



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE VEGETACIÓN DEBIDO A INCENDIOS**

**FORESTALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DEL D.F.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**SONIA GAYTÁN JIMÉNEZ**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARIA DE LOURDES VILLERS RUIZ**

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ**

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

**DR. DIEGO RAFAEL PÉREZ SALICRUP**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MÉXICO, D.F. ABRIL, 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE VEGETACIÓN DEBIDO A INCENDIOS**

**FORESTALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DEL D.F.**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**SONIA GAYTÁN JIMÉNEZ**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. MARIA DE LOURDES VILLERS RUIZ**

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM

**COMITÉ TUTOR: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ**

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UNAM

**DR. DIEGO RAFAEL PÉREZ SALICRUP**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD, UNAM

**MÉXICO, D.F.a ABRIL, 2016**

Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Me permito informarle a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 25 de mayo del 2015 aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **GAYTÁN JIMÉNEZ SONIA** con número de cuenta **406018793**, con la tesis titulada **"EVALUACIÓN DE LA PERDIDA DE VEGETACIÓN DEBIDO A INCENDIOS FORESTALES EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN DEL D.F."**, Realizada bajo la dirección de la Dra. **MARÍA DE LOURDES VILLERS RUIZ**.

Presidente: DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS  
Vocal: DR. ARTURO GARCÍA ROMERO  
Secretario: DRA. ROSA IRMA TREJO VÁZQUEZ  
Suplente: DRA. LUCIA ORALIA ALMEIDA LEÑERO  
Suplente: DR. DIEGO RAFAEL PÉREZ SALICRÚ

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

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, J.F., a 19 de febrero de 2015

*M. del Coro Arizmendi*

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA  
COORDINADORA DEL PROGRAMA



## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM por abrirme las puertas al conocimiento.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada.

Especialmente a mi asesora de tesis, la Dra. Ma. de Lourdes Villers Ruiz por aceptar dirigir mi tesis, por su amistad, paciencia, esfuerzo y motivación. También por haberme facilitado siempre todos los medios para el desarrollo de este trabajo, muchas gracias por su invaluable apoyo Dra.

A los miembros del Comité Tutor, la Dra. Rosa Irma Trejo Vázquez y al Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup por estar cada semestre conmigo, por revisar  $n$  cantidad de veces mi escrito, por sus aportaciones, gracias por todo su apoyo.

## **Agradecimientos ( personal)**

Mi agradecimiento más profundo va para mi familia, a mis padres por su apoyo y ejemplo incondicional,

A mis hermanos, por ser lo más importante en mi vida, por que siempre han estado, están y estarán conmigo.

A Moyo, por su tiempo, apoyo, desveladas y amor incondicional.

A mi sobrina, cuñados y cuñadas, por creer en mí.

A los Doctores miembros del jurado; Consuelo Bonfil Sanders, Lucia Oralia Almeida Leñero y Arturo García Romero, por aceptar revisar el manuscrito, sus comentarios y sugerencias ayudaron a mejorar este trabajo.

A la Procuraduría Ambiental del Ordenamiento Territorial del D.F ( PAOT) y a la Dirección General de Comisión de Recursos Naturales (DGCORENA), en especial a la Bióloga Zenia Saavedra y el Ing. Joaquín Lara por propocionarme la base de datos de incendios del Suelo de Conservación del D.F y poder llevar a cabo este trabajo.

A todos mis amigos, compañeros de maestría y personal administrativo del posgrado que con sus palabras de apoyo y trámites me motivaron al termino de este proyecto.

## **Dedicatoria**

A mis padres Maria Jiménez Hernández y Roberto Gaytán Cuevas, porque han dado todo por mi y mis hermanos, por alentarme el deseo de aprender cosas nuevas. A ustedes les dedico el esfuerzo entero de este trabajo.

A la persona, que me ha apoyado, que tiene paciencia a prueba de todo, que me comprende y me cuida. A ti Moyo, con muchísimo amor.



## ÍNDICE

<b>I. RESUMEN</b> .....	1
<b>II. ABSTRACT</b> .....	2
<b>III. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
III.1. Historia del suelo de conservación en el D.F. ....	6
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>V. ANTECEDENTES</b> .....	10
V.1. Importancia ecológica, pérdida de biomasa e incendios forestales en el SCDF ....	10
V.2. Estudios de incendios con percepción remota y sistemas de información geográfica. .....	12
<b>VI. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	16
<b>VII. METODOLOGÍA</b> .....	20
VII.1. Elaboración de la base de datos y obtención de mapas de incendios para el período 2005-2013.....	22
VII.2.1. Caracterización de la vegetación.....	23
VII.2.1.1 Cálculo de biomasa arbórea según comunidad vegetal. ....	25
VII.2.1.2. Inventario de combustibles muertos. ....	25
VII.3. Obtención, procesamiento y elaboración de los mapas de uso de suelo y vegetación del SCDF.....	28
VII.4. Identificación de la vegetación y coberturas afectadas debido por los incendios forestales.....	30
<b>VIII. RESULTADOS</b> .....	31
VIII.1 Superficie total y coberturas vegetales afectadas debido a incendios 2005-2013.... .....	31
VIII.1.1 Áreas afectadas por incendios durante 2005- 2013 .....	32
VIII.2. Caracterización y descripción de la vegetación con información de campo. ....	35

VIII.2.1. Descripción de la vegetación en el SCDF .....	37
VIII. 2.1.1. Biomasa arbórea para los tipos de coberturas considerados.....	41
VIII.2.1.2. Carga de combustibles muertos de acuerdo en las comunidades muestreadas en campo .....	43
VIII.2.2. Mapas de uso de suelo y vegetación a partir de la reclasificación del NDVI y clasificación supervisada para el año 2005.....	45
VIII.2.2.1 Correspondencia entre NDVI y clasificación supervisada 2005 .....	47
VIII.3. Mapa de uso de suelo y vegetación a partir de una clasificación supervisada para el año 2014.....	49
VIII.3.1. Análisis de separabilidad .....	51
VIII.4 Vegetación afectada por los incendios durante el periodo 2005 -2013. ....	52
<b>IX. DISCUSIÓN.....</b>	<b>59</b>
<b>X. CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>XI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>66</b>
<b>XII. ANEXOS.....</b>	<b>78</b>
A1. Formato de campo .....	78
A2 Mapas por año de superficie incendiada para el período 2005-2013 .....	80
A3. Resumen anual de la superficie afectada en ha y porcentaje por cobertura afectada del SCDF durante el periodo 2005-2013.....	89
A 4. Descripción de la vegetacion de los sitios de mayor frecuencia de incendios .....	92
A 5. Vegetación afectada a partir de las coberturas reportadas por CONAFOR, durante 2005-2013.....	107

### **XIII. LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 Respuesta espectral de la vegetación en bandas Ladsat 7 TM.....	14
Fig. 2 Suelo de Conservación del D.F. ....	17
Fig. 3 Esquema metodológico .....	21
Fig. 4 Levantamiento de la vegetación y de combustibles en sitios de 700 m <sup>2</sup> .....	23
Fig. 5 Promedio anual de la superficie afectada por coberturas durante 2005-2013.....	31
Fig. 6 Mapa de superficie total afectada durante el periodo 2005-2013.....	33
Fig. 7 Mapa de frecuencia de incendios durante el periodo 2005-2013.....	34
Fig. 8 Mapa de sitios de muestreo realizados en campo .....	36
Fig. 9 Carga de combustibles promedio a partir del SICCO .....	43
Fig. 10 Coberturas de uso de suelo y vegetación a partir de una reclasificación del NDVI de la imagen Landsat, noviembre 2005 .....	46
Fig. 11 Mapa de uso de suelo y vegetación para el 2005 del SCDF .....	48
Fig. 12 Mapa de uso de suelo y vegetación para el 2014 del SCDF .....	50
Fig. 13 Firmas espectrales de los bosques vistos en campo del SCDF .....	52
Fig. 14 Mapa de la vegetación total afectada por incendios durante 2005-2013 .....	54
Fig. 15 Mapa de sitios con 100% de frecuencia de incendios durante 2005-2013.....	55

#### **XIV. LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Coberturas de vegetación y uso de suelo, Según PAOT 2012 .....	7
Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para el cálculo de biomasa por especie arbórea.....	25
Cuadro 3. Biomasa promedio estimada por especie arbórea (kg) y para cada comunidad (t/ha <sup>-1</sup> ).....	42
Cuadro 4. Superficie y porcentaje de las clases de acuerdo a las clasificaciones 2005-2014.....	51
Cuadro 5. Coberturas afectadas por incendios, según comunidades vistas en campo.....	56

## I. RESUMEN

Se estima que en el Suelo de Conservación del Distrito Federal (SCDF) ocurrieron en promedio 1,000 incendios en la última década, la mayoría superficiales y de origen antrópico. El objetivo de esta investigación fue evaluar la vegetación afectada debido a los incendios forestales sucedidos durante el periodo 2005 a 2013 en el SCDF. Se seleccionaron 15 sitios de mayor frecuencia de incendios, en cada sitio de 700 m<sup>2</sup> se llevó a cabo una caracterización de la vegetación en campo, se tomaron datos de DAP, altura, porcentajes de coberturas según los diferentes estratos afectados por incendios según lo reportado por CONAFOR (pasto, arbusto, hojarasca, reforestación, renuevo y arbolado adulto). Los sitios de muestreo fueron utilizados como áreas de entrenamiento en el análisis de imágenes satelitales de mediana resolución, para obtener mapas de uso de suelo y vegetación. Cada comunidad vegetal fue nombrada por la especie dominante, clasificandola en cinco tipos: bosque de *Abies religiosa*, bosque de *Pinus* spp., bosque de *Pinus-Alnus*, bosque de *Pinus-Alnus-Quercus* y bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*. Mediante la sobreposición de los mapas de uso de suelo y vegetación con los sitios reportados por CONAFOR para el período de estudio, se constató que los bosques de pinos y encinos en diferentes porcentajes de cobertura son los que abarcan una mayor extensión; por lo que son la vegetación más afectada por los incendios, principalmente en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, con una superficie acumulada mayor a 100 ha. Las delegaciones, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Xochimilco, Iztapalapa y Tláhuac registraron menos de 60 ha quemadas. Se puede concluir que las coberturas más afectadas por el fuego fueron: pasto y arbusto, seguido de hojarasca, reforestación y renuevo; sin embargo se reportaron pérdidas de arbolado adulto que afectaron a bosques de pinos, encinos y oyameles.

**Palabras clave:** incendios forestales, bosques del D.F, imágenes satelitales, CONAFOR.

## II. ABSTRACT

It is estimated that in the Soil Conservation of the Federal District (SCDF) in México on average 1,000 fires occurred in the last decade, most of them were superficial and anthropogenic. The objective of this study was to assess the vegetation affected by forest fires that occurred during the period 2005-2013 in the SCDF. 15 sites more frequently burned were selected, in each site on 700 m<sup>2</sup> were conducted a vegetation characterization and were taken data of DBH, height, percentage of coverage in the different strata affected by fire as reported by CONAFOR (grass, shrub, leaf-litter, tree seedlings and adult). The sampling sites were used as training areas in the analysis of medium resolution satellite images, land use and vegetation maps were obtained. Each plant community was named after the dominant species, classifying it into five forest types: *Abies religiosa*, *Pinus spp.*, *Pinus-Alnus*, *Pinus- Alnus-Quercus*, and *Pinus-Quercus-Buddleia*. By overlapping maps of land use and vegetation with sites reported by CONAFOR for the period of study, it was found that the forests of pines and oaks in different combinations and allowance percentages are covering a larger area, and was the vegetation most affected by fires, mainly in the delegations of Tlalpan and Milpa Alta, with a total surface area greater than 100 ha. The delegations of Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Xochimilco, Iztapalapa y Tláhuac are registred burned areas smaller than of 60 ha. It can be concluded that the coverage most affected by fire were: grass and shrub, followed by leaf-litter, reforestation and tree seedlings; however losses affecting adult trees of pine, oak and fir were reported.

**Key words:** forest fire, forest of D.F, satellites images, CONAFOR.

### III. INTRODUCCIÓN

Actualmente los bosques y selvas en México presentan un gran deterioro por diversos factores como: la deforestación, la tala clandestina, presencia de plagas, enfermedades, cambio de uso de suelo, contaminación atmosférica, el cambio climático y los incendios forestales (Castro, 2003). Desde épocas prehistóricas el fuego ha existido de manera natural y es un factor importante que influye en la evolución de las plantas y los ecosistemas. Existen reportes de que las cenizas favorecen al suelo, lo enriquecen, eliminan plagas y malezas (Diez de Bonilla, 2007; Hernández, 2010). Es por ello que ha sido utilizado para preparar el suelo durante las actividades agrícolas (método de roza-tumba-quema).

El fuego puede favorecer la regeneración natural o artificial, facilitar la reforestación, y la reducción de combustibles. Los combustibles forestales se refieren a todo el material inflamable y por su estado se clasifican en vivos como; arbustos, hierbas, plántulas, etc. y muertos que son zacates secos, hojas, ramas, leñas y troncos caídas. Cuando se combinan con el oxígeno y el calor dan lugar a la combustión (Wong y Villers, 2007). Los combustibles pueden ser utilizados para proyectar el comportamiento potencial del fuego, y se expresan por clase en función del diámetro del combustible y al tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental denominado tiempo de retardo. Conforme el combustible sea más grande, perderá o ganará humedad más lentamente, es decir tendrá un mayor tiempo de retardo (Wong, 2011). Se han clasificado a los combustibles de 1, 10, 100 y 1000 horas cuyos diámetros varían de 0 a 0.6 cm., de 0.61 a 2.5cm., de 2.51 a 7.5 cm. y mayores de 7.5 cm. respectivamente. Entre menos sea la cantidad de combustible disponible, el calor generado es menor y disminuye el riesgo de pérdida en la vegetación y del arbolado (Chávez *et al.*, 2011).

A partir de que el hombre empezó a usar el fuego, la frecuencia de incendios aumentó considerablemente y ha causado modificaciones importantes en el desarrollo de los ecosistemas. De acuerdo con Hernández (2010), los incendios forestales están relacionados con impactos de gran escala pues provocan la pérdida de la biodiversidad, erosión, destruyen la reforestación, el renuevo, y pueden matar o debilitar a los árboles adultos (Cochrane y Laurence, 1999; Diez de Bonilla, 2007; CONAFOR, 2013). En México se ha

reconocido que el fuego, asociado a incendios forestales es uno de los factores de mayor afectación a la estructura y composición de bosques y selvas. (Nearya *et al.*, 1999; Martínez, 2001 y Vega, 2008).

Existen especies que están adaptadas y son dependientes del fuego, como es el caso de algunas semillas de pinos que necesitan del calor para ser liberados de los conos y germinar días después del siniestro (Fernández *et al.*, 2010). Algunas especies de encinos se protegen del calor intenso por el grosor de la corteza, en el caso de algunos pastos y leguminosas rebrotan después de un incendio (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2004; Madrigal *et al.*, 2011). Los incendios forestales pueden evitar que un individuo llegue a su edad reproductiva según la estación y severidad en la que se da el siniestro (CONANP, 2011).

De acuerdo con Myers (2006) y Hernández (2010), en general una comunidad vegetal se puede clasificar de acuerdo a su respuesta al fuego; Para el caso de los ecosistemas de México se clasifican en: 1) ecosistemas dependientes del fuego, como los bosques de pinos, encinos, sábanas, pastizales y matorrales, donde las especies están adaptadas y responden de forma positiva ante el fuego y este siniestro es importante para la distribución de las especies; 2) los ecosistemas independientes del fuego, como los desiertos o la tundra que se caracterizan por ser fríos o húmedos, en donde el fuego puede no presentarse con regularidad y carecen de combustibles o fuente de ignición; y 3) ecosistemas sensibles al fuego, aquéllos en donde la mayoría de las especies no han evolucionado ante la presencia del fuego, se presentan en selvas perennifolias, latifoliadas y manglares; son sitios húmedos, donde si llegara a ocurrir un incendio por pequeño que sea, puede ocasionar una alta mortalidad.

Por otro lado, se han distinguido tres tipos de incendios 1) los subterráneos, que afectan a raíces y mantillo, llegan a alcanzar la roca madre, son lentos, generan mucho calor y son difíciles de detectar 2) los incendios superficiales, que afectan a pastizales, plantas herbáceas del sotobosque y llegan a alcanzar hasta 1.5 m de altura afectando a los troncos del arbolado adulto y, 3) los incendios de copa, donde el fuego se propaga de copa a copa, son rápidos y pueden consumir totalmente al arbolado, es el menos frecuente y muchas veces se originan a partir de un incendio superficial (Fernández *et al.*, 2010).



En México, la mayoría de los incendios forestales son superficiales, el 95 % son de origen antrópico y afectan principalmente a pastizales, que pueden recuperarse en los primeros días de las temporadas de lluvias, mientras que los arbustos tardan de una semana a un par de años. Sin embargo, un incendio severo puede llegar a afectar al 51 % de la masa arbórea, al quemarse las copas y consumir la biomasa, en donde el tiempo de recuperación puede ser de más de 10 años, dependiendo de la especie y de otros factores, lo que ocasiona problemas ambientales y de sustentabilidad de los ecosistemas (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Hernández, 2010 y CONAFOR, 2013).

Después de un incendio, el arbolado adulto puede ser afectado en su crecimiento a corto y largo plazo, debilitándolo y aumentando la probabilidad de ser atacado por plagas y con el tiempo morir (Castro, 2003; CONAFOR, 2013). En un estudio de nueve años realizado por Verzino *et al.*, (2005), encontraron que un bosque de pino incendiado en la Sierra de Cordoba Argentina, el arbolado adulto no se recuperó y se presentó un alto porcentaje de suelo desnudo. De manera similar Vela y Rodríguez-Trejo (2007), reportaron que después de un incendio en un bosque de *Pinus hartwegii* en el Ajusco, la mortalidad de los árboles se vio afectada en los individuos de menor diámetro.

CONAFOR (2013), registró durante el periodo de 2005 a 2013 una pérdida total de vegetación para el país de 98, 578 ha de bosques, vegetación árida y semiárida a causa de los incendios forestales. Los reportes de este organismo sobre la vegetación afectada por estos eventos fueron clasificados únicamente según la cobertura afectada: (arbolado adulto, arbusto, pasto, hojarasca, renuevo y reforestación). Las coberturas de mayor a menor afectación fueron la herbácea, arbustiva y pastizal representando el 89 %, seguido de la cobertura arbórea con 10.8 % de afectación. Cabe mencionar que el Distrito Federal (D.F.) es de las tres primeras entidades federativas que registro el mayor número de incendios en las últimas décadas, pero una de las entidades con menor superficie acumulada de incendiadas.

### III.1. Historia del suelo de conservación en el D.F.

La población nativa de la Ciudad de México es de origen náhuatl. Desde la época prehispánica la cuenca de México estaba bajo el dominio de Tenochtitlan-Tlatelolco, civilización basada en el cultivo en chinampas, el consumo de aves y de organismos acuáticos. Con la conquista española la ciudad fue rediseñada, con un nuevo uso de la tierra. Luego de la guerra de independencia, pero en especial durante el Porfiriato hubo una gran expansión urbana, crecimiento industrial y comenzó el proceso de inmigración masiva que ocasionó grandes problemas ambientales, como el desabasto de agua potable y el cambio de uso de suelo de agricultura a zonas urbanas (Ezcurra, 2003; Sheinbaum, 2008). Con el cambio del uso del suelo, actualmente solo una pequeñísima parte de esa gran cuenca pasó a formar parte de parques y jardines (Torres *et al.*, 2009).

En los años noventa ya se reconocía la importancia de mantener zonas de conservación y preservación ecológica en la Ciudad de México y es entonces cuando nace el reglamento de uso de suelo, instrumento jurídico que contiene por primera vez la zonificación de uso del suelo del D.F., que estableció límites para los espacios urbanizados y de conservación. Posteriormente en 1992, se publicó en la Gaceta Oficial del D.F. la declaratoria oficial de 85, 554 ha destinadas a áreas de preservación y rescate. En 1996 se cambió el término a Suelo de Conservación (SC) y se creó un modelo de desarrollo que buscaba preservar, restaurar y evitar la ocupación del SCDF (Sheinbaum, 2008; Meza y Monacada, 2010).

En el 2000 se decretó el Programa General de Ordenamiento Ecológico (PGOEDF), por la Asamblea Legislativa del D.F., primer instrumento político ambiental que norma los usos y actividades productivas y se incluyó a la delegación de Gustavo A. Madero en el Suelo de Conservación del Distrito Federal (SCDF). Finalmente en 2003 se elaboró un programa general de desarrollo urbano, con el objetivo de determinar el uso que se le puede dar al Suelo de Conservación (Ezcurra, 2003).

Actualmente el Distrito Federal se divide en suelo urbano y en Suelo de Conservación, este último ocupa una extensión de 87, 297 ha ubicadas en nueve delegaciones; la mayor parte se concentra al sur del D.F. (PAOT, 2012), abarcando parcialmente las delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Tlalpan, Milpa Alta,

Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco. En la parte norte del D.F. comprende la delegación de Gustavo A. Madero.

El primer responsable de la administración y conservación del SCDF es la Secretaría del Medio Ambiente del D.F, quien aplica los lineamientos del PGOEDF y resguarda áreas con valor ambiental. Un instrumento es el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales, coordinado por los gobiernos federal, estatales, municipales e instituciones no gubernamentales. Este programa es el encargado de la prevención y control de incendios forestales en los 31 estados y el SCDF (PGOEDF, 2000; CONAFOR, 2008).

En el cuadro 1 se presenta la superficie existente de vegetación y uso de suelo del SCDF, de acuerdo con la PAOT (Procuraduría Ambiental de Ordenamiento Territorial).

Cuadro1. Coberturas de vegetación y uso de suelo, según PAOT 2012

Coberturas	ha
Bosque sin perturbar	25,242
Bosque perturbado	12,209
Matorral	4,174
Pastizal de alta montaña	4,510
Suelo dedicado agricultura	17,729
Pastizal inducido	8,840
Humedal	852
Área sin vegetación aparente	635

El D.F. cuenta con aproximadamente cincuenta pueblos originarios, asentados en siete delegaciones, ubicados en los límites del SCDF de las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. Estos pueblos requieren de su territorio y recursos para subsistir, pero también dependen de las tierras, aguas y bosques (Yanes, 2007). El 71 % del Suelo de Conservación se encuentra bajo el régimen ejidal y comunal, el 23 % es pequeña propiedad y el 6 % son terrenos expropiados. Los pueblos originarios actualmente se encuentran en permanentes conflictos sociales y políticos, un elemento importante es la llegada y el asentamiento de población migrante, tanto indígena como no indígena. De acuerdo con Yanes, (2007) hay un total de 470 asentamientos humanos en el SC, de los cuales 122 son regulares y 348 sin regularizar, lo que ha implicado una pérdida de 7,500 ha. del SCDF. Por ello, es claro que existen diferentes problemas de origen antrópico y naturales que afectan directamente a la conservación y permanencia del SCDF (Velázquez, 2012).

Por lo que la ciudad de México para poder ser viable requiere de la integridad, del manejo sustentable y los recursos de los pueblos originarios, y si carece de esas condiciones no habrá conservación y uso sustentable (Yanes, 2007). Por otro lado es importante mencionar los servicios ecosistémicos que el SCDF provee a la mancha urbana que incluyen el aporte del 70 % de recarga de los acuíferos, siendo sierra Chichinautzin-Ajusco la principal zona de recarga. También se ha señalado la importancia de los bosques en la preservación del microclima de la ciudad y como sumideros de carbono reduciendo el efecto invernadero, en la retención del suelo, etc. (Sheinbaum, 2008). Actualmente en el SCDF se realizan actividades agrícolas, ganaderas y de turismo rural.

Por lo tanto, al ser el Distrito Federal una de las principales entidades con el mayor número de incendios reportados, es importante conocer la vegetación que es afectada por los incendios en sus diferentes coberturas.

#### **IV. OBJETIVOS**

##### General

Evaluar la vegetación afectada por los incendios forestales presentados durante el periodo 2005-2013 en el Suelo de Conservación del Distrito Federal.

##### Particulares

- a) Generar mapas anuales de la superficie total afectada y por la frecuencia de incendios, durante el periodo 2005 – 2013.
- b) Realizar una caracterización de la vegetación en los sitios de mayor incidencia de incendios ocurridos en el periodo 2005- 2013.
- c) Estimar la cantidad de biomasa arbórea presente en las comunidades con mayor incidencia de incendios.
- d) Elaborar mapas de uso de suelo y vegetación de los años 2005 y 2014.
- e) Identificar la vegetación afectada por los incendios, en sus diferentes coberturas; arbóreo, renuevo, reforestación, arbusto y pasto.

## **V. ANTECEDENTES**

### **V.1. Importancia ecológica, pérdida de biomasa e incendios forestales en el SCDF**

Diferentes autores que han realizado estudios en el SCDF que muestran la importancia que tiene por los bienes y servicios que ofrece para la zona, tales como el mantenimiento de las cuencas hidrológicas y el mantenimiento de la biodiversidad (Martínez, 2001; Jujnovsky, 2006; Almeida-Leñero *et al.*, 2007; Garcés, 2008; Campuzano *et al.*, 2011 y Flores, 2011). Sin embargo la vegetación presente en el SCDF está expuesta a disturbios antrópicos, urbanización e incendios forestales. Martínez (2001), observó la capacidad de recuperación de la vegetación, después de un incendio en la reserva del Pedregal de San Ángel, donde la abundancia de semillas de muchas especies disminuyó después del disturbio.

De acuerdo con las estadísticas reportadas por la CONAFOR durante el periodo 2005-2013, el promedio anual de superficie afectada por incendios fue de 1,001 ha en el Distrito Federal, afectando principalmente a los pastos, arbustos y el renuevo. Rodríguez-Trejo y Cruz (2013), Diez de Bonilla (2009) y Saavedra (2007), quienes afirman que la mayoría de los incendios son de origen antrópico y son generados por ganaderos, agricultores y por fogatas mal apagadas por los turistas. El 90 % de ellos son superficiales y el 10 % son de copa. Estos autores señalan que las delegaciones con mayor pérdida de vegetación debido a incendios son: Milpa Alta, Magdalena Contreras y Tlalpan, particularmente en la Sierra de Santa Catarina, las laderas del volcán Pelado, San Miguel Ajusco y San Miguel Topilejo y resaltan el hecho de que muchos de estos sitios pueden ser los mismos cada año.

Los efectos ecológicos y biológicos de los incendios forestales, ocasionan diferentes problemas económicos y sociales como como la pérdida de leña y frutos; también daños a la atmósfera, porque el efecto inmediato de los incendios es la producción y liberación de gases y partículas que resultan de la combustión de biomasa.

Después del incendio, algunas semillas de reserva del suelo se destruyen por la acción directa del fuego, inhibiendo su germinación, también actúa sobre las plántulas y rebrotes, algunas plantas senescentes pierden su capacidad de rebrotar, o tiempo después del incendio llegan a tener plagas y después morir, la eliminación parcial o total de la cubierta vegetal, afecta su estructura y en el caso de las especies arbóreas, la consecuencia es la pérdida de biomasa (Castro, 2003; Castillo-Argüero *et al.*, 2004, Torres, 2008).

La importancia de calcular la biomasa, ha sido utilizado para estudios de emisiones de bióxido de carbono y de almacenamiento de carbono (García-Rojas, 2008; Mendoza y Galicia, 2010 y Cruz *et al.*, 2014). En este trabajo la biomasa promedio arbórea (kg) existente por comunidad vegetal, fue calculada en sitios con mayor frecuencia de incendios, con el fin de conocer la biomasa que se perdería según la comunidad vegetal muestreada en caso de presentarse en éstas un incendio de gran magnitud. La biomasa arbórea es considerada como la suma total de materia biológica como follaje, troncos, ramas, cortezas, flores, frutos y raíces que presenta un árbol en un momento y en un determinado ecosistema. Realizar este tipo de cálculo es importante para la conservación de los bosques y su valor económico por lo que tiene aplicaciones en los sectores forestal, energético e industrial (Vega, 2008; Sola *et al.*, 2012; Roman, 2012 y Tomás, 2013).

Para estimar la biomasa arbórea de un ecosistema existen diferentes metodologías; el método directo es exacto y costoso, implica cortar el árbol y pesar cada componente, el método indirecto o tradicional se basa en fórmulas de volumen y densidad de la madera, pero la biomasa es variable y depende de la especie, la estacionalidad, condiciones climáticas y edáficas. Otro de los métodos para estimar la biomasa y que arroja buenos resultados es a partir de una regresión lineal, donde existe una relación que describe variables fáciles de medir (por ejemplo el diámetro a la altura del pecho), con aquellas variables que son difíciles de medir (biomasa). La ventaja en el uso de algoritmos específicos para las especies radica en que se pueden escalar a comunidades vegetales e incluso a ecosistemas (Rojas-García, 2008).

Las relaciones alométricas ha sido utilizado en climas templados (Avendaño *et al.*, 2009). Diversos autores han utilizado la siguiente fórmula para calcular la biomasa arbórea por especie:

$$Y=bX^K$$

Donde:

Y= biomasa área en kg

X= diámetro normal en cm

En esta ecuación “b” y “K” son los parámetros de la función, que son ajustados para conseguir una relación de potencia entre la biomasa y el diámetro del árbol (Sola *et al.*, 2012). En este caso las variables “b” y “k” han sido obtenidas por diferentes autores, para varias especies de vegetación similar a partir del método destructivo (Acosta *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Bonilla, 2009; Jiménez, 2011; Tomás, 2013 y Rojas-García *et al.*, 2015).

Estudios realizados en sitios afectados por incendios en el SCDF, es el proyecto realizado por la PAOT (2010), quien llevó a cabo un proyecto de reforestación y recuperación del bosque del SCDF, con el fin de restaurar sitios afectados por incendios y conocer el valor de biomasa de la vegetación reforestada. Por otro lado Roman (2012), utilizó modelos alométricos para estimar la biomasa en tres tipos de bosque de *Abies religiosa* en el parque Desierto de los Leones, que han sido afectados por diferentes factores entre ellos, los incendios forestales.

Por otro lado las técnicas de teledetección, en complemento con los sistemas de información de información geográfica (SIG), constituyen un recurso único para analizar la distribución espacial-temporal de la vegetación y evaluar el estado de la vegetación, en este caso debido a los incendios forestales.

## V.2. Estudios de incendios con percepción remota y sistemas de información geográfica.

En las últimas décadas se han utilizado imágenes satelitales para el estudio de la cobertura terrestre con diferentes aplicaciones, y existen una gran variedad de satélites y sensores con diferentes resoluciones, que de acuerdo con Chuvieco (1990) nos confieren la habilidad de discriminar información en detalle en la observación sobre la superficie terrestre.



Una imagen satelital está compuesta por una matriz en donde cada pixel tiene un color, una posición geográfica y un brillo. De acuerdo con la plataforma y el sensor se presentan diferentes tipos de resoluciones: 1) espectral, que se refiere al número y anchura de las bandas, 2) radiométrica, que es el número máximo de niveles digitales de la imagen o valores de brillo, entre mayor resolución radiométrica, mejor se podrá interpretar la imagen 3) temporal, es la periodicidad con la que se adquieren las imágenes en el mismo punto de la superficie y, 4) espacial, que se define como el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen (Chuvienco, 1990).

Un ejemplo de ello son los productos ofrecidos por la serie de satélites Landsat, que a partir de su lanzamiento han desarrollado una serie de sensores con diferentes resoluciones. En los noventa surgió el sensor Landsat 7 TM, que contiene siete bandas y una pancromática, para el año 2013 surgió el sensor Landsat 8 OLI, con nueve bandas y una pancromática, con una resolución espacial de 30 x 30 m y una periodicidad de cada 16 días. Sin embargo una de las ventajas de Landsat 8 OLI, es su resolución radiométrica con 4,096 posibles niveles de grises en la imagen, logrando una mayor diferenciación de la cubierta vegetal, en comparación con 256 niveles de grises del sistema Landsat 7 TM (Chuvienco, 1990) y al combinarse tres diferentes bandas, en su respectivo sistema RGB (en sus siglas en inglés red, green, blue ) producen una gama de colores de compuestos que incrementan sus aplicaciones. También es importante mencionar que el satélite Landsat es de libre acceso por la web.

Para realizar los mapas temáticos que se elaboran por medio de la asignación de cada pixel a una clase, existen dos métodos de clasificación: 1) no supervisada, donde se clasifica las coberturas sin conocer el área de estudio, y el usuario le indica al programa un número determinado de clases que se agrupan por su cercanía espectral y 2) supervisada, cuando se conoce el área de estudio y se asignan las clases a partir de los sitios vistos en campo, obteniendo un mapa de un color y una leyenda por cada clase asignados por el usuario. Las categorías de la clasificación son muy abiertas, como uso urbano, forestal, agua, cultivos etc. A partir de esta imagen pueden generarse una cartografía temática, el inventario estadístico de la superficie involucrada en cada categoría y estudios de cambio de coberturas entre imágenes (Terán y Viteri, 2005). En la clasificación se distinguen las

siguientes fases: 1) definición digital de las categorías (fase de entrenamiento), 2) agrupación de los píxeles en una de esas categorías (fase de asignación), y 3) comprobación y verificación de resultados (Chuvienco, 1990).

El empleo de imágenes satelitales para evaluaciones de la superficie de la Tierra ha sido muy amplia. García (2010) y Raya (2013) por ejemplo, utilizaron métodos de clasificación supervisada, para generar mapas de uso de suelo con imágenes de baja resolución. Por otro lado López (2011), utilizó el método no supervisado y discriminó coberturas vegetales, en la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca. Otra de las aplicaciones, como las de Cocero *et al.*, (1998), quienes a partir de imágenes satelitales estimaron la probabilidad de incendios forestales, han resultado útiles.

Otro de los métodos para obtener coberturas de vegetación con imágenes satelitales es el uso del índice de vegetación normal diferenciado, por sus siglas en inglés NDVI, que es un estimador del vigor y productividad de la vegetación. La ventaja de este índice es la reducción de la información obtenida a partir de todas las bandas en una sola, disminuyendo la cantidad de datos espectrales (Chuvienco, 1990).

El fundamento de usar el NDVI está basado en el comportamiento radiométrico que tiene la vegetación (Fig.1). Una vegetación sana muestra el contraste de las bandas visibles, en especial de la banda roja (0.6  $\mu\text{m}$ . – 0.7  $\mu\text{m}$ .) con la banda infrarroja (0.7  $\mu\text{m}$ . – 1.1  $\mu\text{m}$ ); en la parte visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben y por lo tanto los picos más altos de reflectancia están en el infrarrojo, sin embargo la reflectividad de una vegetación estresada por plaga o sequía es por debajo del infrarrojo cercano; por esta razón cuando hay un mayor contraste entre las reflectividades de la banda infrarroja y roja, se dice que la vegetación presenta un mayor vigor vegetal. Estas características nos permiten diferenciar la vegetación densa y semidensa de otras cubiertas (Campbell, 2002).

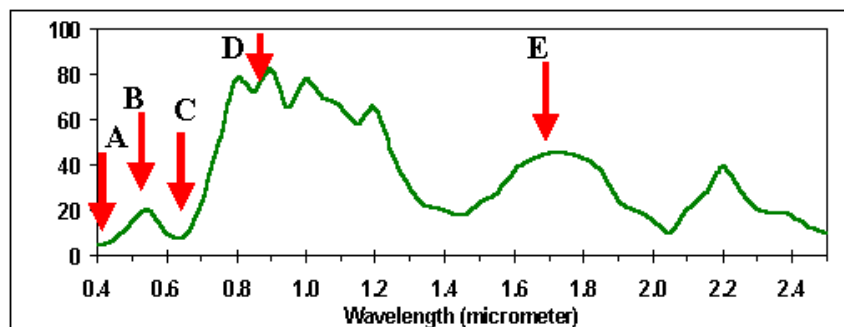


Fig. 1 Respuesta espectral de la vegetación en bandas Landsat 7 TM , Según CRISP, 2001. <http://www.crisp.nus.edu.sg/>.

Trabajos específicos para distinguir espectralmente tipos de coberturas vegetales heterogéneas a partir del NDVI son los de Carrera y Neil (1995); Alatorre y Begueria (2010); Ojeda *et al.*, (2011); López, (2011) quienes utilizaron imágenes Landsat y señalaron los valores espectrales, para discriminar bosques de coníferas, de *Abies* y matorrales.

Por otro lado, en los últimos años los SIG se han destacado como una herramienta para el análisis espacial, a la vez que permiten trabajar con otras fuentes de información como son imágenes de satélite, fotografías aéreas, etc. y han jugado un papel importante en estudios relacionados con los recursos naturales y con toda aquella información que requiera ser analizada por medio de su posición geográfica a partir de inmensas bases de datos, que permiten la actualización de la cartografía. Su ventaja es ofrecerle al usuario los elementos cartográficos y de análisis espacial necesarios para la toma de decisiones ante un problema específico (Chuvieco, 1990).

Un ejemplo del uso de esta herramienta es el trabajo de Villers y López (2004), quienes evaluaron la composición de bosques y combustibles vegetales utilizando herramientas de un sistema de información geográfica. Saavedra (2007), generó un sistema cartográfico para identificar áreas de valor ambiental dentro del SCDF, lo que permite generar políticas públicas para la protección de áreas amenazadas por la influencia humana. Por lo tanto, se ha considerado que los SIG son un insumo útil para la toma de decisiones, ya que permiten delimitar los espacios geográficos donde existan áreas con ciertas características necesarias para su evaluación.

## **VI. ZONA DE ESTUDIO**

El suelo de conservación del Distrito Federal forma parte de la Faja Volcánica Transversal formada en el Cenozoico que tiene un origen volcánico y tectónico (Lugo, 1990), dando lugar a grandes superficies de lava basáltica y material piroclástico. El SCDF se encuentra ubicado en un intervalo altitudinal de 2,300 a 3,930 m.s.n.m. rodeado por diferentes serranías: 1) al norte se encuentra la Sierra de Guadalupe, 2) al poniente, la Sierra de las Cruces, 3) la Sierra Chichinautzin, se encuentra al sur, y 4) la Sierra Nevada, al oriente (PAOT, 2012) (Fig.2).

El SCDF está conformado por diferentes unidades geomorfológicas: laderas, piedemontes, lomeríos. En las zonas forestales de las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, dominan los suelos de tipo Andosol ricos en vidrio volcánico, mientras que en las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac e Iztapalapa se encuentran suelos tipo Litosol, Fozzem, Regosol, Solonchak y Fluvisol, y se presentan varias comunidades vegetales. Finalmente, las delegaciones de Tláhuac y Xochimilco presentan suelos lacustres o aluviales (Lugo, 1990; GDF, 2002 y PAOT, 2012).

El área de estudio incluye cuatro categorías de Áreas Naturales Protegidas (ANP): 1) Zona Sujeta a Conservación Ecológica ubicadas en; Ecoguardas, Sierra de Guadalupe, Cerro de la Estrella, Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, Sierra de Santa Catarina, 2) Parques Nacionales; Cumbres del Ajusco, Desierto de los Leones, Historico de Coyoacan, el Tepeyac, Fuentes Brotantes de Tlalpan, Insurgentes Miguel Hidalgo 3) Reserva Ecológica Comunitaria; San Miguel Topilejo y San Nicolás Totolapan y 4) Zonas de Protección Forestal bosque de la cañada de Contreras.

La mayor parte del SCDF presenta clima templado subhúmedo, la cuál representa el 87 %, el resto presenta climas secos, templados húmedos y semifríos en las partes altas. La temperatura media anual es de 16° C, con extremos de 36 y 7° C. El mes más frío es enero y el más cálido es mayo. El régimen de lluvias es en verano; con una precipitación media anual de 948.7 mm, la porción seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda es de 1,200 mm, dando origen a diferentes comunidades vegetales (PAOT, 2012 y Vela *et al.*, 2012).

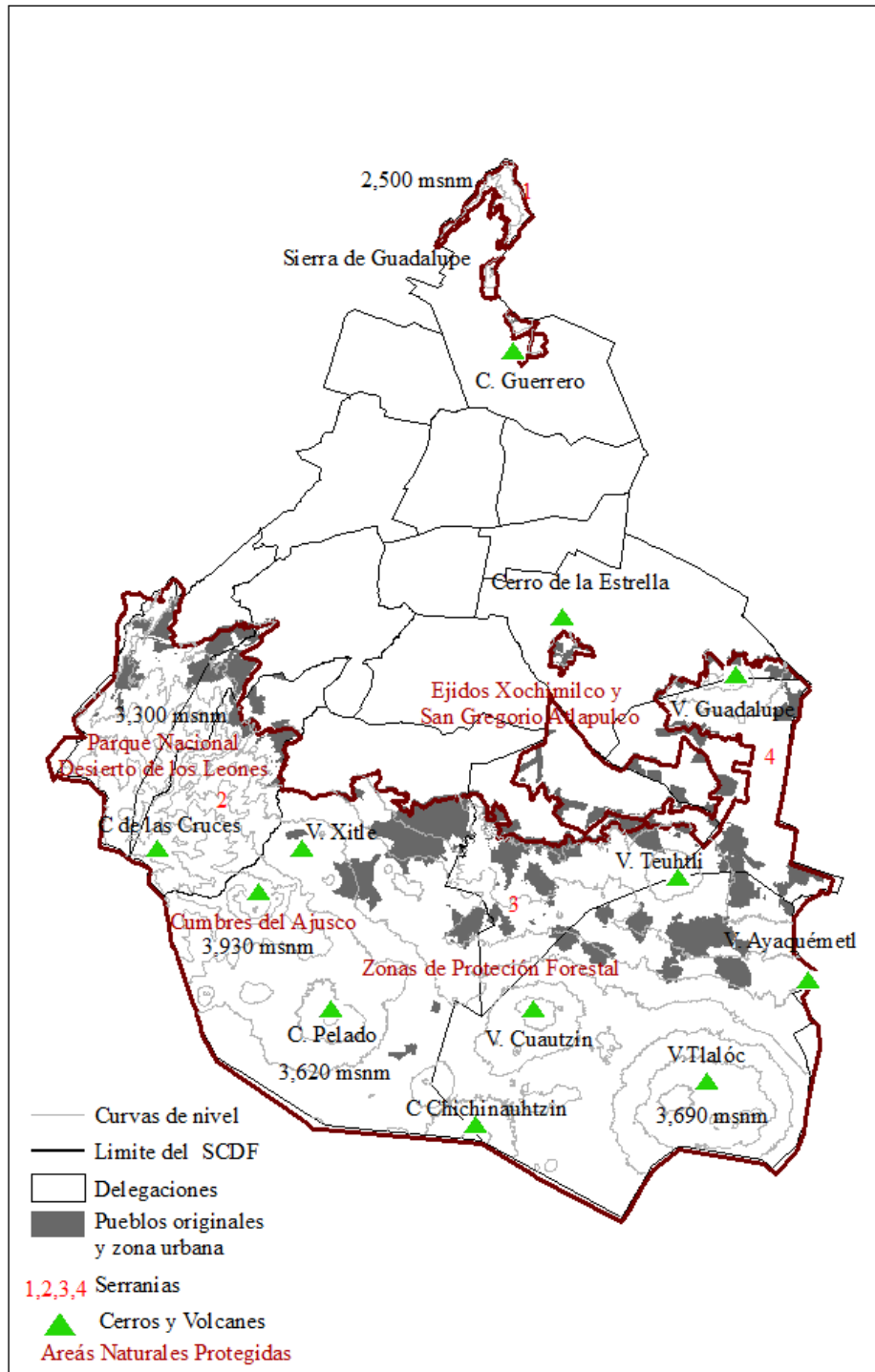


Fig. 2 Suelo de Conservación del D.F (Elaboración propia en base a PAOT, 2013)

La vegetación del SCDF forma parte de la Serranía Meridional de la Región Mesoamericana de Montaña y se caracteriza por la influencia Neártica y Neotropical, por lo que en el área de estudio se presenta una alta riqueza biológica (Lugo, 1990). La parte sur del SCDF se formó a partir del derrame del volcán Xitle y otros conos volcánicos, desde hace dos mil años, y que al enfriarse creó una capa pétreo, que con el tiempo dio lugar a procesos sucesionales, cuyo ritmo ha dependido de la acumulación del suelo y la humedad, así como factores que están relacionados con el gradiente altitudinal, formando un complejo mosaico de comunidades (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Morrone, 2007 y Ríos, 2013). Debido al gradiente altitudinal las comunidades se presentan en bandas más o menos definidas.

En las partes altas, la comunidad dominante es el bosque de *Pinus hartwegii*, que se presenta en un intervalo altitudinal entre 2,900 y 3,800 m.s.n.m; con un estrato arbóreo poco denso o abierto, y formando asociaciones con pastos amacollados. El bosque de *Abies religiosa* está ubicado entre los 2,400 y 3,850 m.s.n.m, en las partes altas se presentan masas puras y en las bajas hay asociaciones con latifoliadas. En este piso elevacional las condiciones de relieve incluyen pendientes moderadas o fuertes, con tres estratos de vegetación: musgo, herbáceo y arbustivo. En cuanto al bosque de pino, es la comunidad más extensa, se distribuye entre los 2,800 y 3,450 m.s.n.m, las especies dominantes son *Pinus montezumae*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus* y *P. patula*, que pueden coexistir con diversas especies de *Quercus*, *Juniperus*, *Arbutus* y *Alnus*, entre otros. El bosque de *Quercus*, se encuentra ubicado entre los 2,520 y 3,010 m.s.n.m, las especies más representativas son *Quercus laurina*, *Q. castanea*, *Q. centralis*, *Q. crassipes*, *Q. lanceolata*, *Q. obtusata* y *Q. rugosa*; principalmente se encuentran en pequeñas superficies y en límites superiores de los 2,600 m.s.n.m; esta comunidad está acompañada muchas veces con el bosque de *Abies* (Rzedowski G. C. de, J. Rzedowski, 2001; Rzedowski, J. 2006 y Vela *et al.*, 2012).

Los pastizales se distribuyen por arriba de los 2,800 y 3,850 m.s.n.m. dominados por *Muhlenbergia macroura*, *Festuca tolucensis* y *Stipa ichu*, entre otras. También existen pastizales de origen secundario mezclados con matorral xerófilo.

Los matorrales ubicados principalmente al sur del SCDF, se distribuyen entre los 2,300 y 3,060 m.s.n.m, y crecen principalmente en las partes más secas, pero debido a que se encuentran en los límites de las zonas urbanas, por lo general son comunidades muy deterioradas. Esta comunidad es muy abierta y se encuentra en mejor estado de conservación, donde el estrato herbáceo, es el dominante (Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Sheinbaum, 2008) (INEGI, 1983; Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Luna *et al.*, 2007 y Velázquez *et al.*, 2010).

En términos generales, el matorral xerófilo incluye a las comunidades de porte arbustivo, presentan tres estratos: arbustivo, herbáceo, y rastreras. Las especies arbóreas y arbustivas dominantes son: *Buddelia parviflora*, *Schinus molle*, *Senecio praecox*, y *Opuntia tomentosa*, que acompañan en gran extensión a palo loco. Las herbáceas más comunes son *Salvia mexicana*, *Gnaphalium oxypetalum*, *Castilleja spp.*, *Agave ferox*, *Stevia salicifolia* y especies rastreras como helechos y musgos que se encuentran en sitios de sombra y húmedos (Rzedowski, 2006; Rivera-Hernández y Espinoza-Henze, 2007; Luna *et al.*, 2007; Capulín *et al.*, 2009 y Rzedowski y Madrigal, 2011).

Actualmente el SCDF se encuentra en diferentes estados de conservación, debido principalmente al crecimiento de la mancha urbana y de los asentamientos irregulares, definidos como edificaciones de estructuras con materiales diversos, destinado al uso habitacional (PAOT, 2012).

En el año 2011, la procuraduría ambiental registró 835 asentamientos irregulares en el SCDF, y más del 70 % se encuentran en las delegaciones de Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan, en su mayoría ubicados en sitios primordiales para la conservación. Con el cambio de uso de suelo, se ha detectado la pérdida de infiltración de aguas al subsuelo, la disminución en los acuíferos, contaminación del agua, e incluso la pérdida de especies animales y vegetales, e incendios forestales (PAOT, 2010).

En el año 2012, se registró 48.4 ha de vegetación natural afectada atribuida a los incendios, asumiendo que el 98 % de los siniestros fueron causados por factores antrópicos. Los incendios pueden ser causados por factores naturales, ya que su presencia también depende de las condiciones climatológicas como la fuente de calor, la precipitación, y la temporada

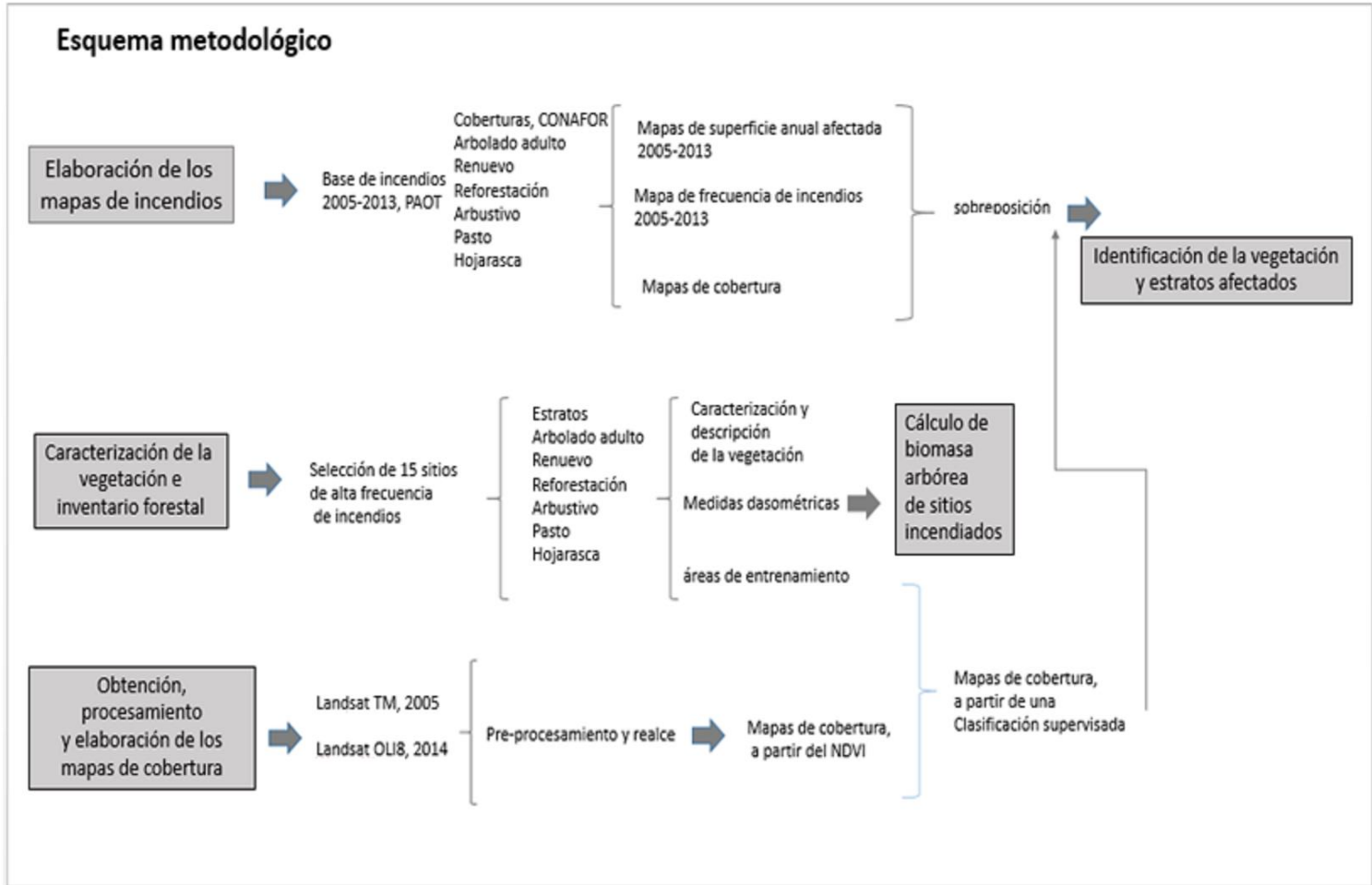
de enero a junio que en épocas de secas se vuelven un problema grave para los bosques y pueden presentarse de diferentes magnitudes debido a las características de los combustibles, entre otros (SEMARNAT, 2006; CONAFOR, 2006; Cantoral *et al.*, 2009; Campuzano *et al.*, 2011; Velázquez, 2012 y CONAFOR, 2013).

## **VII. METODOLOGÍA**

Para la realización de este proyecto la metodología fue dividida en seis fases. El esquema de la metodología utilizada se presenta en la Figura 3.



Fig. 3 Esquema metodológico



## **VII.1.Elaboración de la base de datos y obtención de mapas de incendios para el período 2005-2013**

Para cumplir con el primer objetivo particular, se trabajó con la información de los incendios reportados para el periodo 2005-2013. La base de datos de incendios, contenía la siguiente información: una clave numérica (ID) asociada a la fecha del incendio, la superficie total afectada, delegación, tenencia, paraje, núcleo agrario y las coberturas de la vegetación afectada, que es clasificada en: arbolado adulto, arbustivo, pasto, hojarasca, reforestación y renuevo. Cada ID se relacionó con una malla de 584 cuadrantes, que divide al suelo de conservación en cuadros de 10 x 10 ha. Esta información fue proporcionada por la PAOT (Procuraduría Ambiental del Ordenamiento Territorial del D.F) y la DGCORENA (Dirección General de Comisión de Recursos Naturales). Cabe mencionar que el departamento de incendios de la DGCORENA utiliza estos datos, para reportar y actualizar anualmente la superficie y vegetación afectada en sus diferentes coberturas.

Con esta información y con la ayuda del software Arc Gis versión 10.1, se generó una primera malla, para representar la superficie anual de la vegetación afectada durante los nueve años de estudio, una segunda para representar la superficie total siniestrada de todo el periodo de estudio 2005-2013, una tercera que indica la frecuencia de incendios por cuadrante durante los nueve años y las mallas de cada una de las seis coberturas reportadas por CONAFOR. Los mapas incluyen la delimitación de la delegación, el límite del SCDF y las curvas de nivel.

## **VII.2. Caracterización de la vegetación afectada e inventario de combustibles.**

Para reconocer y corroborar que los incendios registrados en las bases de datos fueron presentados en su mayoría en zonas forestales, se llevó a cabo la caracterización de la composición vegetal en los sitios con mayor frecuencia de incendios del 2005 al 2013. La caracterización de la vegetación se realizó durante los meses de enero a marzo del 2014, se visitaron un total de 15 sitios que fueron elegidos por diferentes criterios, principalmente

por el grado de frecuencia de incendios y por la accesibilidad. La localización de los sitios fue en comunidades vegetales y delegaciones distintas.

A cada sitio de muestreo en campo, le correspondió un área circular de 700 m<sup>2</sup> (Fig.4) donde se registraron los siguientes datos: delegación, paraje, coordenadas, fecha de muestreo, pendiente y altitud. A continuación se describen los apartados para su caracterización, según el formato de campo señalado en el Anexo 1.

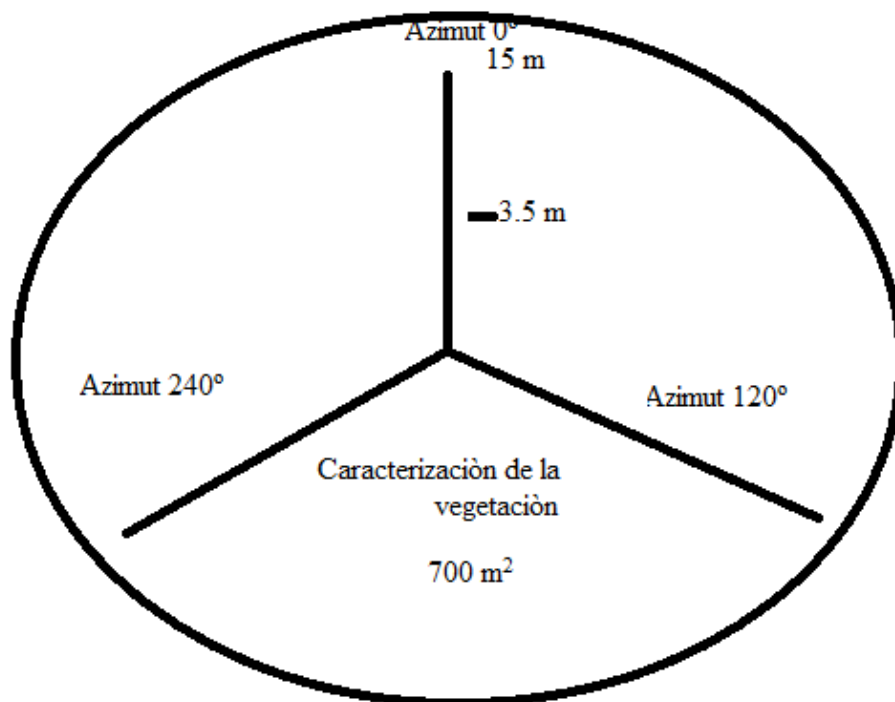


Fig. 4 Levantamiento de la vegetación y de combustibles en sitios de 700 m<sup>2</sup>.

#### VII.2.1. Caracterización de la vegetación

Para conocer la vegetación afectada en las áreas de mayor frecuencia por incendios, se llevó a cabo una caracterización de la vegetación por sitio. Se utilizó un método rápido y

sencillo conocido como el método fitosociológico de Zurich-Montpellier, que clasifica la vegetación por asociaciones y sus coberturas dentro de un área conocida (Braun-Blanquet, 1979). Este método se caracteriza por la libertad de seleccionar los sitios de estudio de acuerdo al tipo de comunidades vegetales.

Según señalan diversos autores, este método es apropiado para la realización de cartografía y clasificación de la vegetación, también permite conocer con cierto grado de subjetividad y en corto tiempo la heterogeneidad de la vegetación, ya que este método considera; los diferentes estratos, el porcentaje de la cobertura vegetal que es calculada en campo, y al mismo tiempo que se anotan datos precisos como la composición, altura y el diámetro a la altura del pecho (DAP) (Claro, 1985; Kent y Coker, 1994 y Velásquez *et al.*, 2010).

En cada sitio se colocaron tres líneas de 15 m ubicadas en tres diferentes posiciones, donde se abarco 700 m<sup>2</sup> de superficie de cada uno de los sitios de campo (fig. 4) primeramente se observó y se registraron los diferentes estratos; el arbóreo adulto o maduro, son aquellos individuos >1.50 cm de altura, el estrato arbóreo medio, individuos jóvenes o latizales <1.50 cm y de 5 cm a 10 cm de DAP, Ramírez (2006). Con una cinta métrica se tomó el DAP (1.3 m sobre el suelo) y con una estaca de 2 m como unidad de medida, se estimó la altura para el estrato arbustivo y pasto. En cada sitio se observó y se registró en cada sitio la presencia de reforestación y de renuevo.

Se estableció de forma visual el porcentaje de cubierta para cada uno de los estratos vegetales, considerando que los 700 m<sup>2</sup> de superficie de cada uno de los sitios de muestreo es el 100%, se crearon los siguientes intervalos: 1) < 30 % escasa cubierta, 2) entre 30 y 60 % con cubierta media de vegetación y 3) cubiertas entre > 60 a 100 % casi completa la cubierta vegetal.

Es importante mencionar que para realizar la descripción de la vegetación y la determinación de las especies, se utilizó bibliografía especializada, listados florísticos de la zona y un herbario de referencia proporcionado por el laboratorio de ecosistemas de montaña de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Los individuos que no fueron identificados en campo, fueron colectados para su posterior determinación en el herbario de

la Facultad de Ciencias (FCME). Se trabajó a nivel de género para todos los sitios. Las especies declaradas en las áreas de reforestación, fueron las señas por los brigadistas de CORENA y ejidatarios de la delegación de Milpa Alta.

Además en cada sitio se observaron y registraron las huellas de actividades antrópicas como la presencia de tocones, saneamiento forestal, ocoteo, derribo de árboles, quemas, agricultura, pastoreo y se observó la presencia de plagas. Se anotó el tipo de incendios sucedido, indicando si era superficial, de copa o subterráneo.

#### VII.2.1.1 Cálculo de biomasa arbórea según comunidad vegetal.

En primer lugar, se identificó la comunidad vegetal arbórea, de cada uno de los sitios visitados en campo, se tomó el DAP y altura de los árboles, se registró la especie con ayuda del herbario y del personal acompañante, posteriormente se llevó a cabo el cálculo de biomasa (k) por individuo y por especie arbórea, se realizó el cálculo promedio (t/ha<sup>-1</sup>) según el tipo de bosque. Se utilizaron las siguientes fórmulas para cada especie arbórea (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para el cálculo de biomasa por especie arbórea

Especie	Ecuación	Fuente
<i>Abies religiosa</i>	$(0.0754) \cdot (DN)^{2.513}$	Rojas <i>et al</i> 2014 y Avedaño, 2006
<i>Pinus sp.</i>	$(0.0948) \cdot (DN)^{2.4079}$	Díaz, 2005
<i>Pinus montezumae</i>	$(0.013) \cdot (DN)^{3.046}$	Bonilla, 2009
<i>Alnus jorullensis ssp.</i>	$(0.0195) \cdot (DN)^{2.7519}$	Carrillo <i>et al</i> , 2014
<i>Quercus sp.</i>	$(0.1033) \cdot (DN)^{2.39}$	Acosta-Mireles, 2002
<i>Buddleia cordata</i>	$C = (\text{EXP}(-9.3719 + 2.38201 \cdot \text{LN}(\text{DN}) + 0.16164 \cdot \text{LN}(A))) \cdot 1.2 \cdot 0.75 \cdot 0.5 \cdot 1000$	PAOT, 2010

DN: diámetro a la altura del pecho

A: altura

#### VII.2.1.2. Inventario de combustibles muertos.

En cada sitio se aplicó la técnica de intersecciones planares, que ha sido utilizada en diferentes ecosistemas de México, a partir de ella se obtuvo la carga por clase de combustibles muertos (reportada en t/ha), que permite separar la cantidad de combustibles

leñosos y hojarasca acumulado, según intersecciones sobre un plano vertical imaginario, marcándose sobre el piso forestal por una línea de muestreo (Brown, 1974; Duran *et al.*, 2011 y Wong, 2011).

A partir de las tres líneas de 15 m. ubicadas en tres diferentes posiciones: Norte ( $0^\circ$ ),  $120^\circ$  y  $240^\circ$  (fig. 4). Se contaron las piezas leñosas interceptadas en cada una de las líneas según su clase diamétrica. En los primeros 3.5 m de la línea se contabilizaron los combustibles menores a 0.6 cm de diámetro, mientras que en toda la línea se contabilizaron todos los combustibles según los siguientes intervalos: de 0.61 a 2.5, de 2.51 a 7.5 y mayores de 7.5 cm.

Para obtener una estimación de la carga de combustibles muertos expresado en toneladas por hectárea (t/ha) se utilizó el software SICCO (Sistema para el cálculo de combustibles forestales). Este software calcula la carga de combustibles por sitio, a partir de una ecuación basado en la pendiente, ya que considera la inclinación del terreno de cada uno de los transectos y el total de intercepciones contabilizados por cada clase (Duran *et al.*, 2011 y Gómez *et al.*, 2013).

### **VII.3. Obtención, procesamiento y elaboración de los mapas de uso de suelo y vegetación del SCDF**

Para elaborar los mapas de uso de suelo y coberturas de vegetación del SCDF, establecido en los objetivos particulares, se obtuvieron y procesaron dos imágenes satelitales para los años 2005 y 2014, que fueron conseguidas por la web en la página de internet de la Global Land Cover Facility en: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (GLCF, 2013).

Se utilizó una imagen del satélite Landsat, 7 TM (mapas temáticos) que incluye a las bandas: B1, azul (0.45 -0.52  $\mu\text{m}$ .), B2, verde (0.53 – 0.61  $\mu\text{m}$ .), B3, roja (0.63 – 0.69  $\mu\text{m}$ .), B4, infrarrojo cercano 1 (0.78 – 0.9  $\mu\text{m}$ .), B5, infrarrojo cercano 2 (1.55 – 1.75  $\mu\text{m}$ .), y B6, el infrarrojo medio (2.09 – 2.35  $\mu\text{m}$ .) y la pancromática, del mes de noviembre del 2005, 1026047\_04720051114.

La otra imagen fue del mismo satélite Landsat, pero de diferente sensor el 8 OLI, (Generador Operacional de Imágenes de Tierra) que incluye 9 bandas (Banda 1, costero, B2, azul (0.45 – 0.51  $\mu\text{m}$ ), B3, verde (0.53 – 0.59  $\mu\text{m}$ ), B4, roja (0.64 – 0.67  $\mu\text{m}$ ), B5, infrarroja cercana (0.85 – 0.88  $\mu\text{m}$ ), B6, infrarrojo de onda corta (1.57 – 1.65  $\mu\text{m}$ ), B7, infrarrojo de onda corta (2.11 – 2.29  $\mu\text{m}$ ), B8, Pancromática y B9, Cirrus (1.36 -1.38 $\mu\text{m}$ ), del mes de febrero 2014 LC80260472014047LGN00. Con sistema de referencia UTM 14-N y path-row 26/45 respectivamente.

Para todo el proceso se utilizó el software Idrisi 17.0 The Selva Edition (Eastman, 2012), como primer paso se realizó el pre-procesamiento de las imágenes haciendo el recorte abarcando el área de estudio. En la imagen Landsat 7 TM, fueron utilizadas las bandas: B1, B2, B3, B4 B5, y B6, para el caso de la imagen Landsat 8 OLI, se usaron las bandas: B2, B3, B4, B5, B6 y B7. Se hizo la corrección atmosférica para eliminar el efecto de la dispersión de los gases en la atmósfera y obtener información significativa de la imagen satelital, utilizando el método de extracción del mínimo valor.

Como un primer acercamiento de las coberturas existentes en el SCDF, se aplicó a la imagen Landsat 7 TM, 2005, el índice NDVI, para ubicar las posibles zonas con mayor y menor densidad en vegetación, de acuerdo a su valor espectral, inclusive se separó espectralmente la vegetación de otras cubiertas, como el suelo urbano y agricultura-pastizales, en toda la escena de la imagen.

El índice NDVI, se basa en el uso de bandas espectrales de diferente longitud de onda o frecuencia a partir de la energía electromagnética y que en su conjunto forma el espectro electromagnético. Las bandas más utilizadas y las que nos ayudaron para el cálculo fueron:

TM4= Infrarrojo cercano: 0.7 – 1.3  $\mu\text{m}$  también conocido como infrarrojo próximo o cercano, tiene la capacidad de discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.

TM3= Espectro visible: 0.4 – 0.7  $\mu\text{m}$  llamada así porque es la única forma de onda electromagnética que puede percibir el ojo humano. Sus diferentes longitudes de onda van desde los colores del violeta, hasta el rojo (López, 2011).

Se utilizó la fórmula matemática estandarizada para comparar el vigor de la vegetación (Chuvienco, 1990):

$$\text{NDVI} = (\text{TM4} - \text{TM3}) / (\text{TM4} + \text{TM3})$$

Dónde:

TM4= Banda del infrarrojo cercano

TM3=Banda del rojo

La principal característica de esta fórmula radica en la sencillez matemática así como de su interpretación y la normalización de la respuesta espectral de la vegetación que va de un rango de -1 a 1. La ventaja de conocer el valor de cada pixel es identificar las zonas que presentan cierta gama de actividad fotosintética.

A partir de los valores del histograma de este índice, se llevó a cabo una reclasificación, asignando las siguientes coberturas: un valor de 0, al intervalo negativo (-) que van del -1 a - 0.13 clasificándolo como zona urbana y suelo desnudo. Los valores positivos (+), indica la presencia de vegetación, donde se asignó un valor de 1, al intervalo entre 0 a 0.12 asignándolo como cultivos; un valor de 2, al intervalo entre 0.13 a 0.20 como pastizales; un valor de 3, al intervalo entre 0.21 a 0.40 como bosque semidenso, incluyendo matorral , y un valor de 4, al intervalo que va entre 0.41 a 0.70 asignándolo como bosque denso. De esta manera se obtuvo un primer mapa de coberturas a partir de una reclasificación del NDVI del SCDF. Basado en información bibliográfica sobre los rangos de reflectancia en relación a clases de uso del suelo (Carrera y Neil, 1995; Soria y Granados, 2005; Ojeda *et al.*, 2011; López, 2011 y Collin *et al.*, 2012).

### VII.3.1 Obtención del mapa de uso de suelo y vegetación a partir de una clasificación supervisada

La caracterización en cada sitio de muestreo en campo, fue utilizada como área de entrenamiento para la reclasificación de las coberturas de vegetación de las imágenes satelitales Landsat 7 TM, 2005 y Landsat 8 OLI del año 2014.



A través del software Idrisi Selva 17, como primer paso, se procedió a un re-alzamiento con el fin de facilitar la identificación de las cubiertas en cada una de las imágenes. Se utilizó una composición falso color, que se caracteriza porque despliega información que el ojo humano no puede ver, dado por su longitud de onda en el espectro electromagnético, a partir de tres bandas, que al combinarse forman una gama de colores y son utilizados para diferentes estudios. En el caso de Landsat 7 TM, 2005, se utilizó una combinación de bandas RGB 4-3-2, y una combinación RGB 5-4-3, para la imagen Landsat 8 OLI, 2014, ambas combinaciones son utilizadas para visualizar la vegetación (Chuvieco, 1990; Campbell, 2002 y GLCF, 2013).

Para obtener los mapas de uso del suelo y coberturas de vegetación a partir de una clasificación supervisada, se necesita tener una caracterización de la vegetación mediante un trabajo de campo, de esta manera los 15 sitios georreferenciados y caracterizados por su vegetación en campo fueron ubicados como campos de entrenamiento (Anexo 4), que son polígonos marcados en la imagen. Los campos de entrenamiento representan patrones que el algoritmo o clasificador debe reconocer para hacer la clasificación. Esta técnica está fundamentada en las características espectrales que tiene cada sitio según la cobertura vegetal que se describe en campo (Campbell, 2002).

Posteriormente se crearon cinco firmas espectrales (que es un patrón de respuesta característico del material sobre la imagen) de acuerdo a las clases de vegetación encontradas en campo, y se llevó a cabo un análisis de separabilidad, que ha sido utilizado para conocer la adecuada separación entre las clases, se usó el método de divergencia transformada que es el más confiable y simple (García, 2010). Este análisis se refiere a qué tanto se distingue y se separan cada una de las clases espectralmente, asume que los números digitales de una clase se distribuyen normalmente, considerando la separabilidad como una medida de solapamiento entre categorías vecinas. La distancia estadística va entre un intervalo de 0 a 2 donde: un valor menor de 1.7, es un valor considerado de baja separabilidad, uno de 1.9 indica buena separabilidad, y un valor de 2, existe una excelente separación entre las clases (Chuvieco, 1990; García, 2010).

Una vez creada cada firma por cada clase de vegetación, se obtuvo su caracterización estadística y se llevó a cabo la asignación de cada píxel en la imagen a una clase en

particular. Se utilizó un clasificador para que construyera la regla de decisión. En este trabajo se decidió usar el algoritmo de máxima verosimilitud, que a partir de los polígonos de entrenamiento, evalúa cada píxel y con estadísticos como la media, varianza, covarianza, son asignados a la clase que tenga la mayor probabilidad de pertenecer, este algoritmo es el que arroja mejores resultados.

Se obtuvieron siete clases de cobertura para cada una de las fechas; cabe mencionar que se digitalizó la zona urbana y pasto con agricultura, con el fin de discriminar mejor las cubiertas de la imagen. Se analizaron ambas imágenes por separado para obtener información sobre la cobertura vegetal para el 2005, primer año de datos de incendios y 2014 año posterior a los últimos datos de incendios.

Para conocer si existe un cambio entre cada clase de vegetación entre los años 2005 y 2014, se obtuvieron las diferencias de superficie por cada cobertura de ambas imágenes.

#### **VII.4. Identificación de la vegetación y coberturas afectadas debido por los incendios forestales**

Con el propósito de conocer el tipo de vegetación afectada por los incendios durante el periodo de estudio 2005-2013 y cumplir con el último objetivo establecido en este trabajo. Todo el procedimiento fue realizado con el software Arc Gis. 10.1 y fueron utilizados los mapas obtenidos del apartado VII.1., que representa la sumatoria anual por cuadrante de la superficie total afectada durante los nueve años de estudio, seguido del mapa de frecuencia de incendios por cuadrante, y los mapas de las seis coberturas afectadas (pasto, hojarasca, arbusto, renuevo, reforestación y arbóreo).

Estos datos fueron sobrepuestos con el mapa de uso de suelo y vegetación del 2005, fecha de inicio de los registros de incendios. De esta manera se identificó por cuadrante el bosque y sus coberturas en sus diferentes superficies afectadas.

En total se obtuvieron diecisiete mapas; seis mapas corresponden las diferentes coberturas (arbolado adulto, renuevo, reforestación, arbusto, pasto y hojarasca), un mapa de la

vegetación y sitios de menor a mayormente afectada durante todo el periodo de estudio, un mapa de frecuencia de la vegetación y sitios que han sido afectados los últimos nueve años por incendios y los nueve mapas anuales de la superficie total afectada durante el periodo estudiado (Anexo 2 y 5).

## VIII. RESULTADOS

### VIII.1 Superficie total y coberturas vegetales afectadas debido a incendios 2005-2013

Las coberturas de vegetales de pasto y arbusto fueron las que experimentaron la mayor afectación en superficie durante el periodo de estudio, con un promedio anual respectivamente de 1,367 y 189 ha (Fig. 5 y Anexo 3). Para la hojarasca la superficie reportada fue de 111.8 ha, para la cobertura de reforestación de 106.7 ha y de renuevo 58 ha. La cobertura de arbolado adulto fue el que reportó menor afectación, registrándose solamente en los años 2008, 2011 y 2013 con un promedio de 13.8 ha afectadas.

Existe una enorme variación en la superficie afectada durante el periodo, por ejemplo, para el año 2011 se reportaron 4,421ha afectadas, mientras que el año 2012 se registraron 408 ha.

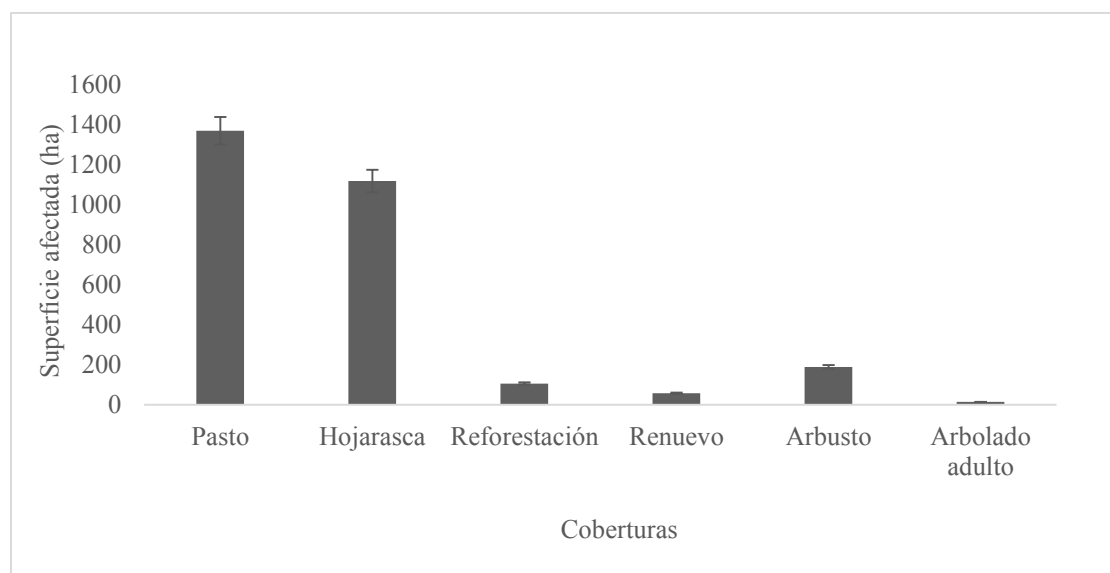


Fig. 5 Promedio anual de la superficie afectada por coberturas durante 2005-2013

### VIII.1.1 Áreas afectadas por incendios durante 2005- 2013

Se registraron en total de 16, 130 ha de superficie de vegetación afectada por los incendios, para el periodo de los nueve años de estudio, esto es cerca del 19 % de la superficie total del SCDF. Los mapas anuales donde se señalan las áreas afectadas se presentan en el Anexo 2. De manera general, se observa que anualmente se reportan alrededor de 1000 incendios.

En la figura 6, se muestra que todo el SCDF es afectado en diferentes porciones y las superficies afectadas fueron agrupados en 7 intervalos: La clase 1 corresponde a superficies menores a 10 ha, las cuales se registraron en la mayor parte del SCDF, las clases 2-3-4-5 y 6 corresponde a intervalos desde 10.1 hasta 100 ha, y la clase 7 corresponde a superficies mayores de 100.1, en la cual se incluye la máxima superficie afectada durante los nueve años que fue de 724,500 ha estos cuadrantes se encuentran distribuidos en la parte sur del SCDF de las delegaciones de Tláhuac, Xochimilco, Tlalpan y Milpa Alta. Cabe mencionar que los cuadrantes ubicados en los volcanes Tláloc y el Pelado pertenecientes a Milpa Alta y Tlalpan respectivamente fue en donde se concentraron superficies mayores a 100 ha.

En cuanto al mapa de frecuencia de incendios (Fig.7), representa las áreas según el número de repeticiones de fuego durante los nueve años. Se aprecian dos grupos: el primero lo forman los cuadrantes con frecuencias entre 1 a 5 incendios, ubicados en las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Gustavo Madero, y en partes de las delegaciones Magdalena Contreras, Iztapalapa y Tláhuac, y el segundo grupo, áreas con presencia de 5 a 9 incendios, que se encuentran ubicadas en la porción sur del SCDF, particularmente en Cumbres del Ajusco, el Pelado y volcán de Tláhuac, que corresponden a las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta.

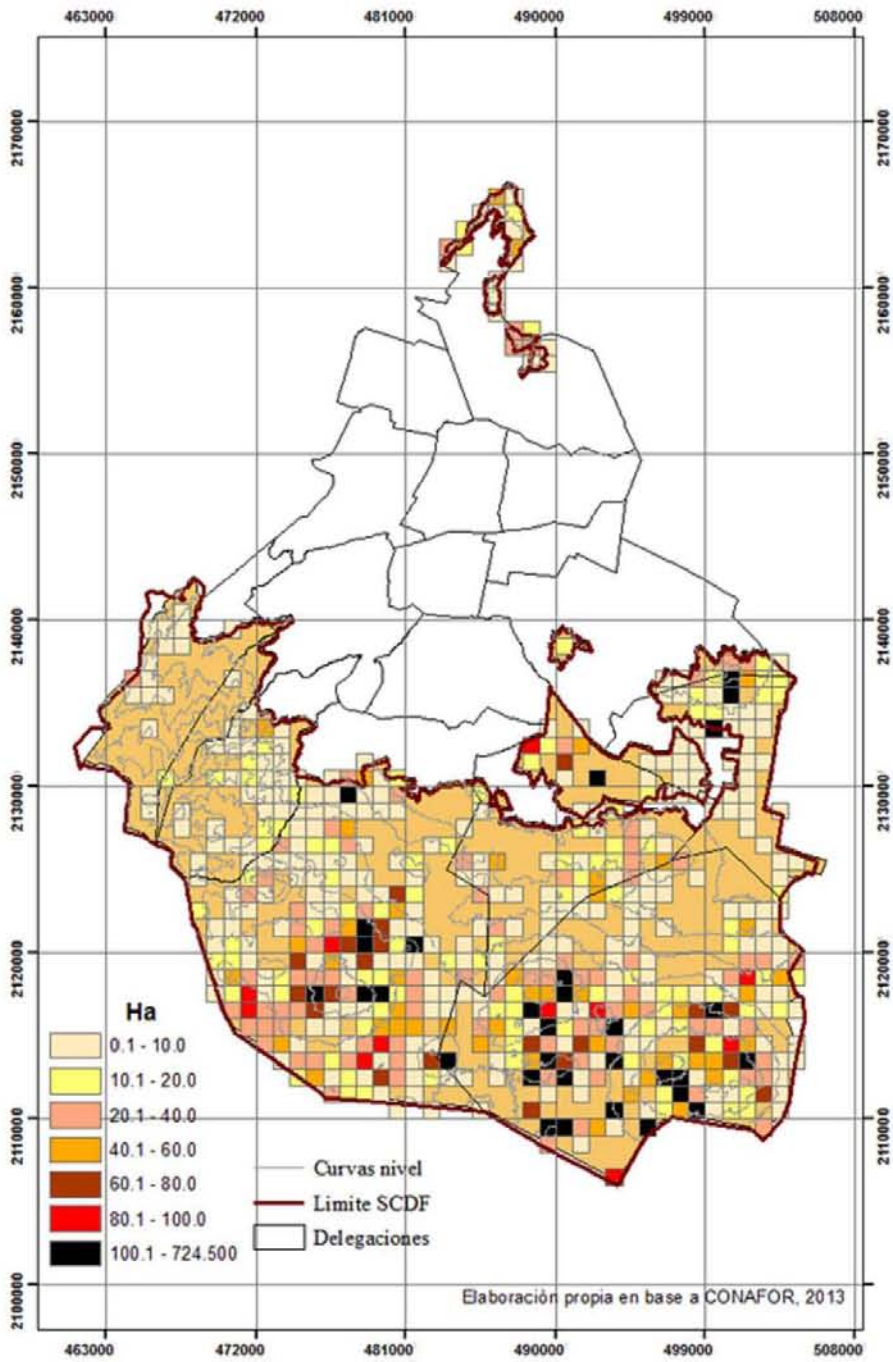


Fig. 6 Mapa de la superficie total afectada durante el periodo 2005-2013

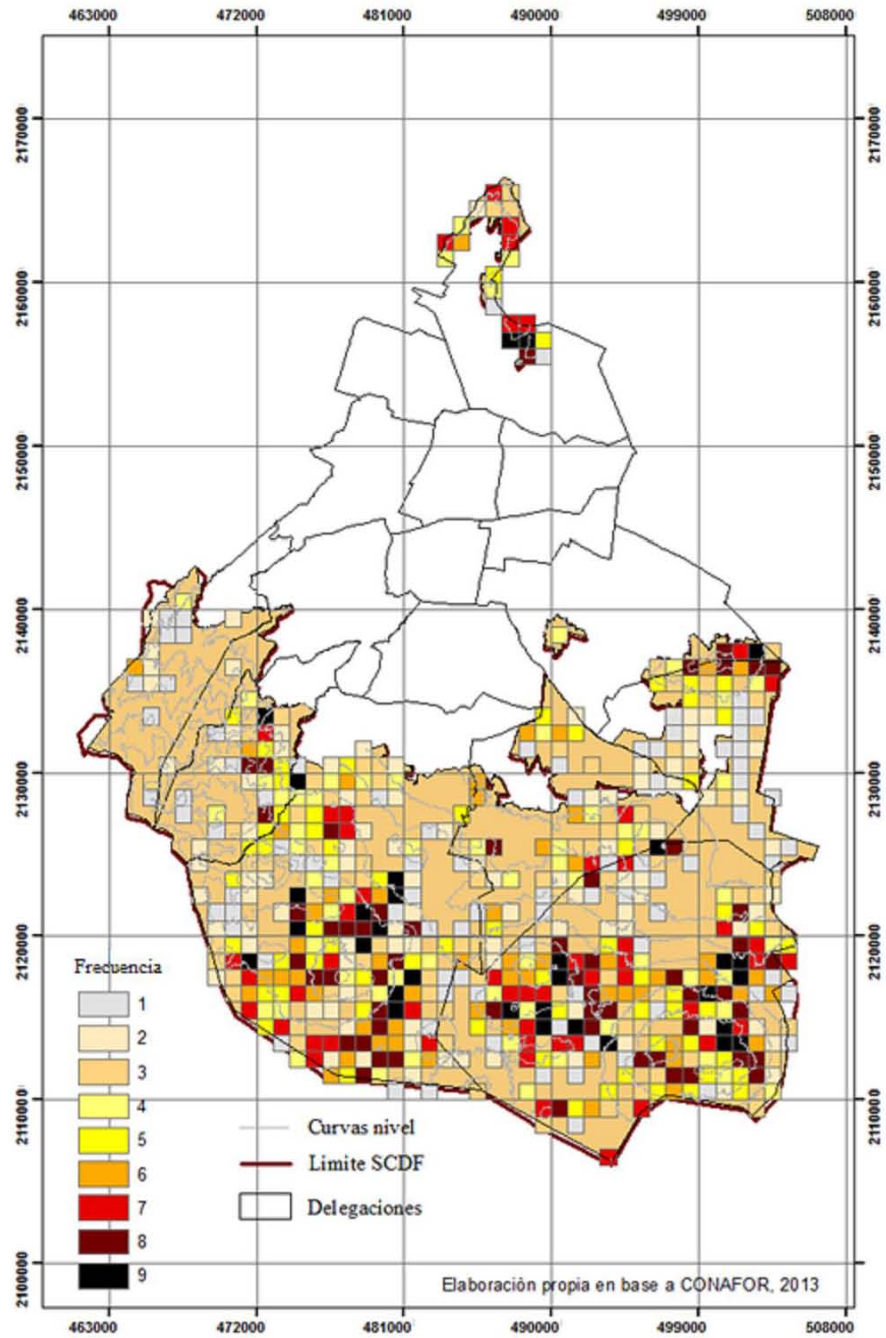


Fig. 7 Mapa de frecuencia de incendios durante el periodo 2005- 2013

## **VIII.2. Caracterización y descripción de la vegetación con información de campo.**

Con los datos y las descripciones de campo se realizó una caracterización de la vegetación, en donde cada comunidad fue nombrada de acuerdo a las especies arbóreas dominantes. Se reconocieron cinco tipos de bosques en el SCDF: el bosque de *Abies religiosa*, que fue caracterizado a partir de dos sitios ubicados en las delegaciones de Tlalpan y Magdalena Contreras (Fig. 8). El bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*, caracterizado en dos sitios ubicados en la delegación de Tlalpan, el bosque de pino (*Pinus* spp.) caracterizado a partir de cinco sitios, ubicados en Tlalpan y Milpa Alta, el bosque de *Pinus-Alnus* que fue descrito en tres sitios; en el cerro el Pelado en la delegación de Tlalpan y el por último el bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*, a partir de tres sitios, ubicados en la delegación de Milpa Alta y cerro el Pelado.

A continuación se hace una descripción general de la vegetación con la información caracterización y mediciones en campo, el formato utilizado se encuentra en el Anexo 1 y la información de cada sitio se detalla en el Anexo 4.

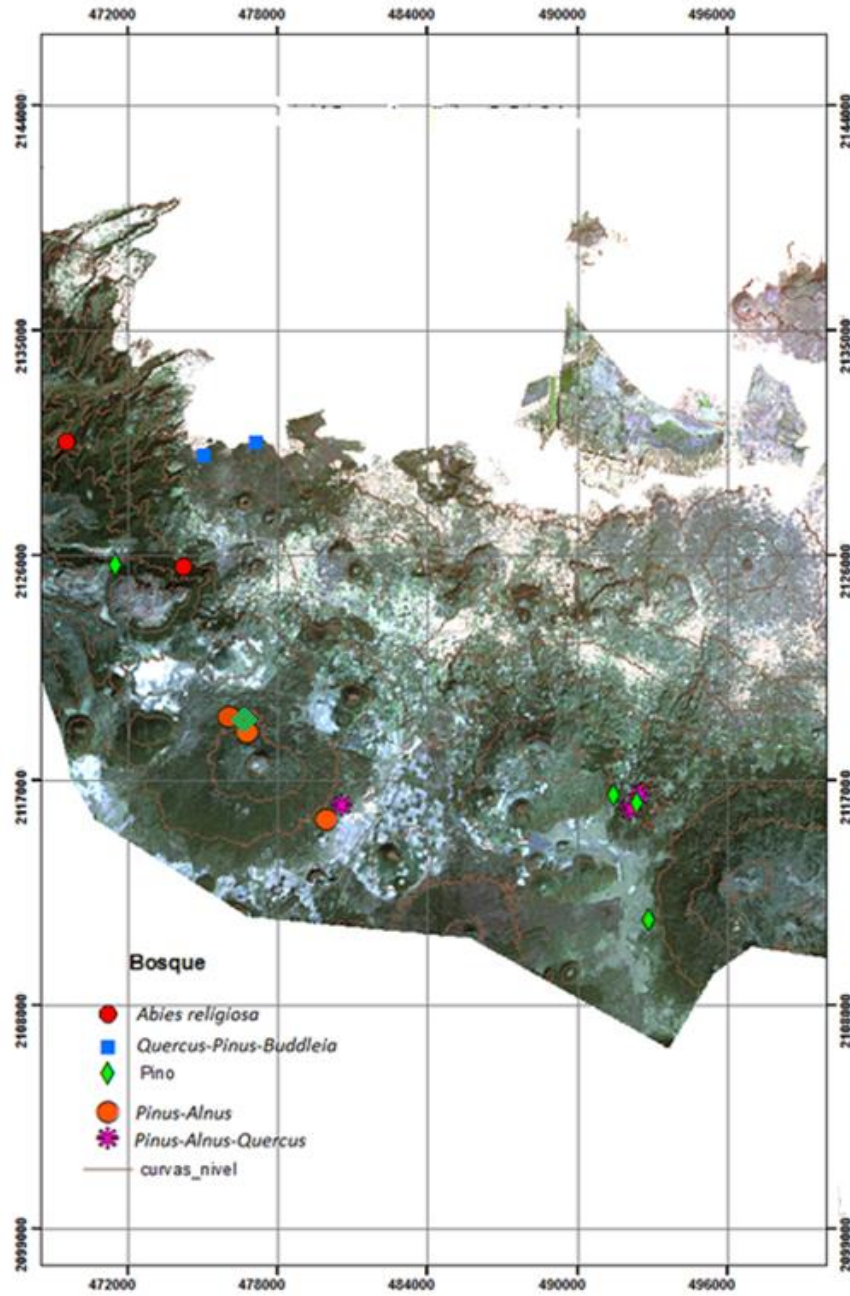


Fig. 8 Mapa de sitios de muestreo realizados en campo



## VIII.2.1. Descripción de la vegetación en el SCDF

### **Bosque de *Abies religiosa***

Ubicados en las cañadas de Tlalpan y Magdalena Contreras (Anexo 4, sitio 1 y 5, Fig.8) a una altitud entre 3,000 y 3,145 m.s.n.m. Este bosque se registró en pendientes entre 6° y 32 ° de inclinación.

La cubierta del suelo presenta poca exposición de roca, suelo desnudo, rastreras y ausencia de hojarasca.

El estrato arbóreo presentó una cobertura del 60 % dominado por grandes árboles de *Abies* con altura promedio de 32 m y DAP de 57 cm. En el estrato medio arbóreo y una cobertura del 30 % de individuos del mismo género y con altura promedio de 2 m.

En los estratos arbustivo y herbáceo tuvieron el 30% de cobertura, en su mayor proporción dominado por *Senecio* de 2 m de altura y *Salvia* de 25 cm de altura.

No se observaron huellas de incendios.

Actividades humanas. Se observó desmonte, basura, saneamiento forestal y derribo de árboles. En el sitio 1, en el año 2011 se realizó reforestación por lo que se observó una cobertura del 30 % de brinzales de *Abies* con una altura promedio de 60 cm.

### **Bosque de pino (*Pinus spp*)**

Sitios ubicados en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta (Anexo 4, sitios 4, 6, 12, 13 y 15 Fig. 8) a una altitud entre 3,075 y 3,270 m.s.n.m y en terrenos con pendiente entre 4° y 45 °.

La cubierta del suelo presenta roca expuesta, cobertura media de hojarasca, principalmente de acículas. Son sitios dominados por pastos en el estrato herbáceo.

El estrato arbóreo presentó una cobertura del 30 % compuesto de varias especies de pinos con una altura promedio de 24 m y un DAP de 48 cm. En particular *Pinus montezumae*

presentó una altura promedio de 23 m y un DAP de 49 cm y *Pinus ayacahuite* con una altura promedio de 18 m y DAP de 54 cm.

El estrato arbustivo presentó una cobertura del 30 % compuesto por *Baccharis* de 1.6 m y *Senecio* de 1.5 m de altura. El estrato herbáceo con una cobertura del 30% compuesto de *Gnaphalium*, *Bromelias*, *Cirsum*, *Arenaria* y los pastos están representados con una cobertura del 60 al 100% por *Calamasgrotis*, *Festuca* de 1.6 m y *Muhlenbergia* de 1.2 m altura.

En todos los sitios se observaron huellas de incendios.

Actividades humanas. Se observaron troncos carbonizados, quemas, desmonte y agricultura.

Existe poca regeneración de pinos. En el año 2003 se realizó reforestación de *Pinus montezumae* y probablemente en años posteriores, dado que la mayoría de los árboles en esta área presentan una altura promedio de 2.15 m y un DAP de 7 cm.

### **Bosque de *Pinus-Alnus***

Sitios ubicados en la delegación de Tlalpan (Anexo 4, sitios 7, 8 y 10 Fig. 8), a una altitud entre los 3,044 y 3,361 m.s.n.m. con una pendiente de 6° y 8°.

La cubierta del suelo presentó roca expuesta, suelo desnudo y pocas acículas de pino.

El estrato arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto por pinos con altura promedio de 18 m y DAP de 48 cm y de *Alnus* con altura promedio de 11 m y DAP de 33 cm. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Alnus* y pinos con alturas promedio de 3 y 2 m respectivamente.

El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio* de 1.5 m *Castilleja* de 0.90 m y *Baccharis* de 3 m. El estrato herbáceo con 60 % de cobertura compuesto de *Labitae* de 50 cm de altura, *Senecio*, *Arenaris*, *Castilleja* y *Bacharis*. El

estrato pastos con una cobertura del 60 % compuesto de *Festuca*, *Calamasgrotis* y *Stipa* de 1.3, 3.2 y 0.90 cm de altura respectivamente.

En todos los sitios se observaron huellas de incendios.

Actividades humanas. Hay presencia de desmonte, saneamiento forestal, quemas y poca regeneración de pinos.

### **Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus***

Esta comunidad se ubicó en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta (Anexo 4, sitios 9, 11 y 14, Fig. 8) entre 3,043 y 3,131 m.s.n.m. y con pendientes de 5° a 20°.

La cubierta del suelo presenta suelo desnudo, poca hojarasca y roca expuesta.

El estrato arbóreo presenta una cobertura del 30 % codominado por especies de pinos con altura promedio de 15 m y un DAP de 59 cm de *Alnus* con altura promedio 10 m y DAP de 31 cm, en menor proporción *Quercus* con altura promedio de 11 m y DAP de 33 cm. Asimismo, el estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesta de pinos con altura de 5 m y DAP de 16 cm de *Quercus* con altura de 9 m y DAP de 16 cm y *Alnus* con altura promedio de 1.5 m y DAP de 5 cm.

El estrato arbustivo y herbáceo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio* de altura promedio de 1.6 m y *Cirsium*. Los pastos presentan una cobertura del 60 a 100 % compuesto de *Festuca* y *Muhlenbergia* de 1.3 m de altura.

En todos los sitios se observaron huellas de incendios

Actividades humanas. Se observaron áreas grandes con quemas, agricultura, ocoteo, muérdago en árboles de *Alnus* y saneamiento forestal, existe poca regeneración de pinos y *Alnus*.

### Bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*

Bosque ubicado en la delegación de Tlalpan (Anexo 4, sitio 2 y 3 Fig. 8) entre 2,640 y 2,750 m.s.n.m. y una pendiente de 14 °.

Cubierta del suelo. Presentan alto porcentaje de roca expuesta, suelo desnudo y de topografía irregular.

Por su cercanía con la urbanización los sitios están cercados por piedras y presentan gran cantidad de basura por lo que pueden considerarse como lugares perturbados.

El estrato arbóreo se caracteriza por ser de altura baja, presenta una cobertura del 30 % compuesto principalmente de *Quercus* con altura promedio de 2 m y DAP de 21 cm asociado con especies de pinos de 4 m y DAP de 44 cm y de árboles del género *Buddleia* de 4 m de altura y DAP de 14 cm y de *Arbutus* sp. El estrato medio arbóreo presentó una cobertura del 30 % compuesto de pinos de altura promedio de 1.3 m y DAP de 10 cm.

El estrato arbustivo con una cobertura del 30 % compuesto de *Nolina* de 2 m de altura, *Baccharis* y *Agave* de 1.5m. El estrato herbáceo y pasto presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Festuca* de 0.60 cm, *Roldana* y *Castilleja* de 1.2 m de altura, *Festuca*, *Muhlenbergia* y helechos de 25 cm.

Huellas de incendios. En el sitio 3 se observaron quemadas.

Actividades humanas. Son sitios con presencia de basura, desmonte, saneamiento forestal y cercas de piedras.

#### VIII. 2.1.1. Biomasa arbórea para los tipos de coberturas considerados.

Para calcular la biomasa por especie arbórea, se utilizó información de los sitios de muestreo el DAP y en algunos casos la altura de los individuos por especie (Anexo 4), se aplicaron las ecuaciones alométricas, y se obtuvo la biomasa promedio en kg por individuo registrado.

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los sitios (700 m<sup>2</sup>), caracterizados en campo. En cada comunidad se muestra; el número de individuos medidos, el DAP y biomasa promedio (kg) de los individuos registrados. Cabe mencionar que se cálculo la biomasa promedio (t/ha<sup>-1</sup>) por bosque.

Los bosques de pinos y de *Pinus-Alnus-Quercus* presentaron el mayor número de individuos arbóreos. En todos los sitios se registraron pinos, seguido de encinos, en cuanto a los *Alnus* se presentaron en menor proporción. La mayoría de los sitios registraron latizales principalmente en los bosques de pinos, encinos y de *Alnus*.

De manera detallada se puede decir que el bosque de pinos, se registraron un total de 26 árboles adultos y 18 latizales, el DAP registrado fue entre 20 y 52 cm y el cálculo promedio de biomasa fue de 1,654 kg seguido del bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*, donde se registraron un total de 27 árboles adultos y 4 latizales, el DAP fue entre 12 y 58 cm y una biomasa promedio de 2,692 kg, el bosque de *Pinus-Alnus*, se registraron un total de 24 árboles adultos y 2 latizales, el DAP fue entre 27 y 63 cm y 1,465 kg de biomasa. En cuanto al bosque de *Abies religiosa*, se registraron un total de 10 árboles adultos, el DAP fue entre 56 y 57 cm y una biomasa promedio de 1,907 kg. Finalmente el bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia* se registró un total de 3 árboles adultos y 2 latizales, el DAP registrado fue entre 14 y 44 cm y una biomasa promedio de 1,784 kg por individuo

Cuadro 3. Biomasa promedio estimada por especie arbórea (kg) y para cada comunidad (t/ha<sup>-1</sup>)

Comunidad	DAP promedio (cm)	# Individuos muestreados	Biomasa promedio (kg)
<b>Bosque de <i>Abies religiosa</i></b>			
Sitio 1 <i>Abies religiosa</i>	57	7	1,949
Sitio 5 <i>Abies religiosa</i>	56	3	1,864
Biomasa promedio (kg)			1,907
Biomasa promedio (t/ha <sup>-1</sup> )			27.2
<b>Bosque de pinos</b>			
Sitio 4 Pino	52	5	1,284
Sitio 6 <i>Ayacahuite</i>	49	3	1,344
Sitio 12 <i>Montezumae</i>	31	11	1,733
Sitio 13 <i>Montezumae</i>	33	11	3,403
Sitio 15 pino	20	13	505
Biomasa promedio (kg)			1,654
Biomasa promedio (t/ha <sup>-1</sup> )			23.6
<b>Bosque de <i>Pino-Alnus</i></b>			
Sitio 7			
pino	43	6	813
<i>Alnus</i>	27	3	147
Sitio 8			
pino	37	5	566
<i>Alnus</i>	27	4	330
Sitio 10			
pino	63	3	2,039
<i>Alnus</i>	40	3	499
Biomasa promedio (kg)			1,465
Biomasa promedio (t/ha <sup>-1</sup> )			20.9
<b>Bosque de <i>Pinus-Alnus-Quercus</i></b>			
sitio 9			
pino	58	3	1,670
<i>Quercus</i>	12	4	32
<i>Alnus</i>	15	2	34
sitio11			
pino	52	4	1,284
<i>Alnus</i>	30	4	226
<i>Quercus</i>	55	3	1,491
sitio 14			
pino	42	4	2,526
<i>Quercus</i>	16	2	78
<i>Alnus</i>	46	5	734
Biomasa promedio (kg)			2,692
Biomasa promedio (t/ha <sup>-1</sup> )			38.4
<b>Bosque de <i>Quercus-Pinus-Buddleia</i></b>			
sitio 2			
<i>Quercus</i>	44	1	875
<i>Buddleia</i>	14	1	25.7
pino	21	3	883
Biomasa promedio (kg)			1,784
Biomasa promedio (t/ha <sup>-1</sup> )			25.4

### VIII.2.1.2. Carga de combustibles muertos de acuerdo en las comunidades muestreadas en campo.

En la figura 9 se presenta el promedio de la carga de combustibles (t/ha) en sus tres diferentes clases diamétricas: <0.6 cm (1 hora), de 0.61 a 2.5 cm (10 horas), y de 2.51 a 7.5 cm (100 horas) obtenidas a partir del inventario de combustibles muestreadas en campo y de la aplicación del SICCO.

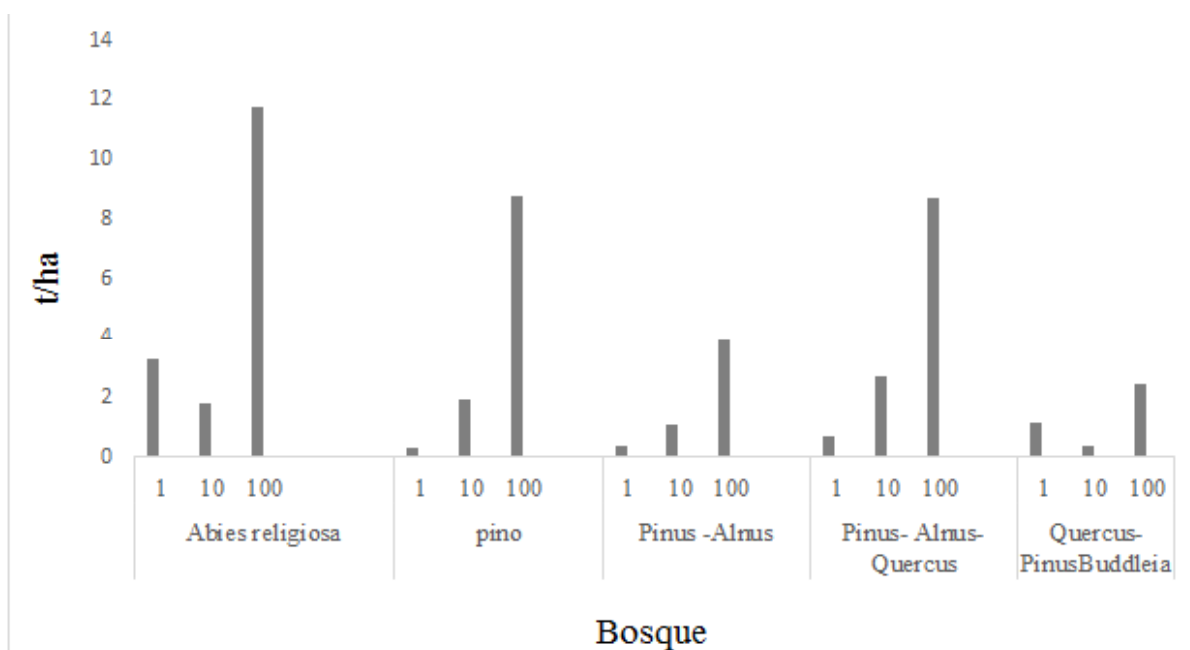


Fig. 9 Carga de combustibles promedio a partir del SICCO

La clase diamétrica más distintiva en todos los sitios fue la de 100 horas que corresponde a la presencia de leños de 2.51 a 7.5 cm de diámetro, con un promedio entre 2 y 11 t/ha. Los bosques de *Abies religiosa*, de pinos y de *Pinus-Alnus-Quercus* presentaron la mayor carga. Por otro lado, los bosques que registraron la menor carga fueron de *Pinus-Alnus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia*.

La clase diamétrica de 10 horas, que corresponde a la presencia de leños de 0.61 a 2.5 cm de diámetro, registró un promedio entre 0.3 a 2.7 t/ha. El bosque de *Pinus-Alnus-Quercus* registró la mayor carga. Por el contrario los bosques de pinos, de *Abies religiosa*, de *Pinus-Alnus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia* presentaron la menor carga.

En cuanto a la categoría diamétrica de 1 hora, que corresponde a la presencia de leños <0.6 cm de diámetro, se registró un promedio entre 0.3 a 3.2 t/ha. El bosque de *Abies religiosa*, seguido de *Quercus-Pinus-Buddleia* presentaron la mayor carga, seguido de los bosques de *Pinus-Alnus-Quercus*, de pinos y de *Pinus-Alnus*.

Cabe mencionar que se llevó a cabo el inventario de combustibles de 1000 horas que corresponde a la presencia de leños mayores de 7.5 cm de diámetro, sin embargo no se realizó el cálculo de la cantidad de t/ha por falta de datos. De manera general, se registró por sitio el número de combustibles mayores de 7.5 cm. Se reporta que bosque de pinos presentó el mayor número de intercepciones sobre la línea de muestreo, con 9 piezas de leños, seguido del bosque de *Abies religiosa* con 6 piezas de leños, el bosque de *Pinus-Alnus-Quercus* con 5 piezas, el bosque de *Pinus-Alnus* con 4 piezas y el bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia* con 3 piezas.



### VIII.2.2. Mapas de uso de suelo y vegetación a partir de la reclasificación del NDVI y clasificación supervisada para el año 2005.

Se obtuvo un primer mapa de coberturas vegetal para el SCDF, a partir de una reclasificación de los valores obtenidos del histograma del NDVI de la imagen Landsat de noviembre del 2005 (Fig. 10).

En la figura 10 se observan en distintos colores las clases de cobertura definidas a partir de la reclasificación del NDVI. El bosque denso se distribuye mayoritariamente en las delegaciones de Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Cuajimalpa y una pequeña porción de Tlalpan y Milpa Alta. En cuando al bosque semidenso, se presenta distribuido en la mayor parte del SCDF. Las coberturas de agricultura y pastizales secundarios, que incluyen los de montaña, debido a que comparten valores similares de reflectancia, fueron ubicados principalmente en las partes bajas o planas del SCDF de las delegaciones de Xochimilco, Iztapalapa, Tláhuac y porciones de Milpa Alta y Tlalpan.

Posteriormente, se elaboró una interpretación diferente con la imagen Landsat 7 TM del 2005, ya que se utilizaron los sitios caracterizados en campo según la comunidad vegetal que le correspondía y se emplearon en la imagen como áreas de entrenamiento, con el método de máxima verosimilitud para hacer un reconocimiento y clasificación de la imagen según esos cinco tipos de bosque (Fig. 11).

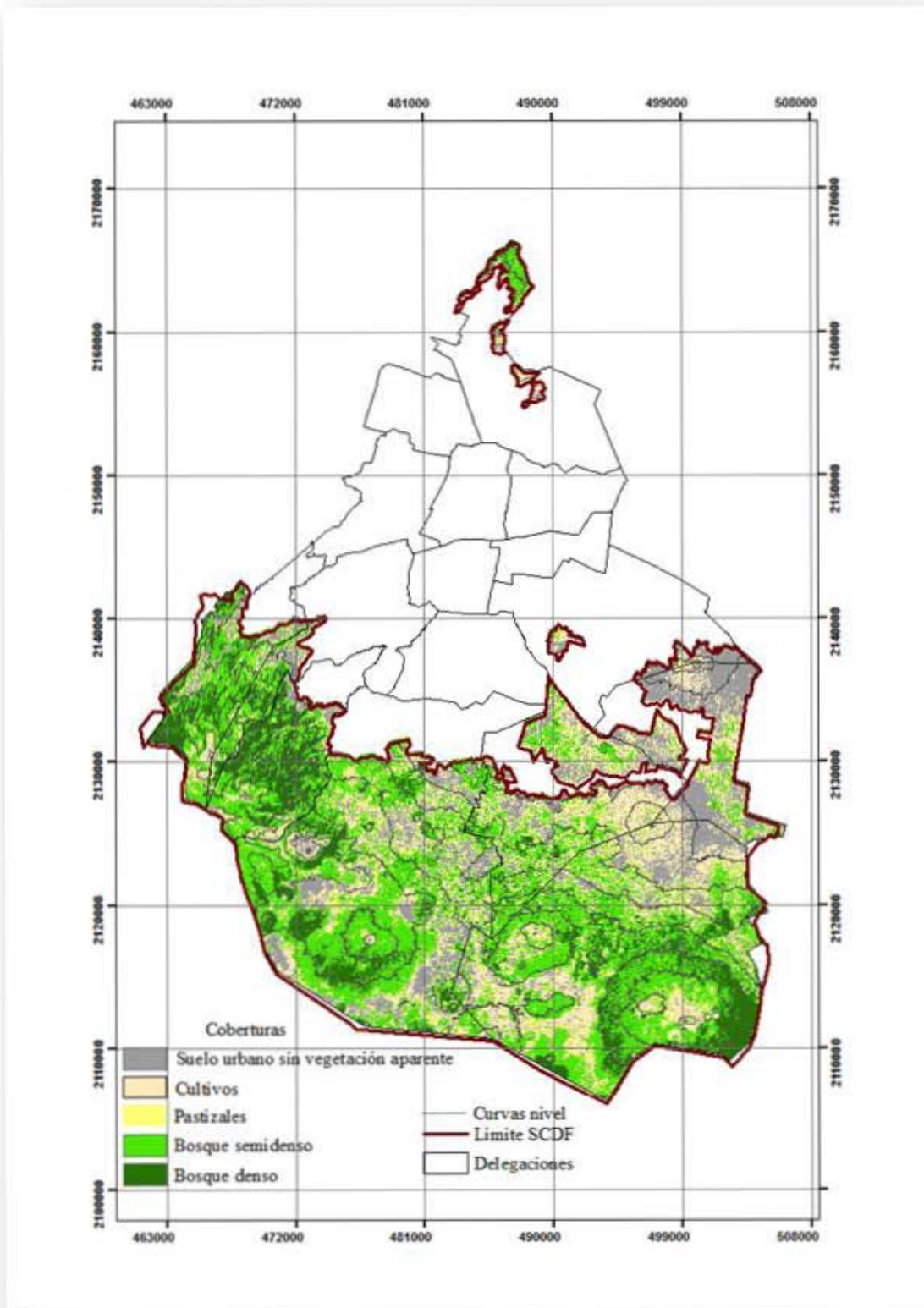


Fig. 10 Coberturas de uso de suelo y vegetación a partir de una reclasificación del NDVI imagen Landsat 7 TM, noviembre 2005.

#### VIII.2.2.1 Correspondencia entre NDVI y clasificación supervisada 2005

Después de hacer una asignación de las clases de cobertura del mapa NDVI con la información de las clases de cobertura de la clasificación supervisada se mejoró la distribución, y se reclasificaron las clases de cobertura del NDVI (Fig.10). El bosque semidenso correspondió a los bosques de *Pinus-Alnus*, de *Pinus-Alnus-Quercus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia* distribuidos en una amplia superficie del SCDF y cuyo porcentaje de cobertura obtenido de la clasificación supervisada fue del 32.8 %. El bosque denso que se presentó en pequeños manchones, corresponde a *Abies religiosa* y bosque de pinos, cuyos porcentajes de cobertura fueron de 22.4 %.

El SCDF presenta un área total de 87,297 ha considerado como el 100% de superficie, a continuación se describe el porcentaje de área ocupada para cada una de las clases obtenidas a partir de la interpretación, en el caso de la imagen del 2005; el 9.5 % representaba el suelo urbano y sin vegetación aparente, las superficies cubiertas con pasto y agricultura representaron el 35.3 % del área. Los bosque de pinos, de *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus* representaron el 13.3 %, 11.9 % y 11.8 % respectivamente, ocupando la mayor parte de la vegetación en SCDF. El bosque de *Abies religiosa*, cubrió el 9.1 % y se distribuyó mayoritariamente en Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Milpa Alta, y por último el bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*, ubicado principalmente en Tlalpan y al norte de Milpa Alta presentó el 9.1 % de la cobertura total del SCDF.

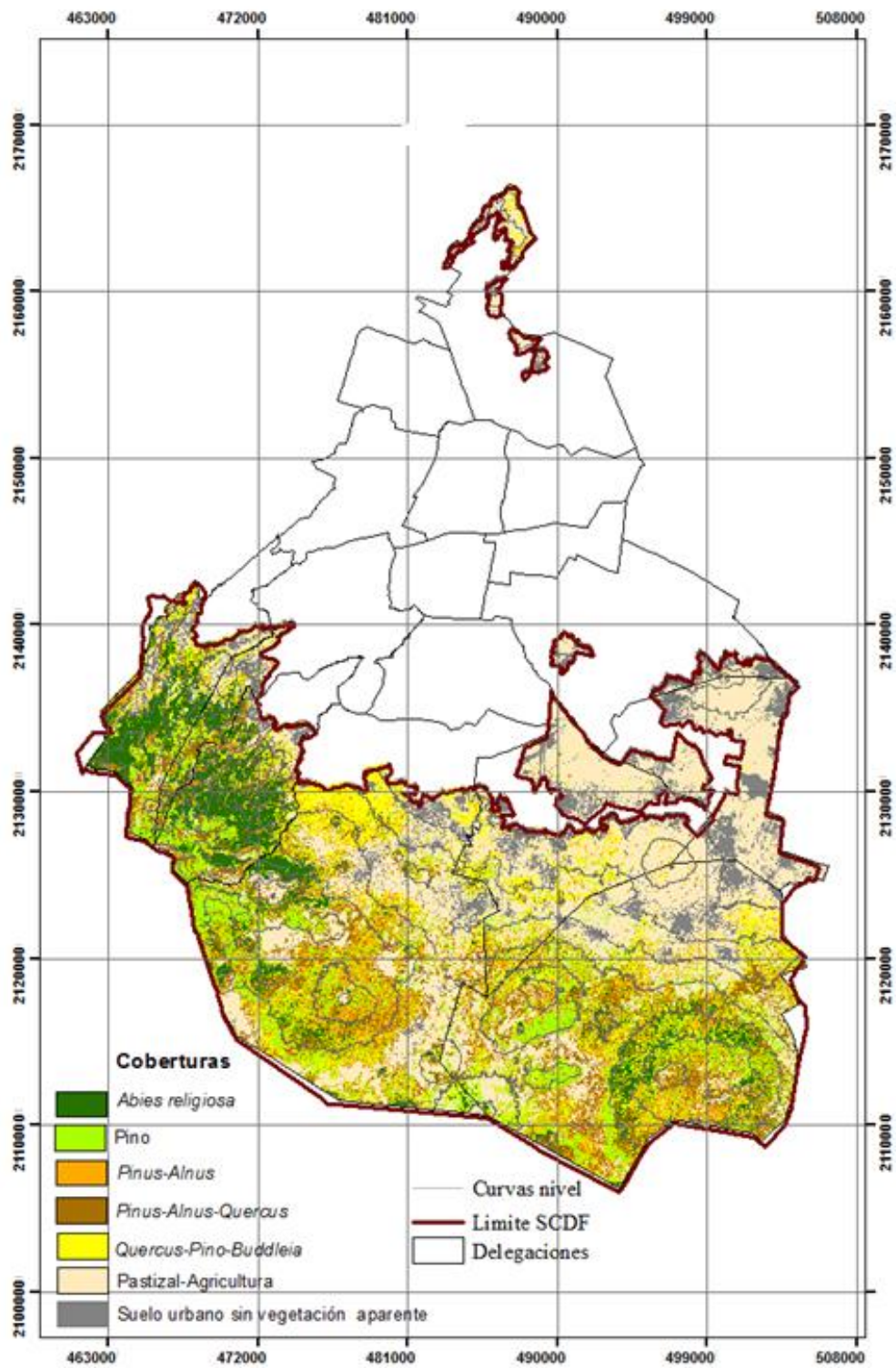


Fig. 11 Mapa de uso de suelo y vegetación para el 2005 del SCDF

### **VIII.3. Mapa de uso de suelo y vegetación a partir de una clasificación supervisada para el año 2014.**

Se realizó una segunda clasificación supervisada con la imagen Landsat 8 OLI del 2014, que correspondió a las fechas de las visitas en campo y al año posterior a los últimos registros de incendios analizados. Se utilizó la misma metodología y campos de entrenamiento que en la clasificación de la imagen Landsat 2005. En este caso los porcentajes de cubiertas para las clases definidas fueron: el 14.9 % para el suelo urbano y sin vegetación aparente, las superficies con pasto y agricultura abarcaron el 34.1 %. Las clases de pinos, de *Pinus-Alnus* y *Pinus-Alnus-Quercus* representan el 11.1 %, 12.5% y 11.3 % respectivamente distribuidos en la mayor parte del SCDF. El bosque de *Abies religiosa* registró un 6.5 % distribuido mayoritariamente en Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón y Milpa Alta, y por último la clase de *Quercus-Pinus-Buddleia* en su mayoría distribuido en Tlalpan y en menor proporción en la parte norte de Milpa Alta presento el 9.6 % (Fig. 12).

En el cuadro 4, se presentan las diferencias en superficie y porcentaje de cada una de las áreas ocupadas por las clases en 2005 y 2014. Se señala con un signo positivo (+) cuando hay incrementos en la superficie en 2014 y un signo (-) que indica una disminución de la cubierta.

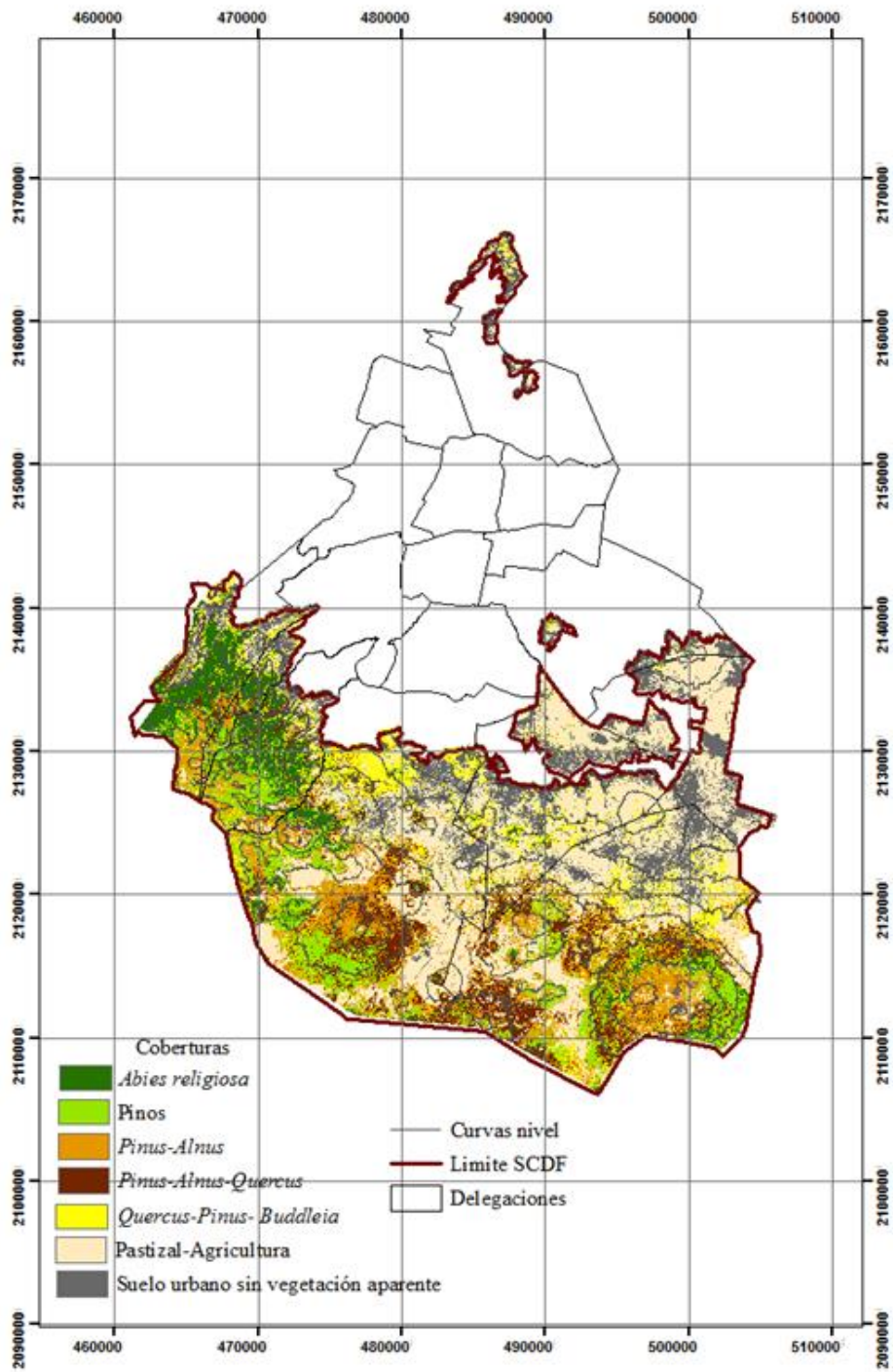


Fig. 12 Mapa de uso de suelo y vegetación para el 2014 del SCDF

Cuadro 4. Superficie y porcentaje de las clases de acuerdo a las clasificaciones 2005-2014.

Clases	Superficie	%	Superficie	%	Diferencia
	2005		2014		
Abies religiosa	8,045	9.1	5,708	6.5	-37,1 y -2.6%
Pinos	11,632	13.3	9,745	11.1	-2,886 y -2.2%
Pinus-Alnus	10,306	11.9	10,901	12.5	+594 y +0.6%
Pinus-Alnus-Quercus.	10,444	11.8	9,839	11.3	-604 y -0.5%
Quercus-Pinus-Buddleia	7,974	9.1	8,389	9.6	+4,170 y +0.5%
Pastizal-Agricultura	30,850	35.3	29,813	34.1	-1,037 y -1.2%
Suelo urbano sin vegetación aparente	80,845	9.5	128,944	14.9	+48,098y +5.6%

De manera general durante el periodo de 2005 al 2013 se presentó un cambio de cobertura de 3,817 ha de vegetación, perteneciente a los bosques vistos en campo. De manera particular se observa en el cuadro 4, un incremento importante en el suelo urbano y sin vegetación aparente (6.6 %), de igual modo se encontraron incrementos menores en las clases de *Pinus-Alnus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia* (0.6 % y 0.5% respectivamente). Por otro lado, las clases que presentaron un decremento de superficie fueron; *Abies religiosa*, con -2.6 %, seguido de pinos con -2.2 %, la clase de pastizal-agricultura con -1.2 % y en menor grado la clase de *Pinus-Alnus-Quercus* con -0.5 %.

### VIII.3.1. Análisis de separabilidad

A partir de los 15 sitios vistos en campo utilizados como polígonos de entrenamiento, se aplicó el método de divergencia transformada, que es presentado en la figura 13 donde se observa el gráfico de separabilidad entre las firmas espectrales de las clases obtenidas.

Las clases de pinos, *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus* tienen un comportamiento espectral similar y presentaron valores bajos de separabilidad, véase el quiebre en la banda 3 y banda 4 donde se empalman las firmas con presencia de pinos y encinos. De manera particular los resultados fueron agrupados: con muy pobre separabilidad para la clase de *Pinus-Alnus* (0.67), en la categoría de pobre separabilidad fueron las clases de pino (1.3) y de *Pinus-Alnus-Quercus* (1.1). En cuanto a las clases de *Quercus-Pinus-Buddleia* (1.9), de *Abies religiosa* y de pastizal-agricultura y suelo sin vegetación aparente, presentaron un valor de (2), y por lo tanto fueron las clases que mostraron una buena separabilidad

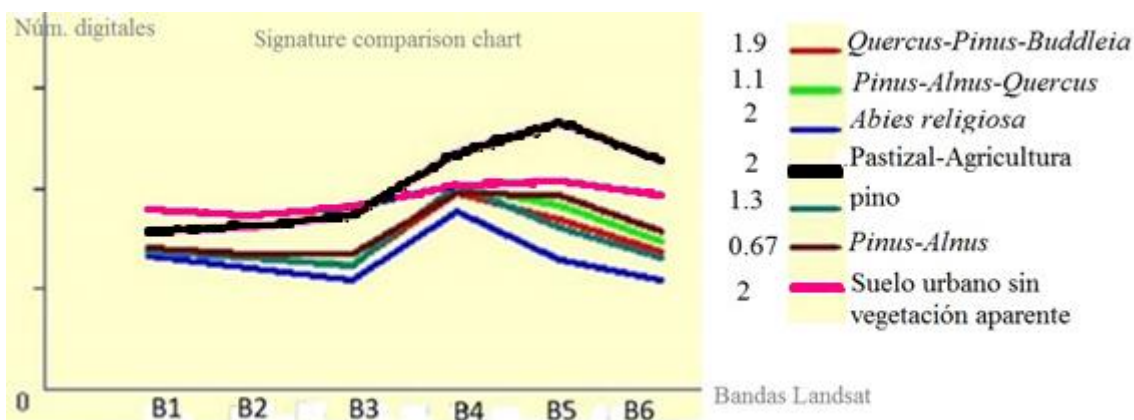


Fig. 13 Firmas espectrales de los bosques vistos en campo del SCDF

#### VIII.4 Vegetación afectada por los incendios durante el periodo 2005 -2013.

Se llevó a cabo una sobreposición de los mapas obtenidos del apartado VIII.1, y del mapa de uso de suelo y vegetación 2005, con el fin de conocer la vegetación que ha sido afectada por incendios en los últimos nueve años en el SCDF. A continuación se describe cada apartado.



#### VIII.4.1 Vegetación afectada a partir del mapa total 2005 al 2013 y del mapa de frecuencia de incendios.

El resultado de sobreponer el mapa de todos los cuadrantes que resultaron afectados por los incendios en el periodo 2005-2013 con el mapa de uso de suelo y vegetación 2005 se presenta en la figura 14. En ésta se constata que todo el SCDF resultó afectado por incendios, en diferentes áreas y en distintas clases de vegetación. Se definen dos grupos; el primero lo conforman superficies menores de 60 ha afectadas durante los nueve años, ubicados en la parte norte de la delegación de Gustavo A. Madero y en las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

El segundo grupo lo conforma superficies mayores afectadas de 60 a 724.5 ha ubicados en la parte sur del SCDF perteneciente a la Sierra Ajusco-Chichinauhtzin, en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, pertenecientes al cerro el Pelado y el volcán de Tláloc. De manera particular las comunidades más incendiadas son San Salvador Cuahutenco, San Pablo Oztotepec, San Miguel y Santo Tomás Ajusco, la vegetación afectada fue bosque de pinos, de *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus*.

Las delegaciones en donde se presentan áreas que han sido afectadas de manera repetida en los últimos nueve años, fueron: Magdalena Contreras, en Magdalena Atlitic afectando pastizales, bosques de *Abies religiosa*, bosques de *Pinus-Alnus-Quercus* y bosques de *Quercus-Pinus-Buddelia*. En Tlalpan, principalmente en San Miguel Topilejo y Santo Tomás Ajusco, donde se vieron afectados bosques de pinos, bosque de *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus*. En cuanto a la delegación de Milpa Alta, los sitios que siempre sufren de incendios se encuentran en las comunidades de San Salvador Cuauhtenco, San Pablo Oztotepec y Santa Ana Tlacotenco, con afectación a bosques de pinos, de *Pinus-Alnus* y en menor proporción de *Abies religiosa* (Fig.15).

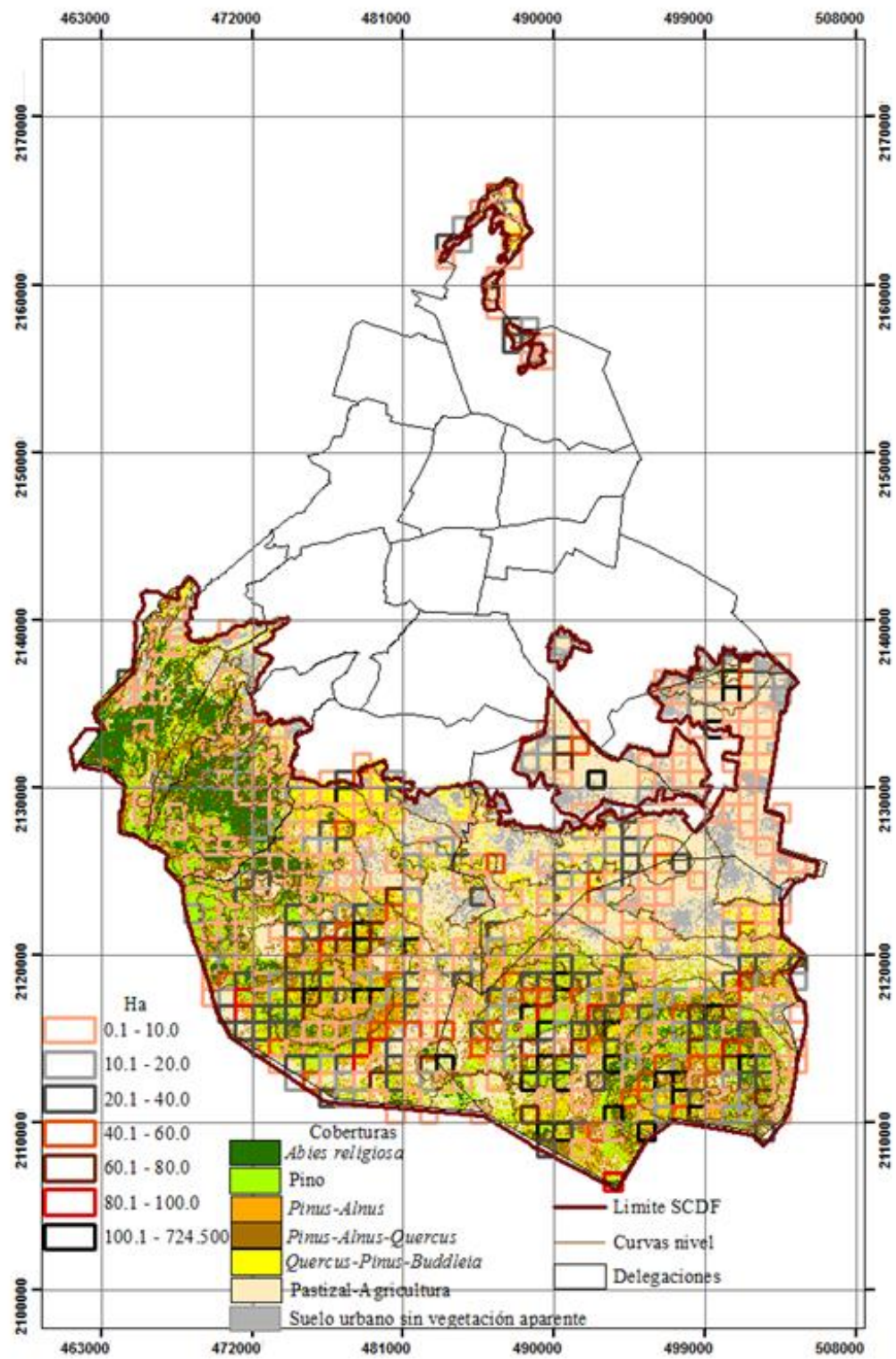


Fig. 14 Mapa de la vegetación total afectada por incendios durante 2005-2013

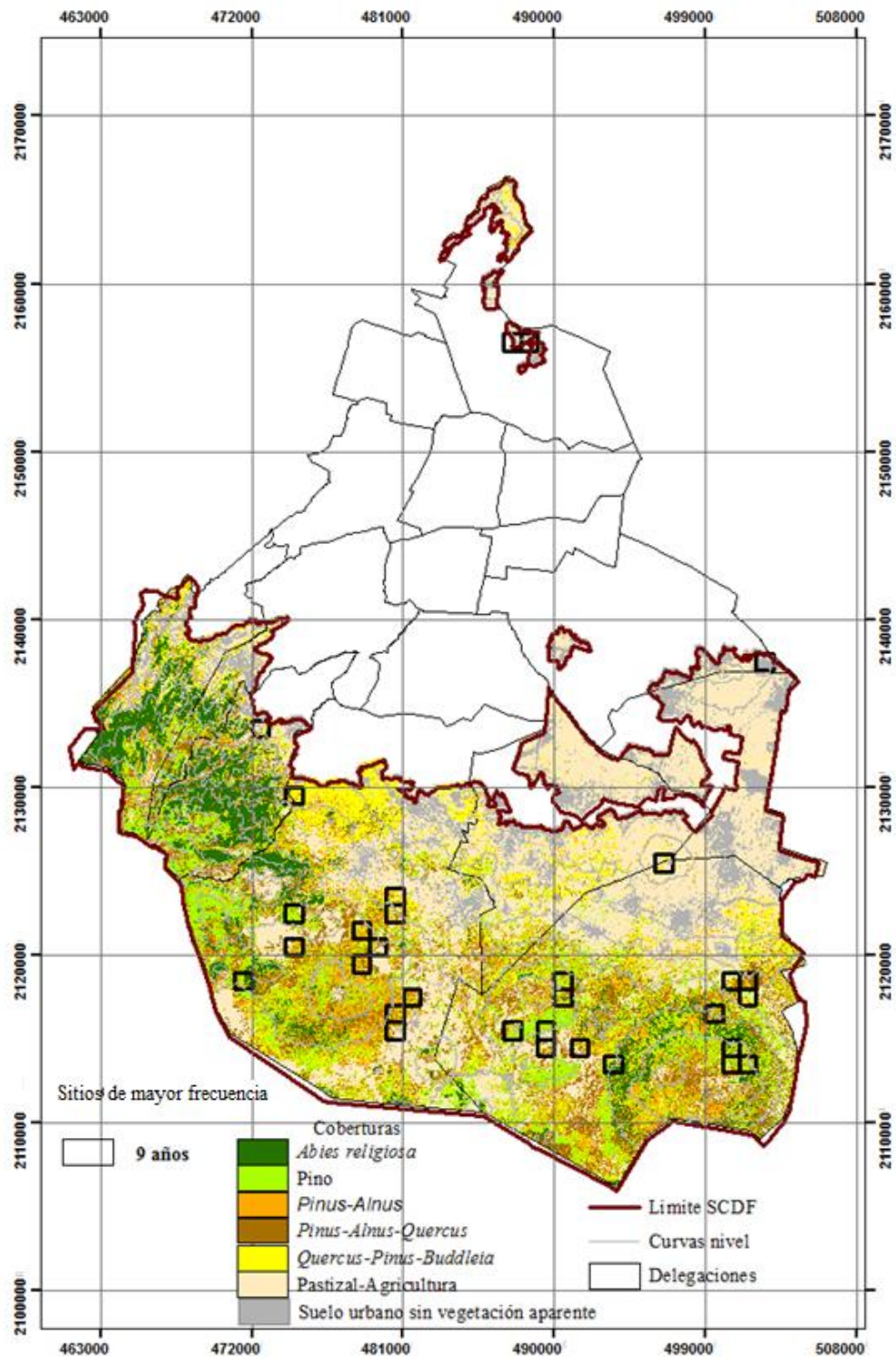


Fig. 15 Mapa de sitios con 100% de frecuencia de incendios durante 2005-2013

VIII.4.2. Vegetación afectada a partir de las coberturas reportadas por CONAFOR entre 2005 y 2013.

De manera general, se presenta el resumen de la vegetación que correspondería, afectada por incendios según las coberturas declaradas por CONAFOR (pasto, arbusto, renuevo, reforestación, hojarasca y arbolado adulto) en el periodo 2005-2013.

Cuadro 5. Coberturas afectadas por incendios, según comunidades vistas en campo

Comunidad / Coberturas	<i>Abies religiosa</i>	Pino	<i>Pinus - Alnus</i>	<i>Pinus-Alnus-Quercus</i>	<i>Quercus-Pinus-Buddleia</i>
Pasto  superficie afectada	<i>Festuca toluensis</i> . <i>Muhlenbergia quadridentata</i> - (Literatura)  <50 ha	<i>Muhlenbergia</i> , <i>Festuca</i> . <i>Calamasgrotis</i>  >100 ha	<i>Festuca</i> , <i>Muhlenbergia</i> y <i>Calamasgrotis</i>  >100 ha	<i>Muhlenbergia</i> , <i>Festuca</i> y <i>Calamasgrotis</i>  > 100 ha	<i>Muhlenbergia</i> y <i>Festuca</i>  >100 ha
Arbustos y herbáceas  Superficie afectada de arbustos	<i>Senecio</i> , <i>Salvia</i> y <i>Labitae</i>  <50 ha	<i>Baccharis</i> , <i>Roldana</i> <i>Senecio</i> , <i>Bromelias</i> , y <i>Gnaphalium</i>  <100	<i>Senecio</i> , <i>Roldana</i> , <i>Arenaris</i> , <i>Castilleja</i> y <i>Baccharis</i>  <50 ha	<i>Senecio</i> , <i>Cirsium</i> y <i>Labitae</i>  <50 ha	<i>Maguey</i> , <i>Nolina</i> , <i>Baccharis</i> , <i>Senecio</i> y <i>Roldana</i>  <50 ha
Renuevo  Superficie afectada	<i>Abies religiosa</i>  <50 ha	<i>Montezumae</i> y pinos  >100 ha	<i>Alnus</i>  <50 ha	<i>Quercus</i> y pino  <50 ha	pinos  pinos
Reforestación  Superficie afectada	pinos  <50 ha	pinos  >100 ha	pinos  <50 ha	pinos  <50 ha	pinos  <50 ha
Hojarasca  superficie afectada	<50 ha	<50 ha	<50 ha	<50 ha	<50 ha
Arbolado adulto  Superficie afectada	<i>Abies religiosa</i>  2 ha	<i>P. ayacahuite</i> , <i>montezumae</i> y pinos  111.5 ha	<i>Alnus</i> y pinos	<i>Alnus</i> , pinos y <i>Quercus</i> .	<i>Buddleia</i> y pinos  11 ha

En el cuadro 5 se presenta la superficie afectada según el tipo de comunidad vegetal al que pertenece, y en el Anexo 5 se muestran los cuadrantes para cada cobertura afectada y su superficie en ha expresada en rangos, identificados con diferentes colores.

Para el análisis de las diferentes coberturas se generaron en cada caso dos grupos: superficies menores de 50 ha y mayores a 50 ha. Los cuales se describen a continuación.

Para la cobertura de pasto, se registró una superficie total acumulada durante los nueve años de estudio de 12,311 ha. El primer grupo se presenta en toda la parte sur del SCDF correspondiente a las delegaciones de Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco, donde están presentes bosques de pinos, de *Quercus-Pinus-Buddleia*, de *Pinus-Alnus-Quercus* y de *Pinus-Alnus*. El segundo grupo con un máximo de 432.5 ha afectadas en las delegaciones de Magdalena Contreras, particularmente en San Miguel y Santo Tomás Ajusco, la delegación de Tlalpan en San Miguel Topilejo y la delegación de Milpa Alta en Santa Ana Tlacotenco afectando los cinco tipos de bosques reportados en este trabajo. Los géneros afectados fueron; *Festuca*, *Stipa*, *Calamasgrotis* y *Muhlenbergia*.

En el caso de los reportes de superficies incendiadas para la cobertura de hojarasca correspondientes a pinos, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*, *Buddleia* y *Quercus sp.* Se registró una superficie total acumulada durante los nueve años de 1, 005.5 ha (Anexo 5, Cuadro 6), Las superficies menores de 50 ha fueron ubicadas en todo el SCDF., sin embargo las áreas mayores a 50 ha se presentan en la delegación de Tlalpan, en particular en Parque de Ecoguardas donde se registró una superficie de 66 ha de bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia* afectado.

Los reportes de zonas incendiadas para la cobertura de arbustos registraron una superficie total durante los nueve años de 1, 703.43 ha (Anexo 5, Cuadro 6). Los géneros arbustivos y herbáceos afectados fueron; *Senecio*, *Castilleja*, *Baccharis*, *Nolina*, *Agave*, *Castilleja*, *Gnaphalium*, *Roldana*, *Labitae* y *Cirsum*. Las superficies menores de 50 ha están distribuidos en todo el SCDF, y aquellas mayores de 50 hasta 100 ha fueron registrados en las delegaciones de Tláhuac y Xochimilco, principalmente en bosques de pinos y zonas de pastizal, en Milpa Alta particularmente Santa Ana Tlacotenco y en Tlalpan, en San Miguel

Topilejo, donde se registraron superficies mayores de 100 ha de bosques de pinos y de *Pinus-Alnus*.

En cuanto a las categorías de arbolado; la cobertura de renuevo registró una superficie total durante los nueve años de 522.39 ha (Anexo 5, Cuadro 6), afectando a pinos, *Quercus*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*. Las delegaciones de Tláhuac, Magdalena Contreras, Tlalpan y Milpa Alta, registraron superficies menores de 50 ha, sin embargo, superficies mayores de 50 hasta 150 ha se presentaron particularmente en Milpa Alta en San Salvador Cuahutenco en bosques de pinos, de *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus*.

Los incendios en áreas con reforestación alcanzaron una superficie total durante los nueve años de 960 ha (Anexo 5, Cuadro 6), afectando a pinos, *Quercus*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae*. Superficies menores de 50 ha fueron registrados en toda la parte sur del SCDF, y solo en Tlalpan se alcanzaron superficies de 50 hasta 100 ha que correspondieron a bosques de *Quercus-Pinus-Buddleia* y en Milpa Alta en Santa Ana Tlacotenco con 103.5 ha de bosque de pinos, de *Pinus-Alnus* y bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*.

En áreas con arbolado adulto durante los nueve años de estudio se registró una superficie total afectada de 124.5 ha (Anexo 5, Cuadro 6), afectando a pinos, *Quercus*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus montezumae* y *Buddleia*. De manera particular la delegación de Gustavo A. Madero registro 15 ha afectadas de bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*, en Magdalena Contreras 3 ha de bosques de *Abies religiosa* y bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*, en Milpa Alta se perdieron 32 ha de especies arbóreas pertenecientes a bosque de pinos, bosque de *Pinus-Alnus* y de *Pinus-Alnus-Quercus*, y por último la delegación de Tlalpan, particularmente en San Miguel Topilejo, 74.5 ha de bosque de pinos y de *Pinus-Alnus*

## **IX. DISCUSIÓN**

### **Incendios en el SCDF**

Alrededor de 1000 incendios ocurrieron en el SCDF durante el periodo de estudio, afectando anualmente en promedio 1,847 ha de áreas con vegetación. Las coberturas más afectadas fueron pasto y arbusto. Todos los años ocurren incendios y en algunos casos se llegan a perder los árboles en sus tres diferentes categorías; adultos con una afectación promedio anual de 13.8 ha, renuevo con 58 ha y reforestación con 106.7 ha.

El alto número de incendios presentes en el Suelo de Conservación puede deberse a factores antrópicos como lo reporta CONAFOR (2013). En este trabajo, la gran mayoría se presentaron en la parte del sur del SCDF, rebasando 100 ha afectadas, particularmente en la sierra Ajusco-Chichinautzin, en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta. Sin lugar a dudas, las condiciones climáticas de lluvias escasas durante la temporada de incendios, así como el tipo de vegetación favorece la presencia de fuego (Dobler, 2010; Diez de Bonilla, 2007, Savedra, 2007).

Sitios como los que se encuentran en las delegaciones Magdalena Contreras, Cuajimalpa y Álvaro Obregón con barrancas y laderas con pendientes muy pronunciadas, protegidas de la acción del viento, de la insolación intensa y con mayor humedad (Velázquez, 1994), podrían ser sitios menos propensos a incendios. Nuestros resultados reportaron superficies de 40 hasta 100 ha, afectando a pastos, arbustos y al arbolado adulto, mismos que coinciden con los resultados de Almeida-Leñero *et al.*, (2007) quienes reportaron en 10 años 157 incendios, sucedidos en la delegación de Magdalena Contreras, afectando principalmente a los bosques de *Quercus*, que adicionalmente son comunidades más cercanas a la influencia humana.

Las delegaciones de Xochimilco, Tláhuac e Iztapalapa se presentaron en general superficies menores de 40 ha. Los incendios en estas zonas aparentemente se relacionan con actividades como la agricultura y la ganadería extensiva. De acuerdo con Saavedra, (2007) quien menciona que los habitantes de estos sitios, no reconoce el decreto del ANP y realizan quemados, que se propagan rápidamente en los bosques. Problemas legales vigentes

desde 1947, cuando se estableció la veda forestal para el SCDF (Sheinbaum, 2008); han desencadenado en estas delegaciones un gran desinterés en la preservación del bosque ocasionado talas ilegales, sobrepastoreo, presencia de plagas sin control y por supuesto los incendios forestales.

En las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, particularmente en San Miguel Topilejo y San Miguel Ajusco son sitios donde se vio mucha actividad antrópica como; áreas grandes de quemadas, ocoteo, pastoreo, excretas de animales, saneamiento forestal, lo que podría contribuir a la frecuencia y superficies afectadas mayores de 100 ha, nuestros resultados concuerdan con Saavedra (2007) quien reporta los mismos sitios y menciona que debido a la topografía muy irregular que presenta, impide el acceso rápido a los brigadistas para el combate del fuego.

### **Caracterización de la vegetación y carga de combustibles en sitios de mayor incidencia.**

A partir de un muestreo rápido y sencillo en 15 sitios con mayor ocurrencia de incendios se describió la vegetación y se registró el porcentaje de coberturas por estrato. En este trabajo se caracterizaron cinco tipos de bosques nombrados según la dominancia del estrato arbóreo. En todos los sitios muestreados se observó una cobertura menor del 30% del estrato arbóreo, a diferencia de los estratos de pasto, herbáceos y arbustivos que presentaron coberturas entre 60 a 100%.

En la mayoría de los sitios muestreados se observaron pastos como *Muhlenbergia* y *Festuca*, herbáceas y arbustos, como *Senecio*, *Buddleia*, y *Baccharis* especies aparentemente adaptadas al fuego. La idea de que algunas coníferas y especies de *Quercus* que son favorecidos por los incendios superficiales, lo cual concuerda con lo reportado en campo, la mayoría de bosques de pinos (sitios 3,4,6,12 y 14), bosque de *Pinus-Alnus* (sitio 10) y bosque de *Pinus-Alnus-Quercus* (sitios 9,11 y 14) fueron sitios donde se registró renuevo (Rodríguez-Trejo *et al*, 2004; Alanis- Rodríguez *et al*, 2008, Capulin *et al.*, 2009 y Jardel-Pélaez *et al.*,2010).

En lo que refiere a la carga de combustibles de cada uno de los bosques vistos en campo bosque de *Pinus-Alnus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia* presentaron valores bajos de



combustibles muertos. La mortalidad de los árboles depende de la cantidad de carga de combustibles, en este trabajo se reporta que bosques de pinos, de *Pinus-Alnus-Quercus* y *Abies religiosa* presentaron la mayor carga de combustibles. Se observó que bosques con presencia de pinos y encinos presentaron mayor actividad antrópica y más cantidad de combustibles muertos, en sitios con muerdago, tala ilegal, saneamiento forestal, árboles derrumbados, presentaron valores altos de combustibles, tal como lo menciona Rodríguez-Trejo y Sierra (1999) en bosques del sur del SCDF, Villers y López (2004) y Xelhuantzi, *et al.*, (2010).

### **Biomasa arbórea por especie y por promedio de sitios muestreados**

Se registró un DAP promedio que oscila entre 12 y 63 cm y un rango entre 1,464 a 2,692 kg de biomasa por individuo, y concuerda con el rango reportado para bosques de encino y oyamel, descritos por Díaz *et al.*, 2007 y Razo-Zarate *et al.*, 2013. En el presente trabajo los bosques de pinos, *Pinus-Alnus-Quercus* y *Abies religiosa* presentaron la mayor carga de biomasa, este último por sus condiciones de humedad y topografía no son tan susceptibles al fuego, sin embargo presentan cargas similares de combustibles con bosque de pinos y en caso de presentarse un periodo seco, tal como lo menciona Rodríguez-Trejo y Cruz, (2013) que sucedió en los años secos de 1998 y 2011, sí podría verse afectada la biomasa de estos grandes árboles.

En el caso de los bosques de *Pinus-Alnus* y de *Quercus-Pinus-Buddleia* son sitios que presentaron la menor carga de biomasa, que podría deberse al rango de DAP registrados, se observó pocos individuos, son sitios donde se observó una alta actividad antrópica como derrumbe de árboles, cambio de uso de suelo, quemas, excretas de animales, ocoteo y saneamiento forestal. En el caso de *Quercus-Pinus-Buddleia* el estrato arbóreo adulto presente es de altura baja y son cercanos a las zonas urbanas, por lo tanto son más vulnerables y en caso de un incendio severo, podría perderse el estrato arbóreo afectando la biomasa.

El área de estudio presenta pinos y encinos ampliamente repartidos en el SCDF con un gran número de árboles en las diferentes comunidades. Por lo tanto es importante tener datos

precisos de biomasa para los árboles adultos y de los sitios donde hay regeneración natural, en este caso la mayoría de los bosques vistos en campo se registro pinos, ya que en caso de que existiera un incendio severo podría afectar a los retoños. Tal como lo mencionan Vela y Rodríguez-Trejo, (2007) quienes concluyen que algunas especies de pinos de menor diámetro tienen mayor probabilidad de mortalidad y Rojas (2006) quién reporto una pérdida total de 16,987 t de biomasa de pinos y *Quercus* debido a los incendios forestales.

En este trabajo se documentó la biomasa aérea para las especies arbóreas de los sitios con mayor frecuencia de incendios, con el fin de cuantificar y conocer la cantidad de materia vegetal arbórea que se perdería (kg) en caso de presentarse un incendio severo según las distintas comunidades vegetales estudiadas.

### **Mapas de uso de suelo y vegetación**

Los mapas de uso del suelo y vegetación para la fecha de inicio (2005) y término (2014) del periodo estudiado, fueron la base para identificar y conocer la superficie de la vegetación afectada por incendios. Durante el período de estudio se registró una pérdida total de vegetación de 3,817 ha en los cinco tipos de comunidades caracterizadas en campo y descritas en los mapas.

La mayoría de los sitios estudiados presentaron bosques mixtos, constituidos por pinos y encinos, observado a partir del resultado obtenido del análisis de separabilidad (García, 2010; Raya, 2013), proceso que permite evaluar el grado en que las clases obtenidas en la clasificación puedan ser distinguidas espectralmente, donde el bosque de *Abies religiosa* fue la única comunidad vegetal que logró separarse espectralmente del resto de los bosques reconocidos en campo y los bosques con la mezcla de pinos y encinos arrojaron firmas espectrales con comportamientos similares. Esto se debe a la reflectancia de las plantas y a la composición misma de las comunidades ya que siempre estuvieron presentes en menor o mayor grado coníferas y latifoliadas y por lo tanto es la respuesta natural de la vegetación presente.

## **Comunidades y coberturas afectadas por incendios a partir de los mapas de cobertura**

El 80 % de los incendios fueron superficiales afectando principalmente las coberturas de pasto y hojarasca. En este estudio se reporta en Milpa Alta particularmente en San Salvador Cuauhtenco y San Pablo Oztotepec, entre 10 y 150 ha afectadas de renuevo y arbolado adulto respectivamente. Lo que concuerda por Castro, 2003 quién concluyó que el arbolado con un diámetro menor de 10 cm presentó mayor mortalidad en una quema prescrita realizada en Santo Tomas de Ajusco.

Actividades antrópicas como el ocoteo o la presencia de la planta parasita conocida como el muerdago enano, debilitan y aumentan la mortalidad del arbolado después de un incendio (Castro, 2003), mismas que fueron vistos en campo y por lo que son sitios mas vulnerables.

En este estudio se reportó pérdida de arbolado adulto en bosques de *Abies religiosa* de las delegaciones Magdalena Contreras, Milpa Alta y Tlalpan, aún cuando se ha señalado que los bosques de oyamel, al distribuirse en sitios más húmedos y al presentar poca abundancia de gramíneas, el fuego es poco frecuente (Rzedowski, 2006); en sitios donde este bosque se distribuye en pequeños manchones rodeados de otro tipo de vegetación, la frecuencia y acción del fuego es más frecuente. Tal es el caso de lo reportado por Flores, (2011) y Rodríguez-Trejo y Cruz (2013) quienes reportaron el 73.1 % de mortalidad arbórea en la comunidad de San Miguel Topilejo perteneciente a Tlalpan; aun cuando la incidencia de incendios es baja por las condiciones del sitio, la mortalidad es alta cuando se presenta incendio.

De manera general se logró conocer la vegetación afectada por incendios, sin embargo es necesario realizar más estudios incluyendo especificaciones difíciles de conseguir sobre el manejo que se le da a esos bosques con el fin de tener mayores argumentos y herramientas para su conservación, debido a que las grandes superficies de afectación se registraron en una zona de protección forestal.

## X. CONCLUSIONES

Los incendios en el SCDF estuvieron presentes en todo el área de estudio con una superficie total afectada de 16, 130 ha. Para todo el periodo de estudio, el promedio de superficie anual perdida fue de 1,848 ha. No se presentó ninguna tendencia a incrementarse las superficies afectadas, sin embargo existen factores como una temporada de secas prolongada y/o mayor presión humana que ejercen influencia considerable en la presencia y áreas incendiadas.

Las delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Xochimilco, Iztapalapa y Tláhuac registraron menos de 60 ha afectadas por cuadrante y son áreas que presentaron a su vez menor incidencia de incendios. En los casos de las delegaciones de Milpa Alta y Tlalpan presentaron una superficie acumulada mayor de 100 ha por cuadrante, particularmente en Cumbres del Ajusco, cerro el Pelado y el volcán de Tláhuac mismos que han sido afectados de manera constante en los últimos 9 años.

Todas las coberturas fueron afectadas año con año por los incendios, principalmente los pastos y arbustos. La malla generada en este trabajo sirve como referencia para ubicar las superficies y vegetación mayormente afectadas para las seis diferentes coberturas reportadas por CONAFOR.

Se encontraron cinco comunidades vegetales dentro del SCDF: Bosque de *Abies religiosa*, de pinos, de *Pinus-Alnus*, de *Pinus-Alnus-Quercus* y bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*. El estrato arbóreo rara vez fue dañado. El fuego en el SCDF tiene mayor impacto en arboles jóvenes y renuevo.

Se conoció la biomasa de 114 individuos arbóreos, donde distintas especies de pino estuvieron presentes en todos los bosques por lo que la mezcla de pinos y encinos fueron las que presentaron mayor distribución dentro del SCDF y por lo tanto son las que sufrieron mayor afectación por incendios, en menor proporción el bosque de Oyamel. En particular el

bosque de *Pinus-Alnus-Quercus* presentó el mayor número de individuos y de biomasa y es el mas afectado.

En todos los sitios la clase de combustibles de 100 horas presento la mayor carga, por el contrario la categoría de 1 hora presento los valores de carga más baja.

En sitios con mayor arbolado, se presenta mayor carga de hojarasca y por lo tanto puede verse afectado las raices del arbolado ante un evento de incendio.

Se registró una pérdida total de 124.5 ha en la cobertura arbóreo, ocurridos en los años 2008, 2011 y 2013 principalmente de bosques de pinos y de *Pinus-Alnus*. Tlalpan registro 86 ha afectadas.

A partir de la caracterización de los sitios con muestreos de campo y el uso de una clasificación supervisada. Se mejoró y conoció la vegetación existente afectada por incendios.

## **XI. LITERATURA CITADA**

Acosta, M., K. Quednow, J. Etchevers y C. Monreal. 2001. Un método para la medición de carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural en terrenos de ladera de México. Colegio de Postgraduados, INIFAP, México.

Alatorre, L. y V. Begueria. 2010. Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central Pirineos. Revista de Ecología de Montaña. 165: 7-27.

Almeida-Leñero, L., M. Espinoza, J. Jujnovsky, M. Nava, M de J. Ordoñez, y A. Ramos, 2007. Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, DF. Facultad de Ciencias. UNAM. Gaceta ecológica núm. 84 -85:53-54.

Alanis-Rodríguez, E., E. Jiménez, D. Espinoza, E. Jurado, O, Aguirre, M. González. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 14 (2): 113-118.

Avendaño, D., M. Acosta, F. Carrillo y J. Etchervers. 2009. Estimación de carbono y biomasa en un bosque de *Abies religiosa*. Revista Fitotecnia Mexicana. México. 32 (3): 233-238.

Bonilla, E. 2009. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae Lamb.* Tesis de ingeniero forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología y base para el estudio de las comunidades vegetales. Ediciones H. Blume. España. 820 p.

Brown, J. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA forest service. General technical report. Intermountain forestal and range experiment station. USA. 34 p.

Campbell, B. 2002. Introduction to remote sensing. 3 Edition. The Guilford Press. USA. 621 p.

Campuzano, P., M. Perevochtchikova y S. Avila-Foucat. 2011. Suelo de conservación del D.F. Primera Edición. IPN. Editorial Porrúa. México. 248 p.

Cano-Santana, Z. y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos. El caso del Xitle. Revista Ciencias. UNAM. 41: 58-68.

Cantoral, E., L. Almeida-Leñero, J. Cifuentes, L. León, A. Martínez, A. Nieto, P. Mendoza, J. Villarruel, V. Aguilar, V. Ávila-Akerberg, H. Olguín y F. Puebla. 2009. La biodiversidad de una cuenca en la ciudad de México. Revista Ciencias 94: 28-33. UNAM. México.

Capulín, J., L. Caballero y R. Razo. 2009. Cambios en el suelo y vegetación en un bosque de pino afectado por incendio. Terra Latinoamericana 28:77-89.

Carrera, J. y X. Neil. 1995. Análisis de componentes principales sobre datos multiespectrales Landsat-TM e interpretación de cubiertas vegetales en las sierras de Tejada y Almirajara. Acta Botánica Malacitana 20: 153-164.

Castillo, M., P. Pedernera, E. Peña. 2003. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis forestal. Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA Vol. XIX / Núm. 3

Castillo-Argüero, S., G. Romero, M. Martínez, Y. Guadarrama, P. Sánchez y O. Núñez. 2004. Dinámica y conservación de la flora del matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel D.F. Boletín de la Sociedad Botánica de México 74: 54-75. Disponible en: <http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=57707404> ISSN 0366-2128 (consulta en Febrero 2015).

Castro, U. 2003. Supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl en áreas incendiadas en el Ajusco D.F. Tesis de Ingeniero forestal. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Chávez, A., J. Flores, y J. Xelhuantzi. 2011. Sistema para el Cálculo de Combustibles forestales. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIRPAC, INIFAP. Folleto Técnico Núm. 4. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialpp S.A. Madrid. 407 p.

Chuvieco E. 2009. Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. Revista Académica de Ciencias Exactas Física Natural. 103: 173-18.

Claro, A. 1985. Conferencias de Biogeografía. Universidad de la Habana, Facultad de Geografía. Editorial Pueblo y Educación. 458 p.

Cocero, D., D. Riaño y E. Chuvieco. 1998. Estimación de la humedad usando imágenes satelitales e índices meteorológicos de peligro de incendios. Serie Geográfica 7: 59-72.

Cochrane, M. y W. Laurence. 1999. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. Journal of Tropical Ecology 18: 311–325.

Collin, G., L. Cameron. K. Debra y J. Spencer. 2012. Multi-scale remote sensing sagebrush characterization with regression trees over Wyoming. USA. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 14: 233–244.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2006. Programa Estratégico Forestal del D.F 2006-2025.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/858Programa%20Estrat%C3%A9gi co%20Forestal%20del%20Distrito%20Federal.pdf>

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2008. Incendios forestales en México <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4339Campa%C3%B1a%20de%20co ntra%20incendios%202013.pdf>

CONAFOR, (Comisión Nacional Forestal), 2013. Incendios forestales en México, Reporte anual, temporada 2013. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/4215Reporte%20Semanal%202013 %20-%20Incendios%20Forestales.pdf>

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2011. Estrategia y lineamientos de manejo de fuego en áreas naturales protegidas. 2º Edición. México. 34 p.



CRISP. 2001. Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing. National University of Singapore. Disponible en:

[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/firma\\_es.htm#](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/firma_es.htm#)

Cruz, X., L. Villers y C. Gay. 2014. Black carbon and organic carbon emissions from wildfires in Mexico. *Atmosfera* 27:165-172.

Díaz, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo, E. Buen, E. Flores y J. Etcherves. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula*. *Madera y bosques* 13 (1): 25-34.

Diez de Bonilla, A. 2007. Evaluación por peligro de incendio forestal en la delegación de Milpa Alta D.F. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

DGCORENA (Dirección General de Comisión de Recursos Naturales). Base anual de registro de incendios del SCDF 2005-2013. Secretaria del Medio Ambiente.

Dobler, E. 2010. Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F. Tesis para obtener el título de biólogo. Facultad de ciencias, UNAM. México.

Duran, A., J. Garnica, y J. Carmona. 2011. Sistema para el cálculo de combustibles forestales. INIFAP. México.

Eastman, R. 2012. Guía para SIG y Procesamiento digital de imágenes. Clark University. Disponible en: <http://www.clarklabs.org/> (consulta en Marzo 2013).

Ezcurra, E. 2003. De las chinampas a la megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México. 3º Edición. SEP. CONACYT. México. 92 p.

Fernández, I., N. Morales, L. Olivares y M. Gómez. 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. 1º Edición. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Santiago de Chile. 163 p.

Figuroa, C. 2010. Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el ejido la Mojonera, Hidalgo. Tesis de grado de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Estado de México.

Flores, N. 2011. Estructura arbórea y composición de la vegetación del río Magdalena, en la delegación Coyoacán, México. DF. Tesis que para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Garcés, J. 2008. Restauración ecológica de la zona de amortiguamiento 8 de la reserva del Pedregal de San Ángel D.F. Tesis que para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM.

García, T. 2010. Evaluación de tres clasificadores difusos en el análisis de imágenes satelitales de baja resolución (spot vegetation). Tesis de Maestría en Ciencias. División de estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás, Hidalgo. Morelia Michoacán.

GDF (Gobierno del Distrito Federal), 2002. Diagnostico Geológico y Geohidrológico preliminar de la cuenca del río Magdalena. Secretaria del Medio Ambiente. D.F.

GLCF (Global Land Cover Facility), 2013. Earth Science Data Interface University of Maryland 1997 – 2004, disponible en: <http://glcfapp.glcfc.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. (Consulta Febrero 2013).

Gómez, M., F. Villanueva y J. German. 2013. Ecuaciones alométricas para estimar peso seco de combustibles forestales vivos en Tlaxcala y Jalisco. Folleto técnico núm. 2. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México.

Hernández, M., 2010. Fuego, comunidades vegetales y diversidad de especies en parajes de Tepetlaoxtoc, Estado de México. Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero en Restauración Forestal. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 1983. Carta uso del suelo y vegetación. Ciudad de México E 14-A39. Escala 1:50000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, D.F

Jardel-Peláez, E., J. Frausto-Leyva, D. Pérez-Salicrup, E. Alvarado, J. Morfin-Ríos, R. Landa y P. Llamas-Casillas. 2010. prioridades de investigación en manejo del fuego en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. México D.F.

Jiménez, C. 2011. Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en la parte aérea de *Pinus hartwegii Lindl* en el Parque Nacional Izta-Popo. Tesis que para obtener el título de ingeniero en restauración forestal. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Joseph, L., L. Fleiss, L. Bruce y M. Cho. 2003. Statical methods for rates and proportions. Chapter 18. The measurement of interrater agreement. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. 598-625 p.

Jujnovsky, J. 2006. Servicios ecosistémicos relacionados con el recurso agua en la cuenca del río Magdalena D.F. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Kent, M y P. Coker. 1994. Vegetation, description and analysis. A practical approach. Chichester. New edition. New York. 384 p.

López, N. 2011. La firma espectral de *Abies religiosa* en la reserva de la biosfera, Mariposa Monarca. Tesis que para obtener el grado de Maestra en Ciencias de la Tierra. Instituto de Geología. UNAM. México.

Lugo, J. 1990. Relieve de la República Mexicana. Boletín del Instituto de Geología UNAM. México. 9: 82-111.

Luna, M., J. Morrone y D. Espinosa. 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. Las Prensas de Ciencias. UNAM. México. 514 p.

Madrigal, J., C. Hernando y M. Guijarro. 2011. El papel de la regeneración natural en la regeneración tras grandes incendios forestales. caso del pino Negal. Departamento de Selvicultura y Gestión Forestal. Boletín CIDEU. 10: 5-22.

Martínez, E. 2001. Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel D.F. Tesis que para obtener el título de Bióloga. UNAM. México.

Martínez, O. 2001. Efecto del fuego sobre el banco de semillas en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis que para obtener el título de Bióloga. Facultad de Ciencias, UNAM. México.

Mendoza, P. y L. Galicia. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83: 497-506.

Meza, M y J. Monacada. 2010. Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. *Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona*. XIV.331 (56).

Morrone, J. 2007. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 77 (2): 207-252.

Myers, R. 2006. Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. *Iniciativa Global para el Manejo del fuego. The Nature Conservancy. U.S.A.*

Nearya, D., C. Klopatekb, L. Deban y P. Folliottc. 1999. Fire effects on belowground sustainability a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122: 51-71.

Ojeda, N., B. Sandoval, A. Soto y L. Casanova. 2011. Discriminación de bosques de *Araucaria araucana* en el Parque Nacional Conguillío, centro-sur de Chile, mediante datos Landsat TM. *Bosque* 32: 113-125.

PAOT (Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F), 2012. Atlas geográfico del Suelo de Conservación del D.F. México. Secretaria del Medio Ambiente 84 p.

PAOT (Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F), 2010. Modelo de análisis tendencial sobre la pérdida de cubierta forestal del suelo de conservación del D.F. México D.F. Secretaria del Medio Ambiente. 233 p.

PAOT (Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F), 2013. Base anual de incendios 2005-2013 del Suelo de Conservación del D.F. Secretaria del Medio Ambiente.

PAOT (Procuraduría ambiental y del ordenamiento territorial del D.F), 2010. Cuantificación del carbono almacenado en el Suelo de Conservación del D.F. Secretaria del Medio Ambiente. 33 P.

PGOEDF (Programa General del Ordenamiento Ecológico del D.F), 2000. Gaceta Oficial de D.F México. 1 de agosto del 2000.

Ramírez, R. 2006. Efectos de la aplicación de dos métodos de regeneración sobre la estructura, diversidad y composición de un bosque de pino-encino en la Sierra Juárez de Oaxaca, México. Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en manejo y conservación de bosques tropicales y biodiversidad. Programa de enseñanza para el desarrollo y la conservación, Escuela de Postgrado. Costa rica.

Raya, M. 2013. Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo en la zona noreste de la zona de Michoacán (1987- 2006). Tesis que para obtener el título de Ingeniero Forestal. Chapingo. México.

Razo-Zárate, R., A. Gordillo, R. Rodríguez, C. Maycotte, y A. Acevedo. 2013. Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19(2): 86 -73.

Ríos, C. 2013. ¿Es posible reconocer una unidad biótica entre América del norte y del sur? *Revista Mexicana de biodiversidad. UNAM.* 84:1-9.

Rivera-Hernández J. y A. Espinosa-Henze. 2007. Flora y vegetación del Distrito Federal. En: Luna I., Morrone J. y D. Espinosa. Eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, pp. 231–253, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. UNAM. México D.F.

Rodríguez -Trejo y A. Cruz. 2013. Avances en el manejo integral del fuego en el centro de México. Memorias del cuarto simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los incendios forestales: cambio climático e incendios forestales 5-11 Nov. Ciudad de México.

Rodríguez, R. 2011. Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio. Tesis de Magister en Geomatica. Facultad de Ingeniería Agronómica Bogotá D.C. Colombia

Rodríguez-Trejo y A. Sierra. 1999. Evaluación de los combustibles forestales en los bosques del D.F. Revista Ciencia Forestal. 20: 193-218.

Rodríguez-Trejo., H. Martínez y V. Ortega. 2004. Ecología del fuego en bosques del *Pino hartwegii* en: Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. Centro de Ciencias de la Atmosfera. Universidad Nacional Autónoma de México. 164 pp.

Rojas-García, F. 2008. Consideraciones para el balance de carbono: Evaluación del movimiento de biomasa en el parque nacional Malinche. Tesis que para obtener el grado académico de Maestra en Ciencias Biológicas. UNAM. México.

Rojas-García, F., B. de Jong, P. Martínez-Zurimendí, F. Paz-Pellat. 2015. Database of 478 Allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. Annals of forest Science.1-30.

Roman, V. 2012. Determinación del carbono en la biomasa de *Abies religiosa* del parque recreativo y cultural Desierto de los Leones, para evaluar su capacidad como sumideros de carbono. Tesis que para obtener el título de Bióloga. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª. Edición, 1a reimpresión, Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 p.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1º Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Biodiversidad. México. 504 p.

Rzedowski, J., L. Vela y G. Madrigal. 2011. Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los bosques de coníferas en México. en: Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 2:15-35. Disponible en:<http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/Forestales/article/view/894> (consulta en Enero 2013).

Saavedra, Z. 2007. Propuesta de un modelo cartográfico para identificar zonas de valor ambiental amenazadas para el diseño de políticas de atención prioritaria. Tesis para obtener el título de Bióloga. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.

SEMARNAT (Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales), 2006. Informe técnico del proyecto Urbanización periférica y deterioro ambiental de la ciudad de México, en el caso de la delegación de Tlalpan D.F. UNAM.

Sheinbaum, C. 2008. Problemática ambiental de la ciudad de México. 1º Edición. Editorial Limusa S.A. de C.V. México D.F. p. 299.

Sola, G., N. Picard, L. Saint-Andre y M. Henry. 2012. Resumen del manual de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y biomasa de árboles del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma Montpellier. 17 p.

Soria, J. y R. Granados. 2005. Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. Ciencia Ergo Sum. 12 (2):167-174.

Teran, F. y L. Viteri. 2005. Procesamiento de imágenes satelitales para determinación de cambios de cobertura vegetal y deforestación utilizando Matlab. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.

Tomás, E. 2013. Estimación de biomasa y carbono mediante ecuaciones alométricas en *Quercus laurina* Lumb y *Quercus rugosa* Nee en predio bajo manejo en ejido de San Pablo

Ixayoc, Estado de México. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Torres, V., M. Prol y D. García. 2009. Three decades of land use variations in Mexico City. *International Journal of Remote Sensing* 30: 117–138.

Torres, M. 2008. Resiliencia en áreas afectadas por incendios forestales en el municipio de Bocoyna, Chihuahua. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias, Manejo de recursos naturales. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

Vega, E. 2008. Importancia económica de las áreas naturales protegidas como sumideros de carbono en México. Facultad de Economía. UNAM. México.

Vela, G., J. López y M. Rodríguez. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*. 77: 18-30

Vela, V y Rodríguez-Trejo. 2007. Supervivencia e incremento de altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios experimentales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. *Agro ciencia* 41: 210-230.

Velázquez, A. 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tláloc and Pelado, México. *Journal of Vegetation Science* 5: 263-270.

Velázquez, A., C. Medina y D. Reygadas. 2010. Síntesis geobotánicas del Ajusco-Chichinautzin. Centro de Investigación Geografía Ambiental. UNAM. *Investigación Ambiental* 2 (1): 5-24.

Velázquez, P. 2012. Vulnerabilidad en los asentamientos humanos irregulares ubicados en el suelo de conservación del DF. Tesis obtener el título de Licenciado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

Verzino, G., J. Joseau, M. Dorado, M. Gellert, E. Rodríguez y S. Nobile. 2005. El impacto de los incendios sobre la diversidad vegetal, Sierra de Córdoba Argentina. *Ecología aplicada* 4: 25-34.



Villers, L y J. López. 2004. Incendios forestales en México en: Métodos de evaluación. Centro de Ciencias de la Atmosfera, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 164 p.

Wong, G. y L. Villers. 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: Un estudio en el parque nacional la Malinche. Investigaciones Geográficas. 62:87-103.

Wong, G. 2011. Determinación de peligro a incendios forestales en el municipio de Santa María Yavesia, Oaxaca, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas. UNAM.

Xelhuantzi, C., J. Flores y A. Chávez. 2010. Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. Revista Mexicana de Ciencia Forestal 2: 37-52.

Yanes, P. 2007. El desafío de la diversidad, los pueblos indígenas, la ciudad de México y las políticas de gobierno del D.F de 1998-2006. Tesis para obtener el grado de Maestro en asuntos públicos. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. UNAM. México.

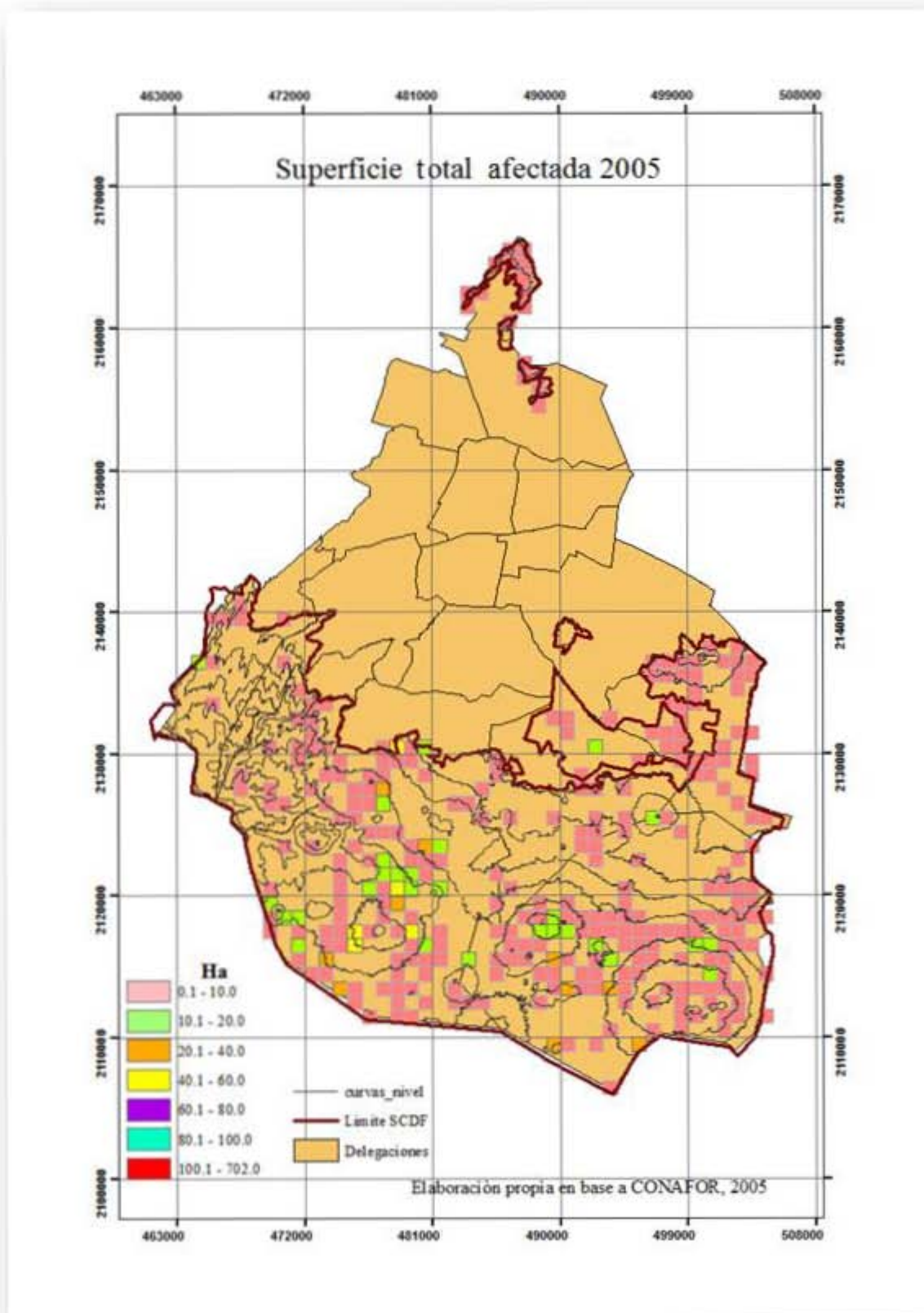
## XII. ANEXOS

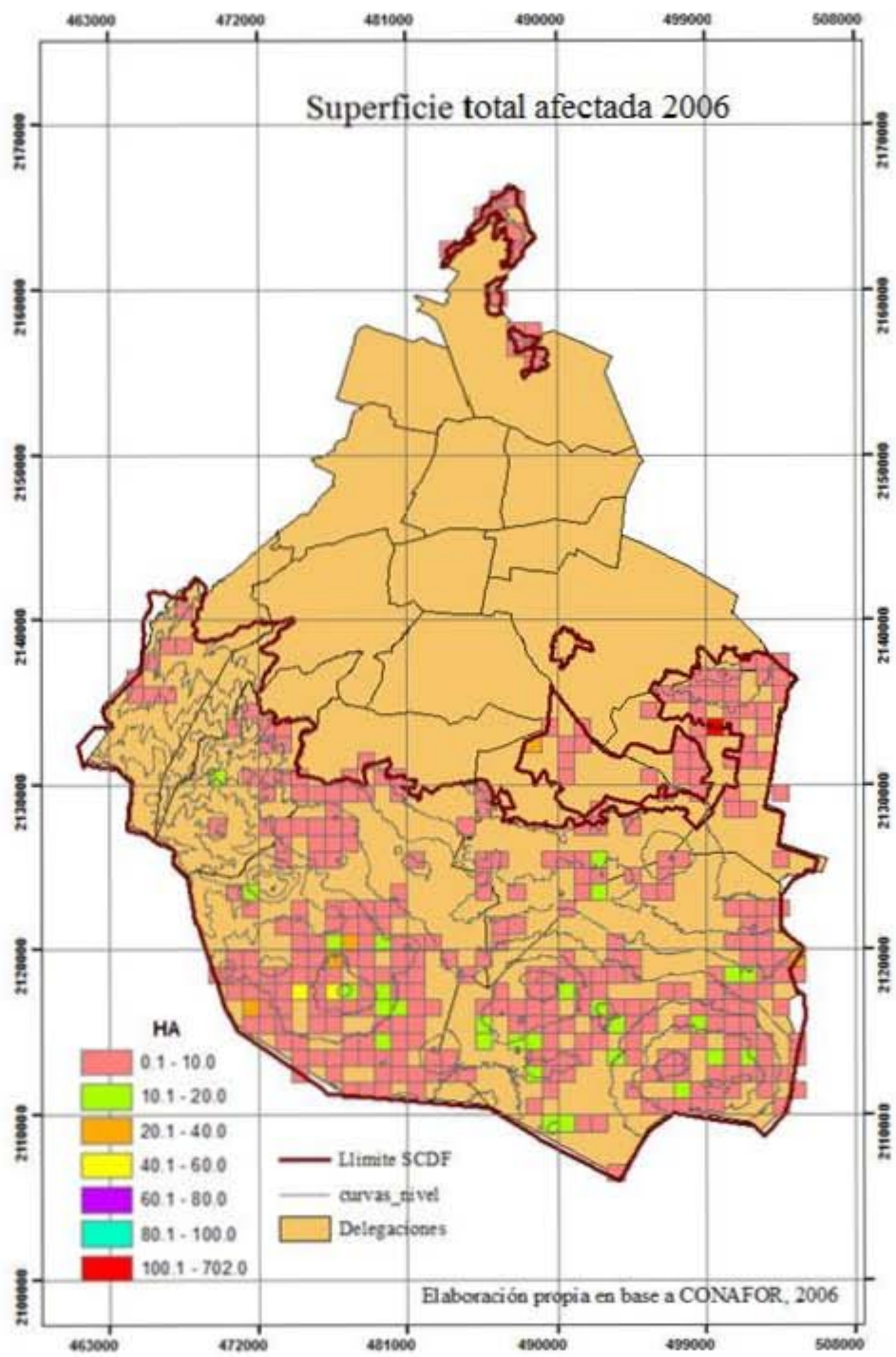
### A1. Formato de campo

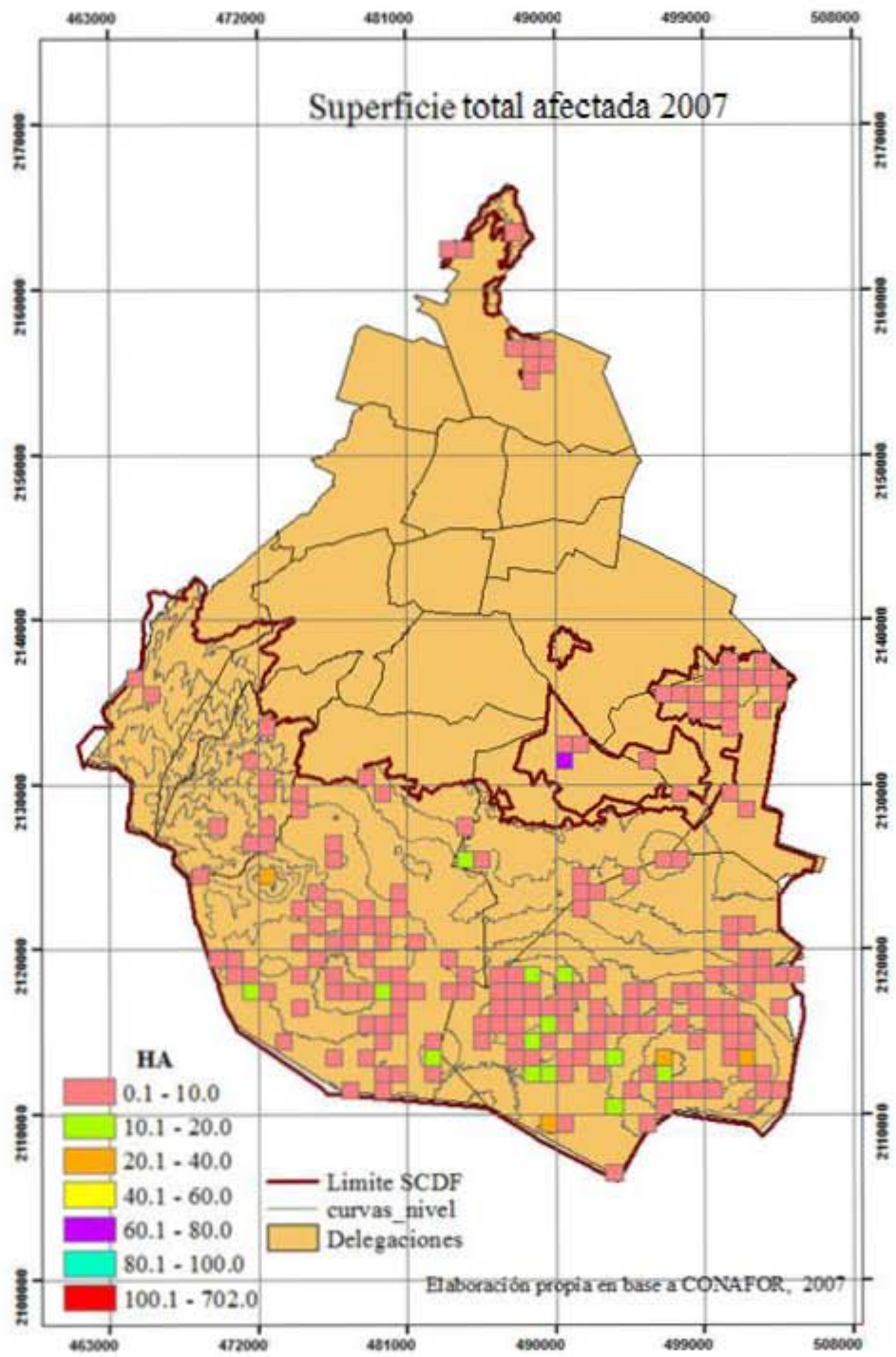
EVALUACION DE LA VEGETACION E INVENTARIO DE COMBUSTIBLES MUERTOS								
<b>Delegación</b>			Paraje					
<b>Coordenadas</b>						Fecha		
<b>Posición topográfica</b>			Elevación					
<b>Cubierta suelo</b>	Roca	Suelo Desnudo	hojarasca					
<b>Observaciones Generales</b>								
<b>Estratos</b>								
<b>Arbolado Adulto</b>			Altura			Cobertura		
			Alto	Medio	Bajo	Escasa > 30 %	Medio 30-60 %	Casi completa 60-100%
Núm. Arboles								
# Arboles muertos								
<b>Arbolado medio</b>								
Núm. Arboles								
# Arboles muertos								
			Altura			Cobertura		
<b>Reforestación</b>			Alto	Medio	Bajo	Escasa > 30 %	Medio 30- 60 %	Casi completa 60-100%
Daño Físico: (pisoteo, derribo Arrastre)								
			Altura			Cobertura		
<b>Renuevo</b>			Alto	Medio	Bajo	Escasa > 30 %	Medio 30- 60 %	Casi completa 60-100%
Daño Físico: (pisoteo, derribo Arrastre)								
<b>Arbustivo</b>			Altura			Cobertura		
			Alto	Medio	Bajo	Escasa > 30 %	Medio 30- 60 %	Casi completa

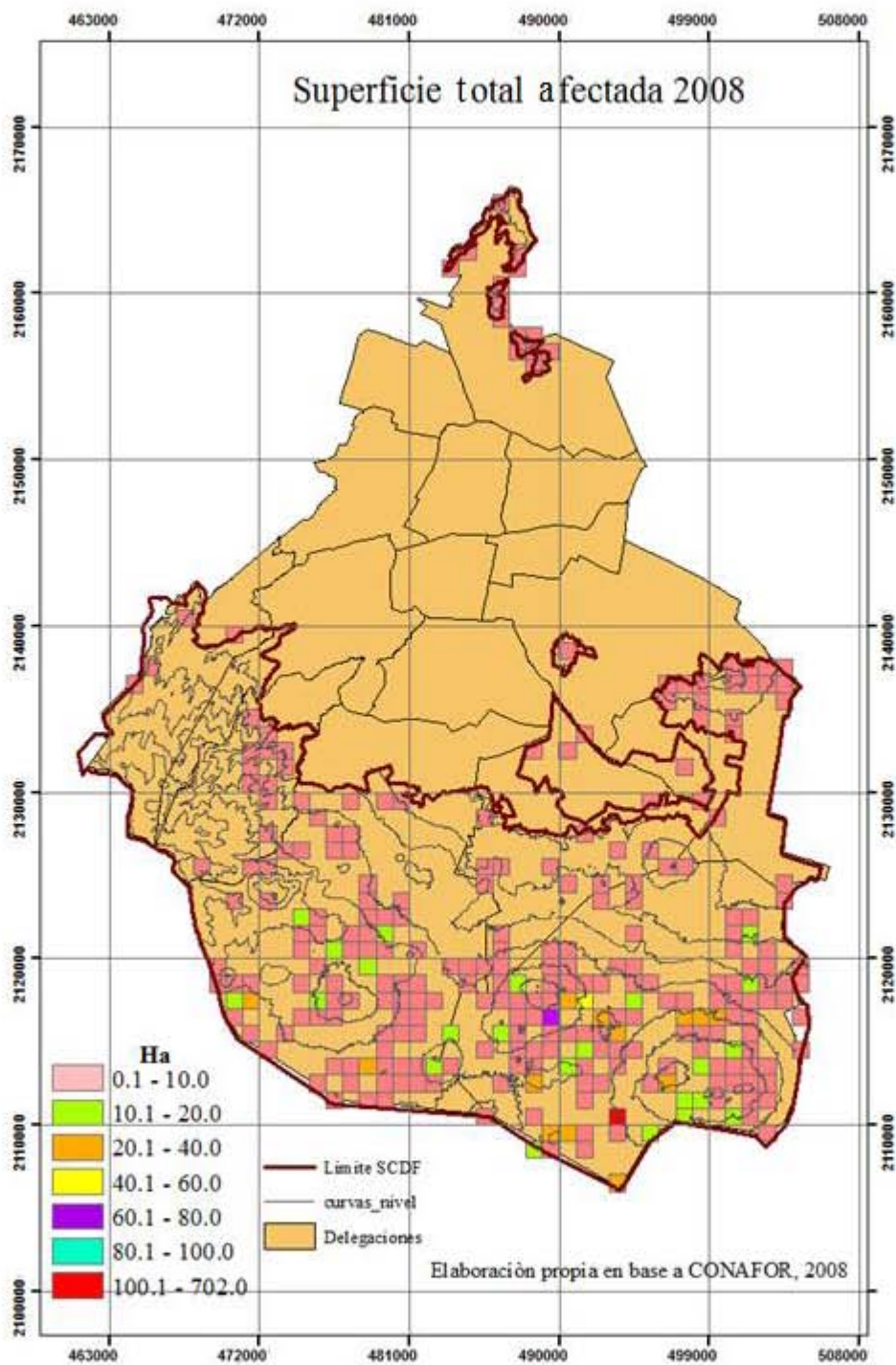
								60-100%
<b>Pasto</b>				Altura			Cobertura	
			Alto	Medio	Bajo	Escasa > 30 %	Medio 30- 60 %	Casi completa 60-100%
Veg. Rasante								
<b>INVENTARIO COMBUSTIBLES MUERTOS</b>								
<b>Tamaño de Combustible</b>		Nº (0º)					TOTAL	
Muy fino (<0.6 cm):								
Fino (0.6-2.5 cm)								
Medio (2.5-7.6 cm)								
Grueso (7.6-30 cm):								
		120º					TOTAL	
Muy fino (<0.6 cm):								
Fino (0.6-2.5 cm)								
Medio (2.5-7.6 cm)								
Grueso (7.6-30 cm):								
		245º					TOTAL	
Muy fino (<0.6 cm):								
Fino (0.6-2.5 cm)								
Medio (2.5-7.6 cm)								
Grueso (7.6-30 cm):								
<b>Huellas incendios</b>								
# Tocones								
# Troncos carbonizados								
Cicatrices quema en troncos								
Presencia de Quemados								
Cercanía Urbanización								
Pastoreo Agricultura								
Desmonte								
Tipo incendio:	Copa	Superficial	Subte rráneo					

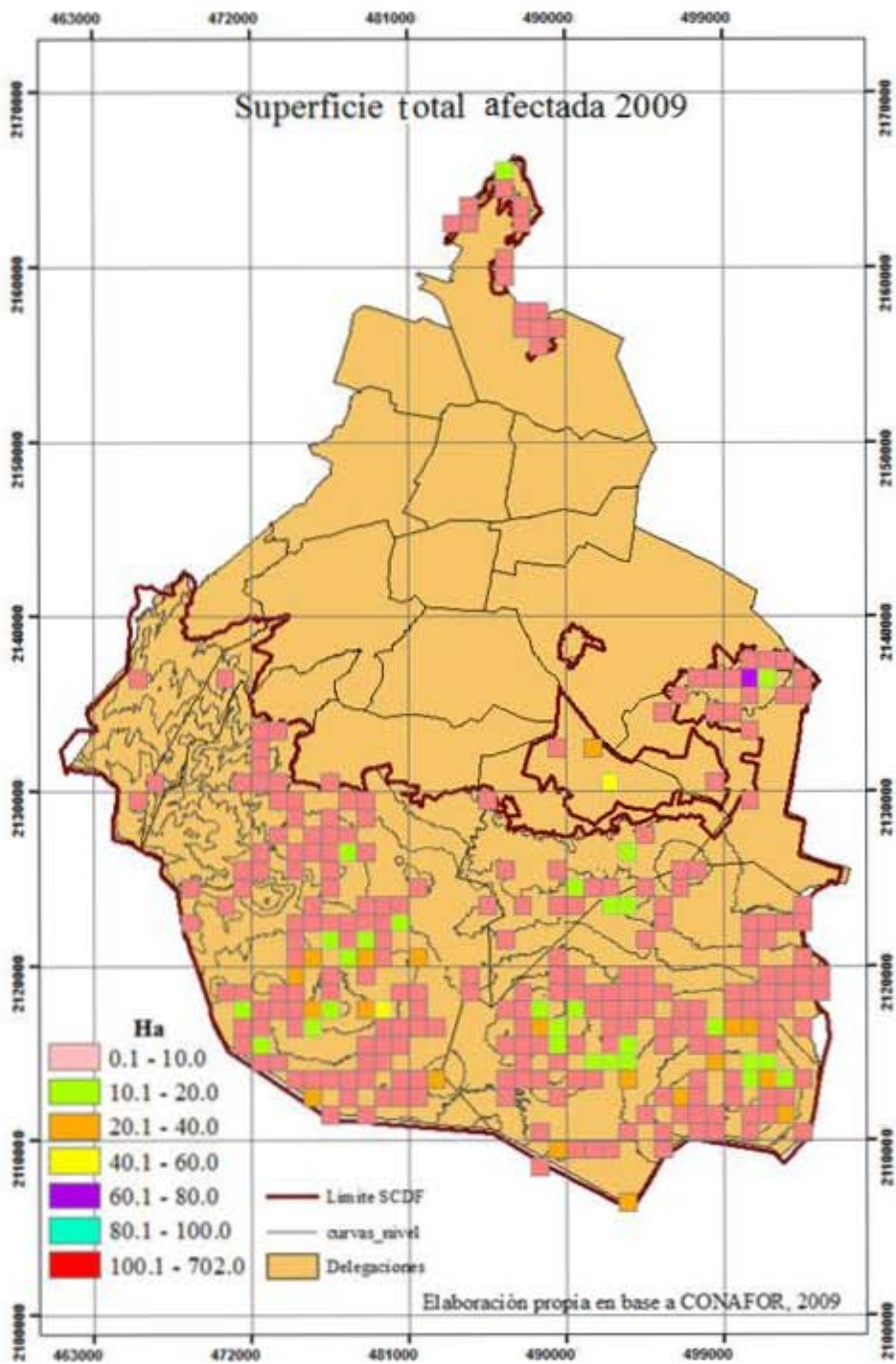
## A2 Mapas por año de superficie incendiada para el período 2005-2013



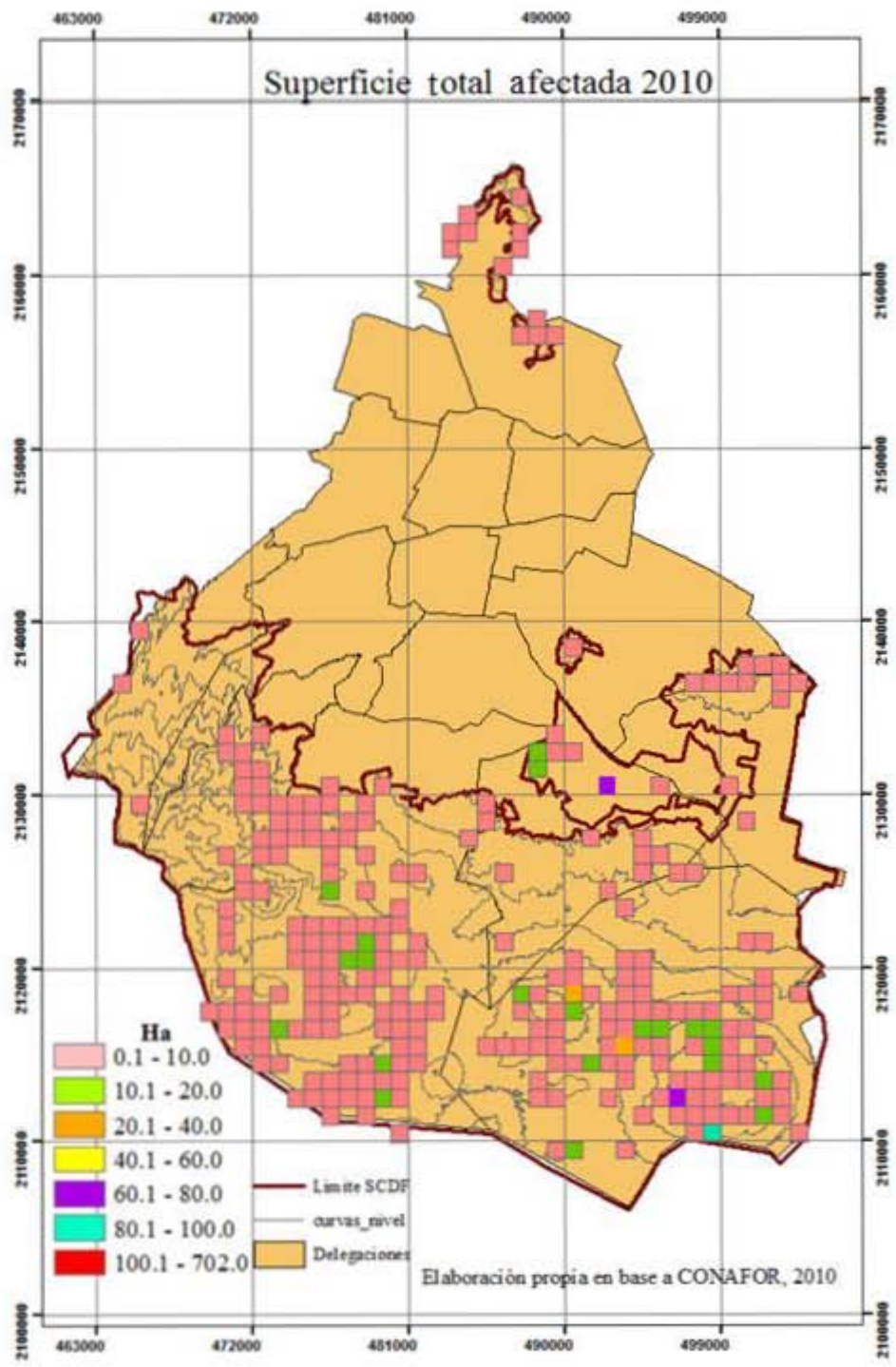


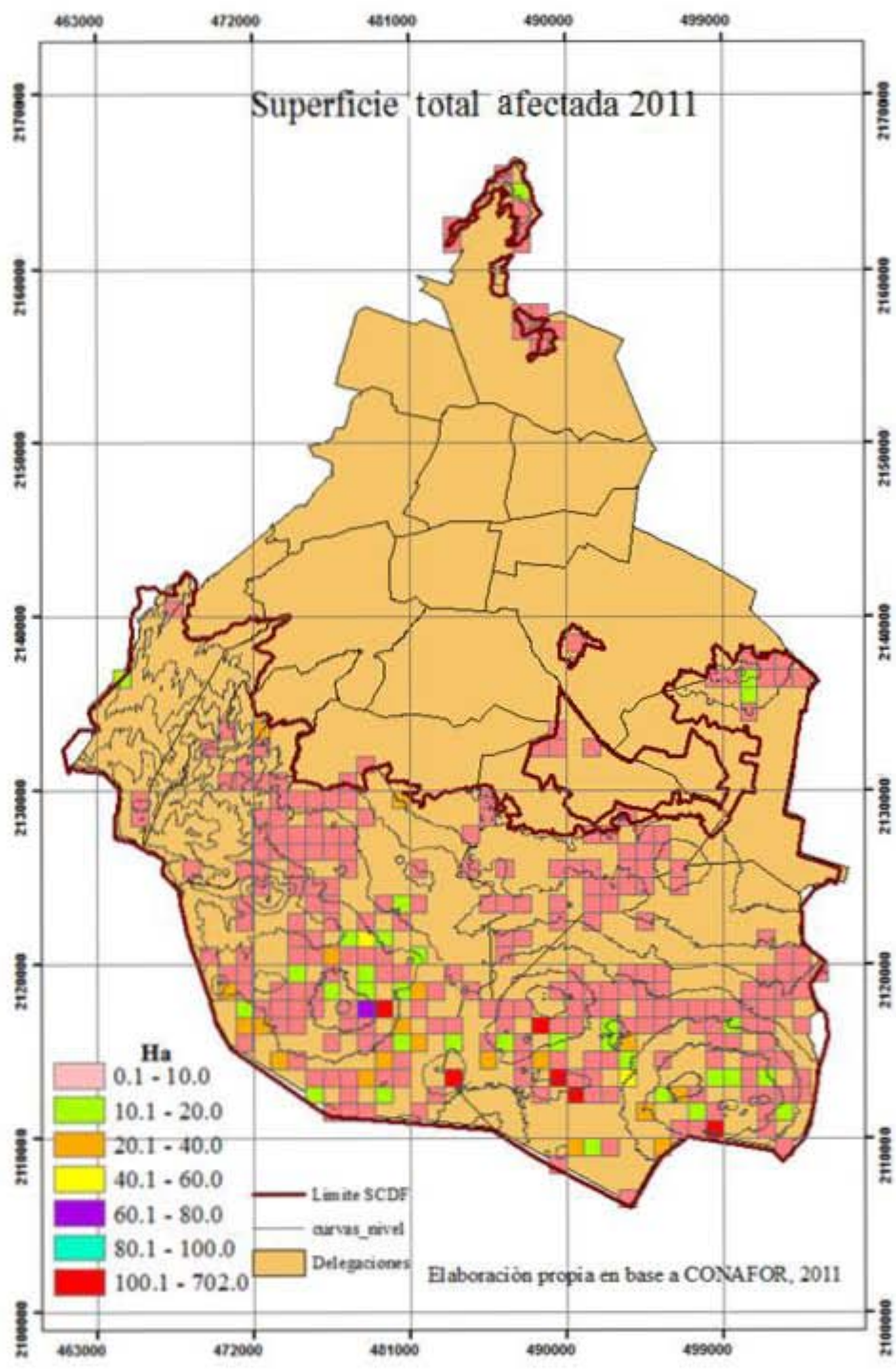


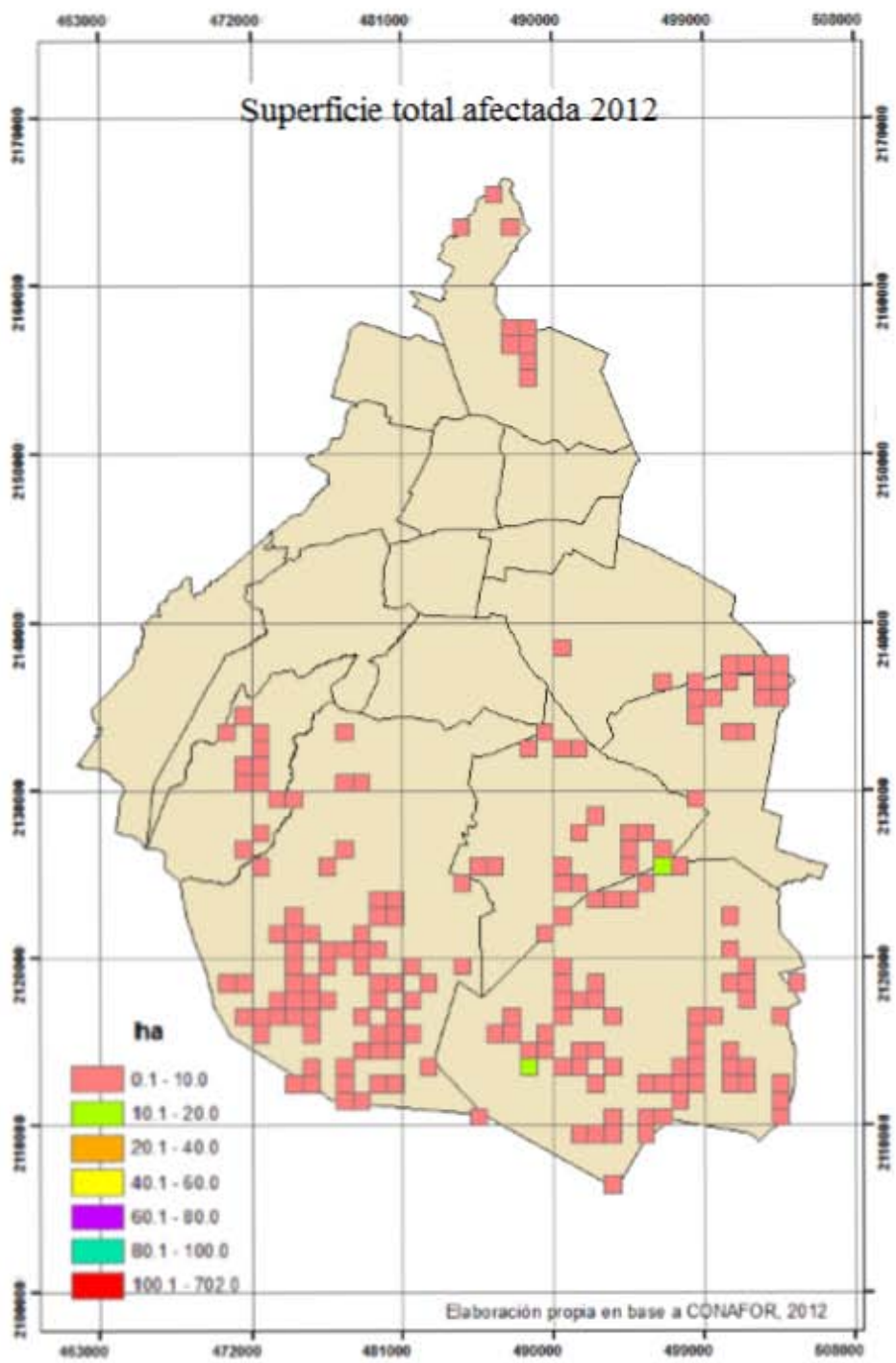


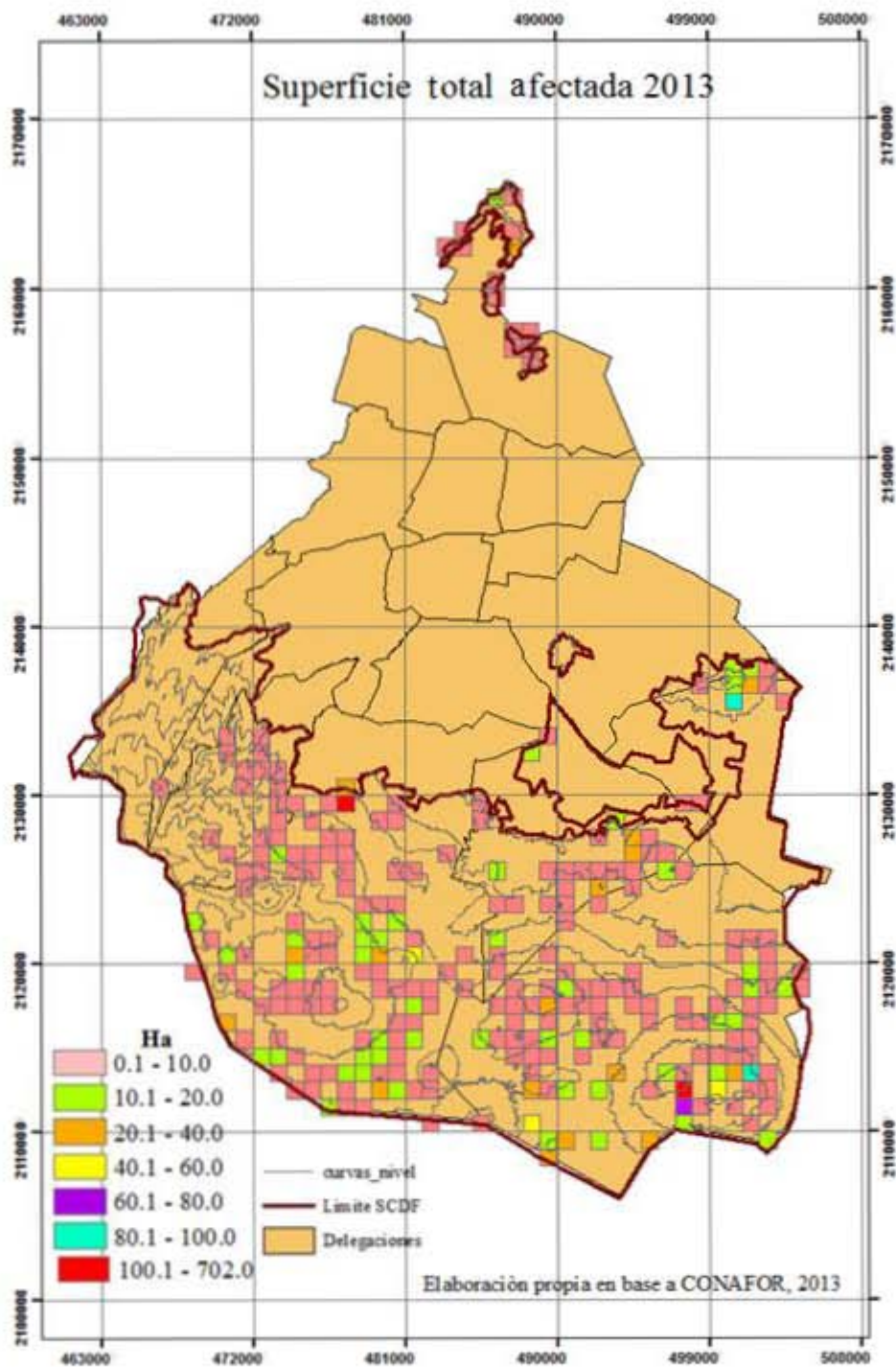






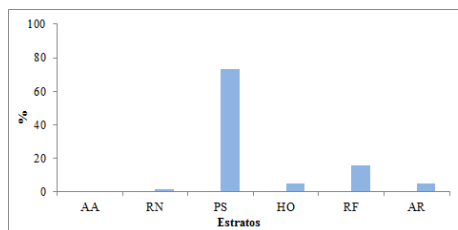
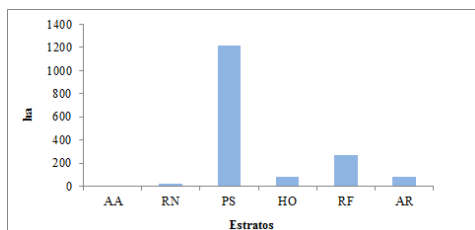




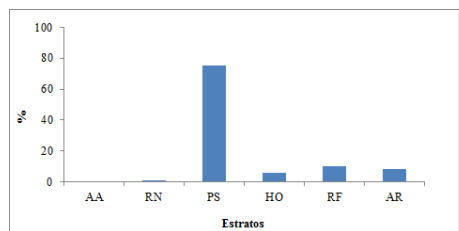
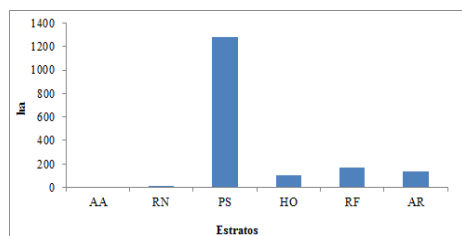


### A3. Resumen anual de la superficie afectada en ha y porcentaje por cobertura afectada del SCDF durante el periodo 2005-2013.

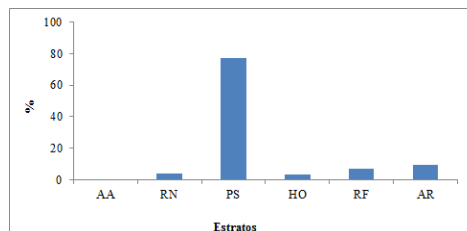
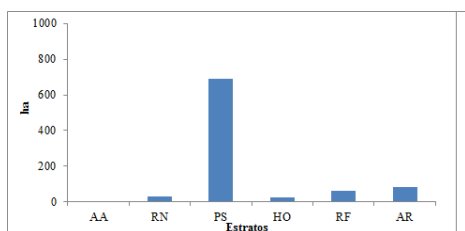
Donde: AA arbolado adulto, RN= renuevo, PS= pasto, HO= hojarasca, RF=reforestación y AR=arbusto.



El año 2005 presento una pérdida total de 1,667.32. La cobertura más afectada fue pasto con 73% seguido de reforestación con 15.9%, arbusto 4.9%, hojarasca 4.8 %, renuevo 1.42 %, no se reporto afectación de arbolado adulto.

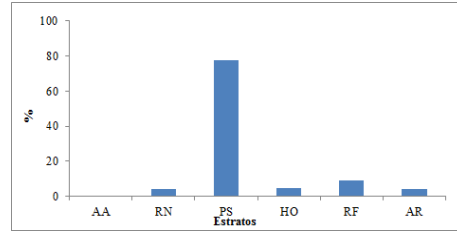
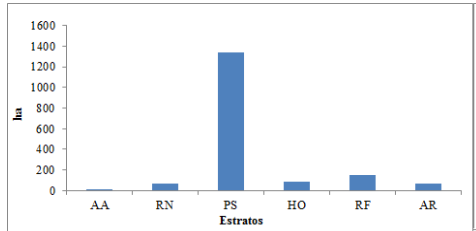


El año 2006 presento una pérdida total de 1,711.42. La cobertura más afectada fue pasto con 75%, seguido de reforestación con 10%, arbusto presento 8%, hojarasca 6%, renuevo 0.81% y no hubo pérdida de arbolado adulto.

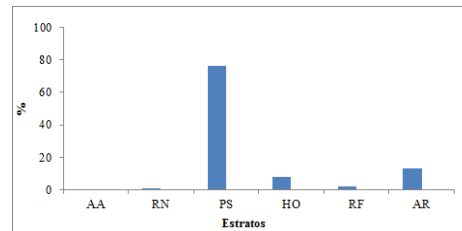
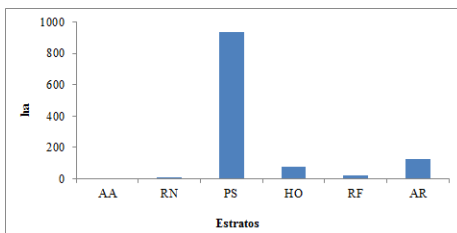


El año 2007 presento una pérdida total de 890.82. La cobertura más afectada fue el estrato pasto con 80% y arbusto con 9%, seguido de reforestación con 6.7%, renuevo 3.6%, hojarasca presento 3% y no hubo pérdida de arbolado adulto.

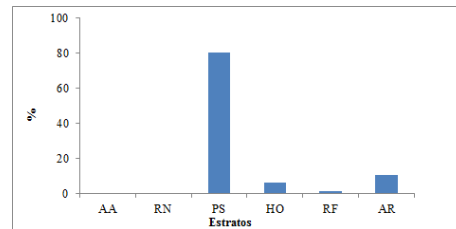
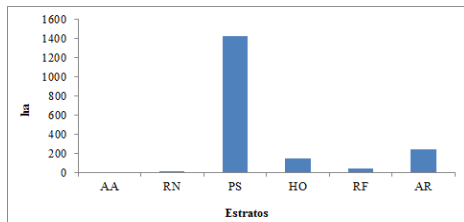
El año 2008 presento una pérdida total de 1,722.14. La cobertura más afectada fue pasto con un 78% seguido de reforestación con un 9%, hojarasca un 5%, arbusto 4.15 % renuevo 4% y de arbolado adulto presento 0.07% de perdida.



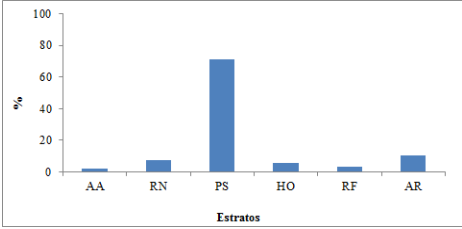
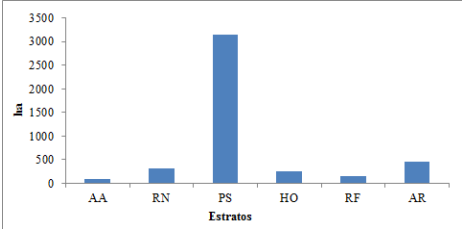
El año 2009 presento una pérdida total de 1,868.85. La cobertura más afectada fue pasto con 76.4% seguido del estrato arbusto con 13%, hojarasca presento 8%, reforestación 2.1 %, renuevo 0.64% y no hubo pérdida de arbolado adulto.



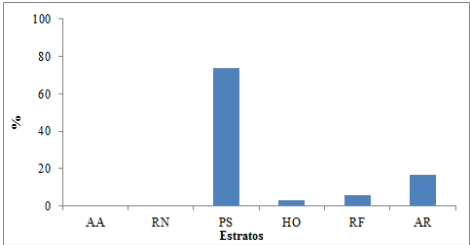
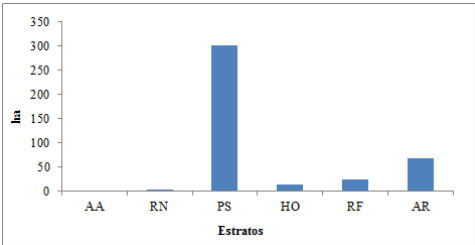
El año 2010 presento una pérdida total de 1,160. La cobertura más afectada fue pasto con 80.5% seguido del estrato arbusto con 11%, hojarasca presento 6.4 %, renuevo presento 0.56% y no se registró afectación de arbolado adulto.



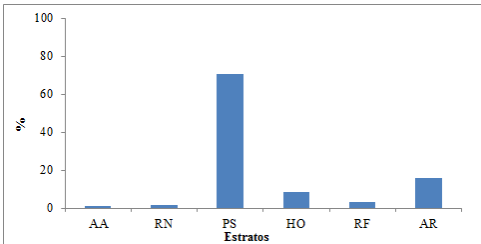
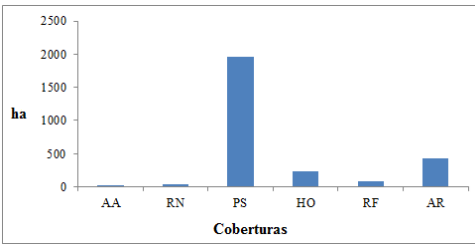
El año 2011 presento una pérdida total de 4,421.42. La cobertura más afectada fue pasto con 71%, seguido de arbusto con 10.4%, renuevo 7.3 %, hojarasca 5.6%, el estrato reforestación presento una pérdida del 3.2 % y arbolado adulto registró 2.19 % de afectación.



El año 2012 registro una superficie total afectada de 408.87 ha. La cobertura más afectada fue pasto y hojarasca con 79.2 %, seguido de arbusto con 16.6 %, el estrato renuevo 0.42 %, reforestación con 5.9 % . En este año no se reporto afectación del arbolado adulto.



El año 2013 registro una superficie total afectada de 2,779.7 ha. La cobertura más afectada fue pasto 70.6 %, seguido de arbusto con 15.6 %, hojarasca 8.2 %, reforestación 2.9 %, renuevo 1.4% y arbolado adulto de 1 % de afectación.



#### A 4. Descripción de la vegetación de los sitios de mayor frecuencia de incendios

##### Bosque *Abies religiosa*

Sitio 1.

##### Condiciones del sitio

Ubicado en la cañada de Magdalena Contreras en las coordenadas 19° 16' 06" N, 99° 17' 22" W con una pendiente de 32 ° y una altitud de 3,000 m.s.n.m. La cubierta del suelo presentó una ligera exposición de roca, suelo desnudo, rastreras y hojarasca.

##### Descripción de estratos de la vegetación

El estrato arbóreo presenta una cobertura del 30 % dominado por *Abies religiosa* de 35 m de altura y 57 cm de DAP. No se registró estrato medio arbóreo. El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio* de 1.50 m de altura promedio.

El estrato herbáceo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Salvia* de 25 cm de altura promedio.

##### Huellas de incendios y actividades humanas.

No se observó huellas de incendio. Se observó tocones, basura, saneamiento forestal y derribo de árboles. En el año 2011 se llevó a cabo reforestación y se registro una cobertura del 30 % de

Oyamel con una altura promedio de 60 cm a partir de la fecha de muestreo.

##### Regeneración post-incendio

No

##### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	46	30	28
Fino (0.6-2.5 cm)	10	10	17
Medio (2.5-7.6 cm)	6	16	8
Grueso (7.6-30 cm)	1	3	3



Sitio 1. Bosque de *Abies religiosa*



## **Bosque *Quercus-Pinus-Buddleia***

Sitio 2

### **Condiciones del sitio**

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19°16' 06" N, 99° 13' 03" W con una altitud de 2,640 m.s.n.m. La cubierta del suelo presento alta exposición de roca, suelo desnudo. Es un sitio cercano a la carretera.

### **Descripción de los estratos de vegetación**

Bosque con el 30 % de cobertura codominado de pino, *Quercus* y *Buddleia* de 4 m de altura promedio. Para este sitio no se tomó DAP.

El estrato arbustivo presenta una cobertura del 60 % compuesta de *Nolina* de 2 m de altura y Maguey de 1.50 m de altura.

El estrato herbáceo y pasto presentan una cobertura del 60 % compuesta por

*Roldana Burbujohannis*, *Muhlenbergia* y *Festuca* de 1 m de altura promedio.

### **Huellas de incendios y actividades humanas**

Es un sitio perturbado presenta quemas, corta de árboles y presencia de basura.

### **Regeneración post-incendio**

No

**Para este sitio no se realizó el inventario de combustibles muertos.**



Sitio 2. Bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*.

## Bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*

Sitio 3

### Condiciones del suelo

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19°15'48" N, 99° 14' 14" W con una pendiente de 14° y una altitud de 2,750 m.s.n.m., es un sitio con alta exposición de roca.

Es un sitio característico de perturbación, se observó cercas de piedra.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto, presenta una cobertura del 30 % dominado de pinos de 4 m altura y 44 cm de DAP, *Quercus* con 21 cm de DAP, *Buddleia* con 14 cm de DAP y Madroño de 2 m de altura promedio.

El estrato medio arbóreo presento pinos de 1.3 de altura y 10 cm de DAP promedio. El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Baccharis* de 1.5 m y *Senecio* de 1.20 m de altura promedio.

En el estrato pasto y herbáceo presentan una cobertura del 60% compuesto de

*Festuca* de 70 cm *Castilleja* de 1 m y helechos de 20 cm de altura promedio.

### Huellas de incendios y actividades humanas

Se observó quemas de troncos, desmonte y reforestación de pino.

### Inventario de combustibles muertos

Clases diametricas	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	48	56	64
Fino (0.6-2.5 cm)	6	2	3
Medio (2.5-7.6 cm)	4	3	3
Grueso (7.6-30 cm)	2	0	1



Sitio. 3 Bosque de *Quercus-Pinus-Buddleia*.

## Bosque de pinos

Sitio 4.

### Condiciones del sitio

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19° 13' 26.16" N, 99° 16' 14" W y con pendiente de 4° y una altitud de 3, 221 m.s.n.m. La cubierta del suelo es dominado por pasto.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 60 % compuesta por pinos de 21 m de altura promedio y 48 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 60 %, compuesta de brinzales de pino y una cobertura del 30 % de latizales (<1.50 cm y de 5 cm. a 10 cm de DAP) de 4 m de altura promedio de pinos. El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % de *Senecio* de 1 m de altura promedio.

El estrato pasto presenta una cobertura del 100 % compuesta de *Festuca* y *Muhlenbergia*.

**Huellas de incendios y actividades humanas.** Se observó quemados de troncos, actividades como la agricultura y desmonte.

## Regeneración post-incendio

No

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	36	45	35
Fino (0.6-2.5 cm)	9	12	22
Medio (2.5-7.6 cm)	1	3	2
Grueso (7.6-30 cm)	1	0	2



Sitio 4. Bosque de pino

## Bosque de *Abies religiosa*

Sitio 5

### Condiciones del sitio

Ubicado en la base de una cañada de la delegación de Tlalpan, en las coordenadas 19° 13' 22 "N, 99° 14' 42" W, con una pendiente de 6° y una altitud de 3,145 m.s.n.m. La cubierta del suelo presenta muy poca roca, dominado por de herbáceas y hojarasca.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 60 % dominado de *Abies religiosa* de 29 m de altura promedio y 56 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesta de latizales de pino de 2 m de altura promedio.

El estrato arbustivo y herbáceo presenta una cobertura del 60 % dominado de *Senecio* y *Labiatae* de 1 m de altura promedio.

**Huellas de incendio y actividades humanas.** No se observó huellas de incendios

El sitio presenta derribo de árboles tocones y poco desmonte.

### Regeneración post-incendio

No

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	47	46	37
Fino (0.6-2.5 cm)	13	41	26
Medio (2.5-7.6 cm)	38	14	13
Grueso (7.6-30 cm)	1	4	0



Sitio 5. Bosque de *Abies religiosa*

Sitio 6.

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19° 10' 8" N, 99° 13' 33" W, con una pendiente de 45 ° y una altitud de 3,270 m.n.s.n. La cubierta del suelo presenta roca expuesta y dominancia de pasto.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % dominado por *Pinus ayacahuite* de 12 m de altura promedio y 54 cm de DAP. Se observó árboles muertos en pie de 4 m de altura promedio. El estrato medio arbóreo, presenta una cobertura del 30 % de brinzales de pinos de 25 cm de altura.

El estrato pasto presenta una cobertura del 30 % dominado por *Muhlenbergia* de 1.50 cm de altura. La vegetación rasante presenta una cobertura del 30 % compuesta de *Bromelias* y *Roldanas*.

### Huellas de incendios y actividades humanas

Es un sitio con registro de incendio, en el año 2011.

Se observó muerdago, troncos carbonizados y quemas en troncos.

### Regeneración post-incendio

Hay regeneración post-incendio donde se observó una cobertura del 30 % de brinzales de pino de altura promedio 25 cm de altura promedio.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	15	16	20
Fino (0.6-2.5 cm)	13	19	11
Medio (2.5-7.6 cm)	0	0	1
Grueso (7.6-30 cm)	0	0	0



Sitio 6. Bosque de *Pinus ayacahuite*

## Bosque de *Pinus-Alnus*

Sitio 7

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19° 09' 48" N, 99° 13' 15" W. Con una pendiente de 6 ° y una altitud de 3, 361 m.s.n.m. La cubierta del suelo presenta una ligera exposición de roca cubierta con líquenes y un alto porcentaje de hojarasca de acículas.

### Descripción de los estratos de vegetación.

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % codominado de pinos de altura promedio de 15 m y 43 cm de DAP y de *Alnus* de 12 m de altura promedio de y 27 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % de *Alnus* de 5 m de altura promedio.

El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto por *Senecio* y *Baccharis* de 2.10 m de altura promedio. El estrato herbáceo y pasto con una cobertura del 60 % compuesto por *Castilleja* y *Festuca*.

### Huellas de incendios y actividades humanas

Es un sitio con presencia de desmonte y poco tocones.

### Regeneración post-incendio

Se observó el 30% de cobertura de regeneración post-incendio de pino.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	43	0	0
Fino (0.6-2.5 cm)	0	19	26
Medio (2.5-7.6 cm)	6	4	12
Grueso (7.6-30 cm)	0	2	1



Sitio 7. Bosque de *Pinus-Alnus*

## Bosque *Pinus-Alnus*

Sitio 8

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19° 10' 08" N, 99° 13' 39" W, con pendiente de 12° y una altitud de 3,314 m.s.n.m. La cubierta del suelo presenta una cobertura media de roca, suelo desnudo y escasa hojarasca.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % codominado de pinos de 17 m de altura promedio y 37 cm de DAP y de *Alnus* de 9 m de altura promedio y 32 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto de latizales de pinos y *Alnus*. El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio* de 70 cm de altura promedio.

El estrato pasto presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Festuca* de 28 cm de altura.

## Huellas de incendio y actividades humanas

Se observó presencia de tocones, ocoteo, troncos carbonizados y desmonte.

### Regeneración post-incendio

Se observó menos del 30 % de cobertura de regeneración post-incendio de pinos.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	15	16	20
Fino (0.6-2.5 cm)	13	19	11
Medio (2.5-7.6 cm)	0	0	1
Grueso (7.6-30 cm)	0	0	0



Sitio 8. Bosque *Pinus-Alnus*

## Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*

Sitio 9

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Tlalpan en las coordenadas 19° 08' 14" N, 99° 11' 04" W, con una pendiente de 8 ° y una altitud de 3, 043 m.s.n.m. La cubierta del suelo presenta poca exposición de roca y hojarasca de *Alnus*.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % codominado de pinos de 22 m de altura promedio y 58 cm de DAP, de *Alnus* de 6 m de altura promedio y 15 cm de DAP y *Quercus* de 9 m de altura y 17 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto por brinzales de pinos y *Alnus*.

En el estrato arbustivo y pasto presentan una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio*, *Muhlenberia* de 3 m de altura promedio y *Calamagrotis* 1.30 m de altura promedio.

## Huellas de incendios y actividades humanas

Es un sitio muy alterado, se observó derrumbe de árboles, cambio de uso de suelo, quemas, excretas de animales y ocoteo.

### Regeneración post-incendio

Se observó un 30 % de regeneración de pinos.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	41	30	18
Fino (0.6-2.5 cm)	17	24	24
Medio (2.5-7.6 cm)	1	1	4
Grueso (7.6-30 cm)	0	0	0



Sitio 9. Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*



## Bosque *Pinus-Alnus*

Sitio 10

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación Tlalpan con las coordenadas 19° 07' 54" N, 99° 11' 26" W con una pendiente de 8 ° y una altitud de 3,044 m.s.n.m. La cubierta del suelo está dominado por pasto y presenta poco suelo desnudo.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % codominado de pino de 22 m de altura promedio y 63 cm de DAP y *Alnus* de 13 m de altura promedio y un DAP de 40 cm. En el estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto de brinzales y latizales de pinos de 3 m de altura promedio y de *Alnus* de 4 m de altura promedio.

El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % compuesto de *Senecio* y *Baccharis* de 4 m de altura promedio.

El estrato pasto presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Muhlenbergia* y *Calamasgrotis*.

### Huellas de incendio y actividades humanas

Se observó tocones, derribo de árboles, troncos carbonizados, quemas en troncos y saneamiento forestal.

### Regeneración post-incendio

No

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	14	24	22
Fino (0.6-2.5 cm)	4	8	8
Medio (2.5-7.6 cm)	1	5	20
Grueso (7.6-30 cm)	0	4	3



Sitio10. Bosque de *Pinus-Alnus*

## Bosque *Pinus-Alnus-Quercus*

Sitio 11

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Milpa Alta con las coordenadas 19° 08' 08" N, 99° 04' 28" W, con una pendiente de 20° y una altitud de 3,107 m.s.n.m. La cubierta del suelo presentó roca expuesta, herbáceas, poca presencia de pasto y dominancia de hojarasca por *Alnus*.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 60 % compuesto de pinos de 20 m de altura promedio y 52 cm de DAP, de *Alnus* de 7 m de altura promedio y 32 cm de DAP y en menor cobertura compuesto de *Quercus* de 17 m de altura promedio y 58 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presentó una cobertura del 30 % compuesto de pino de 7 m de altura y de *Quercus* de 6 m de altura promedio.

El estrato arbustivo presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Senecio* de 3.5 m de altura. El estrato herbáceo y pasto presenta una cobertura del 30 %

compuesto de *Labiatae*, *Cirsum* y *Festuca* de 1.5 m de altura promedio.

**Huellas de incendios y actividades humanas** Es un sitio con presencia de troncos carbonizados, grandes áreas de quemas, ocoteo y excesivo saneamiento forestal.

**Regeneración post-incendio** se observó regeneración post-incendio de pinos.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	39	37	42
Fino (0.6-2.5 cm)	27	24	31
Medio (2.5-7.6 cm)	34	20	13
Grueso (7.6-30 cm)	1	3	6



Sitio 11. Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*

## Bosque de *Pinus montezumae*

Sitio 12

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Milpa Alta, en las coordenadas 19° 08' 27" N, 99° 04' 51" W, con una pendiente de 12 ° y una altitud de 3,075 m.s.n.m. La cubierta del suelo presentó roca expuesta y suelo desnudo.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % dominado de *Pinus montezumae* de 24 m de altura promedio y 49 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto de brinzales de *Pinus montezumae*. El estrato arbustivo presenta una cobertura del 30 % de *Bachcharis* de 1.60 m de altura.

El estrato pasto y herbáceo presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Gnaphalium*, *Muhlenbergia* y en menor proporción de *Festuca* y en la vegetación rasante de *Arenaria*.

### Huellas de incendio y actividades humanas

Es un sitio que presentó tocones, troncos carbonizados, quemas y saneamiento forestal. El año 2003 se realizó reforestación de la misma especie con una cobertura menor del 30 % con 2 m de altura y un DAP de 7 cm registrado a partir de la fecha de muestreo.

### Regeneración post-incendio

Se observó regeneración post-incendio de pinos.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	19	26	11
Fino (0.6-2.5 cm)	58	2	27
Medio (2.5-7.6 cm)	17	29	26
Grueso (7.6-30 cm)	3	4	5



Sitio 12. Bosque de *Pinus montezumae*

## Boque de *Pinus montezumae*

Sitio 13

### Condiciones del sitio

Ubicado en la delegación de Milpa Alta en las coordenadas 19° 05' 45" N, 99° 64' 03" W, con una pendiente de 8 ° y una altitud de 3, 108 m.s.n.m. La cubierta del suelo presentó poca roca expuesta y hojarasca de acículas.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % dominado de *Pinus montezumae* de altura promedio de 22 m y un DAP de 60 cm. El estrato medio arbóreo con una cobertura del 30 % de brinzales y en mayor proporción latizales de 5 m de altura promedio y 5 cm de DAP.

El estrato pasto presenta una cobertura del 60 % compuesto de *Muhlenbergia* de 3 m y *Calasmasgrotis* de 1.4 de altura promedio.

### Huellas de incendios y actividades humanas

Se observó troncos carbonizados y quemas en troncos. De acuerdo con el

personal que nos acompañó sabemos que es un sitio que es afectado por muerdago y ácaros.

### Regeneración post-incendio

Hay regeneración natural post-incendio.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	17	15	15
Fino (0.6-2.5 cm)	69	72	17
Medio (2.5-7.6 cm)	7	14	16
Grueso (7.6-30 cm)	4	10	9



Sitio 13. Bosque de *Pinus montezumae*

## Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*

Sitio 14

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Milpa Alta con las coordenadas 19° 08' 27'' N, 99 04' 16'' W, con una pendiente de 5 ° y una altitud de 3, 131 m.s.n.m. La cubierta del suelo presentó poco suelo desnudo, herbáceas, hojarasca y dominancia de pasto.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % compuesto de pinos de 21 m de altura promedio y 68 cm de DAP, de *Alnus* de 16 m de altura promedio y 46 cm de DAP, en menor proporción de *Quercus* de 8 m de altura promedio y 40 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 30 % compuesto de pinos de 6 m de altura promedio y 18 cm de DAP, asociado con *Quercus* de altura promedio de 8 m y DAP de 18 cm.

El estrato arbustivo y pasto con una cobertura del 60 % compuesto de *Senecio* y *Festuca* de 1.5 m de altura.

**Huellas de incendio y actividades humanas.** Es un sitio con troncos carbonizados y quemas.

### Regeneración post-incendio

Se observó una cobertura del 30 % de pinos.

### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	30	27	29
Fino (0.6-2.5 cm)	73	10	38
Medio (2.5-7.6 cm)	2	0	31
Grueso (7.6-30 cm)	0	1	3



Sitio 14. Bosque de *Pinus-Alnus-Quercus*

## Bosque de Pinos

Sitio 15

### Condición del sitio

Ubicado en la delegación de Milpa Alta en las coordenadas 19° 08' 16" N, 99° 04' 20" W, con una pendiente de 5° y una altitud de 3, 131 m.s.n.m. La cubierta del suelo con poca exposición de suelo desnudo, presencia de herbáceas y en mayor proporción de hojarasca.

### Descripción de los estratos de vegetación

El estrato arbóreo adulto presenta una cobertura del 30 % dominado por pino de 25 m de altura promedio y 35 cm de DAP. El estrato medio arbóreo presenta una cobertura del 60 % de brinzales y latizales de pinos de 3 m de altura y 7.5 cm de DAP promedio.

El estrato pasto y herbáceo está dominado en un 100 % de *Festuca* de pequeña altura de 0.70 cm y en menor cobertura de *Gnaphalium*.

## Huellas de incendios y actividades humanas

Es un sitio con registro de incendio, tocones y se observó quemadas en troncos.

**Regeneración post-incendio.** Se observó brinzales y latizales de pino.

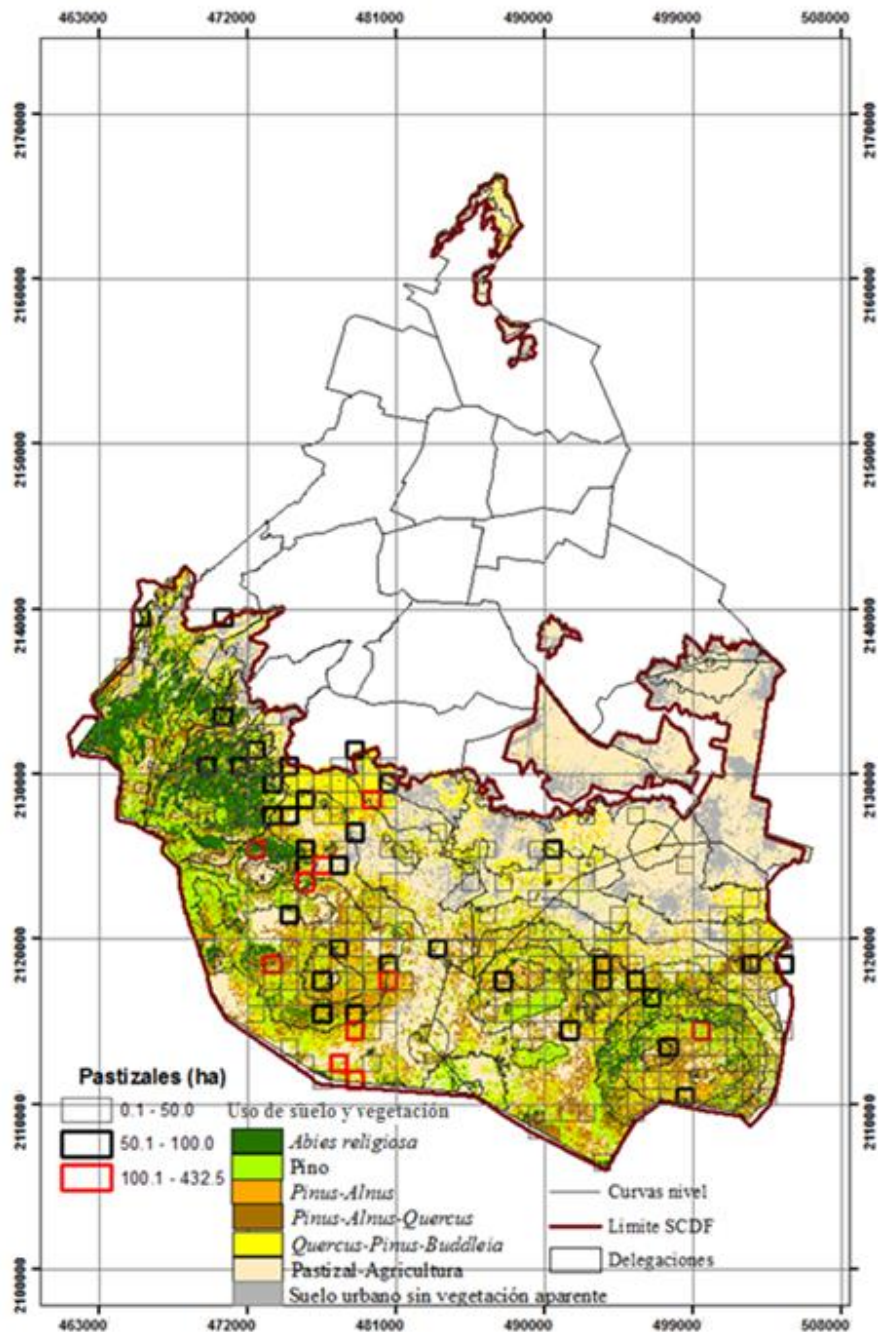
### Inventario de combustibles muertos

Clase diamétrica	N (0°)	120 °	240°
Muy fino ( 0.6 cm)	14	14	18
Fino (0.6-2.5 cm)	6	9	6
Medio (2.5-7.6 cm)	10	5	37
Grueso (7.6-30 cm)	3	3	1

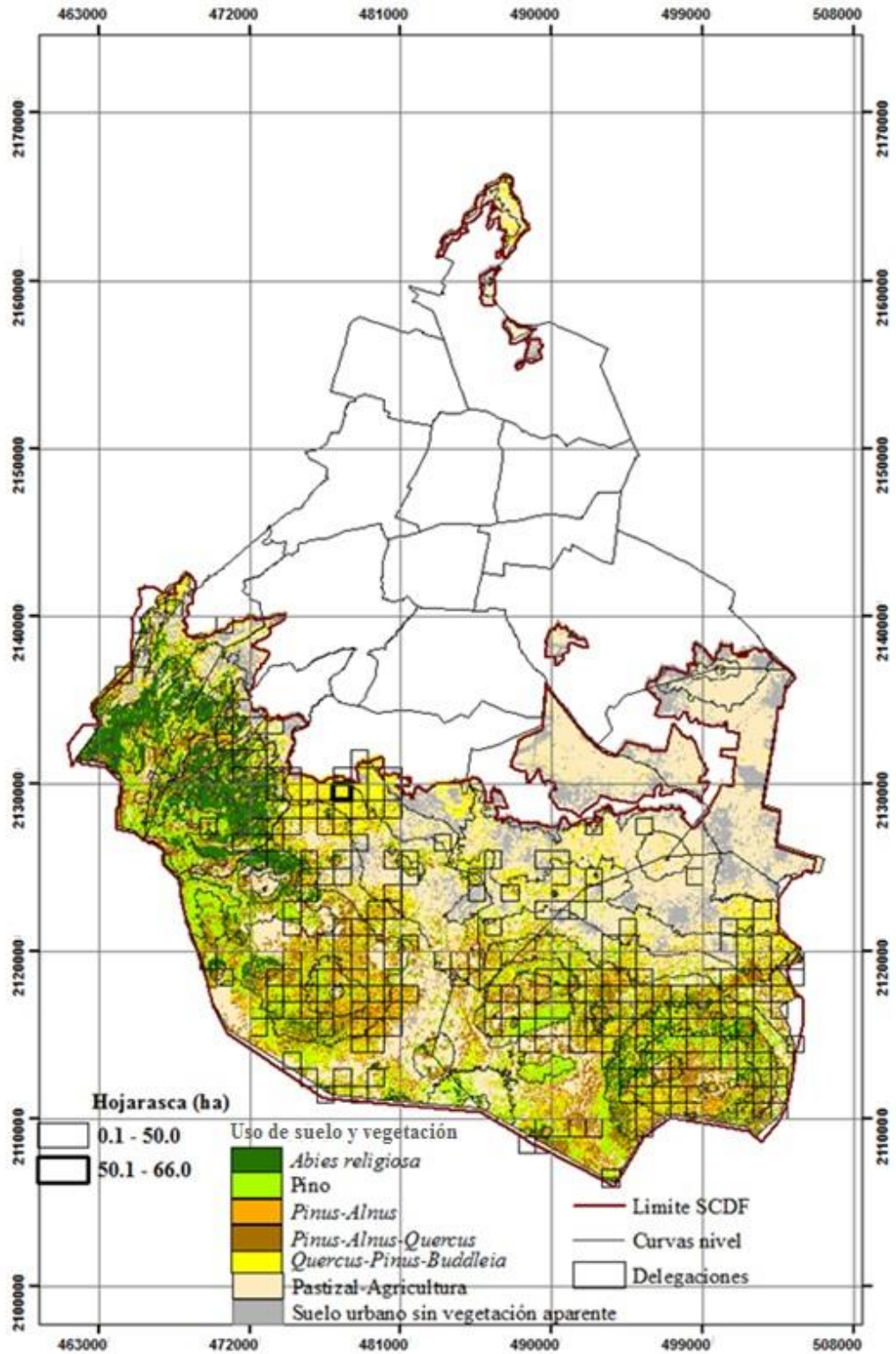


Sitio 15. Bosque de pinos

A 5. Vegetación afectada a partir de las coberturas reportadas por CONAFOR, durante 2005-2013

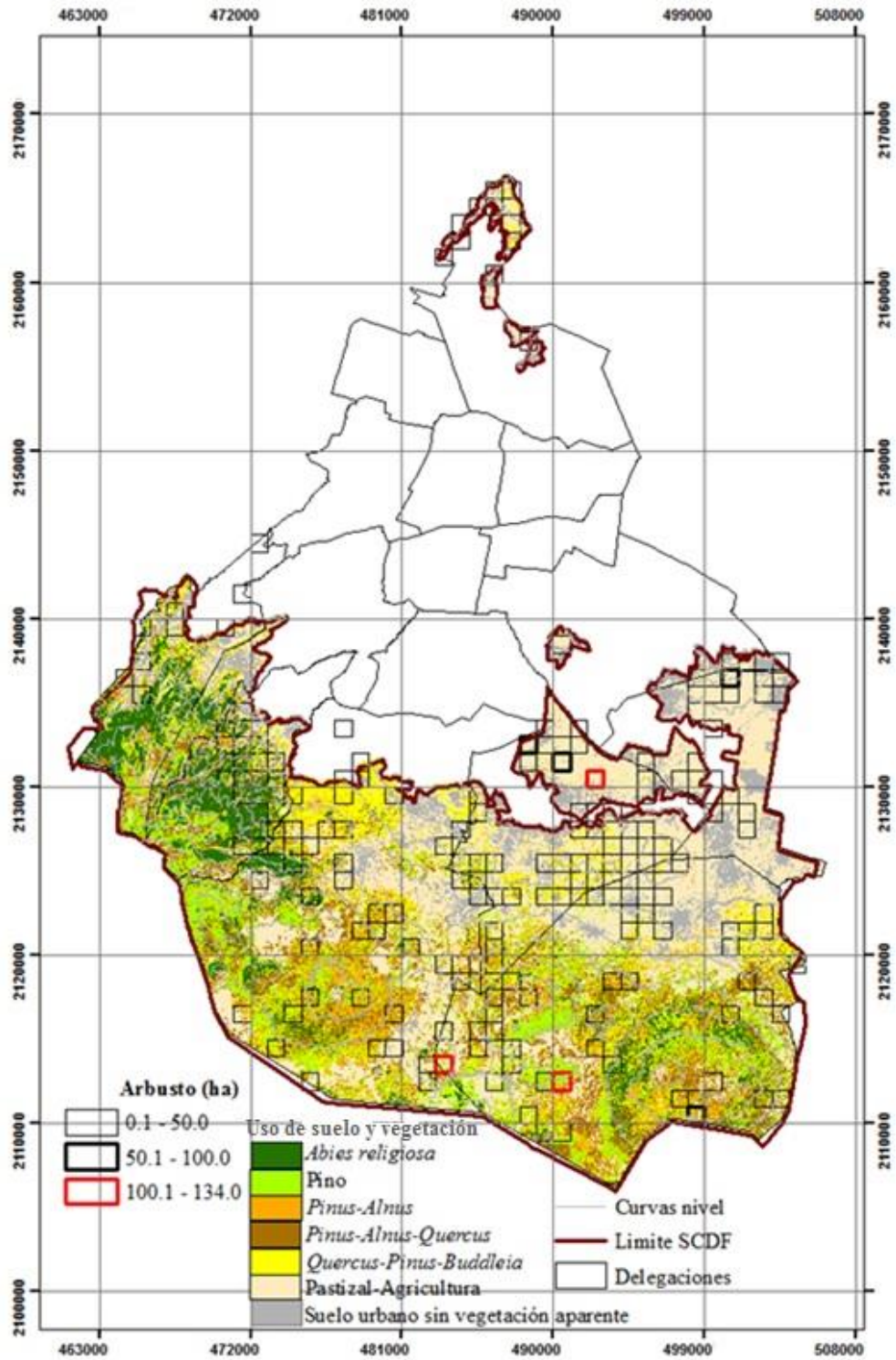


Mapa de la superficie de pastizales afectada durante 2005-2013

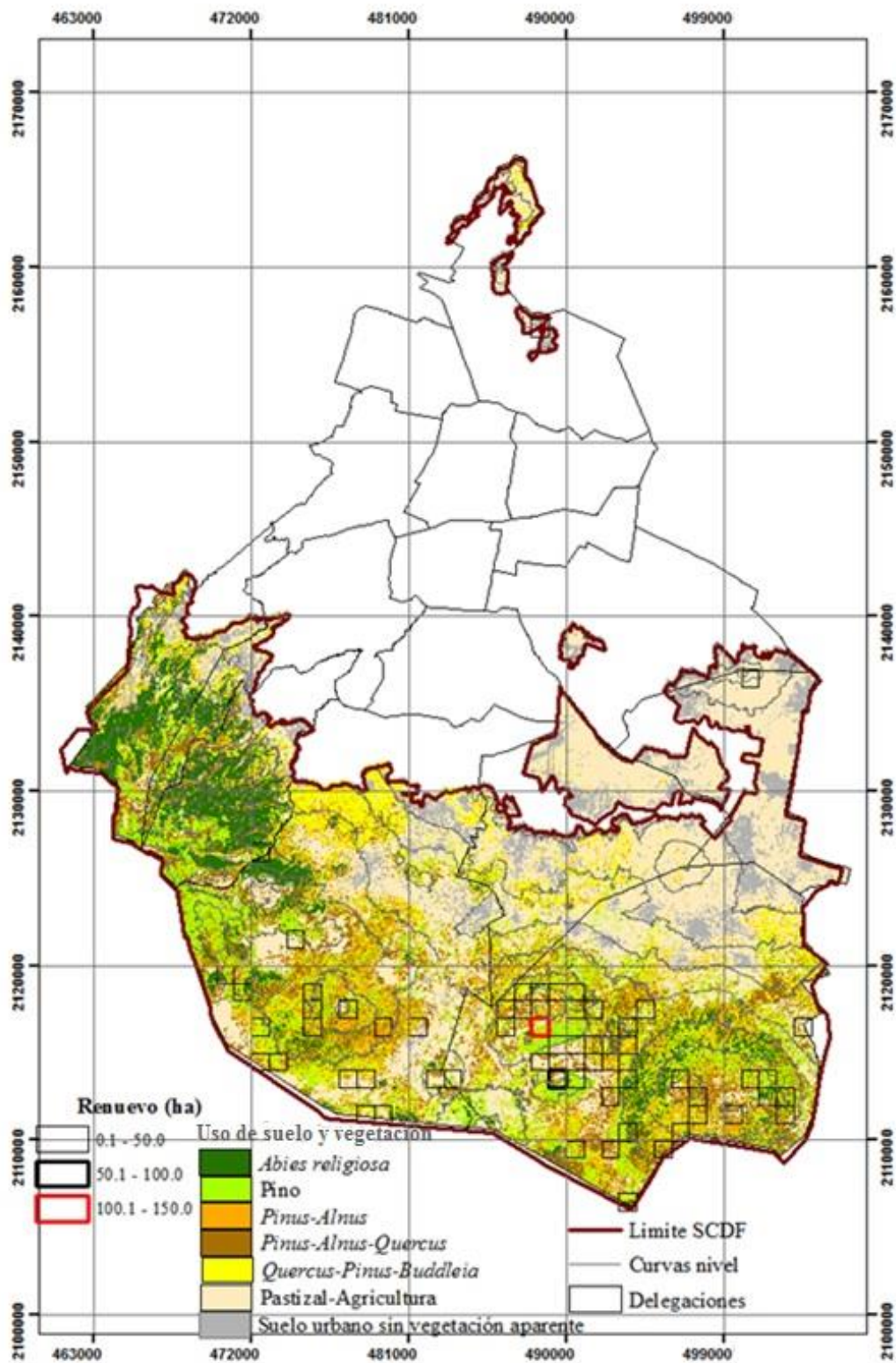


Mapa de la superficie de hojarasca afectada durante 2005-2013

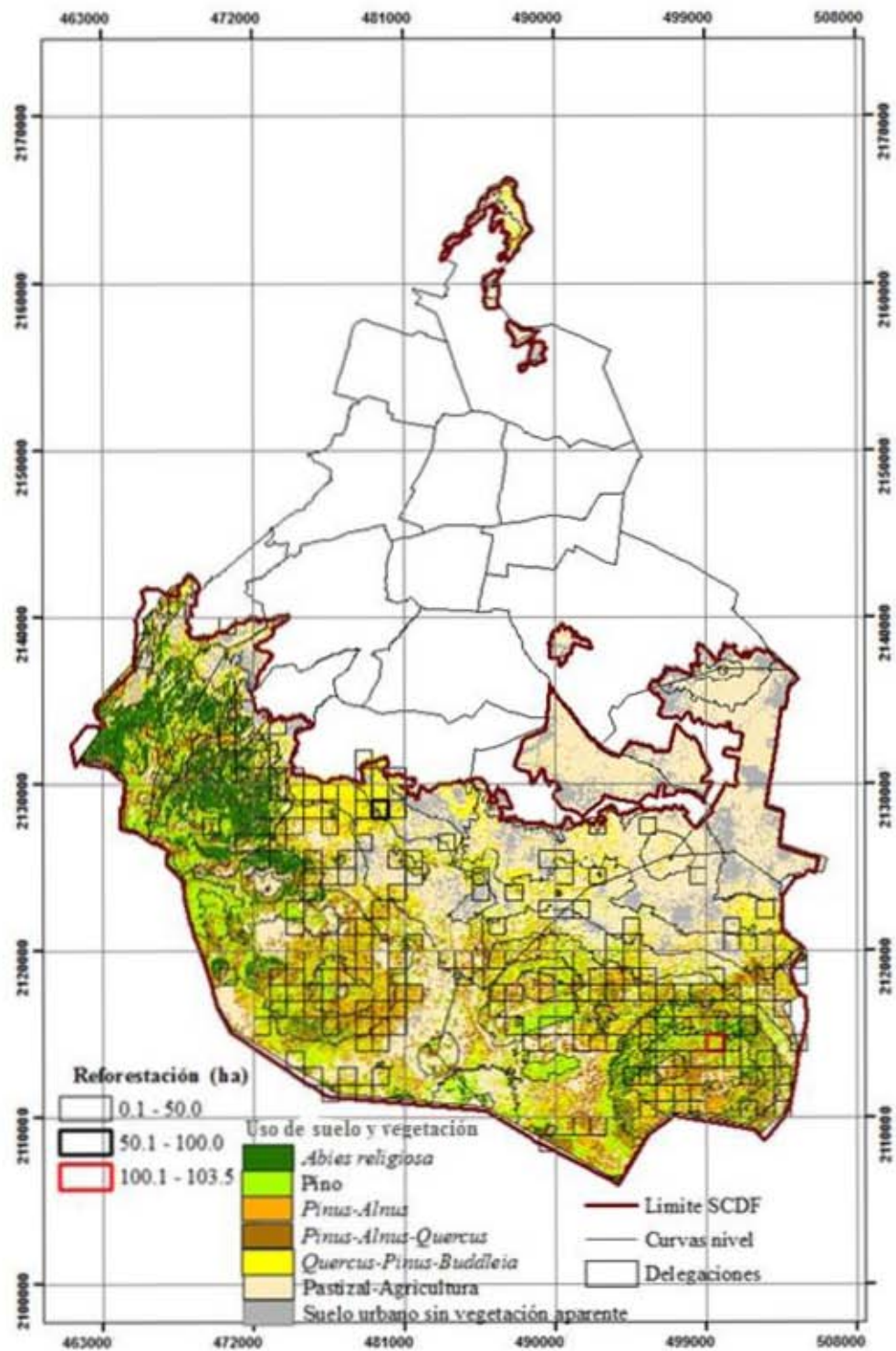




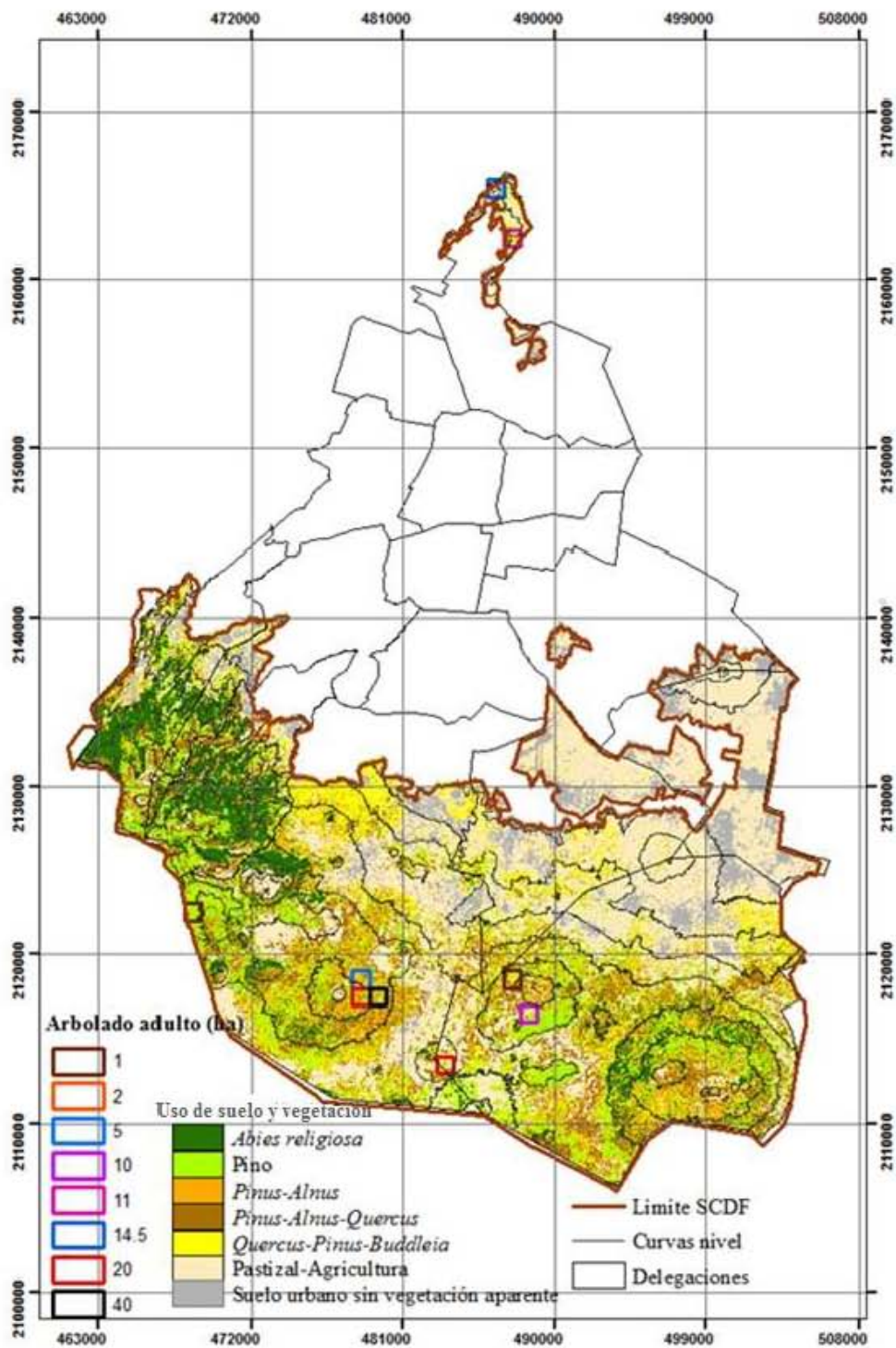
Mapa de la superficie de arbusto durante 2005-2013



Mapa de la superficie de renuevo afectada durante 2005-2013



Mapa de la superficie de reforestación afectada durante 2005-2013



Mapa de la superficie de arbolado adulto afectada durante el 2005-2013