



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE INFESTACIÓN DE MUÉRDAGO ENANO EN
EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO EL CONTADERO, ZINACANTEPEC**

TESIS

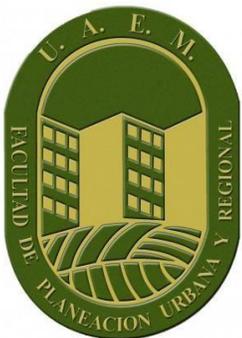
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LIC. EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

MIRIAM ALEJANDRA ROSAS SÁNCHEZ

DIRIGIDA POR:

DRA. JULIETA GERTRUDIS ESTRADA FLORES
DR. ANGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT



TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

OCTUBRE, 2021

Resumen

Se realizó un análisis del incremento en los niveles de infestación de muérdago enano en el bosque de pino del ejido El Contadero perteneciente a los 54 núcleos agrarios dentro del APFF Nevado de Toluca.

Dicho análisis consideró principalmente el trabajo de campo, donde se colectó información de individuos fustales para determinar el nivel de infestación en 2020 y así poder hacer una comparación con los datos obtenidos en 2016, elaborando a su vez una base de datos y mapas cartográficos para su representación.

Los resultados evidencian que los niveles de infestación tuvieron un cambio evidente aumentando su extensión en niveles sano, bajo y alto en 2020, predominando el nivel bajo, sin embargo, se registró un cambio en los niveles de aproximadamente 15% por intervención de podas y manejo, con mayor presencia de muérdago amarillo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN	12
CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DEL EJIDO EL CONTADERO, ZINACANTEPEC	13
1.1. Núcleo agrario	13
1.2. Ubicación geográfica del ejido El Contadero	14
1.3. Edafología y geología	16
1.4. Hidrología	19
1.5. Uso de suelo y vegetación	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Plagas forestales	26
2.2. Plantas parásitas	26
2.3. Muérdagos	27
2.3.1. Muérdago enano (<i>Arceuthobium globosum</i> , <i>A. vaginatum</i>).....	28
2.3.2. Los muérdagos en el APFF Nevado de Toluca	32
ANTECEDENTES	33
HIPÓTESIS	35
OBJETIVOS	36
a. General	36
b. Particulares	36
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	37
1. Distribución de los niveles de infestación de muérdago enano en el ejido El Contadero.....	39
1.1. Identificación de los sitios de muestreo 2016 en el bosque de pino	39
1.2. Identificación de los niveles de infestación en el Ejido	41
2. Identificación en el cambio de los niveles de infestación durante el periodo 2016-2020	44
2.1. Determinación del método de muestreo	44
2.2. Adaptación del método de muestro BOLFOR	44
2.3. Muestreo	46

2.3.1.	Establecimiento de variables y/o formatos de campo para el levantamiento de la información	46
2.3.2.	Establecimiento de sitios de muestreo	49
2.3.3.	Asignación del nivel de infestación de muérdago mediante trabajo de campo 50	
2.3.4.	Periodo de muestreo	51
2.4.	Elaboración de base de datos a partir del trabajo de campo.....	52
2.5.	Determinación de niveles de infestación	52
2.6.	Elaboración de la cartografía, a través de mapas temáticos por medio de la interpolación de vecinos naturales.....	53
2.7. .	Elaboración de análisis comparativo de datos obtenido en 2016 y 2020.	55
3.	Evaluación de características físico-geográficas asociadas.....	55
3.1.	Selección de variables físico-geográficas con mayor peso	55
3.2.	Análisis de las variables sobre los niveles de infestación de muérdago	56
4.	Propuesta de parcelas permanentes de muestreo (PPM).....	56
4.1.	Establecer parcelas permanentes de muestreo.....	56
4.2.	Establecer variables y formularios para evaluar las características por individuo.....	57
4.3.	Periodo de muestreo	57
	CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1.	Presencia de muérdago	60
4.2.	Superficies infestadas	60
4.2.	Estructura horizontal del bosque de pino.....	72
4.3.	Análisis de variables con relación al muérdago	79
4.3.1.	Altura de individuos.....	79
4.3.2.	Pendiente	80
4.3.3.	Densidad arbórea.....	81
5.	Análisis estadístico en incrementos de los niveles de infestación	82
6.	Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo.....	83
	CONCLUSIONES.....	86
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	88

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación geográfica del ejido El Contadero. Elaboración propia	15
Mapa 2. Geología del ejido El Contadero. Elaboración propia.....	18
Mapa 3. Hidrología del ejido El Contadero. Elaboración propia	20
Mapa 4. Uso de suelo y vegetación del ejido El Contadero. Elaboración propia ..	22
Mapa 5. Sitios temporales de muestreo en el ejido El Contadero. (Adaptado de Cedillo, 2016)	40
Mapa 6. Ubicación de los niveles de infestación de muérdago enano por sitio de muestro. Elaboración propia.....	43
Mapa 7. Sitios de muestreo 2020 en bosque de pino. Elaboración propia.	59
Mapa 8. Densidad del bosque de pino, 2016. Elaboración propia	63
Mapa 9. Densidad del bosque de pino, 2020. Elaboración propia	64
Mapa 10. Tipo de muérdago 2016. Elaboración propia.....	66
Mapa 11. Tipo de muérdago 2020. Elaboración propia.....	67
Mapa 12. Niveles de infestación 2016. Elaboración propia.	69
Mapa 13. Niveles de infestación 2020. Elaboración propia.	70
Mapa 14. Niveles de infestación 2020 y manejo. Elaboración propia.	71
Mapa 15. Sitios destinados a parcelas permanentes. Elaboración propia.....	84
Mapa 16. Sitios propuestos a parcelas permanentes. Elaboración propia.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida del muérdago (Agrios,2005)	29
Figura 2. Método sistemático (BOLFOR, 2000)	44
Figura 3. Adaptación del método sistemático en bosque de pino. Elaboración propia	45
Figura 4. Diseño de la instalación de sitios de muestreo. Elaboración propia	50
Figura 5. División y clasificación del árbol en tercios a través del método Hawksworth (1977). Elaboración propia.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características geológicas dominantes en el ejido El Contadero.....	16
Cuadro 2. Uso de suelo y vegetación	21
Cuadro 3. Tipo de vegetación y superficie.....	23
Cuadro 4. Especies arbóreas	24
Cuadro 5. Especies arbustivas.....	24
Cuadro 6. Estrato herbáceo	25
Cuadro 7. Metodología para la evaluación de niveles de infestación en el ejido El Contadero.....	37
Cuadro 8. Afectaciones de muérdago en el ejido El Contadero (2016).....	41
Cuadro 9. Formato por sitio	46
Cuadro 10. Formato por individuo	46
Cuadro 11. Variables de sitio	47
Cuadro 12. Variables de individuos	48
Cuadro 13. Valores para la evaluación por tercios según las características	51
Cuadro 14. Clasificación según nivel de infestación	53
Cuadro 15. Intervalos de confianza para creación de polígonos de nivel de infestación 2016-2020	55
Cuadro 16. Densidad del bosque de pino, 2016	61
Cuadro 17. Densidad del bosque de pino, 2020	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Total de sitios con presencias, ausencias y tipo de muérdago. Elaboración propia.....	60
Gráfico 2. Estructura horizontal del bosque de pino del ejido El Contadero 2016-2020. Elaboración propia.....	73
Gráfico 3. Estructura horizontal del bosque en 2016 con sitios sanos y enfermos. Elaboración propia.....	74

Gráfico 4. Estructura horizontal del bosque en 2020 con sitios sanos y enfermos. Elaboración propia.....74

Gráfico 5. Estructura horizontal del bosque en 2016 con tipos de muérdago. Elaboración propia.....75

Gráfico 6. Estructura horizontal del bosque en 2020 con tipos de muérdago. Elaboración propia.....75

Gráfico 7. Estructura horizontal y niveles de infestación de muérdago 2016. Elaboración propia.....77

Gráfico 8. Estructura horizontal y niveles de infestación de muérdago 2020. Elaboración propia.....77

Gráfico 9. Alturas mayormente infestadas por muérdago. Elaboración propia 79

Gráfico 10. Pendientes mayormente afectadas por muérdago. Elaboración propia. 80

Gráfico 11. Tipo de densidad y afectaciones por muérdago. Elaboración propia. 81

Gráfico 12. Medias y medianas en incremento por niveles de infestación de muérdago 2016-2020. 82

INTRODUCCIÓN

Una planta parásita es aquella que necesita para su desarrollo a otra planta (la hospedera), para obtener algunas o todas las sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo (Press y Phoenix, 2005). Obtienen de su hospedero, soporte y nutrientes, provocando la reducción de crecimiento, debilitamiento, infestaciones severas y en ocasiones, la muerte de los árboles que hospedan (CONAFOR, 2018).

Constituyen un grupo muy diverso y extenso. El panorama de la distribución mundial considera: nueve órdenes, 18 familias, 270 géneros y 4 500 especies (APG, 2003; Der y Nickrent, 2008).

En México las especies que se encuentran son de la familia *Loranthaceae* y *Santalaceae* y se presentan en casi todos los ecosistemas naturales (CONAFOR, 2007); dentro de la primera, la que predomina es el género *Arceuthobium* siendo una de las más abundantes con aproximadamente 18 especies. Rodríguez (1983) y Rzedowski et al., (2005) menciona que son plantas parásitas de gimnospermas (*Pinus L.* y *Abies Mill.*), erguidos, amarillentos, rojizos o negruzcos, de 8 a 50 cm de alto, que se encuentran desde Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Jalisco, Estado de México, Puebla, Tlaxcala y Veracruz y tienen una distribución altitudinal de 1 475 a 3 990 msnmm.

Los muérdagos se consideran plantas hemiparásitas ya que realizan su propia función clorofílica, pero obtienen gran parte de nutrientes, carbono y agua de la planta parasitada, provocando estrés a la planta huésped (Hawksworth y Wiends 1996, Zuber 2004). Los muérdagos enanos (*Arceuthobium spp.*, *Santalales: Viscaceae*) son plantas hemiparásitas, que desarrollan una estructura especializada llamada haustorio, por medio de la cual obtienen sus nutrientes, agua y parte de sus fotosintatos (>70%) a partir del sistema vascular de sus hospederos (Press y Phoenix, 2005), también se

caracteriza por tener una dispersión de tipo explosiva, en la cual las semillas son disparadas a gran velocidad por el efecto de una presión hidrostática dentro del fruto (Hawksworth y Wiends, 1996).

La propagación de la infestación del muérdago enano necesita que haya hospederos adecuados, así como cercanos al árbol fuente y que éstos posean una copa amplia capaz de interceptar las semillas, (Shaw et al., 2005), debido a que la distancia de dispersión no supera los 14 m a 15 m (Robinson y Geils, 2006).

El muérdago enano (*Arceuthobium globosum*, *A. vaginatum*) afecta numerosas especies de coníferas en todo el mundo (Hawksworth y Wiends, 1996; Kolb, 2002). En México, los muérdagos enanos atacan los bosques de alta montaña, que se establecen por encima de los 3500 msnmm y están dominados por poblaciones de *Pinus hartwegii* (Endara et al., 2010).

Dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), se encuentran diversas plagas y plantas hemiparásitas que afectan a sus ecosistemas, como el muérdago enano negro (*Arceuthobium vaginatum vaginatum*) y el muérdago enano amarillo (*Arceuthobium globosum grandicaule*). La infestación de éstos se acentúa en las laderas norte, noroeste y este del Área Natural Protegida; en dichas zonas se recibe luz solar por lo que, a menor densidad arbórea, mayor posibilidad de plantas parásitas (Cedillo, 2012).

El bosque de pino se encuentra directamente amenazado ante la presencia del muérdago, por ello, este estudio tiene por objetivo determinar el estado fitosanitario del bosque en el ejido el contadero dentro del APFF Nevado de Toluca y así determinar el cambio en los niveles de infestación en un periodo de 4 años, y conocer las variables físico-geográficas que dan paso a esta infestación a fin de posteriormente establecer parcelas permanentes de muestreo y poder determinar alternativas de sanidad forestal.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca presenta un deterioro gradual de sus recursos naturales, en especial del forestal, con una tasa de deforestación cercana a las 156 ha/año (Franco et al., 2006), lo que lleva a la fragmentación dentro de los núcleos agrarios, siendo el ejido el Contadero parte de ello.

Franco et al., (2010), mencionan que la presencia de muérdago en el APFF Nevado de Toluca es de poco más de 11,000 ha en el bosque de pino, lo que corresponde a más del 65%, en donde se presentan zonas con hasta el 100% del arbolado infestado en todas sus edades y tamaños.

La presencia de plagas, enfermedades y plantas parásitas contribuyen en gran medida a los procesos de extracción selectiva de madera, haciendo del bosque un sistema residual frágil, por lo que los bosques de pino son altamente susceptibles al ataque de diferentes patógenos, principalmente descortezadores (*dendroctonus adjunctus*) y muérdagos enanos (*Arceuthobium globosum* y *A. vaginatum*), de los cuales se ha demostrado, el incremento del ataque sobre dichas poblaciones (Cedillo, 2017).

Frente a la problemática de infestación en el bosque de pino, es importante analizar y cuantificar ¿cuál es la abundancia de muérdago en los hospederos en los años 2016 y 2020?, ¿cuál es el cambio en los niveles de infestación?, y ¿cuáles son las características físico-geográficas de los sitios donde el nivel de infestación cambia?; Para poder contestar estas interrogantes es necesario dar respuesta con un análisis comparativo a través del muestreo en campo.

JUSTIFICACIÓN

El combate o mitigación de las plagas forestales se ha convertido en un factor importante para mantener un bosque sano, por esta razón las dependencias de gobierno como Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), La Protectora de Bosques (PROBOSQUE), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), entre otras, han desarrollado programas de sanidad forestal buscando el control y/o mitigación de la propagación de plagas; acciones incluidas en el área que comprende el ejido El Contadero.

Los programas de sanidad forestal se enfocan en combatir las plagas, algunos de estos programas están dirigidos a los bosques de este ejido. Por ello se encontró la importancia de realizar un análisis comparativo sobre los niveles de infestación de muérdago enano, mediante una evaluación de los niveles de infestación ya establecidos por Cedillo (2017); y los muestreados en esta investigación, para determinar cómo es la dinámica de muérdagos en un periodo de 4 años.

En dicho estudio se establecen los niveles de infestación y los tipos de muérdago presentes en el APFF Nevado de Toluca, sin embargo, el trabajo de campo, en conjunto con los ejidatarios correspondientes permite una participación directa en el control de plagas del bosque.

Posteriormente, es viable implementar acciones de prevención y mitigación con el objetivo de impulsar un bosque sano, donde se tenga mejor productividad forestal, conservación de biodiversidad, servicios ambientales, entre otras.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN DEL EJIDO EL CONTADERO, ZINACANTEPEC

1.1. Núcleo agrario

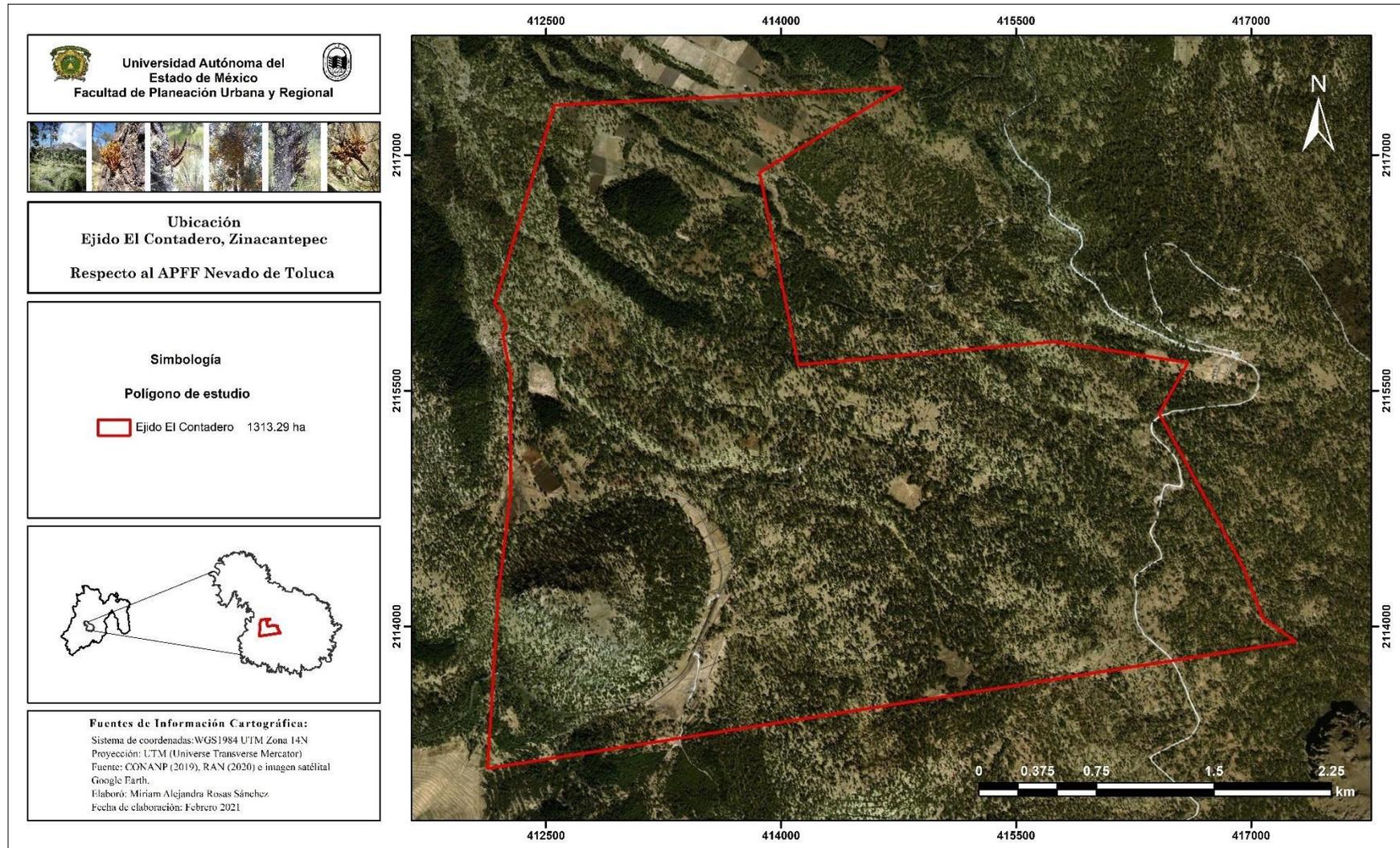
En un núcleo agrario se identifica a los núcleos ejidales o comunales, que han sido beneficiados por una resolución presidencial dotatoria o sentencia de los Tribunales Agrarios, a través de la cual les fueron concedidas tierras, bosques y aguas. El ejido o comunidad se constituye legalmente por una resolución agraria administrativa, resolución jurisdiccional, o un acuerdo de voluntades y de conformidad (Ley Agraria, 2018. Artículo 49).

El artículo 27 constitucional de orden público y de observancia general en todo el territorio nacional, menciona que se debe regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal. Dicho ordenamiento tiene como finalidad propiciar el desarrollo forestal sustentable; cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observará lo dispuesto por la Constitución en cuanto a los derechos que establece. Esta ley debe ser observada por los núcleos ejidales y comunales que tengan como patrimonio bosques y recursos forestales (Ley agraria, 2018 y Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, 1917).

1.2. Ubicación geográfica del ejido El Contadero

El APFFN Nevado de Toluca, se localiza en el Estado de México, y comprende el volcán denominado Xinantecátl o Nevado de Toluca, el cual ocupa el cuarto lugar entre las cumbres más altas del país con una elevación de 4,680 msnmm. Establecido mediante Decreto Presidencial en 1936 como Parque Nacional con el objetivo fundamental de destinarla a la conservación perenne de la flora y fauna comarcanas, posteriormente en 2013 se le dio la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna (CONANP, 2016).

El ejido El Contadero se compone de dos polígonos que tienen en conjunto un área de 1334.689 hectáreas de las cuales 1313.2994 hectáreas pertenecen a la zona de estudio (mapa 1). Se localiza en las coordenadas geográficas 19° 7' 30.90" de latitud Norte y 98° 48' 49.23" de longitud Oeste, con aproximadamente de 3,514 msnmm y esta al sur del municipio de Zinacantepec, estado de México, está dentro del APFF Nevado de Toluca, cuya zonificación es la zona de amortiguamiento donde es posibles realizar el aprovechamiento de los recursos naturales en áreas forestales. Se ubica a media hora de la ciudad de Toluca de Lerdo y para llegar a la propiedad se debe tomar la carretera Toluca – Cd Altamirano, se encuentra a la altura del poblado San Juan de las Huertas en el Km 134 (Osorio, 2016).



Mapa 1. Ubicación geográfica del ejido El Contadero. Elaboración propia.

1.3. Edafología y geología

De acuerdo con la constitución de suelos basada en la información geográfica del estado de México y la carta edafológica 1: 50,000 del INEGI (1976), el tipo de suelo que predomina en todo el ejido es Andosol con una extensión de 1313.29 hectáreas.

El andosol es un tipo de suelo que se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima (excepto bajo condiciones climáticas hiperáridas). Son suelos típicamente oscuros de paisajes volcánicos, porosos, ligeros y permeables, aptos para la agricultura FAO (2015).

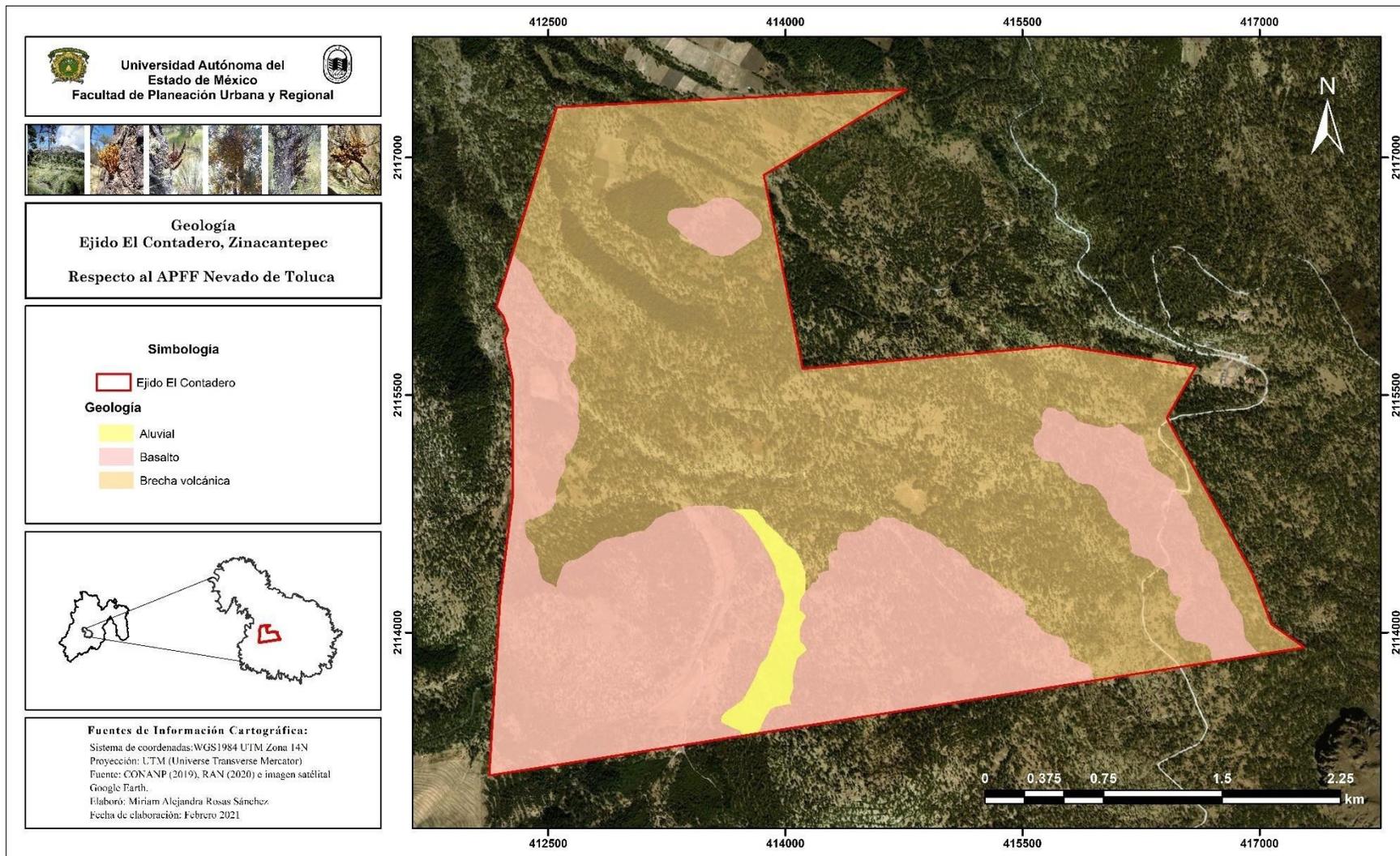
La geología del ejido se caracteriza por una enorme masa de rocas volcánicas, debido a la acumulación en innumerables y sucesivos episodios volcánicos. Con base en la información geográfica del estado de México, y la carta geológica 1:50,000 del INEGI (1975), se determinaron los tipos de roca presentados en el cuadro 1 y representados en el mapa 2.

Cuadro 1. Características geológicas dominantes en el ejido El Contadero.

Roca	Localización y superficie
Aluvial	Material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua, se encuentra en las zonas denominadas llanuras de sedimentación, donde la topografía es, por lo regular, ligeramente ondulada o casi llana. La composición de estos suelos contiene arcilla para la retención del agua y la construcción de diques (FAO, 2007).

<p>Basalto</p>	<p>Roca ígnea extrusiva, sólida y negra. Es el tipo de roca más común en la corteza terrestre, y cubre la mayoría del fondo oceánico. Está formado por abundantes minerales oscuros como el piroxeno y el olivino, que le dan un color gris o negro obscuro, tiene cantidades de minerales de color claro como el feldespatos y el cuarzo (FAO, 2007).</p>
<p>Brecha volcánica</p>	<p>Depósito de material volcánico constituido por clastos angulosos. También llamadas rocas piroclásticas formadas por procesos de compactación o cementación de fragmentos. Constituidas principalmente por bloques (SGM, 2017).</p>

Fuente. Elaboración propia.

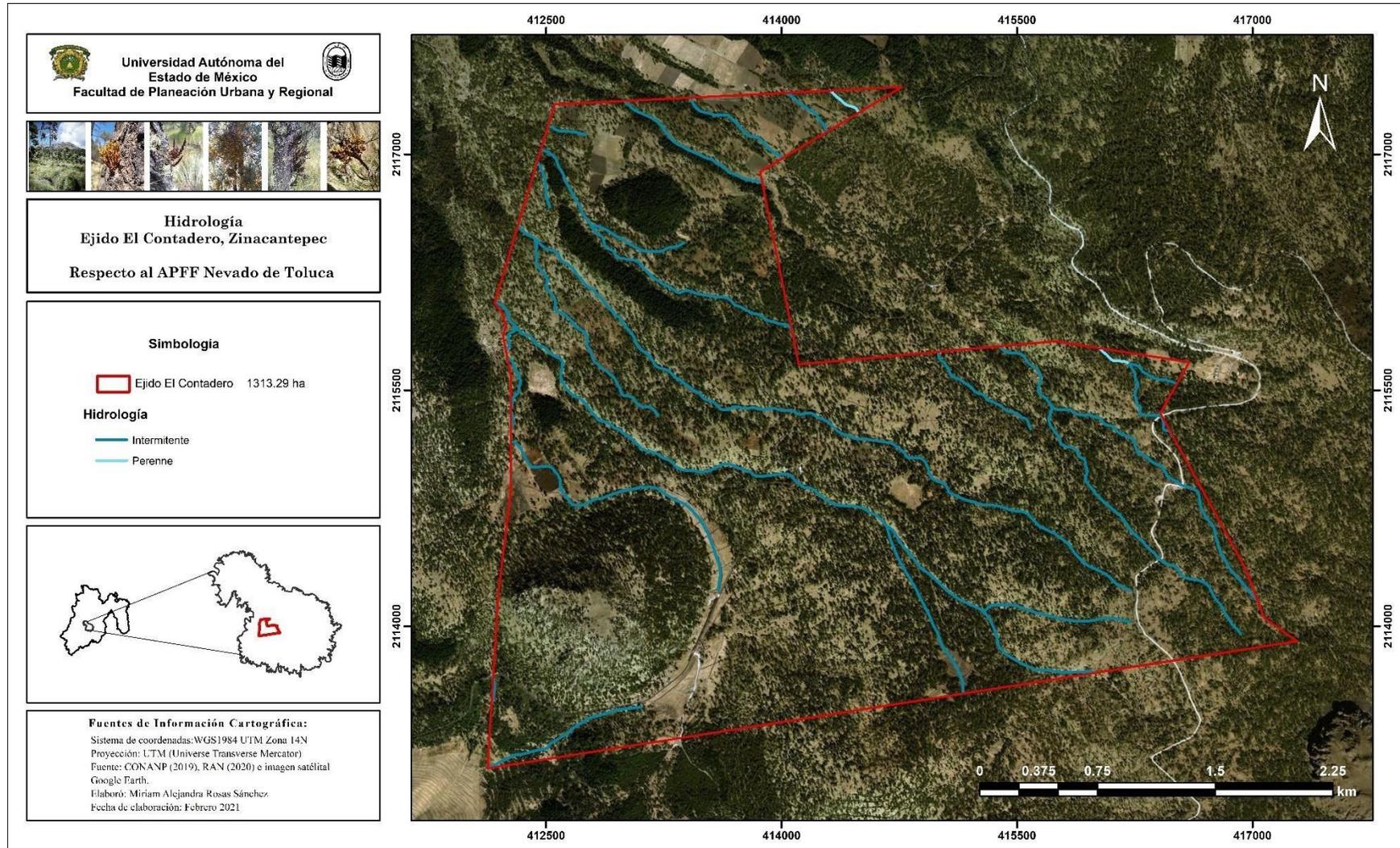


Mapa 2. Geología del ejido El Contadero. Elaboración propia.

1.4. Hidrología

De acuerdo con el INEGI (SIATL, 2020); el área en la que se encuentra ubicado el ejido es en la región hidrológica RH18 Balsas que abarca las cuencas del río Grande Amacuzac y río Cutzamala.

Dentro del sistema hidrológico en el ejido se presentan corrientes intermitentes con una longitud de 0.4624 km y corrientes perennes con una longitud de 29.6428 km (mapa 3).



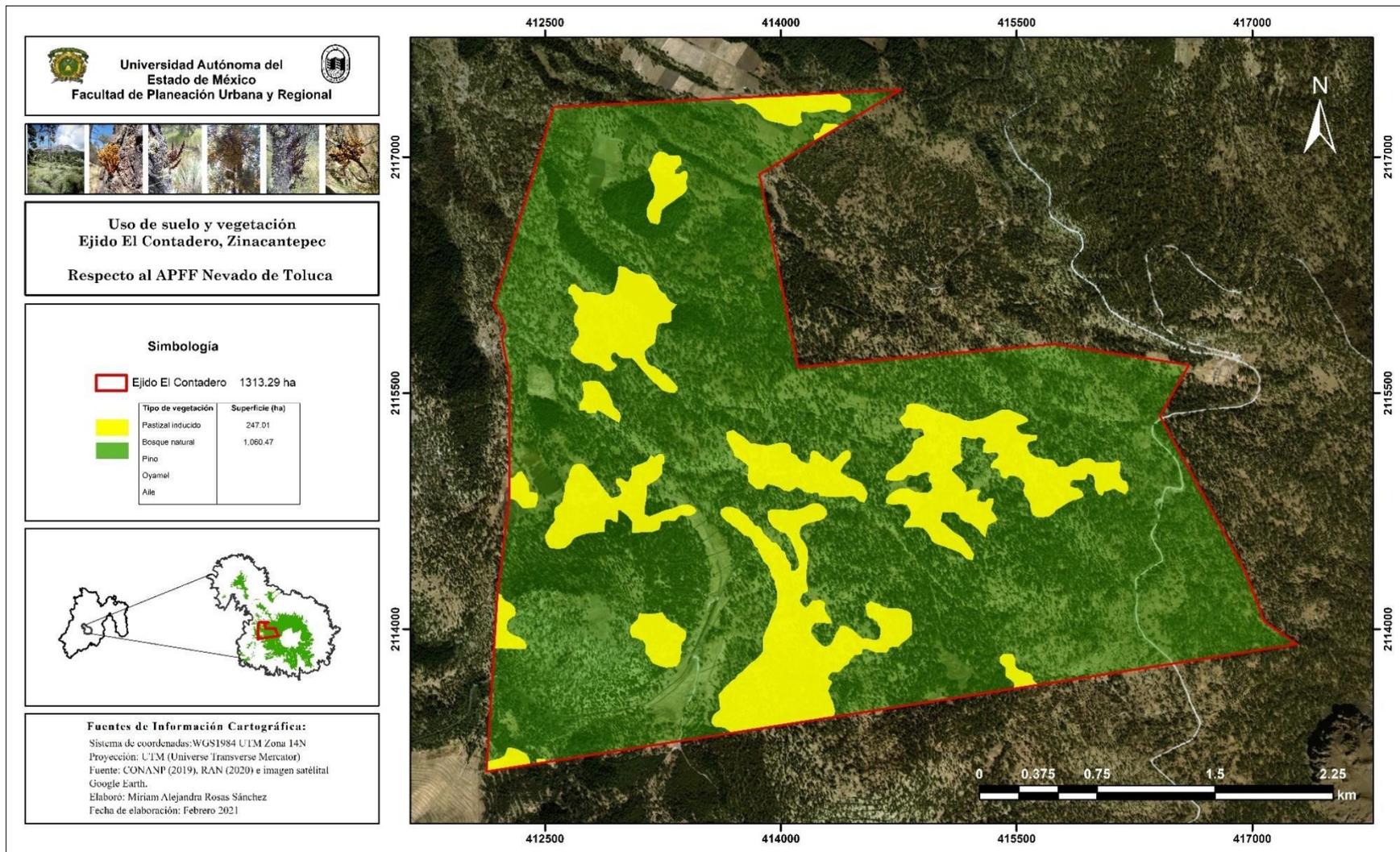
1.5. Uso de suelo y vegetación

De acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI (1976) a escala 1:50,000 la vegetación presente dentro del ejido El Contadero se muestra en el cuadro 2 y representada en el mapa 4.

Cuadro 2. Uso de suelo y vegetación.

Tipo de vegetación	Superficie (ha)
Pastizal inducido	247.01
Bosque natural	1,060.47
Pino	
Oyamel	
Aile	

Fuente. Osorio, 2016.



Mapa 4. Uso de suelo y vegetación del ejido El Contadero. Elaboración propia.

De acuerdo con la información anterior y con los datos recabados del inventario de manejo forestal de Osorio (2016), se determinaron los siguientes tipos de vegetación para este ejido: Bosque oyamel-pino, Bosque hojosas-pino, Bosque oyamel-hojosas, Bosque de pino, Bosque de pino-oyamel, Bosque pino-hojosas, Bosque pino-oyamel, así como las superficies (cuadro 3).

Cuadro 3. Tipo de vegetación y superficie.

Formación	Tipo de vegetación	Superficie en hectáreas
Bosque de coníferas	Bosque oyamel-pino	16.6
Bosque de latifoliadas	Bosque hojosas-pino	64.06
Bosque de coníferas	Bosque oyamel-hojosas	21.85
Bosque de coníferas	Bosque de pino	304.61
Bosque de coníferas	Bosque pino-oyamel	32.93
Bosque de coníferas	Bosque pino-hojosas	113.52
Bosque de coníferas	Bosque pino-oyamel	122.37
Total general		675.94
La superficie restante es de otros usos		

Fuente. Adaptado de Osorio (2016).

El cuadro 4, presenta el estrato arbóreo y especies dominantes en el ejido El Contadero.

Cuadro 4. Especies arbóreas.

Especies arbóreas	
<i>Abies religiosa (Kunth) Schltl. & Cham.</i>	Oyamel
<i>Cupressus lindleyi Klotzsch ex Endl.</i>	Cedro
<i>Alnus jorullensis Kunth</i>	Aile
<i>Pinus hartwegii Lindl.</i>	Ocote
<i>Salix paradoxa Kunth</i>	Guajote
<i>Pinus ayacahuite C. Ehrenb. ex Schltl.</i>	Acahite

Fuente. Adaptado de Osorio (2016).

El cuadro 5, presenta el estrato arbustivo y especies dominantes en el ejido El Contadero.

Cuadro 5. Especies arbustivas.

Especie arbustiva	
<i>Senecio sinuatus</i> Kunth	Apestosa
<i>Senecio salignus</i> DC. S	Jarilla
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Escobilla
<i>Symphoricarpus microphyllus</i> Kunth	Perlilla
<i>Acaena elongata</i> L.	Piojo
<i>Castilleja elastica</i> Benth	Flamita
<i>Penstemon gentianoides</i> Por	Campanita
<i>Ribes affine</i> Kunth	Jazmin o grosella

Fuente. Adaptado de Osorio (2016).

El cuadro 6, presenta el estrato herbáceo y especies dominantes en el ejido El Contadero.

Cuadro 6. Estrato herbáceo.

Especies herbáceas	
<i>Sonchos oleraceus</i> L.	Lechulliga
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Sch Bip.	Cardosanto
<i>Taxaracum officinale</i> L.	Diente de león
<i>Eryngium proteaflorum</i> F. Delaroché	Hierba del sapo
<i>Echeveria fulgens</i> Lem.	Rosa de piedra
<i>Festuca toluensis</i>	Zacate o pasto alpino
<i>Calamagrostis tolusensis</i>	Zacatón o paja blanca

Fuente. Adaptado de Osorio (2016).

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plagas forestales

En la actualidad los bosques están expuestos a diversas enfermedades que causan el debilitamiento de los árboles e incluso con el paso del tiempo la muerte. Uno de los principales problemas de los bosques de alta montaña es la presencia de plagas.

Una plaga forestal es cualquier organismo vivo que puede causar daños a las plantas, árboles, bosques o los productos forestales. Tales organismos pueden ser insectos, arañas, nemátodos, hongos, bacterias, virus, malas hierbas (incluso mala hierbas leñosas), mamíferos y otro tipo de vida silvestre e incluso plantas parásitas como el muérdago (FAO, 2021).

En México son consideradas una de las principales causas de disturbio en los bosques templados, se tiene registro de alrededor de 70 especies de insectos y patógenos que afectan al arbolado del país (SEMARNAT, 2019).

2.2. Plantas parásitas

Las plantas parásitas tienen una amplia distribución por el territorio nacional y representan una amenaza principalmente para los bosques de coníferas.

Son aquellas que dependen parcialmente de otros organismos para poder subsistir ya que obtienen soporte, agua y/o sales inorgánicas de su hospedero. Existen dos tipos de plantas parásitas, las de tallo y las de raíz (CONAFOR, 2007; Nickrent y Musselman, 2004).

De acuerdo con Bell y Adams (2011) indican que existen 4,100 especies de angiospermas parásitas, con un amplio rango de hospedantes, formas, tallas y estrategias de vida, mismas que se distribuyen en 19 familias y 227 géneros

a lo cual Westwood, et.al. (2010) sugiere que el parasitismo ha evolucionado de forma independiente en numerosas ocasiones.

Una familia representativa de las plantas parásitas es *Santalaceae*. El género *Arceuthobium* pertenece a esta familia y comprende 42 especies, todas llamadas comúnmente "muérdago enano" (Hawksworth y Wiends, 1996; Cibrián et al., 2007).

2.3. Muérdagos

Son un tipo de planta parásita que daña al hospedero provocándole cambios fisiológicos y bioquímicos. Se trata de plantas arbustivas hemiparásitas de conífera, de menos de 50 cm de altura y de color amarillento, rojizo o negruzco (Rzedowski y Rzedowski, 2001; Agrios, 2005; Mathiasen et al., 2008). Los daños son graduales y lentos, lo que da paso a al incremento del número de plantas parásitas por hospedero.

Muérdago es el nombre común mediante el cual se designa a las plantas hemiparásitas de tallos aéreos cuya característica distintiva es que presentan una cubierta de mucílago, la viscina, alrededor de su semilla que les permite adherirse a las ramas del hospedero (Aukema, 2003), infestan árboles y arbustos para obtener de ellos agua y sales minerales, ya que son incapaces de absorberlas directamente del suelo, tomando los recursos que requiere en perjuicio del árbol que parásita (Marchal, 2009).

Afectan el desarrollo del hospedero a través del sistema endófito, involucrando procesos fisiológicos en la producción de compuestos que regulan el desarrollo del hospedero y reubican para su beneficio, agua, minerales y carbohidratos (Hawksworth, 1961; Rey et al., 1991).

2.3.1. Muérdago enano (*Arceuthobium globosum*, *A. vaginatum*)

Son plantas parásitas con flores, que atacan los tallos de otras plantas. Este término describe plantas con un hábito parasítico aéreo y que son miembros del grupo taxonómico *Santalales* (Mathiasen et al., 2008). Las evidencias fósiles han demostrado la presencia de los muérdagos enanos en América desde hace 25 millones de años (período Mioceno), tiempo durante el cual han coevolucionado con sus hospederos (Vázquez et al., 2006).

El género *Arceuthobium* lo constituye un grupo de arbustos de no más de 20cm de altura, de diversos colores que son parásitos aéreos de árboles de las familias *Pinaceae* y *Cupressaceae*, por lo que se distribuyen en bosques templados (Hawksworth y Wiends, 1996). Sus hojas son inconspicuas, escuamiformes, en pares opuestos y generalmente del mismo color del tallo; las flores pueden ser masculinas o femeninas y se reproducen a partir de los cuatro años (Agrios, 2005).

Los muérdagos enanos del género *Arceuthobium* son los más extendidos en México y afectan severamente a los bosques de coníferas causando pérdidas económicas significativas (Hawksworth, 1983; Manion, 1981). Constituyen la segunda causa de daño a los bosques de coníferas de México (Hawksworth, 1983) y el segundo lugar de daño biológico después de los insectos descortezadores (Madrigal et al., 2007).

2.3.1.1. Ciclo de vida

El ciclo biológico de los muérdagos enanos es largo, varía de acuerdo con la especie, clima y altitud. Generalmente presenta un ciclo de vida de cinco años (figura 1), tres de los cuales son de crecimiento vegetativo, siete meses de floración y 16 de fructificación (Vázquez, 1993), (Vázquez y Geils, 2002).

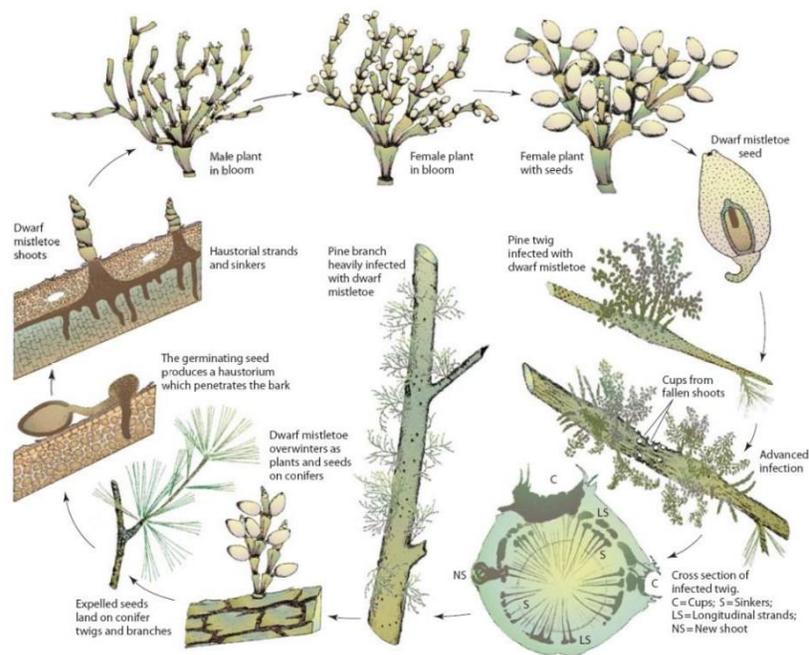


Figura 1. Ciclo de vida del muérdago (Agrios,2005).

El ciclo de vida del muérdago se divide en cuatro fases: dispersión (expulsión balística de las semillas), establecimiento (comprende la llegada de la semilla al hospedero y su posterior germinación), incubación (desarrollo del sistema endofítico) y reproducción (formación de tallos aéreos con flores) (Mathiasen et al., 2008).

La dispersión de la semilla del muérdago enano es mecánica, empieza cuando el fruto maduro descarga su semilla en forma explosiva lanzando sus frutos a una distancia de hasta 15 metros (cae en un vuelo balístico hasta que la semilla se pega en una superficie). Las aves, mamíferos e insectos pueden transportar las semillas a distancias mayores. El establecimiento incluye la germinación de la semilla hasta que se inician las relaciones parasíticas (Rodríguez, 1983; Vázquez et al., 2006).

La germinación inicia cuando emerge una radícula y se proyecta hacia el interior del tejido del hospedero. Puede penetrar a través de las hendiduras de la corteza, o por las yemas foliares. En los próximos dos o tres años

después de haberse implantado la semilla, emergen los tallos y no viven más de siete años, el promedio de vida de los tallos es de dos a tres años y nuevos brotes remplazan a los que van muriendo. Al segundo año de madurez los tallos producen flores masculinas y femeninas por separado; es decir, son plantas dioicas con proporción 1:1 (Rodríguez, 1983).

2.3.1.2. Hospederos

Se denomina hospedador u hospedante al organismo que alberga a otro en su interior o lo porta sobre sí, ya sea como parásito, comensal o mutualista. El hospedador primario es donde desarrolla la mayor parte de la existencia del parásito, sobre todo su crecimiento. El hospedador secundario es el que alberga al parásito sólo en una fase inicial de su crecimiento, casi siempre en relación con su dispersión y para facilitar su ingreso en el hospedador primario (Fumanal, 2013).

Es un organismo capaz de sustentar el crecimiento de un simbiote (por ejemplo, de un parásito), se denomina hospedador definitivo, o final, a aquel en el que el parásito alcanza la madurez sexual, hospedador intermedio a aquel en el que tiene lugar un cierto desarrollo del parásito, sin que este llegue a la madurez sexual y un hospedador reservorio, capaz de albergar un parásito infeccioso (Navarra, 2020).

En México, el muérdago enano parasita a: *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schltl., *Pinus rudis* Endl., *Pinus cooperi* C.E. Blanco., *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., en ocasiones parasita a *Abies* L. y *Pseudotsuga* Carrière., (Hawksworth, 1972; Vázquez et al., 2006).

2.3.1.3. Daños

De acuerdo con Andrade y Cibrián (1980) y Andrade (1981) los muérdagos enanos ocasionan diferentes daños en el hospedero, dentro de los cuales destacan la reducción del crecimiento en altura y diámetro. Sin embargo, la reducción depende de la intensidad del ataque, aunado a la especie afectada, condiciones de sitios, fertilidad del suelo, capacidad de retención de agua y competencia con otros muérdagos que afectan al mismo hospedero (Geils y Hawksworth, 2002). A su vez disminuye la calidad de su madera por la presencia de grandes y numerosos nudos, provocando la formación de "escoba de bruja"; (Agrios, 2013; Rodríguez, 1983).

Los daños que causa el muérdago enano a los árboles incluyen: a) hipertrofia del fuste y de las ramas en un punto infestado; b) atrofia y posterior rotura del fuste y de las ramas de las partes infestadas hacia la cúspide, debido al peso del parásito; c) deformación de las ramas de los árboles afectados al culminar el ataque; d) mata rápidamente al arbolado joven, y retarda grandemente el crecimiento tanto el altura como en diámetro de los árboles de mayor edad; e) interfiere seriamente en la vida normal del árbol, provocándole a la postre la muerte al adquirir frondosidad el parásito y, por consiguiente, aumentar sus necesidades de soporte y nutrimentos; f) al iniciar la primavera, época de mayor crecimiento de los árboles, se retardan las funciones nulificando el desarrollo, altura y diámetro del sujeto, lo que le da a la postre una apariencia de achaparramiento; g) los árboles debilitados, quedan predispuestos al ataque de insectos y microorganismos; h) en aquellos lugares donde se han aplicado cortes como medida de control en árboles intensamente atacados por el muérdago enano, se da una propagación extraordinaria en las plantas con parasitismo insipiente como consecuencia del aclareo que sufrió la masa y la mayor cantidad de luz que reciben, i) reduce considerablemente la

producción de semillas fértiles de los sujetos atacados y en muchas ocasiones llega a nulificar totalmente (Verduzco, 1976).

2.3.2. Los muérdagos en el APFF Nevado de Toluca

En México, los muérdagos enanos atacan los bosques de alta montaña, dominados por poblaciones de *Pinus hartwegii* establecidos por encima de los 3500 msnmm (Endara, 2010). Por otro lado, Cedillo (2017) menciona que dichos bosques presentan severas infestaciones por muérdagos enanos y en menor proporción por muérdagos verdaderos (*Psitacanthus.sp.*

Cedillo (2017), determinó que aproximadamente el 43% del bosque de pino del APFF Nevado de Toluca esta infestado por muérdago enano negro (*Arceuthobium vaginatum vaginatum*) y el muérdago enano amarillo (*Arceuthobium globosum grandicaule*), relacionadas directamente con densidad del bosque, exposición de laderas y pendientes.

ANTECEDENTES

La infestación de muérdago enano presenta un problema en las zonas forestales por lo que en el APFF Nevado de Toluca se busca identificar los niveles de infestación, especies y estrategias que minimicen los daños al bosque.

Cedillo (2017) elaboró un análisis espacial a través de trabajo de campo donde instaló sitios temporales de muestreo para determinar los niveles de infestación de muérdago enano por el método de Hawksworth (1977), que consiste en dividir al individuo en tres tercios calificando cada uno de ellos de 0 a 2 dependiendo su nivel de infestación. A partir de los datos obtenidos en campo se realizó un análisis de los factores ambientales que influyen, determinan o condicionan la presencia de muérdago. Menciona que las condiciones fitosanitarias del bosque de pino del Nevado de Toluca reflejan que poco más del 40% presentan infestación de algún tipo de muérdago, el muérdago negro se reporta con mayor presencia (47%), seguido del amarillo (46%). Donde resalta que los municipios más afectados son: Zinacantepec, Tenango del Valle, Almoloya de Juárez y Villa Guerrero, considerando que en algunas de las comunidades existe más del 50% de infestación en los bosques de pino.

Colín (2017) en su investigación denominada determinación de las especies de la familia *Loranthaceae* y *Santalaceae* en el bosque del Nevado de Toluca realizó una recolecta de material vegetal (estructuras vegetativas y reproductivas) de estas familias para su determinación taxonómica y a su vez realizó una evaluación de muérdago en individuos por el método de Hawksworth (1977). Llegó al resultado que en el bosque semidenso de *P. hartwegii*, el 27% de los árboles no registran muérdago, la mayoría de los elementos arbóreos, 73% presentan algún tipo de muérdago. El 88% de los árboles presentan *A. globosum subsp. grandicaule*, el 5% presenta *A.*

vaginatum subsp. vaginatum y el 7% alberga a ambas especies. Menciona que *"el muérdago enano está presente en las diferentes categorías diamétricas registradas en el bosque de P. hartwegii"*, sin embargo, muestra preferencias por individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) de 5 a 20cm, concentrándose principalmente en la categoría con diámetro de 10cm".

Ambos autores antes mencionados basan sus investigaciones en realizar un análisis donde abordan estudios de los procesos de reproducción, especies e infestaciones de muérdago y árboles hospederos enfocadas en la conservación del bosque, sin embargo, a pesar del desarrollo de dichas investigaciones, se tienen datos sobre los sitios y árboles hospederos en general del APFF Nevado de Toluca.

Por otro lado, Ramírez & Porcayo (2017), en su estudio comparativo de la distribución espacial de muérdago enano en la ladera norte del Nevado de Toluca mediante la aplicación de métodos geoestadísticos, mencionan que a pesar de que el muérdago se encuentra en condiciones óptimas para su desarrollo, la superficie infestada no alcanzó la totalidad de las parcelas estudiadas, lo cual resulta clave para establecer estrategias y medidas de control específicas en las zonas con infestación.

Zúñiga (2020), en su estudio de incidencia de plagas y enfermedades en el bosque de pino del APFF Nevado de Toluca, menciona que mediante el establecimiento de parcelas sus resultados indican que los incendios forestales influyen en los niveles de infestación, porque su presencia aumenta la severidad de la infestación. El muérdago amarillo muestra una relación importante con la exposición de la ladera, ya que se localiza principalmente en la zona suroeste del volcán, en contraste con el muérdago negro que no representa relación significativa con respecto a la exposición de la ladera, teniendo una distribución casi uniforme en todas las laderas.

HIPÓTESIS

El incremento del muérdago enano ocasiona el deterioro del bosque ya que obtiene de los hospederos soporte, agua y nutrientes necesarios para su desarrollo, provocando en ellos la reducción de crecimiento, debilitamiento y la muerte en infestaciones severas, por lo tanto, en el periodo de 4 años el bosque tendrá cambios en los niveles de infestación determinados por factores como la fragmentación y/o manejo dirigido al control de infestaciones y enfermedades.

OBJETIVOS

a. General

Identificar los niveles de infestación de muérdago enano sobre el bosque de pino del ejido El Contadero, Zinacantepec, a través de un análisis comparativo 2016-2020, para conocer la dinámica de la infestación asociada al deterioro de árboles y, con esto, establecer las bases técnicas y ecológicas para el control y manejo del patógeno.

b. Particulares

- Determinar el estado fitosanitario para el año 2016 del bosque de pino del ejido El Contadero.
- Identificar el cambio en los niveles de infestación durante el periodo 2016-2020.
- Evaluar la distribución espacial y las características físico-geográficas asociadas.
- Establecer parcelas permanentes de muestreo para conocer a futuro la dinámica de la interacción patógeno-hospedero.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

La metodología contempla cuatro etapas. La primera etapa tiene como objetivo determinar, a través de un análisis la distribución de los niveles de infestación de acuerdo con los estudios realizados por Cedillo (2017). La segunda etapa consiste en identificar los cambios en los niveles de infestación durante el periodo 2016-2020. En la tercera etapa se realiza la evaluación de las características físico-geográficas asociadas a la infestación por muérdago y como último paso se propone el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo. En el cuadro 7, se muestra la metodología propuesta para llevar a cabo la investigación.

Cuadro 7. Metodología para la evaluación de niveles de infestación en el ejido El Contadero.

Etapa:	
1. Determinación del estado fitosanitario del 2016 en el bosque de pino del ejido el contadero	1.1. Identificación de los sitios de muestreo 2016 en el bosque de pino 1.2. Identificación de los niveles de infestación en el Ejido
2. Identificación en el cambio de los niveles de infestación durante el periodo 2016-2020	2.1. Determinación del método de muestreo 2.2. Adaptación del método de muestreo 2.3. Muestreo 2.3.1 Variables de muestreo 2.3.2 Establecimiento de sitios de muestreo 2.3.3 Determinación de niveles de infestación en el trabajo de campo 2.3.4 Periodo de muestreo

	<p>2.4. Elaboración de base de datos a partir de trabajo de campo</p> <p>2.5. Determinación de los niveles de infestación</p> <p>2.6. Elaboración de cartografía, a través de mapas temáticos por medio de la interpolación de vecinos naturales</p> <p>2.7. Elaboración de análisis comparativos de datos obtenidos en 2016 y 2020</p>
<p>3. Evaluación de la características físico-geográficas asociadas</p>	<p>3.1. Selección de variables físico-geográficas con mayor peso en la infestación</p> <p>3.2. Análisis de las variables sobre los niveles de infestación de muérdago</p>
<p>4. Propuesta para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo (PPM)</p>	<p>4.1. Establecer variables y/o formularios para evaluar las características por individuo</p> <p>4.2. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo.</p> <p>4.3. Periodo de muestreo</p>

Fuente. Elaboración propia.

1. Distribución de los niveles de infestación de muérdago enano en el ejido El Contadero

1.1. Identificación de los sitios de muestreo 2016 en el bosque de pino

Los métodos de muestreo a través del establecimiento de parcelas son instrumentos que permiten seguir el crecimiento y rendimiento del bosque remanente BOLFOR y PROMABOSQUE (1999). Lo anterior con el propósito de obtener información respecto al estado fitosanitario del bosque (sanidad, perturbación y calidad).

De acuerdo con Cedillo (2017), se tomaron en cuenta las coordenadas de los sitios propuestos para todo el Nevado de Toluca, extrayendo sólo los de la zona de estudio (mapa 5) donde se muestran los 110 puntos monitoreados en 2016 en el bosque de pino.

En este sentido, las características principales a cumplir para levantar los datos en los sitios de muestreo es que cumplan con las condiciones de infestación y los dos tipos de muérdago, siendo las siguientes:

- a) Sitios con infestación alta, media y baja y con muérdago amarillo y/o negro
- b) Sitios sin infestación



Mapa 5. Sitios temporales de muestreo en el ejido El Contadero. (Adaptado de Cedillo, 2016).

1.2. Identificación de los niveles de infestación en el Ejido

Con base en estudios previos realizados por Cedillo (2017), se determinó la necesidad de evaluar los niveles de infestación de muérdago enano en el bosque de pino del ejido El Contadero, ya que solo se conoce el nivel de infestación y no el incremento en la infestación, así como las características físico-geográficas que requieren para poder infestar y desplazarse a otros hospederos.

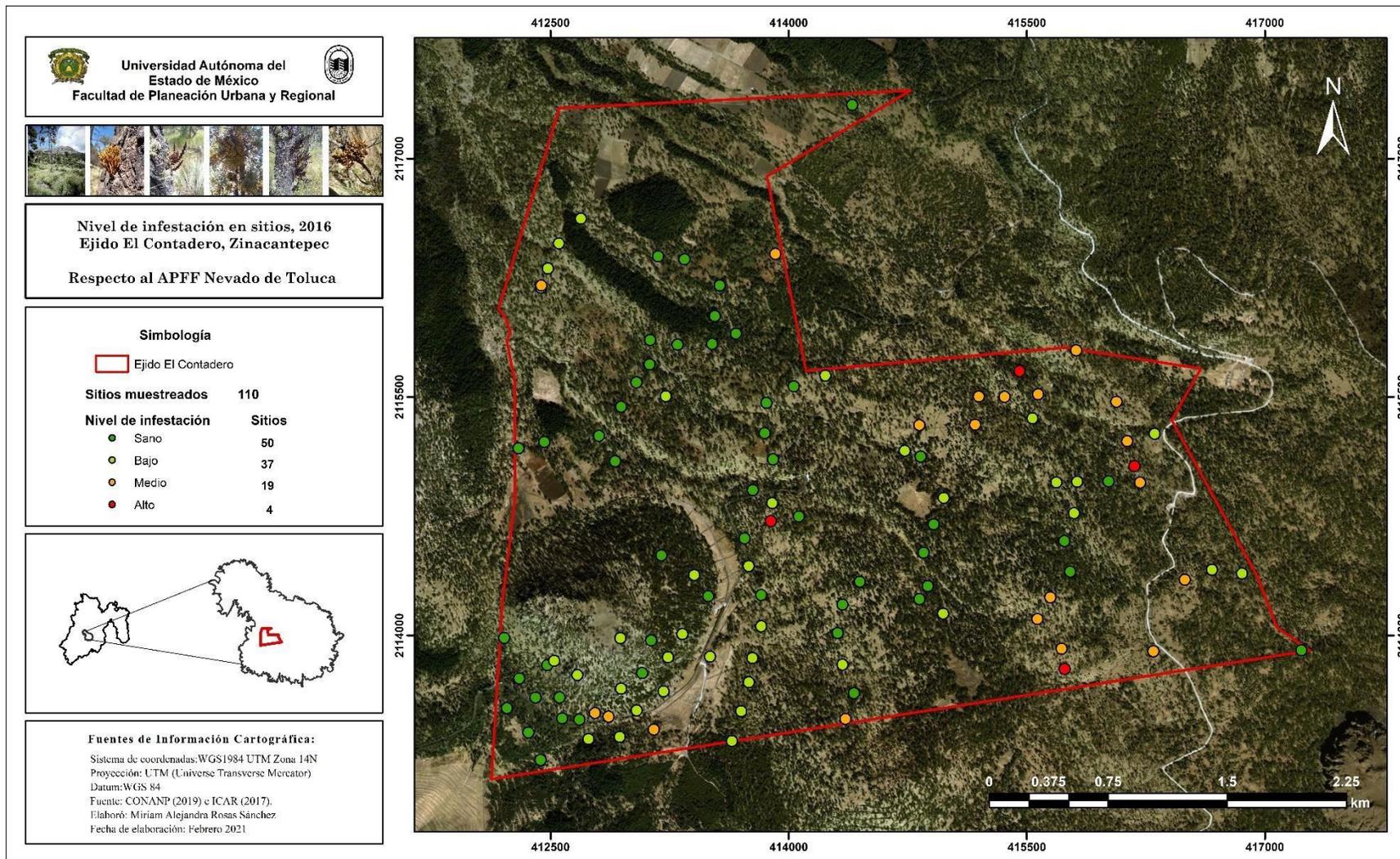
Cedillo (2017), menciona que el ejido El Contadero es uno de los núcleos agrarios del APFF Nevado de Toluca con presencia de muérdago en más del 50% del bosque de pino, el cual presenta muérdago amarillo, amarillo-negro, negro, negro-amarillo y sano (cuadro 8).

Cuadro 8. Afectaciones de muérdago en el ejido El Contadero (2016).

Superficie Total (ha)	Superficie bosque de pino (ha)	Tipo de muérdago en el bosque de pino	Nivel de infestación	Superficie (ha)	%	% total	
1334.69	1073.55	Amarillo	Bajo	176.0	16.40	60	
			Medio	96.8	9.01		
		Amarillo - negro	Alto	0.3	0.03		
			Bajo	4.8	0.44		
			Medio	18.2	1.70		
		Negro	Alto	0.6	0.05		
			Bajo	263.4	24.53		
			Medio	78.1	7.27		
		Negro - amarillo	Bajo	3.8	0.35		
			Medio	0.0	0.00		
		Sano	n/a	431.6	40.20		40

Fuente. Adaptado de Cedillo (2017).

A partir de los datos cartográficos proporcionados por el ICAR (2017) de los niveles de infestación de muérdago enano se registraron 1622 sitios para el APFF Nevado de Toluca, de los cuales 110 se encuentran en el ejido El Contadero (mapa 6), donde a partir de estos datos se determinó la remediación de todos los sitios, para poder identificar el estado fitosanitario del bosque en el periodo 2020.



Mapa 6. Ubicación de los niveles de infestación de muérdago enano por sitio de muestro. Elaboración propia.

2. Identificación en el cambio de los niveles de infestación durante el periodo 2016-2020

2.1. Determinación del método de muestreo

Según BOLFOR (2000), este método, consiste en ubicar las muestras o unidades muestrales en un patrón regular en toda la zona de estudio (figura 2). Este tipo de muestreo permite detectar variaciones espaciales en la comunidad. Sin embargo, no se puede tener una estimación exacta de la precisión de la media de la variable considerada. El muestreo sistemático puede realizarse a partir de un punto determinado al azar, del cual se establece una cierta medida para medir los subsiguientes puntos. Este tipo de muestreo, a diferencia del muestreo aleatorio, se puede planificar en el mismo lugar donde se realizará el estudio y la aplicación del diseño es más rápida.

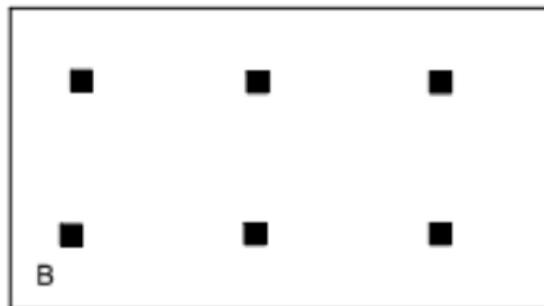


Figura 2. Método sistemático (BOLFOR, 2000).

2.2. Adaptación del método de muestro BOLFOR

Se realizó trabajo de campo en el ejido El Contadero, con la finalidad de evaluar el nivel de infestación por muérdago enano y así identificar si el factor que influye en el nivel de infestación, abundancia y dispersión depende de factores ecológicos o antrópicos. Por lo tanto, al tomar en

cuenta que los niveles de infestación se encuentran de forma aleatoria en dicho ejido, se adaptó el método sistemático para el levantamiento de datos en los sitios de muestreo del 2017.

De acuerdo con el método se utilizaron las curvas de nivel como acceso al bosque de pino por medio de transectos (Mostacedo y Fredericksen, 2000), desde la cota 3200 a 3900 msnmm con separación altitudinal de 100 m una respecto a otra (Mayer y Ott, 1991), de esta manera sobre estas cotas se ubicaron los puntos con distancias de 200 m (Dauber, 1995), obtenido la distribución de los sitios de muestreo, de tal manera que en el ejido se encuentran 110 sitios (figura 3) con infestaciones, bajas, medias y altas con muérdago negro y amarillo y bosque sano.

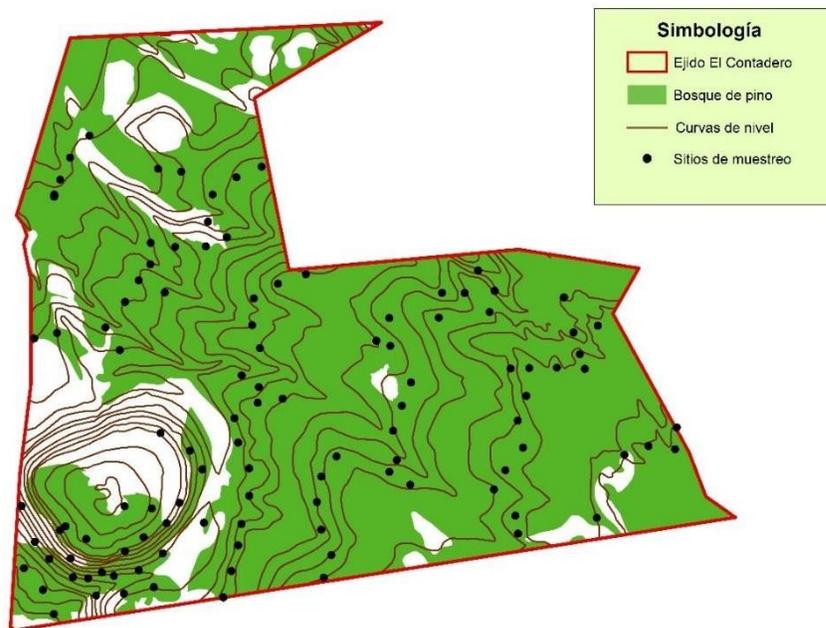


Figura 3. Adaptación del método sistemático en bosque de pino. Elaboración propia.

Cabe mencionar que las coordenadas de los sitios en esta investigación fueron las mismas de Cedillo (2017), ya que en la comparación es necesario que sean los mismos sitios para poder determinar cuál fue el incremento o cambio en los niveles de infestación.

2.3. Muestreo

El muestreo se refiere a la actividad de recolección y gestión de datos en torno a la que se ejecuta. Requiere mecanismos e instrumentos para recoger, compilar, sintetizar y almacenar esta información de modo tal que resulte accesible (Rham y Marceno, 2009).

2.3.1. Establecimiento de variables y/o formatos de campo para el levantamiento de la información

Una vez establecidos los sitios de muestreo se inició un levantamiento de información para cada sitio e individuos fustales a partir de 7.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP).

Para el levantamiento de la información se utilizaron diversas variables, mediante formatos de campo adaptados de Cedillo (2017), con parámetros específicos para sitios (cuadro 9) e individuos (cuadro 10).

Cuadro 9. Formato por sitio.

	Datos de referencia: Juvenil, Pastizal, Semillero, Senil, Transición				Fisiográficos: Barranca, Peña		
	Fecha:		Asociación arbórea:				%Roca:
	X	Y	Z	Exposición	Pendiente	%Copa	Incendio
Perturbación: Cacería, Camino, Cerca, Cultivo, Extracción, Pastoreo, Reforestación, Tina Ciega, ZanjaInf							
Observación del sitio: actividades silviculturales, obras de conservación. Otra (Especificar):							

Fuente. Adaptado de Cedillo (2017).

Cuadro 10. Formato por individuo.

Sitio	Especie	DN	Cal.	AT	AFL	Muérdago						Observaciones
						Especie	1-T	F/R	2-T	F/R	3-T	

Fuente. Adaptado de Cedillo (2017).

Los formatos de campo anteriores contienen una serie de claves que se desglosan en los siguientes cuadros, para sitios (cuadro 11) e individuos (cuadro 12).

Cuadro 11. Variables de sitio.

Variables de sitio	Descripción
Sitio 	Identificador que refiera área de estudio y número sitio. Curva de ubicación (Cima, ladera, pie)
Datos de referencia	Observaciones generales <i>i.e.</i> juvenil, pastizal, semillero, transición.
Fisiográficos	Ubicación fisiográfica del sitio <i>i.e.</i> Barranca, peña.
Fecha	dd/mm/aaaa
Asociación arbórea	Descripción de comunidad forestal <i>i.e.</i> Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> , Bosque de <i>Abies-Pinus</i>
Coordenadas (X, Y, Z)	UTM y elevación
Exposición y pendiente	En grados
% de copa	Cobertura de copa en el sitio
Incendio	Si / No - Reciente(R) / Histórico(H)
% Af.Roc	Porcentaje de rocas en el sitio (0-100)
% herbáceo y arbustivo	Porcentaje y dominancia herbáceo/arbustivo y especie.
Perturbación	Observaciones generales <i>i.e.</i> camino, cerca, cultivo, extracción, pastoreo, reforestación, tina ciega, zanja de infiltración

Observaciones del sitio	Identificación de actividades silviculturales, obras de conservación y/o otra <i>i.e.</i> brecha corta fuego, río.
-------------------------	--

Fuente. Elaboración propia con base en datos del proyecto CONACYT-CONAFOR/A3-S-130105.

Cuadro 12. Variables de individuos.

Variables de individuos	Descripción
Sitio	Número de identificador del sitio a muestrear
Especie	Del hospedero <i>i. e.</i> <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Abies religiosa</i> .
Diámetro normal (DN)	Diámetro tomado desde la base del tronco a la altura de 1.30 cm
Calidad del fuste (Cal)	<p>BOLFOR y PROMABOSQUE (1999) recomiendan la clasificación del fuste como sigue:</p> <p>Calidad 1: Árbol sano y recto sin algún signo visible de defectos.</p> <p>Calidad 2: Árbol con señales de ataque de hongos, pudrición, heridas, curvatura, crecimiento en espiral y otras deformaciones.</p> <p>Calidad 3: Árbol curvado y efectos graves en su estructura, posiblemente útil para leña.</p>
Altura total (AT)	Distancia entre la base del tronco y la punta de la copa.
Altura de fuste limpio (AFL)	Distancia entre la base del tronco y la primera rama donde inicia la copa.

Especie	Tipo de muérdago en hospedero <i>i.e.</i> <i>Arceuthobium vaginatum</i> (negro) y <i>Arceuthobium globosum</i> (amarillo).
1-T, 2-T, 3-T	Grado de infestación 0 a 2 (Hawksworth y Wiends, 1996)
Observaciones	Con relación al estado del fuste, descortezador, enfermedades y otros daños, tales como, incendios forestales, rayo, sin ápice, muerto.

Fuente. Elaboración propia con base en datos del proyecto CONACYT-CONAFOR/A3-S-130105.

2.3.2. Establecimiento de sitios de muestreo.

Una vez identificado el sitio temporal de muestreo se inició con el levantamiento de la información, donde se siguieron los pasos adoptados de Cedillo (2017).

- 1) Llegar al sitio de muestreo, de acuerdo con las coordenadas marcadas, ese lugar será el centro.
- 2) Tomando como referencia el norte, se establece un círculo de 35.6 m de diámetro, formando ejes X y Y dentro del círculo a partir del centro (figura 4).

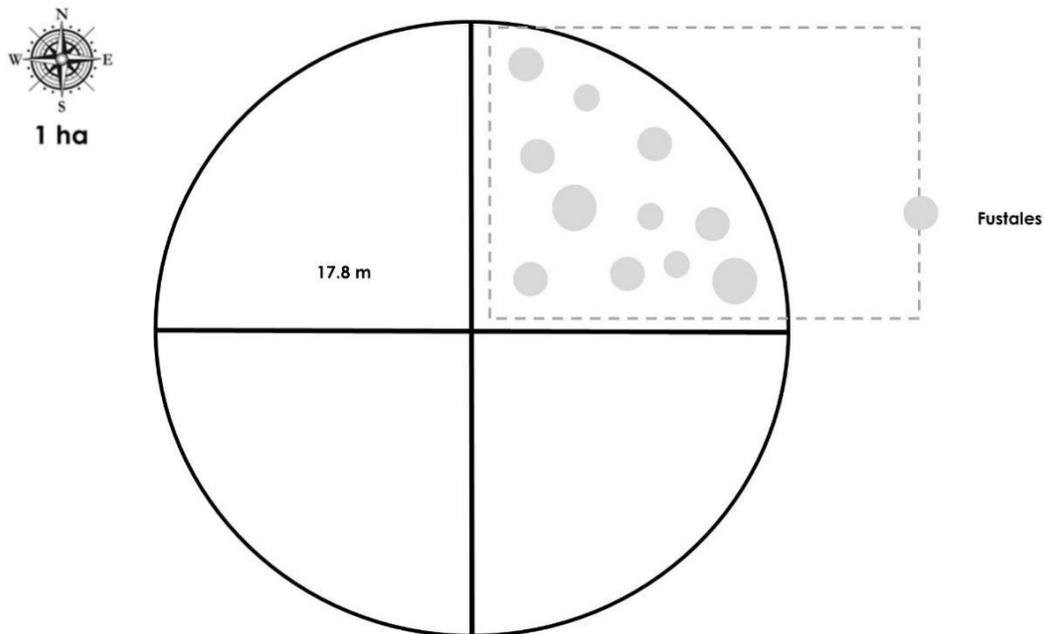


Figura 4. Diseño de la instalación de sitios de muestreo. Elaboración propia.

Una vez instalado el sitio se da paso al levantamiento de información a partir de los formularios para recopilación de sitios (ver cuadro 9) e individuos (ver cuadro 10) anteriormente mostrados.

2.3.3. Asignación del nivel de infestación de muérdago mediante trabajo de campo

En el trabajo de campo se aplicaron los principios planteados por Hawksworth (1977), para poder determinar el nivel de infestación por muérdago, este se basa en dividir al individuo en tres tercios, clasificándolo con valores de 0 a 2 dependiendo la presencia de muérdago en cada tercio.

A continuación se presentan los pasos a seguir:

1. Dividir el individuo en tercios.
2. Evaluar el individuos por cada tercio, donde se le dara un valor de 0, 1 o 2, según sea el caso (cuadro 13).

Cuadro 13. Valores para la evaluación por tercios según las características.

Valor	Característica
0	No muestra rastros de muérdago
1	Infestación ligera (½ o menos de las ramas infectadas)
2	Infestación severa (mas de ½ de las ramas infectadas)

Fuente. Hawksworth (1977).

3. Sumar los valores de la calificación de cada tercio para obtener los valores que indican los niveles de infestación (figura 5).

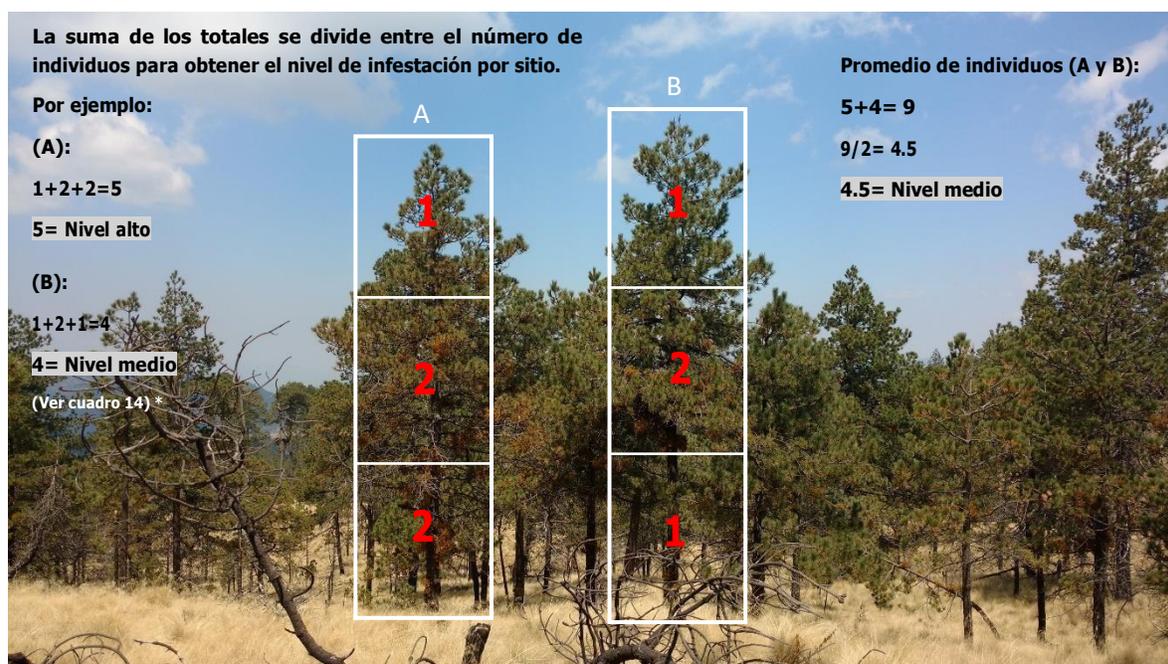


Figura 5. División y clasificación del árbol en tercios a través del método Hawksworth (1977). Elaboración propia.

2.3.4. Periodo de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en un periodo de 8 días, en la primera semana del mes de octubre de 2020, donde se visitó cada sitio y se levantó la información de acuerdo con el formulario antes mencionado, donde se

identificaron los niveles de infestación, para así identificar el cambio en los 4 años transcurridos.

2.4. Elaboración de base de datos a partir del trabajo de campo

El trabajo de campo dio como resultado un conjunto de datos y valores que se convirtieron en una base de datos.

Para la creación de la base de datos se realizó la captura de todas las características de sitios e individuos en un libro Excel, donde a partir de las calificaciones de infestación se obtuvo la sumatoria total, para posteriormente determinar el nivel de infestación.

2.5. Determinación de niveles de infestación

Con base en la metodología de Hawksworth (1977), se establecieron los niveles de infestación por individuo. Para obtener la clasificación de los individuos, se sumaron los valores de cada tercio y teniendo un rango de 0 a 6 según el caso. Posteriormente para sitios, se obtuvo el promedio de las sumas totales de cada individuo, enfermos y sanos, según corresponda, obteniendo un promedio de 0 a 6 (cuadro 14), asignando a cada sitio una clasificación.

Cuadro 14. Clasificación según nivel de infestación.

Clasificación	Característica	Clase
Nulo	Árbol sano	0
Bajo	Muérdago muy escaso en una sección	1
	Normalmente con muérdago escaso en dos secciones o abundante en una sola sección	2
Medio	Infestación muy escasa, aunque tiende a distribuirse en tres secciones.	3
	Muérdago en todo el árbol, aunque abunda solo en una sección	4
Alto	Infestación abundante en casi todo el árbol	5
	Infestación en todo el árbol	6

Fuente. Hawksworth, 1977.

2.6. Elaboración de la cartografía, a través de mapas temáticos por medio de la interpolación de vecinos naturales

Una vez que se determinó el nivel de infestación por individuo, de acuerdo con las clasificaciones (ver cuadro 14), se ligó la información de sitios, con el fin de llevarla al software ArcMap para poder representar los datos cartográficamente.

Para la elaboración de mapas temáticos, se tomó como principal insumo la base de datos generada, donde se identificaron los niveles de infestación y tipo de muérdago, para posteriormente crear polígonos a través de la herramienta Natural Neighbor.

La interpolación de vecinos naturales encuentra el subconjunto más cercano de muestras de entrada a un punto de consulta y les aplica los

pesos en función de áreas proporcionadas para interpolar un valor (Sibson, 1981).

La interpolación de vecinos naturales es local, solo usa un subconjunto de muestras alrededor de punto de consulta y se garantiza que las alturas interpoladas están dentro del rango de muestras utilizadas. No deduce tendencias y no generará picos, depresiones, crestas o valles que aún no estén representados por las muestras de entrada. La superficie pasa a través de las muestras de entrada y es suave en todas partes, excepto en las ubicaciones de las muestras de entrada. Se adapta localmente a la estructura de los datos de entrada y no requiere ninguna entrada por parte del usuario en relación con el radio de búsqueda, el recuento de la muestra o a la forma. Funciona igualmente bien con datos distribuidos regular e irregularmente (Watson, 1992).

Mediante la interpolación a través de la herramienta del vecino natural, se asignaron rangos solo para el 2020, porque los del 2016 ya estaban establecidos por Cedillo (2017) (cuadro 15). En 2020 los rangos oscilan de forma diferente, cabe destacar que para la asignación de estos existe un error que es atribuido a que el muestreo fue realizado por diferentes personas y no hay garantía de haber llegado a los mismos sitios, puesto que si los rango fueran iguales se estaría asumiendo que se midieron los mismos individuos, es decir, se realizó en la misma zona, pero no se midieron los mismos individuos, otro factor es la dinámica del muérdago y el saneamiento realizado en los 4 años.

Cuadro 15. Intervalos de confianza para creación de polígonos de nivel de infestación 2016-2020.

Categoría	Rango 2016	Rango 2020
Sano	0 - 0.5	0 - 0.5
Bajo	0.5 - 2	0.5 - 1.8
Medio	2 - 4	1.8 - 3
Alto	4 - 6	3 - 6

Fuente. Elaboración propia.

2.7. Elaboración de análisis comparativo de datos obtenido en 2016 y 2020

A partir de los datos obtenidos en 2016 y 2020 se realizó una selección de sitios con individuos iguales (diámetro similar), semejantes (dentro de la categoría de diámetro) y completamente diferentes, donde a partir de esta información y a través de la cartografía se pudieron comparar los cambios en niveles de infestación y tipo de muérdago, donde a su vez se hace una relación de altura de individuos, pendiente y densidad arbórea.

3. Evaluación de características físico-geográficas asociadas

3.1. Selección de variables físico-geográficas con mayor peso

A partir de la recopilación de la información en campo, se identificaron y seleccionaron a través de un análisis de datos las variables físico-geográficas para determinar cuáles son las influyentes en los niveles de infestación y así poder establecer una relación directa con el patógeno y los hospederos.

3.2. Análisis de las variables sobre los niveles de infestación de muérdago

De acuerdo con el análisis de datos se identificó que las variables con mayor incidencia para la infestación son altura de individuos, pendiente y densidad arbórea, siendo estas las que tienen una relación directa con los niveles de infestación y los hospederos.

4. Propuesta de parcelas permanentes de muestreo (PPM)

Los métodos de muestreo para el establecimiento de parcelas permanentes son instrumentos que permiten seguir el crecimiento y rendimiento del bosque remanente con el propósito de obtener información esencial para ser utilizada en el momento de tomar decisiones de orden forestal (BOLFOR y PROMABOSQUE 1999), respecto a la dinámica del muérdago.

4.1. Establecer parcelas permanentes de muestreo

A partir de la información obtenida en 2020, se seleccionó el 51% de los sitios ya que en comparación con la información 2016, estos son los sitios idénticos, es decir los meramente comparables, ya que la información fue recabada por diferentes personas, midiendo la misma zona, pero no los mismos individuos.

Posteriormente se realizó una selección de aproximadamente el 24% de los sitios donde se indica algún incremento en los niveles de infestación, considerando individuos sanos y enfermos. Siendo estos los propuestos a PPM, sobre los cuales se recaba la información por el método de Hawksworth (1977), (ver figura 3).

4.2. Establecer variables y formularios para evaluar las características por individuo

Puesto que los sitios propuestos a PPM son sitios a los que se les dará el mismo seguimiento que los muestreados en 2020, las variables y formularios serán las de esta investigación (ver cuadro 9, 10, 11 y 12) para así poder conocer la dinámica de los muérdagos.

4.3. Periodo de muestreo

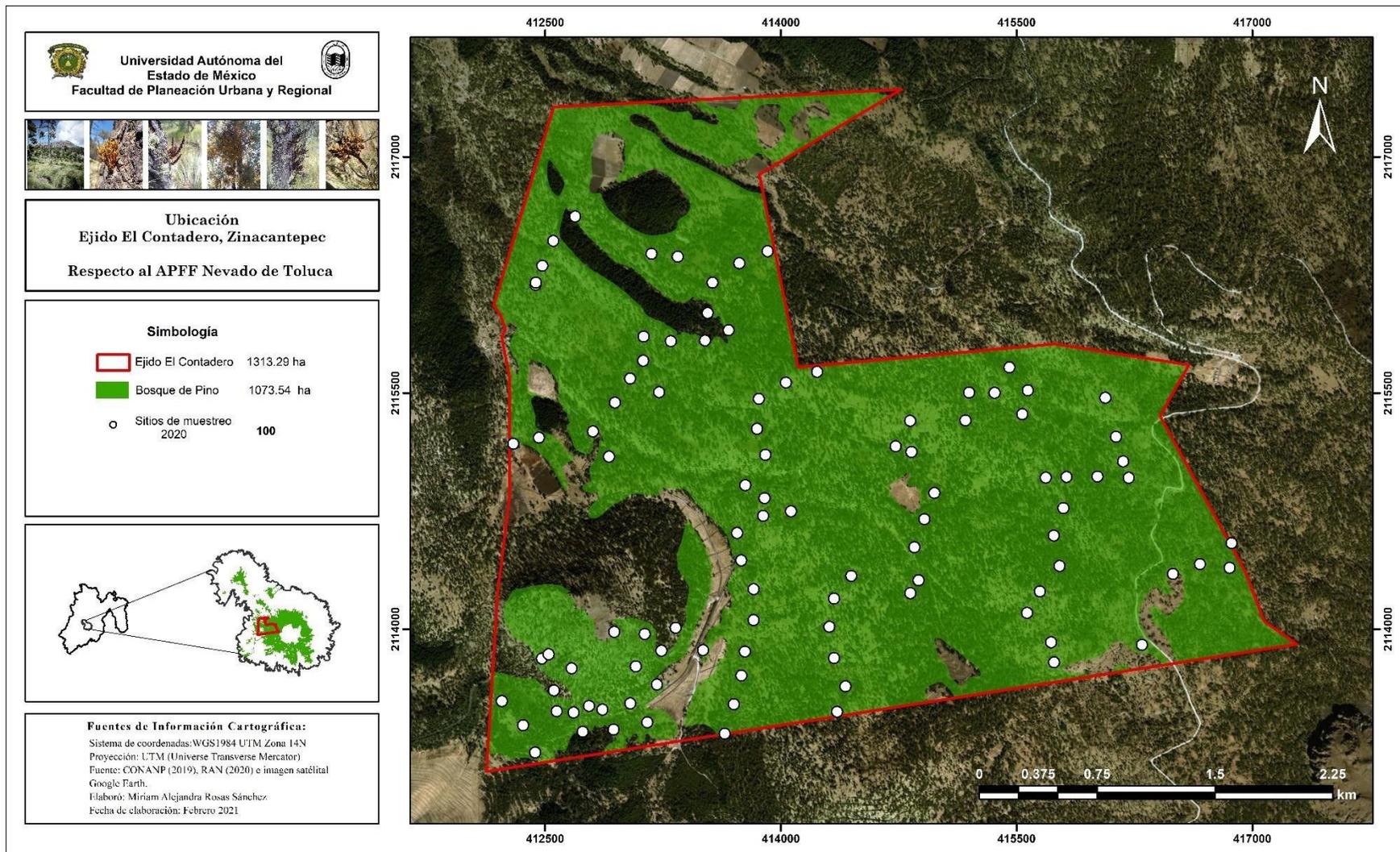
El muestreo que se llevará a cabo será en un periodo de un año, cada tres meses, para poder identificar el comportamiento del muérdago en las cuatro estaciones del año, y así conocer las etapas de su ciclo de vida.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el método utilizado y los datos recabados por Cedillo (2017), se colectó la información de 1622 sitios en el APFF Nevado de Toluca. Cabe resaltar que 110 se encuentran en el ejido El Contadero, pero solo se muestrearon 100 (mapa 7), debido a condiciones adversas (cero individuos en algunos de estos sitios y por cuestiones de seguridad) abarcando 1073 ha de bosque de pino (fotografía 1).



Fotografía 1. Bosque de Pino, ejido el Contadero. Obtenida en campo.



Mapa 7. Sitios de muestreo 2020 en bosque de pino. Elaboración propia.

4.1. Presencia de muérdago

Los resultados muestran las condiciones fitosanitarias del bosque de acuerdo con la presencia de plantas parásitas, haciendo una comparación entre los sitios muestreados en 2016 y 2020, donde se indica que hubo un ligero incremento en 2020 (gráfico 1). A su vez los sitios con algún tipo de muérdago presentan una ligera disminución de muérdago negro debido a las practicas silvícolas como podas, manejos e incluso incendios, donde se tiene incidencia directa a la disminución de muérdago.

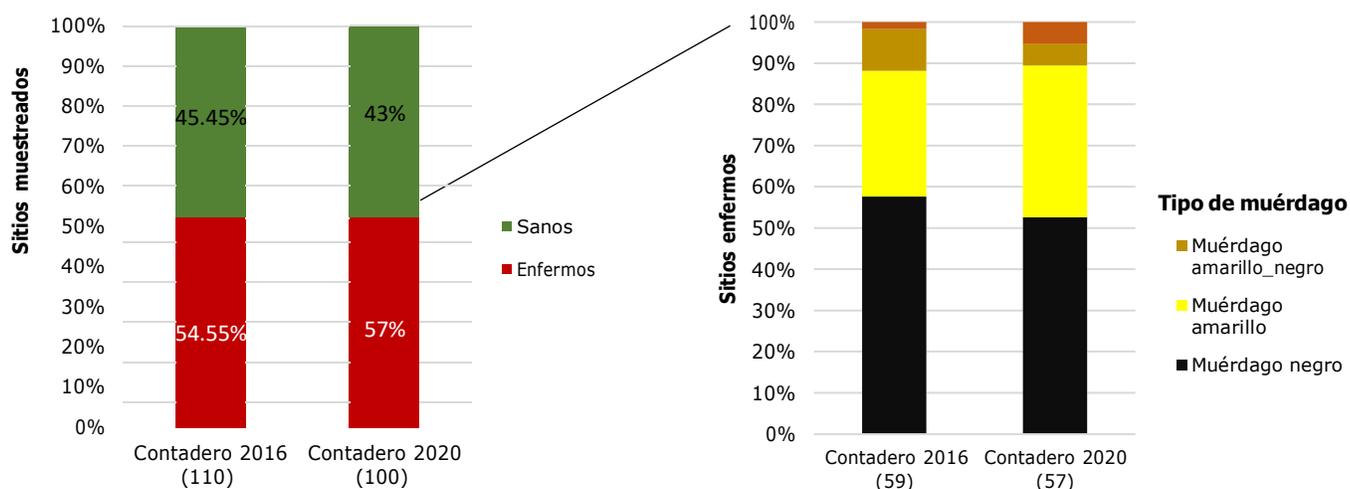


Gráfico 1. Total de sitios con presencias, ausencias y tipo de muérdago. Elaboración propia.

4.2. Superficies infestadas

Una vez identificado el tipo de muérdago antes mencionado, se realizó una conversión de los sitios de muestreo a polígonos, a través de la herramienta del vecino natural, mencionada anteriormente.

Se generó la distribución espacial de la fragmentación del bosque de pino de este ejido, que se divide en 4 categorías: árboles aislados (≥ 19), (bosque fragmentado ($\geq 20 < 150$), bosque semidenso ($\geq 151 < 336$) y bosque denso (> 337), (Endara et al., 2012), para poder identificar cual es la categoría que se ve más afectada por muérdago, mostrando ligeros cambios para los dos periodos 2016 (cuadro 16 y mapa 8) y 2020 (cuadro 17 y mapa 9).

Cuadro 16. Densidad del bosque de pino, 2016.

Categoría	Total de árboles por hectárea	Superficie (ha)	Superficie con muérdago (ha)
Árboles aislados	10	2.16	1.56
Bosque fragmentado	78	581.40	313.75
Bosque semidenso	204	405.29	259.86
Bosque denso	493	84.71	66.76

Fuente. Adaptado de Cedillo, 2017.

Cuadro 17. Densidad del bosque de pino, 2020.

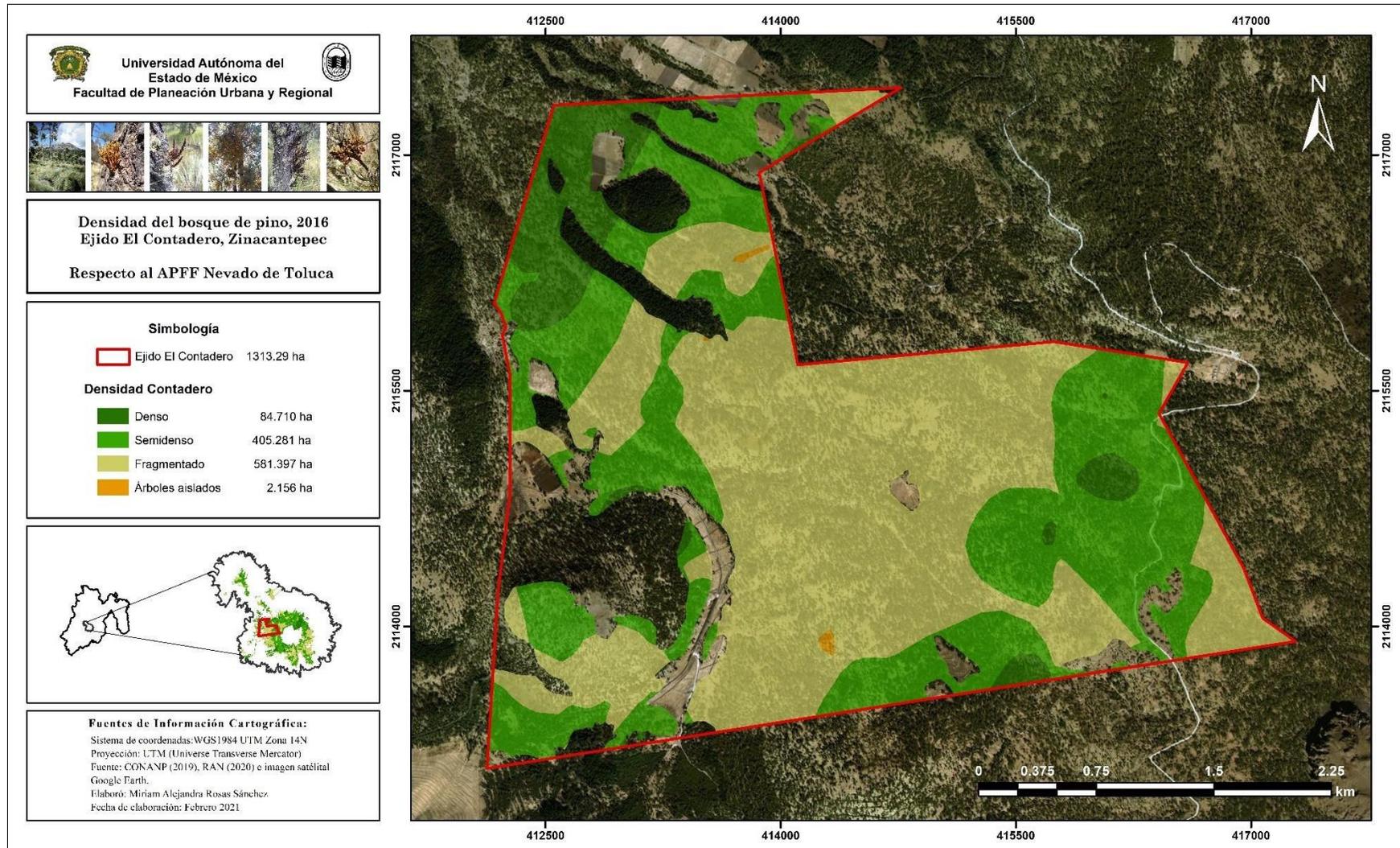
Categoría	Total de árboles por hectárea	Superficie (ha)	Superficie con muérdago (ha)
Árboles aislados	10	1.86	1.86
Bosque fragmentado	86	836.72	508.54
Bosque semidenso	180	227.35	115.78
Bosque denso	336	7.60	2.54

Fuente. Elaboración propia.

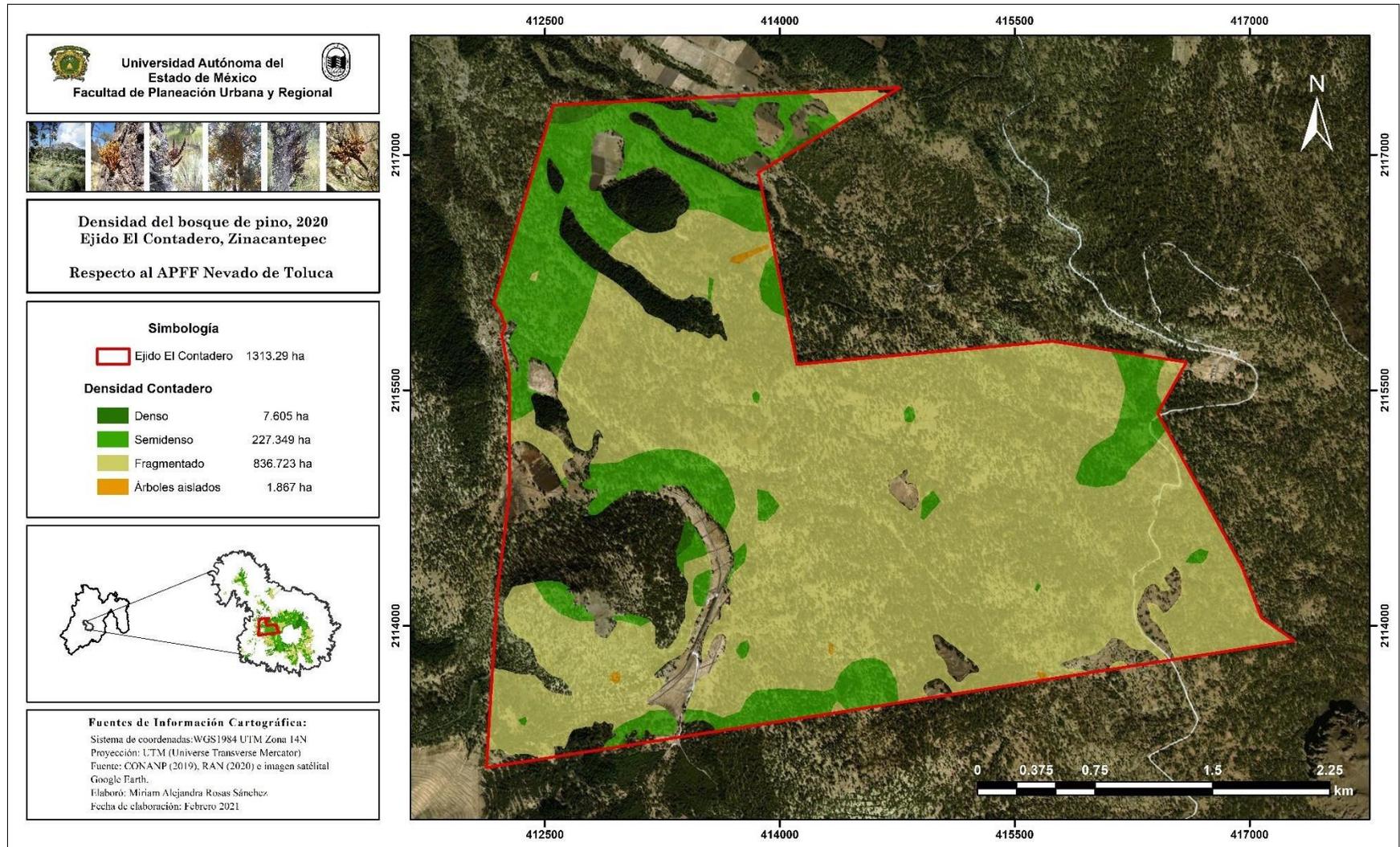
De acuerdo con los datos anteriores los árboles por hectárea son **186**.

La mayor incidencia de muérdago se presentó en el bosque fragmentado debido a que la cobertura arbórea es reducida, lo que concuerda con Queijeiro et al., (2015), donde mencionan que los muérdagos responden a las presiones ambientales, donde la disminución de la densidad del hospedero puede favorecer la infestación de árboles remanentes ya que los muérdagos reciben una mayor incidencia de luz, la cual es necesaria para

la producción de estructuras vegetativas y reproductivas, experimentando menos competencia por recursos al tener una menor cantidad de árboles vecinos, derivando por lo tanto, una mayor cantidad de recursos hacia los muérdagos, además que se aumenta la probabilidad de infestación en los árboles.



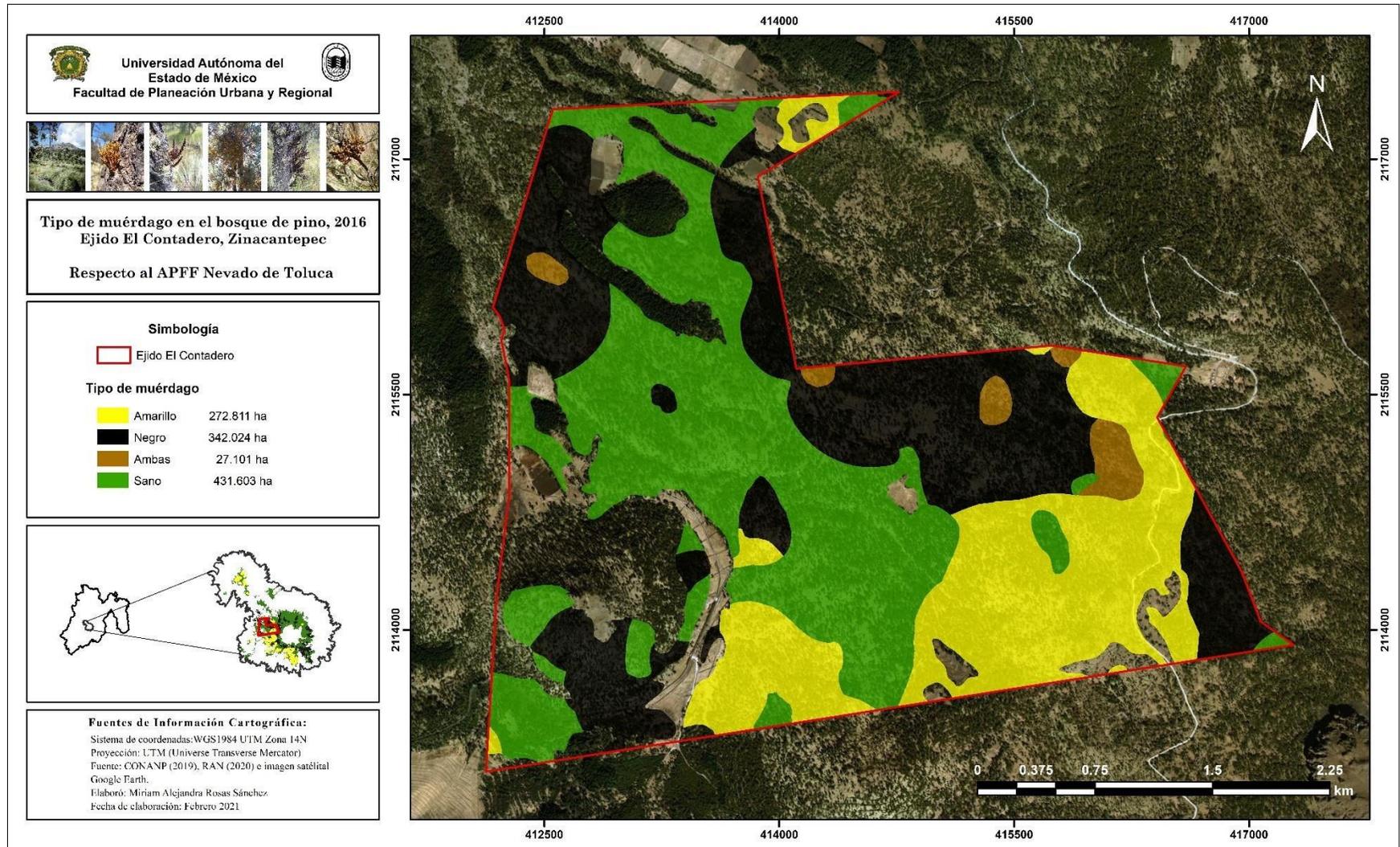
Mapa 8. Densidad del bosque de pino, 2016. Elaboración propia.

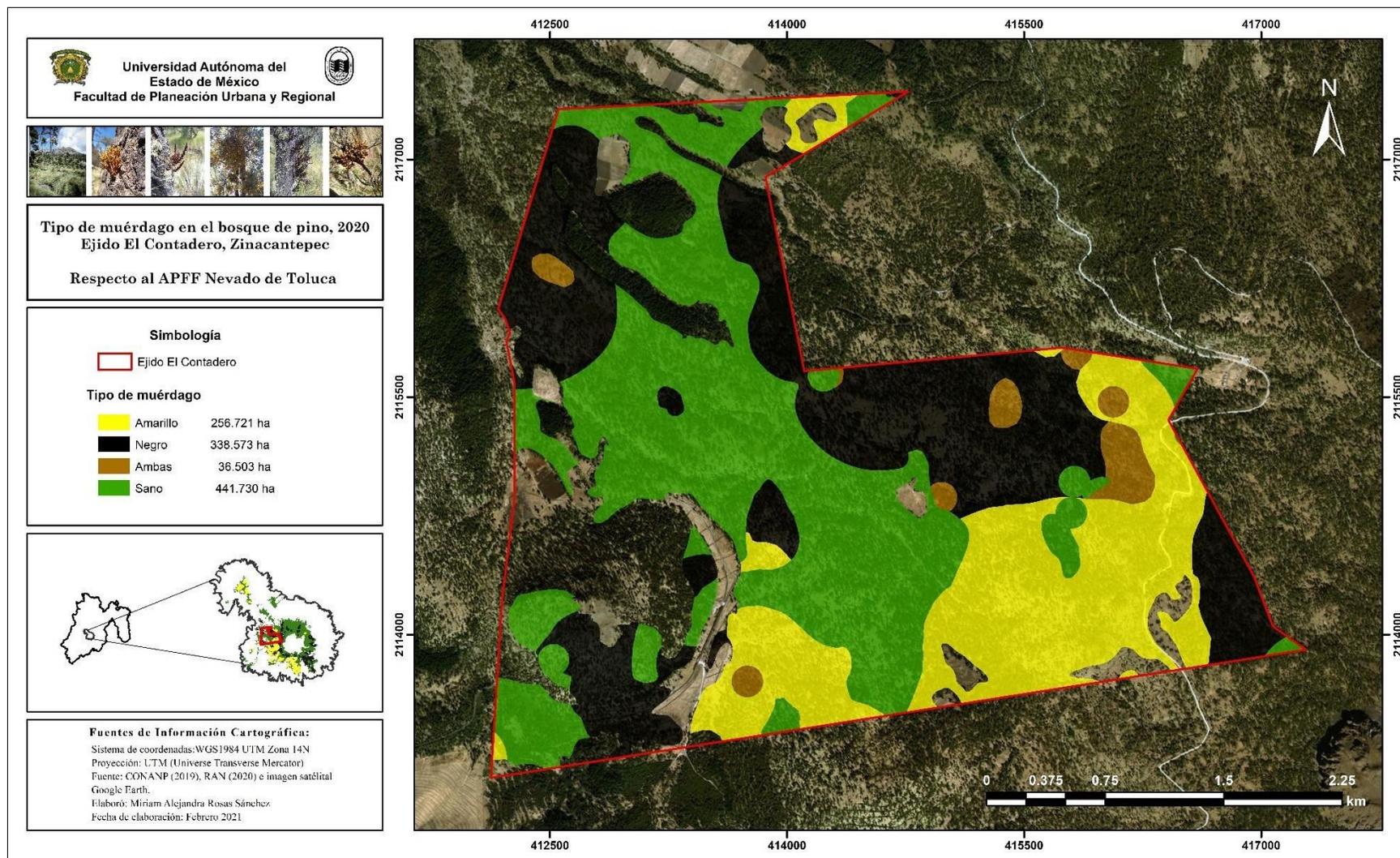


Mapa 9. Densidad del bosque de pino, 2020. Elaboración propia.

El bosque de pino del ejido El Contadero tiene una superficie de aproximadamente 60% de hectáreas infestadas en ambos periodos, por algún tipo de muérdago. Puesto que en ambos periodos algunos sitios presentan cambios, los datos del 2016 se toma como base (mapa 10) para posteriormente hacer el análisis comparativo de los cambios por las actividades de manejo (mapa 11), las zonas que se encuentran afectadas por muérdago amarillo y negro se relacionan de forma directa con los resultados obtenidos en los niveles de infestación donde a causa de este manejo se reporta que hay lenta infestación en superficies.

Si bien el muérdago está acabando con el bosque, atacando de forma significativa a los hospederos, el ataque es más bien dirigido a individuos que a superficies, teniendo lenta infestación comparada con descortezador donde el ataque es más rápido.





Mapa 11. Tipo de muérdago 2020. Elaboración propia.

En 2016 se tenía una superficie de aproximadamente 642 ha infestadas (mapa 12), en 2020 se tiene una superficie de aproximadamente 630 ha de infestación por algún tipo de muérdago (mapa 13), teniendo una disminución de aproximadamente el 2% en todo el ejido, así mismo hay cambios significativos en todas las superficies, disminuyendo los niveles de infestación (cuadro 18).

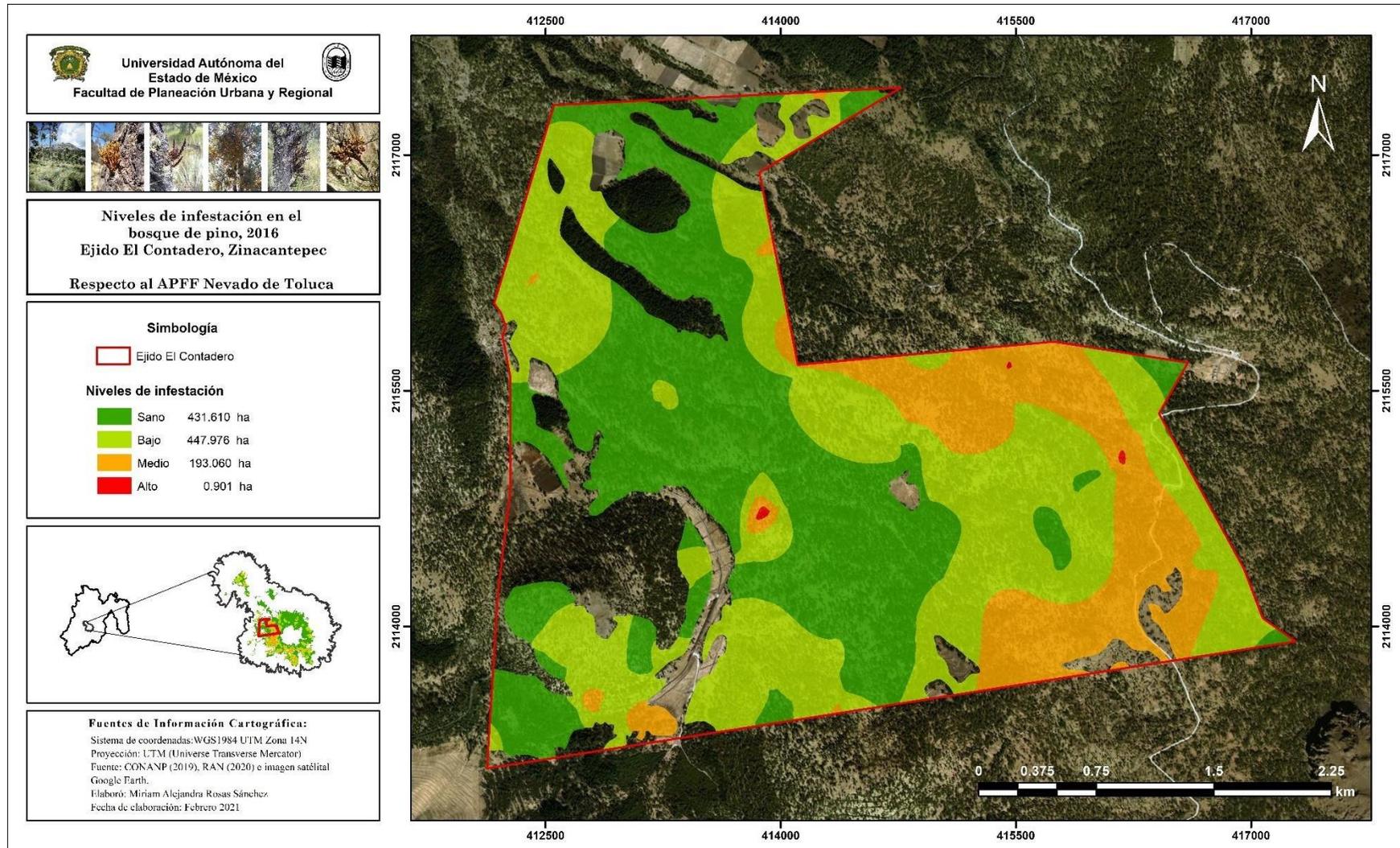
Cuadro 18. Niveles de infestación y cambios en superficies 2016-2020.

Nivel	Superficie total 2016	Superficie total 2020
Sano	431.599	444.803
Bajo	447.947	510.172
Medio	193.07	111.792
Alto	0.926	6.779

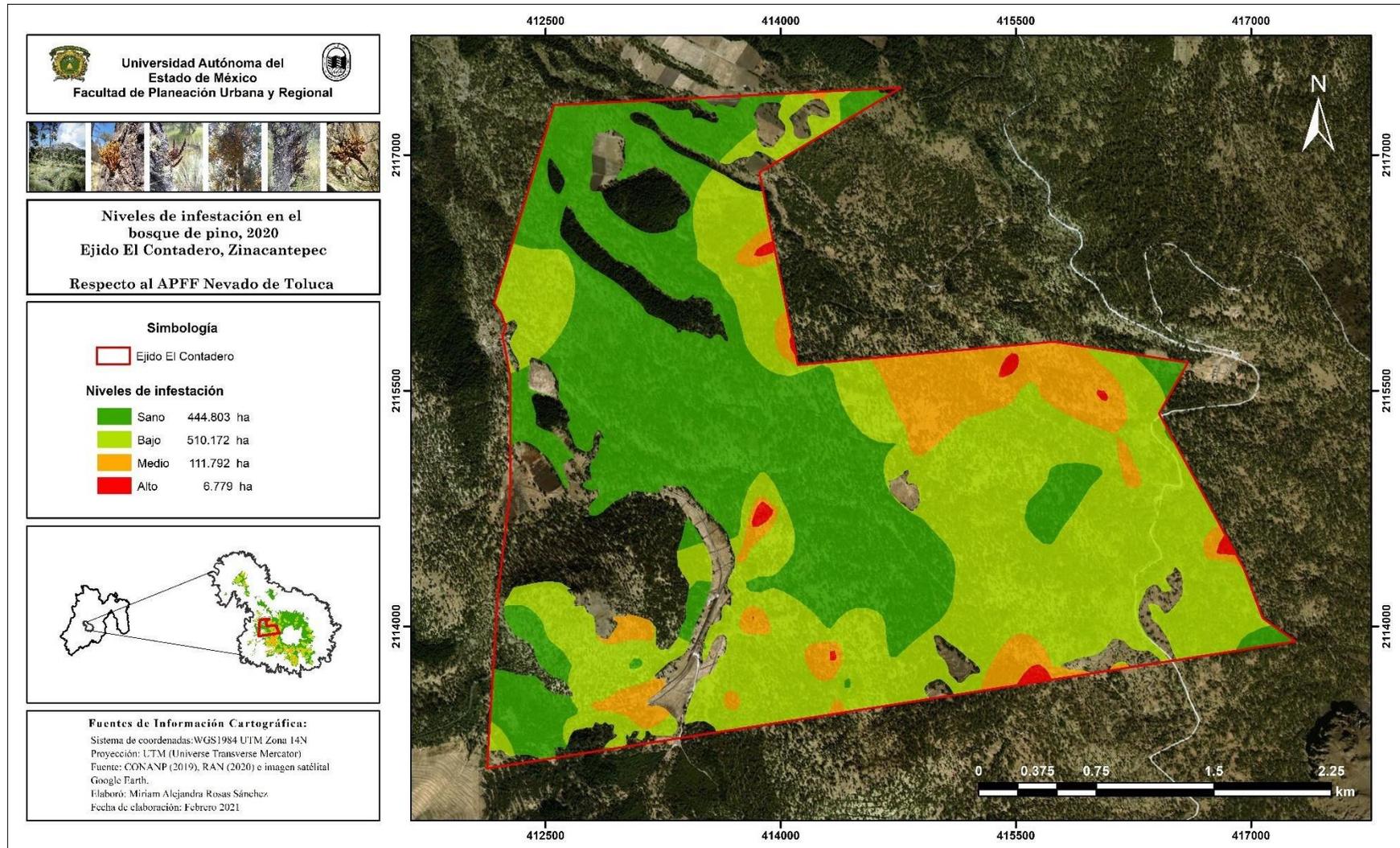
Fuente. Elaboración propia.

Una de las características de la reducción en superficie de los niveles de infestación es el manejo (mapa 14), dentro de las cuales se encuentran podas, saneamiento y derribos, abarcando una superficie de aproximadamente 230 ha, dando lugar no solo a la disminución de muérdago en ramas sino también a la eliminación de individuos infestados en ramas y fuste, incidiendo a la fragmentación.

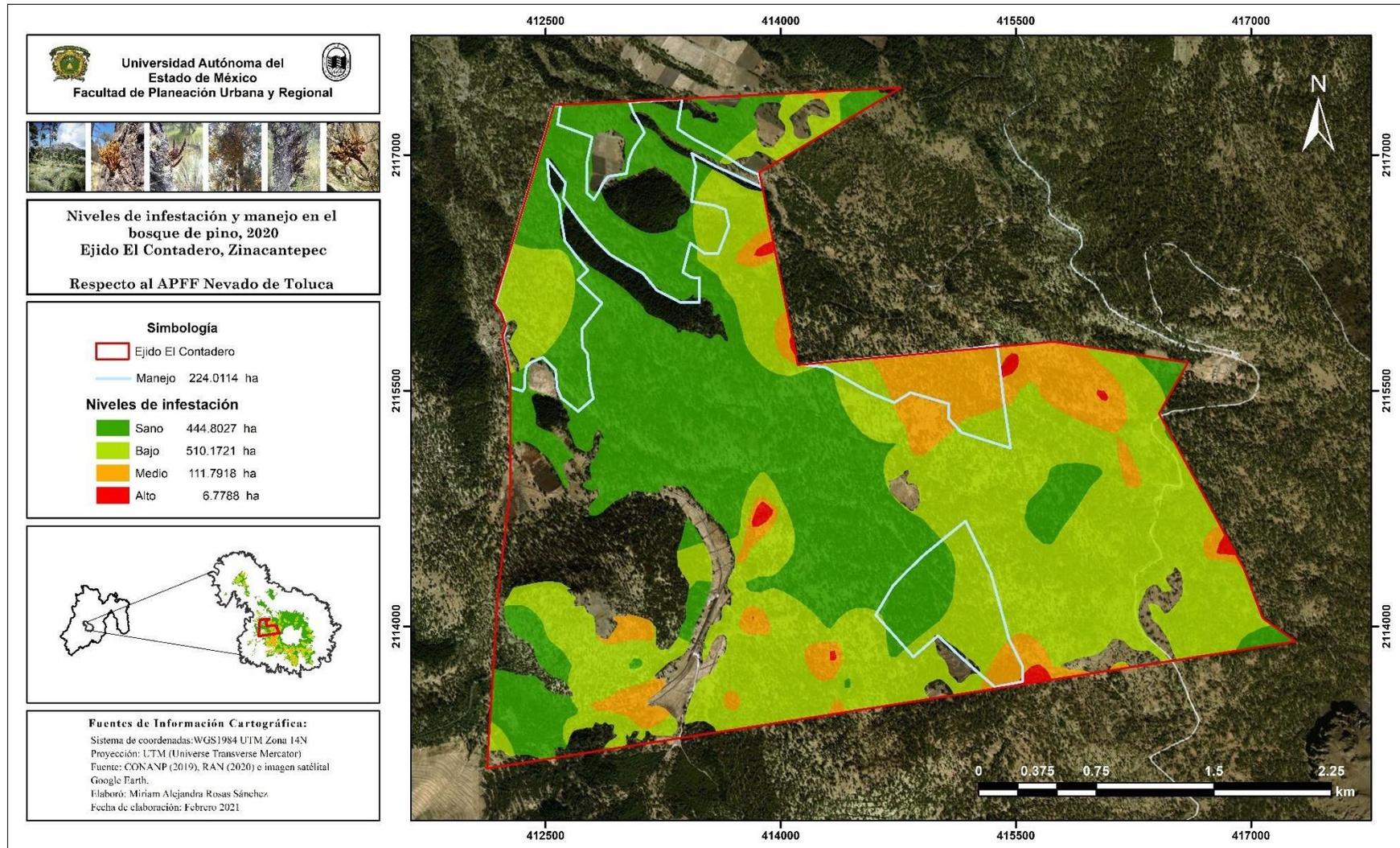
Por otro lado, la dispersión de las plantas parásitas disminuye porque la eliminación de individuos no permite que se establezcan debido a que las condiciones de fragmentación aumentan, teniendo una relación directa con los procesos de manejo, con influencia para el cambio en los niveles de infestación de medio a bajo.



Mapa 12. Niveles de infestación 2016. Elaboración propia.



Mapa 13. Niveles de infestación 2020. Elaboración propia.



Mapa 14. Niveles de infestación 2020 y manejo. Elaboración propia.

4.2. Estructura horizontal del bosque de pino

La estructura horizontal del bosque es un aspecto muy importante para conocer su dinámica y especialmente para definir su estructura y composición (Alvis, 2009).

Según Louman et al., (2001) en zonas predominantemente forestales está determinada por el suelo, clima y por estrategias de crecimiento de las especies, así como disturbios sobre la dinámica de su sistema.

Hawley y Smith (1972) definen dos estructuras horizontales principales para los bosques en general: 1) coetáneos o regulares, donde el mayor número de individuos de una o varias especies tienen un tamaño semejante y se concentran en una misma clase de tamaño, 2) discetáneas o irregulares, donde los individuos se distribuyen en varias clases de diámetro o tamaño, y generalmente se representan gráficamente mediante una "J" invertida.

De acuerdo con lo anterior, se determinó la estructura horizontal del bosque de pino del ejido El Contadero en 2016 y 2020 (gráfico 2); estas toman forma de "J" invertida, donde las reservas de los árboles en las primeras clases aseguran el equilibrio de los bosques (Morales et al., 2012).

Cedillo (2017), menciona que el nevado de Toluca se expone como un bosque residual, debido a la intervención antrópica, llevándose a los mejores individuos y exponiendo al resto a la infestación por alguna plaga o planta parásita, contribuyendo a la fragmentación constante y continua del bosque.

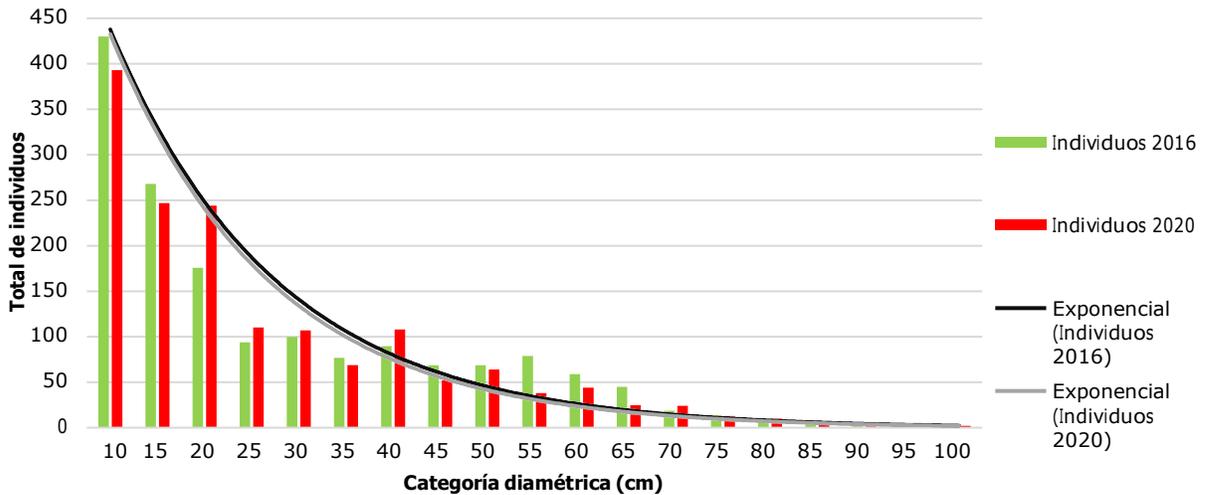


Gráfico 2. Estructura horizontal del bosque de pino del ejido El Contadero 2016-2020. Elaboración propia.

De acuerdo con el gráfico 2, las curvas exponenciales muestran que las categorías diamétricas y el número de individuos para ambos periodos no tiene diferencias significativas, por lo que el bosque de pino se encuentra sin cambios en la estructura horizontal, teniendo una disminución de individuos, pero conservan todas las categorías.

A continuación, se muestran los sitios sanos y enfermos por algún tipo de muérdago en 2016 (gráfico 3) y 2020 (gráfico 4), teniendo en menos cantidad fustales en el segundo periodo. Esto puede ser causa de la extracción de madera anual.

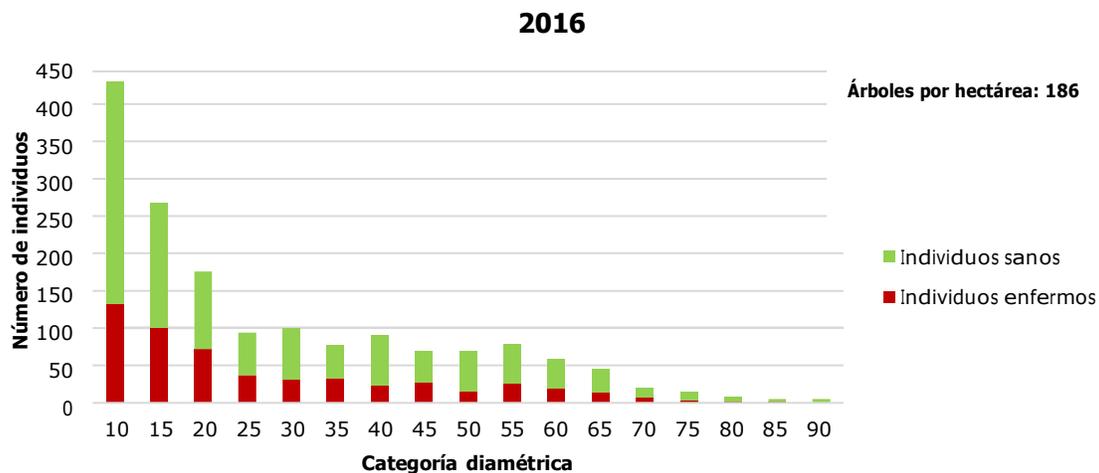


Gráfico 3. Estructura horizontal del bosque en 2016 con sitios sanos y enfermos. Elaboración propia.

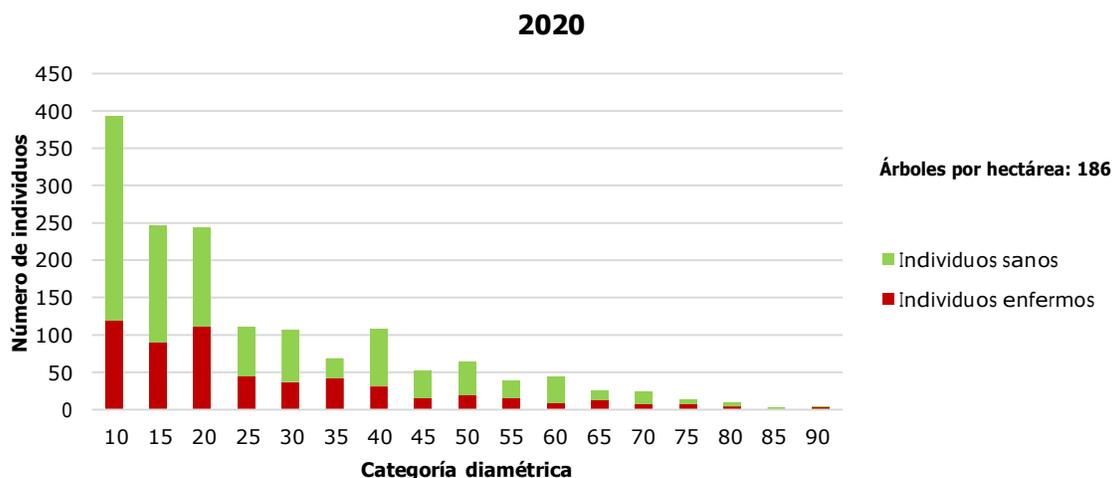


Gráfico 4. Estructura horizontal del bosque en 2020 con sitios sanos y enfermos. Elaboración propia.

En los gráficos anteriores se muestra que hay menor cantidad de individuos en 2020 arriba de la categoría 50 cm, debido a que el ejido tiene un programa de manejo donde se permite aprovechamiento forestal, así como prácticas de saneamiento y podas.

A continuación, se presenta el análisis de individuos enfermos, se muestran los tipos de muérdago que infestan el bosque de pino (gráfico 5), en el año 2016, teniendo mayor presencia de muérdago negro con aproximadamente 54%.

2016

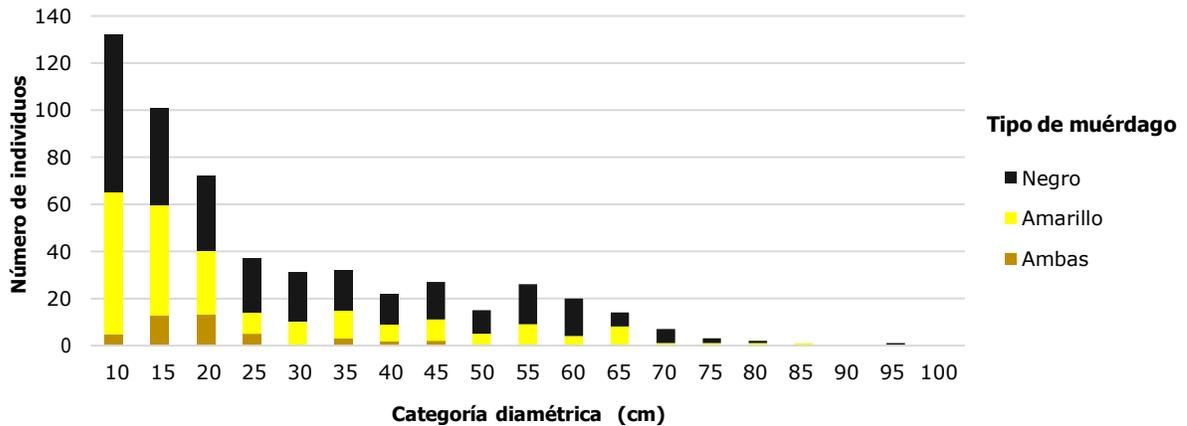


Gráfico 5. Estructura horizontal del bosque en 2016 con tipos de muérdago. Elaboración propia.

El gráfico 6, muestra los tipos de muérdago en el año 2020, teniendo mayor presencia el muérdago amarillo con aproximadamente 51%.

2020

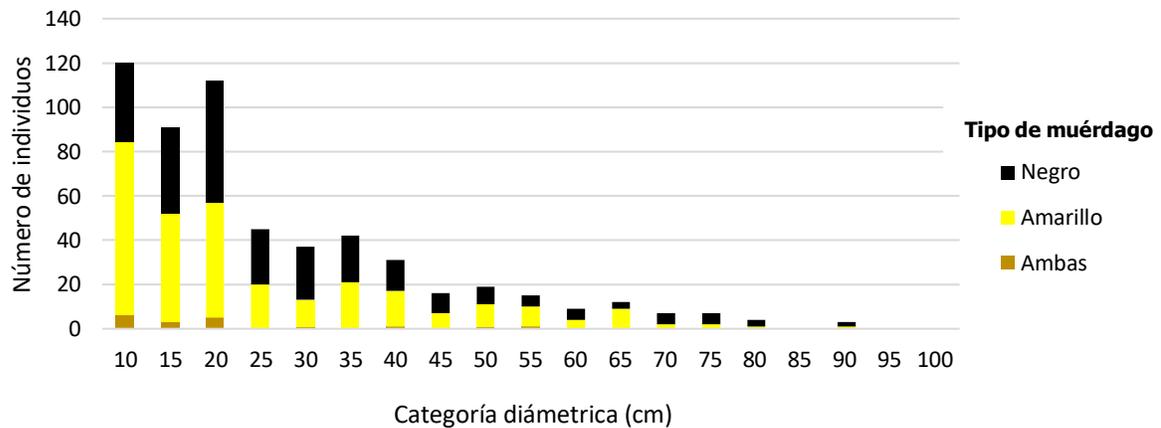


Gráfico 6. Estructura horizontal del bosque en 2020 con tipos de muérdago. Elaboración propia.

El muérdago enano amarillo y negro atacan por igual en todas las categorías, lo que concuerda con lo reportado por Queijeiro et al., (2011), misma que dice que el muérdago negro es el más agresivo porque afecta en mayor medida al fuste. Sabiendo que a partir de los 25 cm de DAP el

árbol presenta una poda natural, lo que hace al fuste más vulnerable a infección por viento y aves.

Como anteriormente se mostraron en los gráficos 6 y 7 la presencia de muérdagos tanto negro como amarillo se encuentran en las categorías diamétricas de 10 hasta 60 cm, con abundancia significativa, dando lugar a que el arbolado joven es el más vulnerable a esta planta parásita (figura 7).



Fotografía 2. Arbolado joven con muérdago. Obtenida en campo.

Posteriormente se muestran los niveles de infestación el año 2016 (gráfico 7) y 2020 (gráfico 8), teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el ejido tenía más del 50% del bosque enfermo por algún tipo de muérdago, pero a diferencia en ambos, el nivel de infestación alto para 2020 disminuyó un 2% y el nivel bajo incremento cerca del 8%, debido a las condiciones de manejo mencionadas anteriormente.

2016

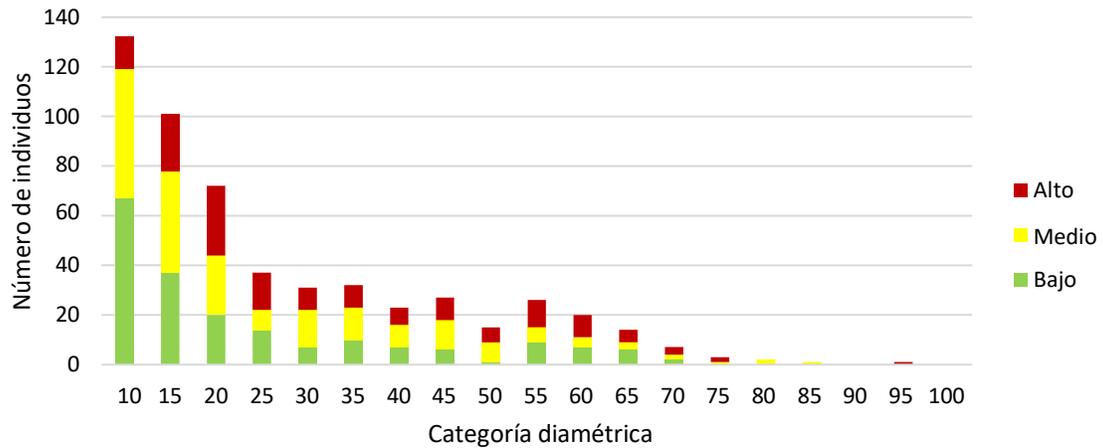


Gráfico 7. Estructura horizontal y niveles de infestación de muérdago 2016. Elaboración propia.

2020

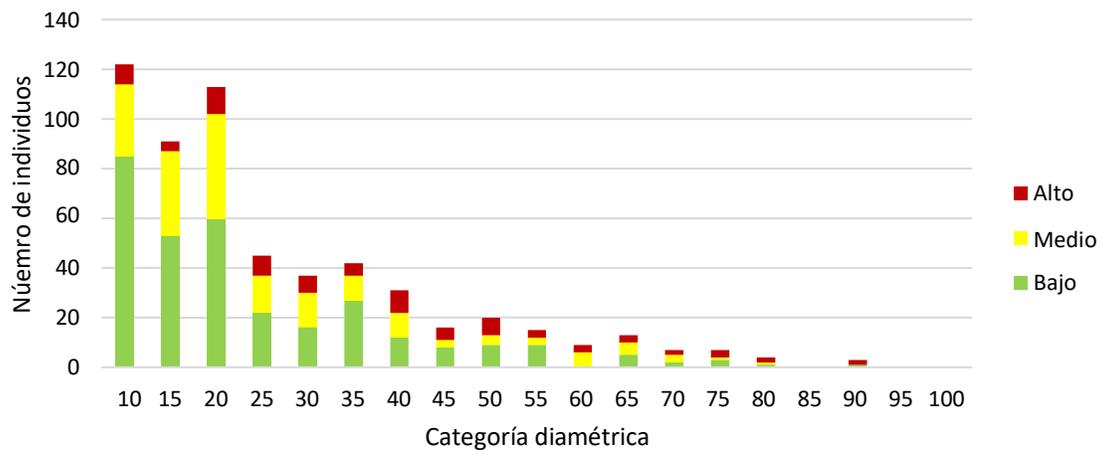


Gráfico 8. Estructura horizontal y niveles de infestación de muérdago 2020. Elaboración propia.

De acuerdo con los gráficos anteriores los niveles de infestación en individuos reducen para el 2020, debido a que el número de estos reduce, por lo que hay menos individuos con niveles de infestación alto, pero con calificaciones mayores (5 y 6).

Una vez que la infestación llega a nivel alto, no hay disminuciones ni cambios, es decir, el nivel alto solo seguirá infestando en mayor medida a los individuos arriba de los 25 cm, opuesto a niveles medios y bajos donde hay cambios en individuos de categorías menores a 25 cm por alguna intervención como saneamiento y podas.

4.3. Análisis de variables con relación al muérdago

El grueso de la masa forestal de pinos mexicanos se desarrolla a altitudes entre 1500 y 3000 msnmm. Se pueden encontrar pinares en elevaciones mayores, estos alcanzan el límite superior de la vegetación arbórea en el norte de México (Beaman y Andresen, 1966).

Para el caso del Nevado de Toluca el pino de las alturas (*Pinus hartwegii*) es denominado así por ser el único en México que habita en los límites de la vegetación arbórea, y crece hasta los 4 200 msnmm (Campos, 1993).

Con base en los 100 sitios evaluados, se realizó un análisis de las variables, principalmente: altura de individuos, pendiente y densidad arbórea.

4.3.1. Altura de individuos

De acuerdo con los datos de alturas en individuos, los niveles de infestación se encuentran en un rango de 10 a 60 cm. Por otro lado, se consideraron las alturas, puesto que las que tienen mayor presencia de muérdago van desde 10 a 15 m (gráfico 9).

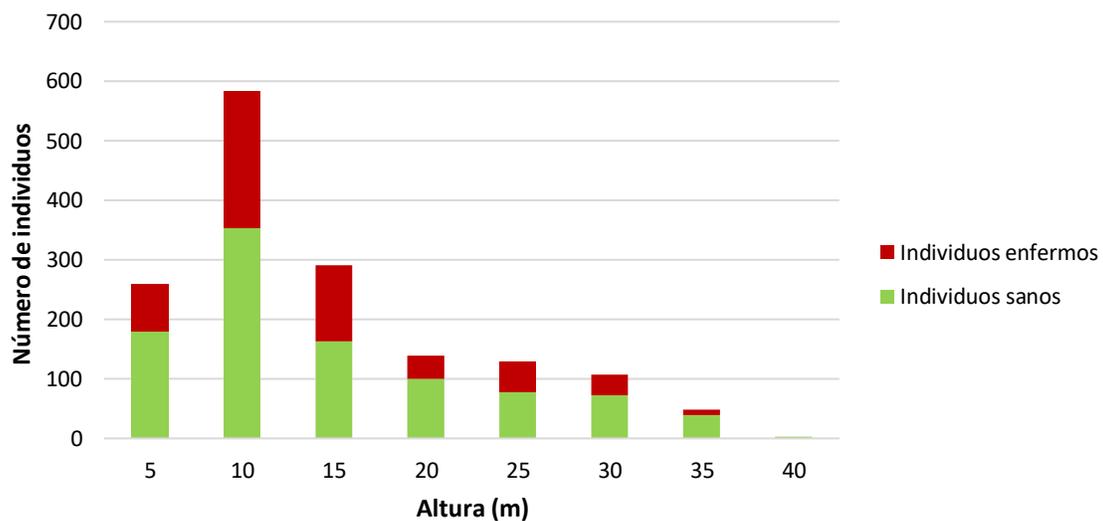


Gráfico 9. Alturas mayormente infestadas por muérdago. Elaboración propia.

Hernández et al., (2005), menciona que los pinos menores de dos metros de altura presentan un nivel de infestación bajo debido a que presentan una cobertura reducida que disminuye la probabilidad de interceptar semillas, los árboles más jóvenes tienen un menor tiempo de exposición a la lluvia de semillas de muérdago.

Por otro lado, los datos indican que mientras se mantenga el dosel superior de árboles por encima de los 30 m, serán árboles poco enfermos y pueden ser la respuesta de a la carga genética tolerante al muérdago.

4.3.2. Pendiente

Las pendientes mayormente afectadas van de los 16° hasta 30 ° (gráfico 10), lo que indica que en pendientes menores y mayores a este rango la infestación de muérdago es menos invasiva, afectando principalmente la ladera noroeste y sureste del ejido, donde se encuentran las pendientes medianamente inclinadas.

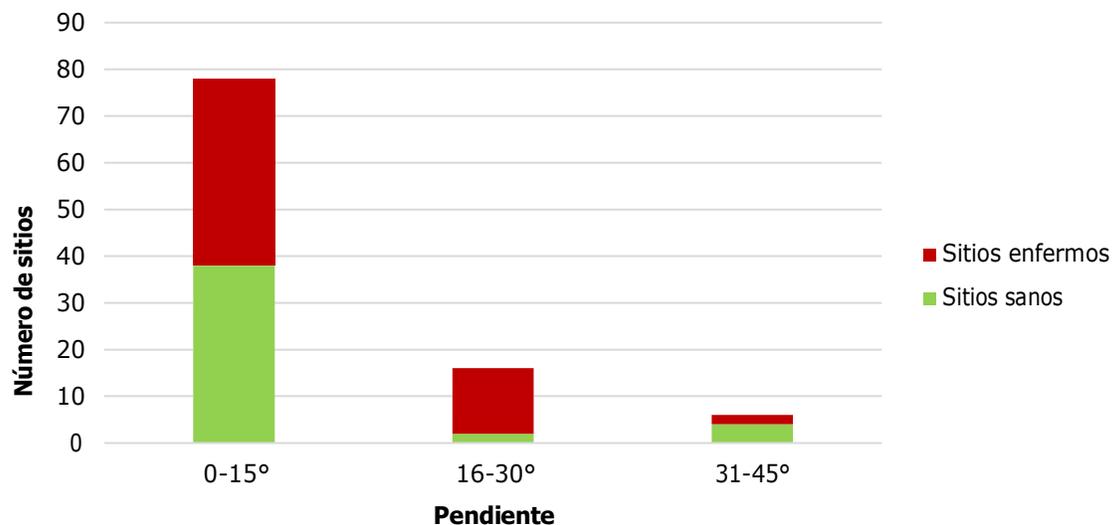


Gráfico 10. Pendientes mayormente afectadas por muérdago. Elaboración propia.

4.3.3. Densidad arbórea

En cuanto a la densidad del bosque, como se mencionó anteriormente el bosque fragmentado es más susceptible al ataque de muérdago aumentando la probabilidad de infestación en sitios con individuos en un rango de ≥ 20 a < 336 individuos por hectárea (gráfico 11).

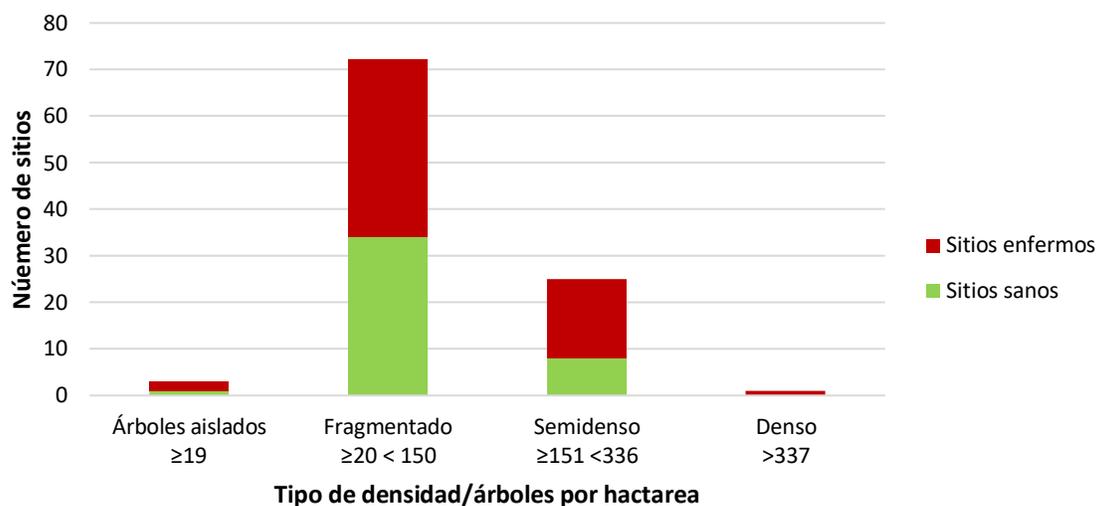


Gráfico 11. Tipo de densidad y afectaciones por muérdago. Elaboración propia.

Como se muestra en el gráfico anterior la fragmentación presenta aproximadamente 50% de sitios enfermos, y poco más del 50% en sitios semidensos, lo que concuerda con lo mencionado anteriormente, la fragmentación es un factor importante porque favorece la infestación contribuyendo al crecimiento de muérdago por mayor incidencia de luz, menor competencia al tener menos arboles vecinos por lo que reciben más recursos hacia los muérdagos.

5. Análisis estadístico en incrementos de los niveles de infestación

Se realizó una prueba de análisis estadístico para determinar los niveles de infestación en los dos periodos 2016-2020 (grafico 12).

Cabe señalar que esta prueba se realizó con aproximadamente 30% de los sitios muestreados, tomando en cuenta solo los sitios con incremento en los niveles de infestación para el periodo 2020, considerando individuos enfermos y sanos en cada sitio. Al realizar dicho análisis se pudo observar que hay un incremento en la media y la mediana.

Debido a la precisión del análisis estadístico, los niveles de infestación muestran una diferencia significativa ($p < -0.05$), incrementando los niveles de infestación hasta un 3% en toda la superficie del ejido.

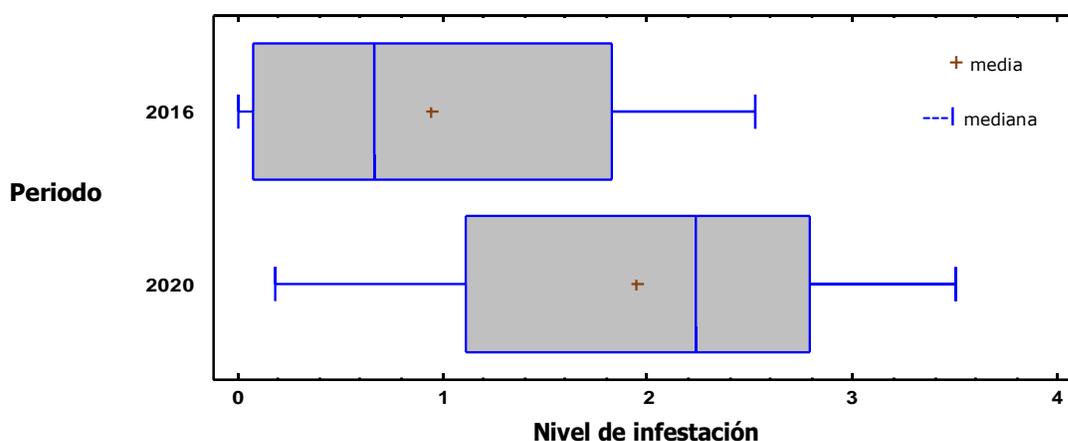


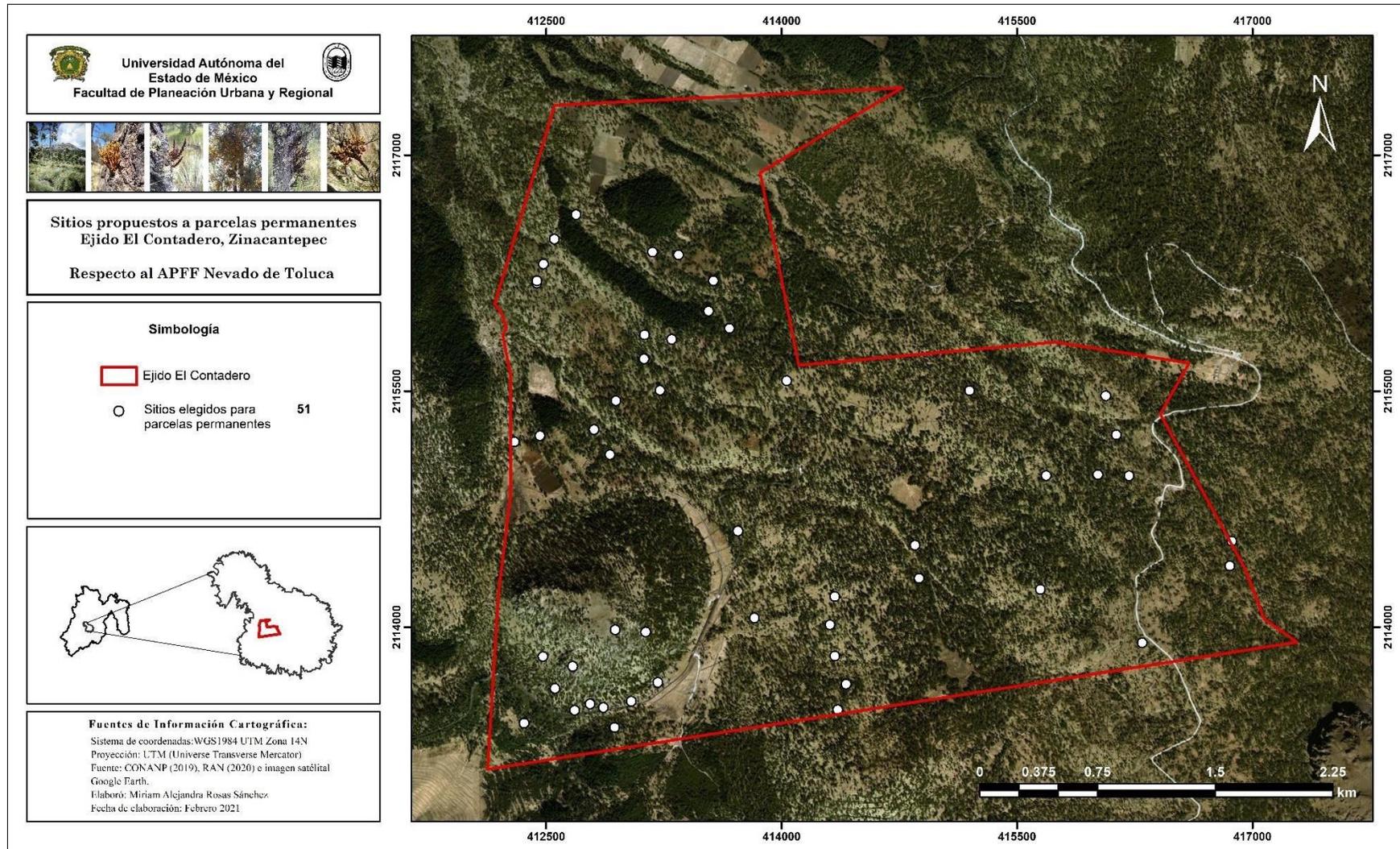
Gráfico 12. Medias y medianas en incremento por niveles de infestación de muérdago 2016-2020.

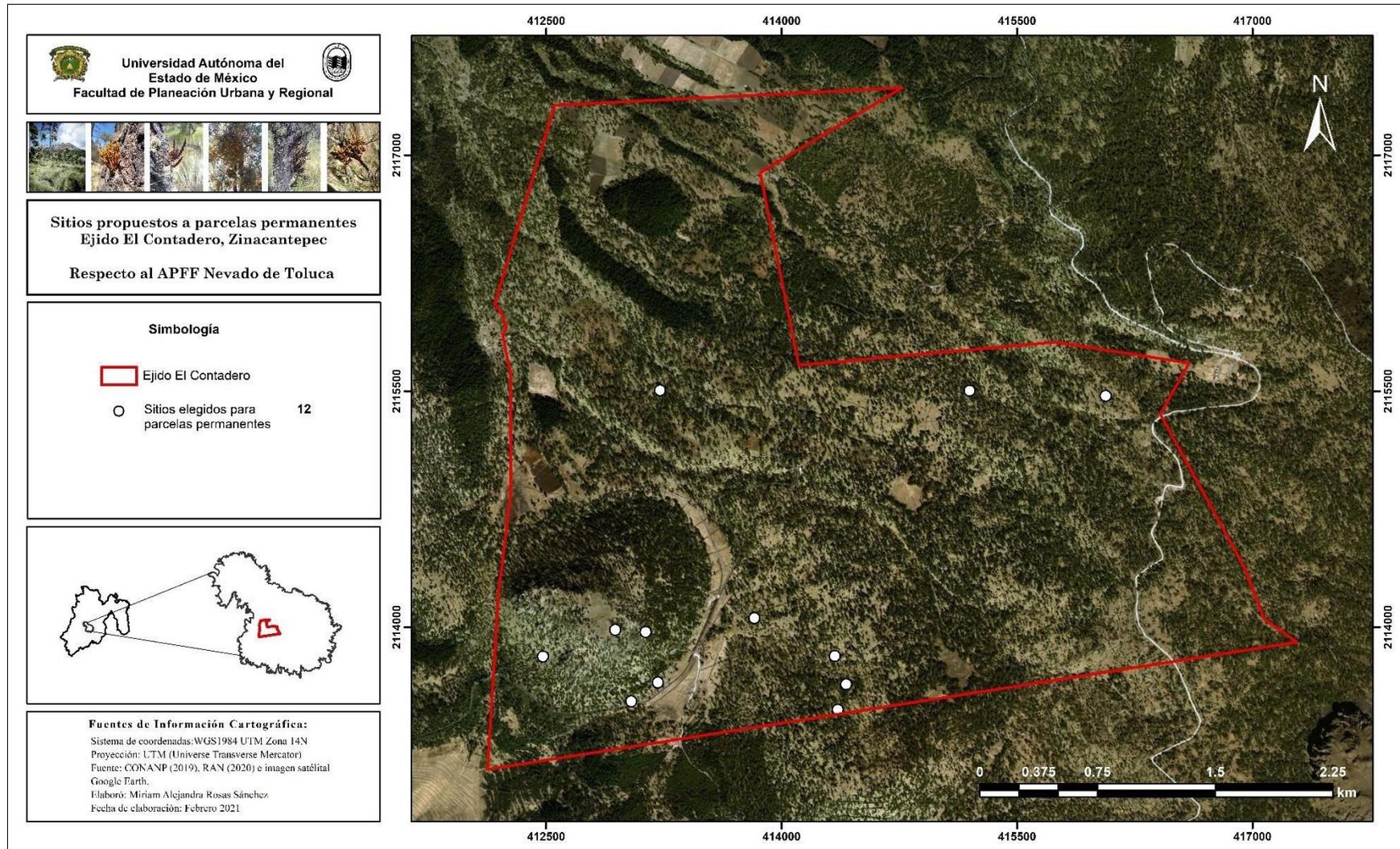
Por lo tanto, los resultados muestran que en las medias y medianas hay un incremento en las superficies del nivel alto, por lo que concuerda que los niveles altos no tienen cambios a niveles bajos, solo aumentan la calificación de este nivel.

6. Establecimiento de parcelas permanentes de muestreo

De acuerdo con los 100 sitios temporales de muestreo, y el análisis anterior permitió conocer la dinámica de los muérdagos enanos, de los cuales el 51% se seleccionaron para su seguimiento (mapa 15), seleccionando solo sitios con incrementos en los niveles de infestación (mapa 16), puesto que así se identificará como es el comportamiento y la dinámica de dichas plantas parásitas.

Estos sitios permanentes están propuestos para el muestreo durante un periodo de aproximadamente dos años, durante las 4 estaciones del año, lo cual permitirá conocer la dinámica y el ciclo de vida de dicho patógeno.





CONCLUSIONES

El muestreo de presencia de muérdago enano en el bosque de pino del ejido El Contadero tuvo como principal objetivo identificar el nivel de infestación a través de un análisis comparativo en el periodo 2016 y 2020, para el cual se determinó el estado fitosanitario del bosque en 2020, a través del trabajo de campo y el uso de sistemas de información geográfica indispensables para el desarrollo de esta investigación.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

1. El ejido el contadero es un bosque secundario con mayor cantidad de superficie fragmentada, lo que lo hace vulnerable al ataque de plantas parásitas, provocando cambios en la estructura del ecosistema y función, presentando aproximadamente 60% de infestación con mayor presencia de muérdago negro.
2. En 2020 el muérdago ocupa gran extensión principalmente en niveles bajos, cabe destacar que los niveles altos aumentaron la extensión territorial en 2%. Las categorías diamétricas más afectadas por muérdago enano van de los 10 a los 40 cm de diámetro. El muérdago amarillo es el más abundante entre los individuos de categorías que van desde los 10 a 60 cm. Los niveles de infestación reducen la superficie por la intervención antrópica, principalmente manejo a través de podas, saneamientos y derribos, por lo que la cara este y noreste del ejido son las más afectadas.
3. Las características de la infestación son principalmente en alturas de 10 a 15 cm, en pendientes medias que van desde los 16 a 30° en las laderas noroeste y sureste del ejido y en bosques fragmentados y semidensos, con poco más de la mitad de los sitios enfermos en cada categoría.

4. Las parcelas permanentes propuestas deben tener seguimiento para identificar el comportamiento, dinámica y ciclo de vida de los muérdagos.

De acuerdo con los resultados de esta investigación se concluye de forma general que la instalación de los sitios temporales de monitoreo, la colecta de datos en campo, el análisis de la información y la generación de la cartografía, son esenciales para precisar un acercamiento a la realidad y tener un análisis más certero para la toma de decisiones encaminadas al manejo, mitigación y/o control del muérdago en este ejido.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con el análisis de los resultados, es necesario realizar el muestreo de las parcelas permanentes establecidas, ya que son dirigidas al estudio de la dinámica y fenología de esta planta parásita, para el manejo adecuado y conservación de los bosques de alta montaña. Por ello se presentan las siguientes recomendaciones:

- Realizar el muestreo en las parcelas permanentes durante las cuatro estaciones del año
- Realizar un análisis de la vulnerabilidad del bosque en las etapas de reproducción, a partir de los datos en campo.
- Difundir la información principalmente a autoridades y bienes comunales encargados de ejido.
- Establecer medidas de prevención (podas y saneamiento), mitigación(cosecha).

BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. (2005). *Plant pathology*. Elsevier Academic Press. Londres. 922 p.
- Agrios, G. (2013). *Fitopatología*. Limusa. México. 838 p.
- Alvis, J. (2009). *Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayan*. 116-122 p. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a13>. Consultado el 14 de julio de 2020.
- Andrade V. y Cibrián T. (1980). *Evaluación de poblaciones de muérdago enano (Arceuthobium globosum Hawks. et Wiends y A. vaginatum Willd.) en bosques de Pinus hartwegii Lindl. en Zoquiapan, Estado de México*. In: Memoria. Primer Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. 18 y 19 de febrero. Uruapan, Mich., México. 238 p.
- Andrade, V. (1981). *Evaluación de poblaciones de muérdago enano (Arceuthobium globosum Hawks y Wiends y A. vaginatum will) en bosques de Pinus Hartweggi Lind.* (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- APG, Angiosperm Phylogeny Group. (2003). *An update of the Angiosperm Phylogeny Group. Classification for the orders and families of flowering plants: APG II*. Botanical Journal of the Linnean Society. 141: 399-436 p.
- Aukema, J. (2003). *Vectors, viscin, and Viscaceae: mistletoes as parasites, mutualists, and resources*. Frontiers in Ecology and the Environment. 1(3): 212-219 p.
- Beaman J. y Andresen J. (1966). *"The vegetation, floristic and phytogeography of the summit of Cerro Potosí, México"*. The American Midland Naturalist, 75:1.
- Bell, T. y Adams, M. (2011). *Attack on all fronts: functional relationships between aerial and root parasitic plants and their woody hosts and consequences for ecosystems*. Tree Physiology 31:3-15.

- BOLFOR y PROMABOSQUE. (1999). *Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs)*. Santa cruz de la sierra, Bolivia.
- BOLFOR. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa cruz de la sierra, Bolivia.
- Campos, J. (1993). *Claves para la determinación de los pinos mexicanos*. México: Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Cedillo, M. (2012). *Distribución espacial y análisis de la presencia de plagas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Cedillo, M. (2017). *Análisis espacial del nivel de infestación por muérdago enano en el bosque de pino del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca*. (Tesis de maestría). Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Cibrián, D., Alvarado, R. y García, D. (2007). *Enfermedades forestales en México/Forest diseases in México*. Universidad Autónoma Chapingo. CONAFOR-SEMARNAT. Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de América del Norte, COFAN, FAO. México. 587 p.
- Colin, S. (2017). *Determinación de las especies de la familia Loranthaceae y Santalaceae en el bosque del Nevado de Toluca*. (Tesis de ingeniería). Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2016). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca*. Primera Edición. México, Ciudad de México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2007). *Manual de sanidad vegetal*. Primera edición. México. 75 p.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). *Sanidad forestal*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/agente-causal-plantas-parasitas>. Consultado el 10 de agosto de 2020.
- Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos. (1917) *Artículo 27. Diario oficial de la federación*. Estados Unidos Mexicanos. México. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf. Consultado el 20 de agosto de 2020.
- Dauber, E. (1995) *Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. BOLFOR: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Bolivia. Recuperado de: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnabx164.pdf. Consultado el 18 de febrero de 2021.
- Der, J. y Nickrent, D. (2008). *A molecular phylogeny of Santalaceae (Santalales)*. Systematic Botany. 33: 107-116 p.
- Endara, A. (2010). *Análisis de los procesos de recuperación en el bosque templado del Parque Nacional Nevado de Toluca*. (Tesis de doctorado). Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 100 p.
- Endara, A., Franco, S., Nava, G., Valdez, J., Fredericksen, T. (2012). *Effect of human disturbance on the structure and generation of forests in the Nevado de Toluca National Park, Mexico*. Journal of Forestry Research 23(1):39-44 p.
- FAO. (2007). *Generalidades de los suelos*. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s01.htm. Consultado el 24 de agosto de 2020
- FAO. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de*

- suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3794es/i3794es.pdf>. Consultado el 24 de agosto de 2020.
- FAO. (2021). *Conjunto de herramientas para la gestión forestal sostenible (GFS). Plagas forestales*. Recuperado de: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-pests/basic-knowledge/es/>. Consultado el 2 de septiembre del 2020.
- Franco, S., Endara, A., Nava, G. (2010). *Estudio fitosanitario forestal del parque nacional nevado de Toluca*. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). Universidad autónoma del estado de México. Toluca, México.
- Franco, S., Regil, H. y Ordoñez, J. (2006). *Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca*. *Madera y Bosques*, 12 (1): 17-28 p.
- Fumanal, S. (2013). *Hospedador u hospedante*. Diversidad virtual. Recuperado de: <https://www.biodiversidadvirtual.org/taxofoto/glosario/1632#:~:text=EI%20hospedador%20primario%20es%20donde,ingreso%20en%20el%20hospedador%20primario>. Consultado el 16 de septiembre de 2020.
- Geils, B. y Hawksworth, F. (2002). *Damage, Effects, and Importance of Dwarf Mistletoes*. En Geils, B., Cibrián, J. y Moody, B. (Eds.), *Mistletoes of North American Conifers*. 57-66 p. Ogden, EUA: USDA Forest Service General Technical Report.
- Hawksworth, F. (1961). *Dwarf mistletoe of ponderosa pine in the Southwest*. Tech Bull 1246. USDA, Washington DC. 112 p.
- Hawksworth, F. (1977). *The 6 class dwarf mistletoe rating system*. USDA. Gen. Tec. Rep. RM-48. Fort Collins, CO. USA. 6 p.

- Hawksworth, F. (1983). *Mistletoes as forest parasites*. In: Calder, M. y P. Bernhardt (eds.). *The biology of mistletoes*. Academic Press. Nueva York. 320-329 p.
- Hawksworth, F. y Wiends, D. (1972). *Biology and classification of dwarf mistletoe (Arceuthobium)*. USDA. Forest Service Department of Agriculture. Washington. 233 p.
- Hawksworth, F. y Wiends, D. (1996). *Dwarf Mistletoes: Biology, Pathology, and Systematics*. Agriculture Handbook. United States Department of Agriculture, Forest Service. Washington, D.C. 410 p.
- Hawley, C. y Smith, M. (1972). *Silvicultura Práctica*. Barcelona, ES, Omega. 544 p.
- Hernández, R., Cano, Z y Castellanos I. (2005). *Incidencia de infestación de Arceuthobium globosum grandicaule (Hawksw. & Wiends) en Pinus hartwegii Lindl.* Revista Ciencias Forestales en México. Enero-junio. 79-86 p.
- ICAR (Instituto de ciencias agropecuarias y rurales). (2017). Universidad autónoma del estado de México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL). (2020). *Conjunto de datos vectorial, Región hidrológica RH18*. Escala 1:500 000. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1975). *Carta geológica*. Escala 1:50,000, Volcán Nevado de Toluca, E14A47. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1976). *Carta edafológica*. Escala 1:50,000, Volcán Nevado de Toluca, E14A47. México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1976). *Carta uso de suelo y vegetación*. Escala 1:250,000 y 1:50,000, Volcán Nevado de Toluca, E14A47 México.

- Kolb E. (2002). *Ecofisiología del parasitismo en el reino vegetal. Plantas Parasitas de la Península Ibérica e Islas Baleares. (Guía de Plantas Parasitarias de la Península Ibérica y Baleares)*. MundiPrensa, Madrid, España.
- Ley Agraria. (2014). *En materia de ordenamiento de la propiedad rural. Artículo 49. Diario oficial de la federación*. Estados Unidos Mexicanos, México. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/13_250618.pdf. Consultado el: 15 de agosto de 2020.
- Louman, B., Quirós, D. y Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central*. Turrialba, CR, CATIE. 265 p.
- Louman, B., Valerio, J., Jiménez, W. 2001. *Bases ecológicas*. Capítulo 2. In *Silvicultura de Bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, CR, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 265 p.
- Madrigal, S., Vázquez, I y Velasco, E. (2007). *Obtención de parámetros dasométricos para evaluar efecto causado por Arceuthobium vaginatum en Pinus hartwegii del Nevado de Colima*. Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 28 al 31 de octubre de 2005. Morelia, Michoacán. 1-7 p.
- Manion, P. (1981). *Tree Disease Concepts*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 409 p.
- Marchal, D. (2009). *El muérdago en la ciudad de México*. Revista Arbolama. Asociación Mexicana de Arboricultura. 10 p.
- Mathiasen, R., Nickrent, D., Shaw, D., y Watson, D. (2008). *Mistletoes. Pathology, systematics, ecology and management*. Publications 1.
- Mayer, H. y Ott, E. (1991) *Gebirgswaldbau, Schutzwaldpflege. Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.

- Morales, M., Vílchez, B., Chazdon, L., Ortega, M., Ortiz, E., Guevara, M. (2012). *Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica*. Costa Rica, Edición Cartajo.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis de ecología vegetal*. Santa cruz de la sierra. Bolivia.
- Nickrent, L. y Musselman, L. (2004). *Introduction to parasitic flowering plants*. En Cházaro-Basañes, M. (2006). *Las plantas parásitas de México; Florística y Fitogeografía*. (Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas). Universidad de Guadalajara. 210 p.
- Osorio, T. (2016). *Documento técnico unificado para el aprovechamiento maderable en predio El Contadero, Municipio de Zinacantepec, Edo. México*. Asesor forestal integral, OSORIO.
- Press, M. y Phoenix, G. (2005). *Impacts of parasitic plants on natural communities*. *The New Phytologist*. 166(3): 737–751p.
- Queijeiro, M., Cano, Z. y Castellanos, I. (2011). *Distribución diferencial de dos especies de muérdago enano sobre Pinus hartwegii en el área natural protegida "Zoquiapan y anexas", Estado de México*. *Acta botánica mexicana*. 96: 49–57 p.
- Queijeiro. M., Cano. Z., y García. G. (2015). *Dinámica temporal de la infestación por muérdago enano (Arceuthobium globosum y A. vaginatum) en Zoquiapan (Parque nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl), México*. CienciaUAT. Área II. Biología y química.
- Ramírez, J., y Porcayo, E. (2017). *Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (Arceuthobium sp.) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México*. *BOSQUE*, 31(1), 28-38 p. doi:10.4067/S0717-92002010000100004.
- Rey, L., Sadik, A., Fer, A. y Renaudin, S., (1991). *Trophic relations of the dwarf mistletoe Arceuthobium oxycedri with its host Juniperus oxycedrus*. *Jour. Plant Physiology* 138: 411-416 p.

- Rham, P. y Mancero, L. (2009). *Monitoreo y evaluación de acción de desarrollo orientadas al impacto*. Series metodologías y casos ASOCAM. 14 p.
- Robinson, D. y Geils, B. (2006). *Modelling dwarf mistletoe at three scales: life history, ballistics and contagion*. *Ecological Modelling*. 199(1): 23–38 p.
- Rodríguez, A. (1983). *Muérdago enano sobre Abies, Pinus y Pseudotsuga de México*. *Revista Ciencias Forestales* 45(8): 7-45 p.
- Rzedowski y colaboradores. (2005). *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., 1ª reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp. *Revista Ciencias Forestales* 45(8): 7-45 p.
- Rzedowski, G. y Rzedowski, J. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, Michoacán. 1406 p.
- SEMARNAT (2019). *Sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales. Informe del medio ambiente. Ecosistemas terrestres*. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap2.html>. Consultado el 8 septiembre del 2020.
- Servicio geológico mexicano (SGM). (2017). *Depósitos piroclásticos y rocas piroclásticas*. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgosecologicos/Depositos-piroclasticos-y-rocas.html>. Consultado el 24 de agosto de 2020.
- Shaw, D., Chen, J., Freeman, E., y Braun, D. (2005). *Spatial and population characteristics of dwarf mistletoe infected trees in an old-growth Douglas-fir western hemlock forest*. *Canadian Journal of Forest Research*. 35: 990–1001p.
- Sibson, R. (1981). *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation*. Capítulo 2 de *Interpolating Multivariate Data*, 21–36. John Wiley & Sons: Nueva York.

- Universidad de Navarra. (2020). *Diccionario médico, Hospedador*. Recuperado de: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/hospedador>. Consultado el 12 de octubre de 2020.
- Vázquez, I. (1993). *Contribución al conocimiento del muérdago verdadero (Psittacanthus spp.) en México*. Boletín Técnico. No. 11. CIPAC. INIFAP. SARH. Uruapan, Michoacán. México. 41 p.
- Vázquez, I. y Geils, B. (2002). *Loranthaceae and Viscaceae in North America. Mistletoes of North American conifers*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. USA. 1-8 p.
- Vázquez, I., Villa, A. y Madrigal, S. (2006). *Los muérdagos (Loranthaceae) en Michoacán*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Uruapan, Michoacán. 93 p.
- Verduzco, J. (1976). *Protección Forestal*. Ed. Patena. Chapingo, México. 369 p.
- Watson, D. (1992). *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Pergamon Press: Londres.
- Westwood, J., Yoder J., Timko, M., y dePamphilis, C. (2010). *The evolution of parasitism in plants*. Trends in Plants Science 15(4):227-235 p.
- Zuber, D. (2004). *Biological flora of Central Europe: Viscum album L. Flora. Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. Volume 199*. 181-203 p.
- Zúniga, J. (2020). *Incidencia de plagas y enfermedades en el bosque de Pinus hartwegii en el APFF Nevado de Toluca, México, y su relación con factores ambientales y ecológicos*. (Tesis de maestría). Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica.