo. En la Tabla 7 se desglosan las especies seleccionadas. Las especies arbustivas y herbáceas propuestas poseen un crecimiento rápido en terrenos Andosoles como ocurre en esta zona, lo que resulta adecuado para prevenir la erosión, simulando la estructura de la comunidad natural de la zona y así promover el incremento de la diversidad vegetal (Zavala, 2000).

**Tabla 7.** Listado de especies útiles para la propuesta de manejo del bosque de *Pinus hartwegii* en la Cuenca del río Magdalena.

	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Autor</b>	<b>Forma de vida</b>
<b>1</b>	Asteraceae	<i>Hymenoxys</i>	<i>integrifolia</i>	Kunth	Herbácea
<b>2</b>	Asteraceae	<i>Achillea</i>	<i>millefolium</i>	L. Watson	Herbácea
<b>3</b>	Compositae	<i>Cirsium</i>	<i>zorullense</i>	Kunth	Herbácea
<b>4</b>	Compositae	<i>Cirsium</i>	<i>nivale</i>	Kunth	Herbácea
<b>5</b>	Poaceae	<i>Agrostis</i>	<i>stolonifera</i>	L. Watson	Herbácea
<b>6</b>	Poaceae	<i>Bromus</i>	<i>catharticus</i>	Vahl.	Herbácea
<b>7</b>	Poaceae	<i>Cinna</i>	<i>poaformis</i>	Walt. Carol	Herbácea
<b>8</b>	Rosaceae	<i>Acaena</i>	<i>elongata</i>	L. Watson	Herbácea
<b>9</b>	Scrophulariaceae	<i>Penstemon</i>	<i>gentianoides</i>	Kunth	Arbustiva
<b>10</b>	Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>hartwegii</i>	Lindl.	Arbórea
<b>11</b>	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>major</i>	L. Watson	Herbácea

Se propone plantar para las especies arbóreas en una parcela de 25 x 25 m, con una distancia mínima entre individuos de 5 metros y para las especies arbustivas y herbáceas, dentro de la misma parcela, dispersar semillas cada 3 metros para cubrir toda la extensión del terreno, de manera que contribuyan como islas de fertilidad para la colonización del resto del territorio de forma natural. Diversos autores (Valente y Vettorazzi, 2008; Lehtomäki *et.al.*, 2009) consideran el uso de criterios de proximidad a vías de comunicación, zonas urbanas, parches de vegetación, entre otros, para la elección de sitios de manejo en los bosques. Lo cual nos sugiere que a la hora de seleccionar el sitio de manejo se puede priorizar el criterio mencionado.

Además, en la propuesta de manejo, se establecerán las acciones que se requieren para prevenir, controlar y compensar los posibles efectos o impactos ambientales negativos que se puedan ocasionar por actividades antropogénicas (Kramer *et.al.*, 2003). A continuación se describen estos rubros más a detalle.

**Época de plantación.** Se sugiere plantar al comienzo del verano (julio), época en la cual no hay excesiva lluvia, condiciones propicias para la plantación de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. Se escogerán los días más adecuados, siendo ideales

aquellos nublados y con poco viento, que reducen los riesgos de desecación de la planta.

**Cuidados posteriores a la plantación.** Para la protección de las especies arbustivas plantadas en la zona se colocarán tubos protectores para prevenir la herbivoría y favorecer la retención de humedad.

**Plan de seguimiento/ medidas de evaluación.** Se utilizarán dos indicadores para evaluar el estado de la plantación y saber aplicar, cuando sean necesarias, las medidas de corrección.

En el primer caso, se propone realizar un diagnóstico de la plantación como se indica en la literatura, según Valladares *et al.* (2011), 1) observando la falta o disminución de vegetación en muchas zonas del proyecto (cobertura vegetal) y 2) el escaso suelo existente en el área.

Mediante transectos de 3 x 3 m en las parcelas de estudio, medidos con una cinta métrica, se cuantificarán las especies de los tres estratos. Se anotará el porcentaje ocupado por cobertura vegetal (viva y muerta) y el porcentaje de cobertura ocupado por cada especie. La primera medida se tomará justo seis meses después de la plantación y dispersión de semillas, y si la cobertura es menor al 55% se deberá llevar a cabo reposición de las pérdidas (Valladares *et al.* 2011).

En segundo lugar, se utilizarán siete de las variables que conforman el método titulado; Análisis Funcional del Paisaje (LFA, por sus siglas en inglés) por Valladares *et al.*, 2011 para evaluar el estado del suelo. Con el fin de obtener datos uniformes, se medirán con la misma frecuencia que la cobertura vegetal. Este método se basa en realizar transectos de manera similar a la explicada anteriormente, y clasificarlos luego mediante el cálculo de tres índices (estabilidad, infiltración y reciclaje de nutrientes), en función de los valores obtenidos para cada variable. Las variables a analizar y la información que aporta cada una se detallan en el Tabla 8.

**Tabla 8.** Variables a analizar para la evaluación del estado del suelo  
(Tomado de Valladares *et al.*, 2011)

<b>Variable</b>	<b>Significado</b>	<b>Índice(s) en que se emplea</b>
<b>Cobertura total</b>	Estima la vulnerabilidad a la erosión por las gotas de lluvia.	Estabilidad
<b>Cobertura de hojarasca, origen y grado de descomposición</b>	Indica la disponibilidad de materia orgánica superficial para la descomposición y el reciclaje de nutrientes.	Infiltración, Reciclaje de nutrientes
<b>Grado de fragmentación de costra</b>	Mide la cantidad de costra superficial disponible para la erosión hídrica o eólica.	Estabilidad
<b>Micro topografía</b>	Indicador de la rugosidad de la superficie del suelo en base a su capacidad por una perturbación mecánica.	Infiltración, Reciclaje de nutrientes
<b>Resistencia a la perturbación</b>	Estima la probabilidad de perder suelo por una perturbación mecánica.	Estabilidad
<b>Test de humectación</b>	Evalúa la estabilidad/dispersión de los agregados del suelo cuando está húmedo.	Estabilidad, Infiltración
<b>Textura</b>	Indicador de la capacidad de infiltración de agua.	Infiltración

## **VI. Conclusiones**

- La unidad de paisaje del bosque de *Pinus hartwegii* en la CRM, se encuentra en buen estado de conservación de acuerdo al análisis de su estructura y composición realizado en este trabajo, puesto que van acorde con los bosques templados conservados de México.
  
- Las cinco parcelas mostraron diferencias en relación a la densidad, cobertura, frecuencia y área basal, lo que puede indicar el vigor y salud de la comunidad arbórea, así como de los arbustos y herbáceas. La caracterización ambiental a grandes rasgos evidencia información distinta que por un lado es útil para conocer el estado actual del bosque de pino y por otro para conocer la eficacia en que se desarrolla.
  
- La combinación de las variables ambientales indica que la unidad de paisaje es apropiada para la introducción de especies en caso de un futuro deterioro, puesto que no presentan restricciones para el establecimiento de la vegetación.
  
- La utilización de los indicadores de deterioro de la unidad de paisaje puede facilitar la planeación de acciones de manejo que se implementen posteriormente en el bosque de *Pinus hartwegii* de la CRM.

## VII. Bibliografía

- Adobe Photoshop CS5 Extended. Versión 12.0. <http://www.adobe.com/Photoshop>.
- Aguirre, G.K., and D'Esposito, M. 1998. Experimental Design for Brain fMRI. In Functional MRI (P.A. Bandettini and C. Moonen, Eds.), in press. Springer Verlag, Berlin.
- Allen, T. F. H. y T. W. Hockstra. 1991. Role of Heterogeneity in Scaling of Ecological Systems Under Analysis. En: Ecological Heterogeneity J. Kolasa y C. D. Rollo (eds.). Springer-Verlag.
- Almeida Leñero L., Nava M., Ramos A., Espinosa M., Ordoñez M. de J. y J. Jujnovsky. 2007. Servicios ecosistémicos en la Cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México.
- Álvarez, K. 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. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F.
- Anderson, M. C. 1981. The geometry of leaf distribution in some south-eastern Australian forests. *Agricultural Meteorology* 25: 195-205.
- Arriaga, Eduardo. 1994. "Measuring the Level and Change of Mortality by Causes of Death: The Use of Years of Life Lost", artículo presentado en la Conferencia de Población de la Population Association of America, Miami, 1994.
- AutoCAD. 2002. Software application for 2D and 3D computer-aided design (CAD) and drafting for MAC OS X.
- Ávila-Akerberg, V. D. 2002. La vegetación de la Cuenca Alta del Río Magdalena: Un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de Licenciatura Biología. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Barnes, B. V.; Xü, Z.; Zhao, S. 2012. Forest ecosystems in an old- growth pine-mixed hard-wood forest of the Changbai Shan Preserve in northeastern China. *Can. J. For. Res.* 22:144- 160.
- Beckage, B. y J. S. Clark. 2003. Seedling survival and growth of three forest tree species: the role of spatial heterogeneity. *Ecology* 84: 1849-1861.
- Bellwood DR, Hughes TP, Folke C, Nyström M. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429: 837-833.
- Birkeland, W. P. 2004. Soils and Geomorphology. Oxford University Press. p. 372.
- Bongiorno, J., Dahir S., Lu, H. S. y C. R. Lin. 1994. Tree size diversity and economic return in uneven- aged forests satnds. *Forest Science*. vol. 40: 23-34.
- Ceballos-Silva, A. and J. López-Blanco (2003). Delineation of suitable áreas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico.
- Chazdon, R. L. y R. W. Pearcy. 1991. The importance of sunflecks for forest understory plants. *Bioscience* 41: 760-766.
- Cutini, A. 1996. The influence of drought and thinning on leaf area index estimates from canopy transmittance method. *Annals of Forest Science* 53: 595-603.
- Cutini, A., G. Matteucci y G. S. Mugnozza. 1998. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management* 105: 55-65.

- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad, Instituto de Biología de la UNAM y Agrupación Sierra Madre S. C, México.
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En O. Sánchez, E. Vega, E. Peters, y O. Monroy-Vilchis, editores. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. p. 17-44.
- Chen. J. y J. F. Franklin. 2005. Growing season microclimate gradients form clearcut edges into old- growth Douglas-fir forests. *Ecological Applications* 5: 74-86.
- Chiarucci, A., S. Maccerini y V. De Dominicis. 2001. Evaluation and monitoring of the flora in a nature reserve by estimation methods. *Biological Conservation* 101: 305-314.
- Connell, J. H. y W. P. Sousa. 1993. On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *Am. Nat.* 121: 789-824.
- Delitti, W., A. Ferran, L. Trabaud y V. R. Vallejo. 2005. Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology* 177:57-70.
- Diario Oficial Federal (DOF). 1932. Acuerdo que declara Zona Protectora Forestal los bosques de la Cañada de Contreras, México.
- Dourjeanni, A. 1999. Guía para orientar procesos de gestión para el desarrollo en cuencas y microrregiones de alta montaña. ILPES. Doc. 89/05. Serie Ensayos, Santiago.
- Eguiarte, L. E. y D. Piñero. 1990. Genética de la conservación: leones vemos, genes no sabemos. *Ciencias*. Número especial 4: 34-47.
- Eguiluz-Piedra, T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis de Ing. Agr. Esp. en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. pp. 571.
- Eguiluz-Piedra, T. 1985a. Descripción botánica de los pinos mexicanos. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 45.
- Eguiluz-Piedra, T. 1985b. Descripción botánica de los pinos mexicanos. F.A.O. México. pp. 45.
- FAO. 2000. Evaluación de los Recursos Forestales de 2000: México. Rome. FAO.
- FAO. 2012. Evaluación de los Recursos Forestales de 2012: México. Rome. FAO.
- Feinsiger, P. 2001. Desinging field studies for biodiversity conservation, EUA: Island Press, 212 p.
- Fenster, C. B. & M. R. Dudash. 1994. "Genetic considerations in plant population conservation and restoration," pp. 34-62. In: M. L. Bowles & C. Whelan (eds.), *Restoration of Endangered Species: Conceptual Issues, Planning and Implementation*. Cambridge Univ. Press., Cambridge.
- Flores-Villela, O., y P. Gerez. 2004. Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso del suelo. UNAM-CONABIO, México.

- Fox, B. J. 1999. The genesis and development of guild assembly rules. En: E. Weither y P. Keddy (Eds.), Ecological assembly rules.
- FRA. 2012. Terms and definitions. Global Forest Resources Assessment Update. Forestry Department. Food and Agriculture Organization of the United Nation, (FAO), 33 pp.
- Frazer, G. W., Canham, C. D. y Lertzman, K. P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. Régent Instruments Inc., 2002. WinScanopy 2002a for Canopy Analysis. Copyright Régent Instruments Inc. Canada.
- García, E. 1998. Los climas del Valle de México. Colegio de Postgraduados, S.A.R.H, Chapingo, México.
- Gap Light Analyzer. Version 2.0. Copyright © 1999. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, CANADA-Institute of Ecosystems Studies (IES), Millbrook, New York, USA. <http://www.ecostudies.org/gla/>.
- Granados-Sánchez, G.F. López Ríos, M.A. Hernández-García. 2007, Ecología y Silvicultura en Bosques Templados, Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente 13(1): 67-83. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México, México.
- Hammond, A., A. Adriaanse, A. Rodenburg, E. Bryant y R. Woodward. 1995. Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Hernández, H. 1997. Programa Nacional de Reforestación: Estrategias de corto y mediano plazo (1995-2000). En: J.J. Vargas, B. Bermejo y F.Th. Ledig (eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. pp. 241-252.
- Hernández M., H. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii* Lind.: Dimensiones transversales de las traqueidas en un transecto altitudinal de Zoquiapan. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo, México. pp. 59.
- Jurena, P. N. y S. Archer. 2003. Woody plant establishment and spatial heterogeneity in grasslands. Ecology 84: 907-919.
- Kent, M. y P. Coker. 1992. Vegetation description and analysis, a practical approach. CRC Press. Londres.
- Kilpatrick, T. 1995. Photomonitoring: A framework for monitoring cultural and natural resources. Environmental Studies Program. University of California, Santa Cruz, CA.
- Klink, H. 1993. La división de la vegetación natural en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7: 25-30.
- Kolasa, J. y C. D. Rollo. 2001. Introduction: the Heterogeneity of Heterogeneity: a Glossary. In: Kolasa J. y S. T. A. Pickett (eds.). Ecological Heterogeneity. Springer-Verlag.

- Kramer, D.L. and R.L. McLaughlin. 2003. The behavioral ecology of intermittent locomotion. *Amer. Zool.* 41:137-153.
- Ledig, F.Th. 1998. Genetic variation in *Pinus*. En: Richardson, D. M. (ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Ledig, F.Th. 1997. Conservación y Manejo de Recursos Genéticos Forestales. En: J.J. Vargas, B. Bermejo y F.Th. Ledig (eds.). *Manejo de Recursos Genéticos*.
- Lehtomäki, J., Tomppo, E., Kuokkanen, P., Hanski, I., and Moilanen, A. 2009. Applying spatial conservation prioritization software and high-resolution GIS data to a national-scale study in forest conservation. *Forest Ecology and Management*, 258, 11, 2439-2449.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada el 28 de enero de 1988. Arts. 1-35-Bis-3. 44-107 y 145-204.
- Luna I., J.J. Monrone y D. Espinosa, 2007, Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana, UNAM, México, D.F. 231-232 p.
- Mac Donald, L.H. y E. L. Huffman. 2004. Post-fire soil water repellency: persistence and soil moisture thresholds. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1729-1734.
- Martínez, M. 1998. Los pinos mexicanos. 2a ed. Botas. México. pp. 361 Ilus.
- Mollot L.A., & Bilby R.E. 2008. The Use of Geographic Information Systems, Remote Sensing, and Suitability Modeling to Identify Conifer Restoration Sites with High Biological Potential for Anadromous Fish at the Cedar River Municipal Watershed in Western Washington, U.S.A. *Restoration Ecology* 16: 2, 336–347.
- Monroy-Vilchis, O. 2003. Principios Generales de Biología de la Conservación. en Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O, Monroy (editores).2006. *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. INE, México.
- Montagnini, F. 2005. Selecting tree species for plantation. En: S. Mansourian, D. Vallauri y N. Dudley (Eds.). *Forest restoration in landscapes: beyond planting trees*. Springer-WWF. New York. Pp. 262-268.
- Mueller-Dombois, D. y H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley. Nueva York, Estados Unidos.
- Mussche, S., R. Samson, L. Nachtergale, A. De Schrijver, R. Lemeur y N. Lust. 2001. A Comparison of Optical and Direct Methods for Monitoring the Seasonal Dynamics of Leaf Area Index in Deciduous Forests. *Silva Fennica* 35(4): 373-384.
- Nascimento, A. R. T., Fagg J. M. F. y Fagg C. W. 2007. Canopy openness and LAI estimates in two seasonally deciduous forests on limestone outcrops in central Brazil using hemispherical photographs. *Árvore* 31(1): 167-176.
- Navarro, G. 1997. Contribución a la clasificación ecológica y florística de los bosques de Bolivia. *Rev. Bol. de Ecol.* 2: 3-37.
- Navarro, R. M., M. Sánchez, J. Gómez, A. García-Ferrer, R. Hernández y S. Lanjeri. 2010. Aplicación de imágenes LIDAR para la estimación del índice de superficie foliar (LAI) en encinas [*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.]. *Forest Systems* 19(1): 61-69.

- Navarro, G. 2002. Biogeografía y Vegetación de Bolivia. En: G. Navarro y M. Maldonado, Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes Acuáticos, pp. 1-500. Centro de Difusión Fundación Simón. I. Patiño. Cochabamba.
- Navarro, G. Y W. Ferreira. 2007. Mapa de Vegetación de Bolivia, esc. 1:250 000. Edición CD-ROM. The Nature Conservancy (TNC) y RUMBOL S.R.L.
- Noss, R. F. 1993. A regional landscape approach to maintain biodiversity. *BioScience* 33:700-706.
- Obieta, O.M.C. 2008. Estructura y composición de la vegetación herbácea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de biólogo. Facultad de Ciencias. U.N.A.M. 85 pp.
- Ontiveros A. 1990. Análisis físico y algunos aspectos socioeconómicos de la Cuenca del río Magdalena. Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México
- Ovington, J. D. (Ed.). 1993. *Ecosystems of the World, Temperate Broad-Leaved Evergreen Forests*. Vol. 10. Elsevier, New York. 242 pp.
- Pérez-Chacón, E. 2002: Unidades de paisaje: aproximación científica y aplicaciones, en F. Zoido y C. Venegas (ed.): *Paisaje y Ordenación del territorio*. Sevilla, Junta de Andalucía, España, Fundación Duques de Soria, pp. 122-135.
- Pimm SL. 1999. The dynamics of the flows of matter and energy. In J McGlade (ed), *Advanced ecological theory, principles*.
- Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Magdalena (PMMIAS), Distrito Federal, Reporte Ejecutivo del Gobierno del Distrito Federal, Diciembre, 2008.
- Prakash, S., 2010: *Forests in danger: failures of EU policy and what needs to change*. FERN, 48 pp.
- Price, P. W. 2004. Patterns in communities along latitudinal gradients. En: Price, P. W., Lewinsohn, T. M., Fernández, G. W. y W. W. Benson (eds). *Plant-Animal Interaction: Evolutionary, Ecology in Tropical and Temperature regions*. John Willey and Sons. New York. pp 51-69.
- Redford, K.H., 1992. The empty forest. *Bioscience* 42:412-422.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Limusa. México. pp. 432.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*, México, D. F.
- Rzedowski J., G. Calderón. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. México. pp. 1414.
- Sánchez, O. 1996. Biodiversity conservation, areal connectivity and the developing countries. Report presented to the Wildlands Project meeting 9-12 may, 1996. The Wildlands Project, Tucson, Az.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 74(1): 47-71.

- Sánchez, O. 2006. Biología de la Conservación a Escala de Ecosistemas: Algunas bases para el seguimiento de unidades del paisaje. en Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy (editores). 2006. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE, México.
- Sánchez-Velásquez, I. R., Pineda, M. del R. y A. Hernández. 1991. Distribución y estructura de la población de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et Cham., en el Cofre de Perote, Estado de Veracruz, México. Acta Botánica Mexicana No, 16. Instituto de Ecología A. C. pp 45-55.
- Sántibáñez, G. 2005. Caracterización de la Heterogeneidad ambiental en la Reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis Licenciatura. Biología. UNAM.
- Santillán, P.J. 1991. Silvicultura de las coníferas de la Región Central. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo México. pp. 305.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos – Subsecretaría Forestal (SARH). 1999. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Reporte Principal. México.
- Solórzano I., F. 1987. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl., bajo condiciones controladas. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. U. A. Ch. Chapingo, México. pp. 81.
- Stewart, A. J. A., Jonh E. A. y M. J. Hutchings. 2000. The world is heterogeneous: ecological consequences of living in a patchy environment. Pag 1-7 en M. J. Hutchings, E. A. John, y A. J. A. Stewart, editores. The Ecological Consequences of Environmental Heterogeneity. The British Ecological Society.
- Soulé, M. 1991. Conservation: Tactics for a constant crisis. Science 253: 727-734.
- Susano H., R. 1981. Efectos del pastoreo de bovinos sobre la dinámica de la vegetación herbácea en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. U. A. Ch. Chapingo. México. pp. 110.
- Swanson, F. J.; Franklin, J. F. 1992. New forestry principles from ecosystem analysis of Pacific Northwest forests. *Ecol. Applications* 2:267-274.
- Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación. Ed. Omega. Barcelona.
- Thompson, D.W.J., J.C. Furtado, and T.G. Shepherd, 2006: On the Tropospheric Response to Anomalous Stratospheric Wave Drag and Radiative Heating. *J. Atmos. Sci.*, 63 (10), 2616-2629.
- Toledo, V. M., y M. d. J. Ordoñez. 1993. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. Pag. 792 en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, y J. Fa, editores. Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, UNAM., México.
- Usher, M. B. 1996. Wildlife Conservation Evaluation. Chapman and Hall. Londres.
- Valente, R.O.A. y C.A. Vettorazzi. 2008. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. *Forest Ecology and Management*. 256: 1408-1417.
- Valladares, F., E. Gianoli, & A. Saldaña. 2011. Climbing plants in a temperate rainforest understory: searching for high light or coping with deep shade? *Annals of Botany* (In Press).

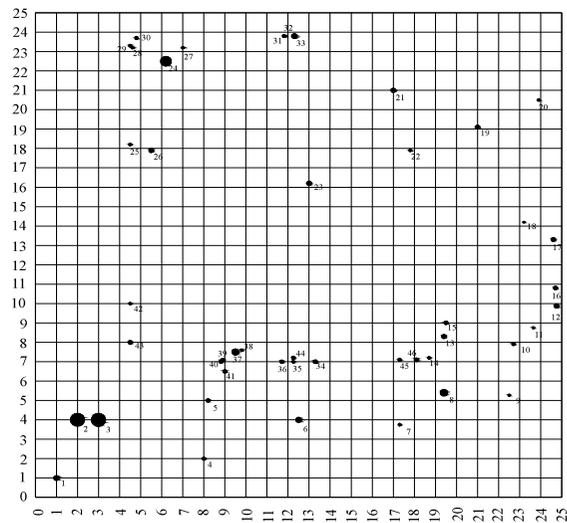
- Valladares, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología* 20: 11-30.
- Vázquez-García, J. A. 1993. Cloud forest archipelagos: Preservation of fragmented montane ecosystems in tropical América. En: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. y F. N. Scatena. (eds). Proceeding of the International Symposium on Tropical Montane Cloud Forest. pp. 203-216. UNESCO. San Juan Puerto Rico.
- Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. árboles nativos. *Ciencias* 43: 16-23.
- Vega E. y E. Peters. 2003. Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. En: en Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O, Monroy (editores). 2006. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE, México.
- Velázquez, A. y A. M. Cleef. 1993. The plant communities of the volcanoes "Tlaloc" and "Pelado", México. *Phytocoenología* 22: 145-191.
- Velázquez, A. y G. Bocco. 2003. La ecología del paisaje y su potencial para acciones de conservación de ecosistemas templados de montaña. en Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O, Monroy (editores).2006. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE, México.
- Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta* 62. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT, México pp. 21-37.
- Viereck, L. A. 1993. The effects of fire in black spruce ecosystems of Alaska and northern Canada. *In*: R. W. Wein y D. A. MacLean (Eds.). *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. John Wiley, New York.
- Vitousek, P.M.; Reiners, W.A. 1995. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. *BioScience* 25: 376-381.
- Vogelmann, J. E. 2005. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conserv. Biol.* 9:439-449.
- Walter, H. 1999. *Vegetation of the earth and the ecological systems of the Geo-biosphere*. Springer – Verlag. Berlín.
- Waring, R. H. 1991. Responses of evergreen trees to multiple stresses. *In*: H. A. Mooney, W. E. Winer, y E. J. Pell (Eds.). *Response of Plants to Multiple Stresses*. Academic Press, New York.
- Whittaker, R. H. 1996. Forest dimensions and production in the Great Smoky Mountains. *Ecology* 47, 103- 121.
- Williams-Linera, G. 2007. El Bosque de Niebla del Centro de Veracruz: Ecología, Historia y Destino en Tiempos de Fragmentación y Cambio Climático. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México.
- Wu, J. y O. L. Loucks. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology* 70 (4).

- Zak, D. R.; Tilman, D.; Parmenter, R. R.; Rice, C. W.; Fisher, F. M.; Vose, J.; Michunas, D.; Martin, C. W. 1994. Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: a continental-scale study. *Ecology* 75: 2333-2347.
- Zavala, F. 2000. El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo Sum* 7 (3): 269-276.
- Zenner, E. K. and D. E. Hibbs. 2000. A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. *For. Ecol. Manage.* 129: 75-87.
- Zonneveld, L. S. 1999. Land evaluation and Landscapes Science. ITC, Enschede, The Netherlands.
- Zwinger, A. H. y Willard, B. E. 1999. Land above the trees. The University of Arizona Press, Tucson.

## VIII. Anexos

### Anexo 1

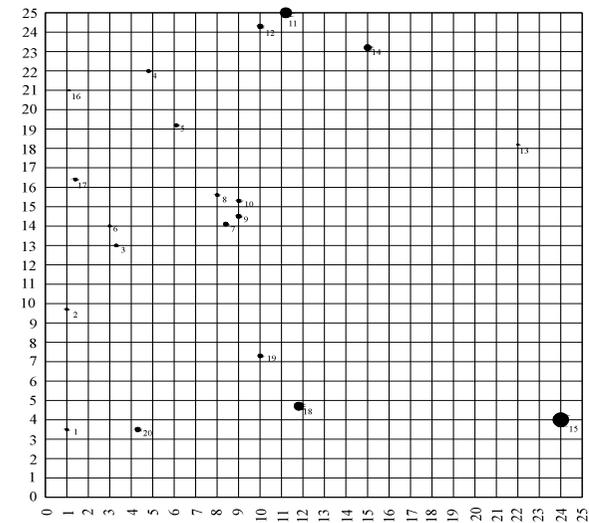
Distribución de *Pinus hartwegii* por parcela del bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena



PARCELA A de estrato arbóreo del bosque de  
*Pinus hartwegii*

Coordenadas UTM:  
2130000 O, 0465000 S

Fecha: 31 de octubre de 2012

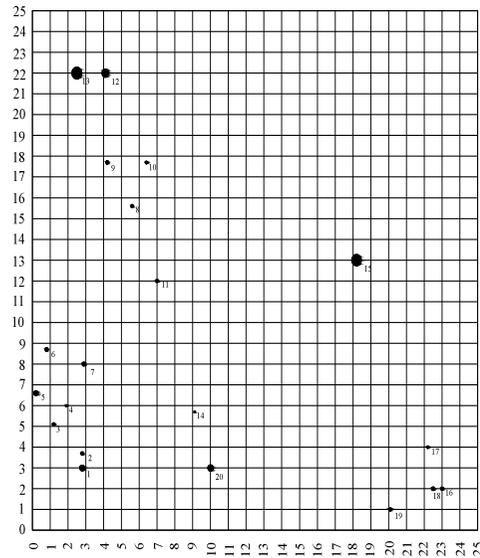


PARCELA B de estrato arbóreo del bosque de  
*Pinus hartwegii*

Coordenadas UTM:  
2129000 E, 0465500 S

Fecha: 31 de octubre de 2012

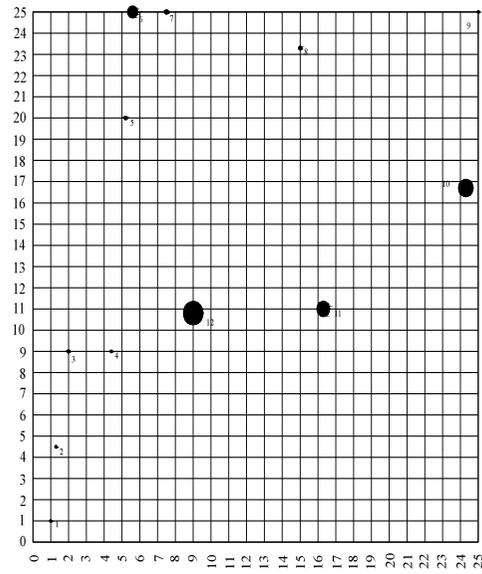




PARCELA C de estrato arbóreo del bosque de *Pinus hartwegii*

Coordenadas UTM:  
2128000 E, 0464503 S

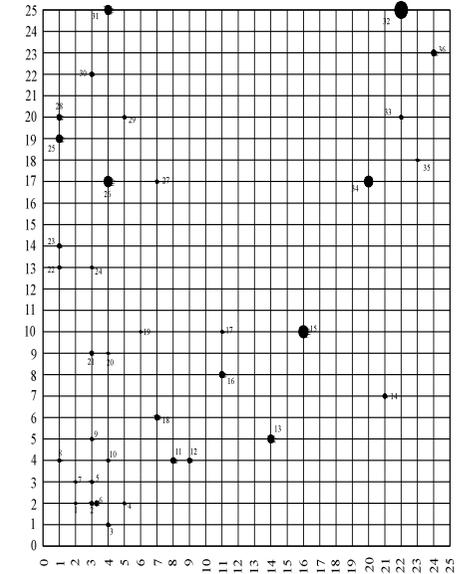
Fecha: 14 de noviembre de 2012



PARCELA D de estrato arbóreo del bosque de *Pinus hartwegii*

Coordenadas UTM:  
2126500 O, 0466000 N

Fecha: 14 de noviembre de 2012



PARCELA E de estrato arbóreo del bosque de *Pinus hartwegii*

Coordenadas UTM:  
2128550 E, 0465004 N

Fecha: 29 de noviembre de 2012



Relación de altura y dap por individuo de *Pinus hartwegii*

**Parcela A**

Número de individuo	Altura (m)	dap (cm)
13	6.5	61.5
14	5.7	37
15	4.7	53
16	5.5	53
17	6.8	58
18	3.2	23
19	7.8	63
20	6	36
21	7.9	67
22	6.7	35
23	8.8	67
24	58	150
25	3.2	35
26	5.1	64
27	3.6	30.5
28	3.8	34
29	3.9	37
30	3.9	43
31	7	38.5
32	6	22
33	8.1	73
34	6.5	54
35	8.9	40
36	8.8	50
37	7.7	93
38	8	33.5
39	7.8	42
40	7.5	39
41	3.8	48
42	3.5	34
43	5.5	55
44	4.8	46.5
45	5.8	44
46	6.9	58.5

**Parcela B**

Número de individuo	Altura (m)	dap (cm)
1	4.6	30
2	4	29
3	4.2	36
4	5.3	40
5	5	45
6	3.1	28
7	6	55
8	4.1	36
9	7	57
10	3	42
11	18	152
12	5	63
13	10	16
14	12	86
15	28	215
16	4	10
17	3.5	39
18	12	120
19	4	55
20	5	63

**Parcela C**

Número de individuo	Altura (m)	dap (cm)
1	6.5	81
2	6.8	49
3	7	46
4	6.6	29
5	8.5	69
6	8	54
7	7.7	58
8	3.8	43
9	3.5	49.5
10	4.5	39.5
11	5.2	48
12	46	120
13	48	173
14	3.2	25.5
15	47	167
16	3.9	46
17	37	38

18	4.8	51
19	4	48
20	9.9	90

24	4.2	37
25	6.5	106
26	18	144
27	4.5	43
28	12	74
29	4.25	44
30	5.5	62
31	19	124
32	18	240
33	4.5	52
34	17	151
35	4	32
36	6.5	80

**Parcela D**

Número de individuo	Altura (m)	dap (cm)
1	3.5	33
2	3.6	36
3	4	40
4	3.2	32
5	4.5	45
6	17	170
7	6	60
8	5	50
9	3.1	31
10	25	250
11	26	220
12	3	340

**Parcela E**

Número de individuo	Altura (m)	dap (cm)
1	3.2	30
2	5.2	53
3	6	51
4	3.5	35
5	5.5	39
6	7.5	68
7	3	31
8	3.5	41
9	5	41
10	5	38
11	8	74
12	8	64
13	12	108
14	4.2	63
15	18	170
16	7	85
17	4	39
18	8	71
19	3.1	24
20	4.3	28
21	6	55
22	4	42
23	6	60

## Anexo 2

### Catálogo floral del bosque de *Pinus hartwegii* de la Cuenca del río Magdalena





Escala gráfica en centímetros

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Especie:</b>	<i>Cinnis poaiformis</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465000 S 2130000 Q
<b>Altitud:</b>	3789 m.s.n.m.



Escala gráfica en centímetros

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Especie:</b>	<i>Cinnis poaiformis</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465000 S 2130000 Q
<b>Altitud:</b>	3789 m.s.n.m.



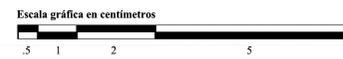
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Rosaceae
<b>Especie:</b>	<i>Acaena elongata</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	14 de noviembre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	464503 S 2128000 E
<b>Altitud:</b>	3700 m.s.n.m.



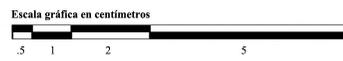
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Asteraceae
<b>Especie:</b>	<i>Achillea millefolium</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465500 S 2129000 E
<b>Altitud:</b>	3760 m.s.n.m.



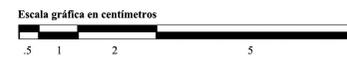
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Rosaceae
<b>Especie:</b>	<i>Alchemilla procumbens</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465500 S 2129000 E
<b>Altitud:</b>	3760 m.s.n.m.



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Especie:</b>	<i>Bromus catharticus</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	14 de noviembre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	464500 S 2128000 E
<b>Altitud:</b>	3760 m.s.n.m.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Compositae
<b>Especie:</b>	<i>Cirsium jordanense</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	14 de noviembre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	466000 N 2126500 O
<b>Altitud:</b>	3630 m.s.n.m.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Compositae
<b>Especie:</b>	<i>Cirsium rivale</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	29 de noviembre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	Maria Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465004 N 2126530 E
<b>Altitud:</b>	3600 m.s.n.m.





Escala gráfica en centímetros



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Pinaceae
<b>Especie:</b>	<i>Pinus hartwegii</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	María Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465000 S 2130000 O
<b>Altitud:</b>	3789 m.s.n.m.



Escala gráfica en centímetros



 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Instituto de Ecología	
<b>Familia:</b>	Pinaceae
<b>Especie:</b>	<i>Pinus hartwegii</i>
<b>Fecha de colecta:</b>	31 de octubre de 2012
<b>Sitio:</b>	CRM, Bosque de <i>Pinus hartwegii</i>
<b>Colector:</b>	María Eugenia Santillana Ceballos
<b>Coordenadas UTM:</b>	465000 S 2129000 E
<b>Altitud:</b>	3760 m.s.n.m.