



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Maestría de Profesionalización en Gestión del
Recurso Forestal con Enfoque en Cuencas
Hidrográficas.

Trabajo de Tesis

Evaluación del daño causado por el gorgojo
descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis*
Zimmermann) en dos fincas de la Reserva Natural
Serranía Dipilto-Jalapa

Autor

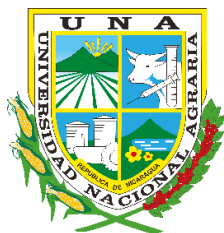
Ing. Isaac Antonio Lozano Martínez

Asesor

MSc. Santos David Romero

Managua, Nicaragua

Julio, 2026



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Maestría de Profesionalización en Gestión del
Recurso Forestal con Enfoque en Cuencas
Hidrográficas.

Trabajo de Tesis

Evaluación del daño causado por el gorgojo
descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis*
Zimmermann) en dos fincas de la Reserva Natural
Serranía Dipilto-Jalapa

Autor

Ing. Isaac Antonio Lozano Martínez

Asesor

MSc. Santos David Romero

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Maestro de Profesionalización en Gestión del Recurso
Forestal con Enfoque en Cuencas Hidrográficas.

Managua, Nicaragua
Julio, 2026



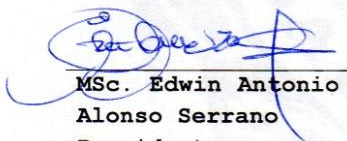
**AVAL DE APROBACIÓN PARA EL DOCUMENTO FINAL
DE LA FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS**

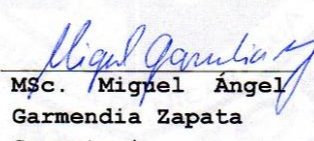
Los suscritos miembros del Comité Evaluador de la Tesis titulada: "Evaluación del daño causado por el gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frantalis* Zimmerman) en dos Fincas de la Reserva natural serranía Dipilto-Jalapa" presentada por el estudiante Isaac Antonio Lozano Martínez, identificado con el código único de persona 631B34C0, cédula 481-161174-0002W y carné 161174 para optar al título de Maestría de profesionalización en Gestión de Recurso Forestal con Enfoque en Cuencas Hidrográficas de la Universidad Nacional Agraria (UNA), hacemos constar que:

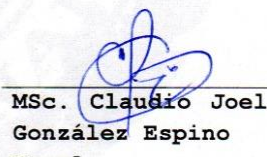
Después de haber revisado el documento final y presenciado la defensa pública realizada en la fecha 31 del mes de julio del año 2026, consideramos que el trabajo cumple con los requisitos académicos y metodológicos establecidos por la UNA.

En consecuencia, este Comité Evaluador emite su **AVAL DE APROBACIÓN**, recomendando que el documento sea aceptado oficialmente y que se continúe con los trámites correspondientes para la obtención del título académico.

En constancia de lo anterior, firmo en Managua, a los 6 días del mes de octubre del año 2026.


MSc. Edwin Antonio
Alonso Serrano
Presidente
CUP: 617C0A84
Cédula: 001-051273-
0093L


MSc. Miguel Ángel
Garmendia Zapata
Secretario
CUP: 600D4C66
Cédula: 281-150679-
0004J


MSc. Claudio Joel
González Espino
Vocal
CUP: 6A75D5F1
Cédula: 401-
240385-0004N

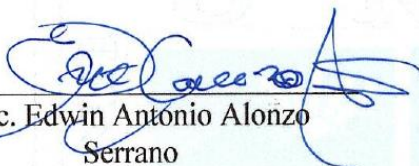
Universidad líder en ciencias agrarias!

Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

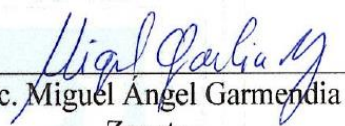
Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático como requisito final para optar al título profesional de:

Maestría de Profesionalización en Gestión del Recurso Forestal con Enfoque en
Cuencas Hidrográficas

Miembros del Comité Evaluador



MSc. Edwin Antonio Alonzo
Serrano
Presidente



MSc. Miguel Ángel Garmendia
Zapata
Secretario



MSc. Claudio Joel González Espino
Vocal

Managua, Nicaragua, 31/julio/2026

DEDICATORIA

A mí mismo, por nunca rendirme a pesar de mis debilidades y por llenarme de valor, voluntad para afrontar los retos de la vida y continuar luchando día a día para ser mejor persona, mejor profesional.

A mis Padres Cristóbal Lozano Rubio (q.e.p.d) y Zoraida Martínez Marín que siempre me han brindado su apoyo, amor y ejemplo.

Isaac Antonio Lozano Martínez.

AGRADECIMIENTO

A Dios Padre todopoderoso que nunca me ha abandonado y me ha llenado de innumerables bendiciones en mi vida personal y profesional con su inmenso amor y misericordia.

Isaac Antonio Lozano Martínez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
Temperatura media anual (2012–2016) en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
Mapa de infraestructura finca San Jorge	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Cobertura forestal en nicaragua y su importancia ecológica	4
3.2 Especies de pino afectados por el gorgojo descortezador del pino	4
3.3 Clasificación taxonómica	5
3.4 Insectos descortezadores del pino: biología, especies y relevancia forestal	5
3.5 Daños causados por el gorgojo descortezador del pino.	6
3.6 Factores predisponentes.	6
3.7 Ciclos de brotes históricos en nicaragua	6
3.8 Importancia económica del gorgojo descortezador del pino.	7
3.9 Métodos de manejo y control del descortezador	8
3.10 Métodos de control directo	8
a. Corte y eliminación de árboles infestados (tumba y quema)	8
b. Corte y aprovechamiento inmediato	8
c. Aplicación de productos químicos en casos puntuales	9
3.11 Métodos de control indirecto	9
a. Prevención de incendios forestales	9

b. Monitoreo sistemático de rodales susceptibles	9
3.12 Características forestales del municipio de Mozonte.	10
3.13 La Reserva natural serranía Dipilto – Jalapa: contexto territorial y ecológico	10
3.14 Biodiversidad de la reserva y su relevancia en la conservación nacional	11
3.15 Importancia hidrológica de la reserva	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	12
4.1. Ubicación del estudio	12
4.2. Diseño metodológico	12
4.3. Manejo del ensayo y metodología	14
Etapas 1. Obtención y verificación de información institucional	14
Etapas 2. Aplicación y análisis de entrevistas	14
Etapas 3. Planificación del trabajo de campo	15
Etapas 4. Delimitación y georreferenciación de brotes	15
Etapas 5. Cuantificación del daño en árboles	16
Etapas 6. Estimación del volumen afectado, aprovechado y perdido	17
4.4. Recolección de datos	18
4.5. Notificación y activación del proceso institucional	18
4.6. Inspección técnica de campo	19
4.7. Procedimiento para la aprobación del plan de saneamiento forestal	19
4.8. Variables evaluadas	19
4.8.1 Número de árboles afectados	19
4.8.2 Número de brotes detectados	20
4.8.3 Área total afectada(ha)	20
4.8.4 Volumen afectado (m³) en las categorías:	20
4.8.5 Volumen aprovechado(m³)	20
4.8.6 Volumen perdido(m³)	20
4.9. Análisis de datos	20
4.9.1 Actividades de control de la plaga	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1 Análisis de las fincas afectadas	24
a. Superficie total y área afectada	24
b. Distribución de la afectación por finca	24
c. Volumen maderable afectado, aprovechado y perdido	24
d. Número y distribución de brotes	24
e. Síntesis de la afectación	24

5.2 Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada	25
a. Impacto económico de la madera no aprovechada	26
b. Valor económico total y principales componentes	26
c. Costos operativos del manejo de la plaga	27
d. Síntesis del impacto económico	27
5.3 Temperatura media anual durante el período 2012–2016.	27
5.4. Humedad relativa media anual durante el período 2012–2016.	29
5.5 Precipitación media anual durante el período 2012–2016.	30
5.6 Condiciones estructurales del bosque y distribución de los brotes	31
5.7 Medidas de control y resultados del saneamiento forestal	32
5.8 Caracterización general de la afectación	32
5.9 Número de brotes y área afectada	32
5.10 Número de árboles afectados y severidad del daño	33
5.11 Volumen maderable afectado, aprovechado y perdido	33
5.12 Análisis espacial de brotes y factores asociados a la severidad del daño	34
5.13 Influencia de factores estructurales y disturbios previos	34
5.14 Eficiencia de las acciones de control	35
5.15 Etapas de aprobación de los planes de saneamientos	35
a. Finca Sitio Ramos 2	35
b. Finca San Jorge	36
5.16 Análisis Comparativo	36
5.17 Principales limitaciones identificadas	36
VI. CONCLUSIONES	38
VII. RECOMENDACIONES	39
VIII. LITERATURA CITADA	41
IX. ANEXOS	43
Cuadro 2. Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada	52

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Análisis de datos fincas afectadas	23
2. Desglose de costos asociados a la madera no aprovechada	51
3. Temperatura media anual entre los años 2012 al año 2016	51
4. Temperatura máxima media entre los años 2012 al año 2016	52
5. Temperatura mínima media entre los años 2012 al año 2016	52
6. Humedad relativa media entre los años 2012 al año 2016	52
7. La precipitación media anual entre los años 2012 al año 2016	53
8. Precipitación anual máxima absoluta entre los años 2012 al año 2016.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada.	25
2. Temperatura media anual (2012–2016) en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.	27
3. Humedad relativa media anual durante el período 2012–2016 en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.	28
4. Precipitación media anual durante el período 2012–2016 en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.	30

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Mapa forestal finca San Jorge	42
2. Mapa de protección finca San Jorge	43
3. Mapa de infraestructura finca San Jorge	44
4. Mapa cartográfico finca San Jorge	45
5. Mapa forestal finca Sitio Ramos 2	46
6. Mapa de protección finca Sitio Ramos 2	47
7. Mapa de infraestructura finca Sitio Ramos 2	48
8. Mapa cartográfico finca Sitio Ramos 2	49
9. Entrevista a productores	50

RESUMEN

La investigación se desarrolló durante el período 2015–2016 en dos fincas forestales ubicadas en las comunidades de Achuapa Arriba y Quisulí Arriba, municipio de Mozonte, departamento de Nueva Segovia, dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa, Nicaragua. El área de estudio abarcó una superficie total de 395.61 hectáreas. El objetivo fue evaluar el daño ocasionado por la incidencia del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) en dos fincas afectadas por brotes registrados durante 2015 y 2016. Se analizaron variables relacionadas con la magnitud y severidad de la infestación, tales como número de árboles afectados, área total afectada, número de brotes detectados, volumen de madera afectado, aprovechado y perdido, y los costos económicos asociados. El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, sustentado en información institucional, verificaciones de campo, entrevistas y revisión documental. Los resultados evidenciaron una superficie total infestada de 66.45 hectáreas en ambas fincas evaluadas. En la finca Sitio Ramos 2 se registró mortalidad total de los árboles infestados, predominando individuos con diámetros mayores a 20 cm; en la finca San Jorge, aunque la infestación también fue total, la severidad del daño y el área afectada fueron menores. El análisis de variables climáticas indicó que la humedad relativa, la temperatura y la precipitación influyen en el comportamiento poblacional del gorgojo. Se observó que las temperaturas elevadas favorecieron el incremento y la expansión de las infestaciones de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, especialmente en condiciones de estrés hídrico y baja precipitación, factores que debilitan fisiológicamente a los pinos y aumentan su susceptibilidad al ataque. Se constató una pérdida significativa de volumen maderable e impactos económicos negativos para los propietarios forestales. Asimismo, la respuesta tardía ante los brotes influyó en la magnitud de los daños registrados. Los resultados aportan información relevante para la toma de decisiones orientadas al manejo forestal sostenible y la conservación de los bosques de pino en Nueva Segovia.

Palabras clave: mortalidad, infestación, brotes, variables climáticas, manejo forestal.

ABSTRACT

The research was conducted during the 2015–2016 period in two forest farms located in the communities of Achuapa Arriba and Quisulí Arriba, municipality of Mozonte, department of Nueva Segovia, within the Dipilto–Jalapa Mountain Range Natural Reserve, Nicaragua. The study area covered a total surface of 395.61 hectares. The objective was to evaluate the damage caused by the incidence of the southern pine beetle (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) in two farms affected by outbreaks recorded during 2015 and 2016. Variables related to the magnitude and severity of the infestation were analyzed, including the number of infested trees, total affected area, number of detected outbreaks, affected, utilized, and lost timber volume, as well as the associated economic costs. The study was developed under a descriptive approach, based on institutional information, field verification, interviews, and documentary review. The results showed a total infested area of 66.45 hectares in both evaluated farms. In the Sitio Ramos 2 farm, total mortality of infested trees was recorded, predominating individuals with diameters greater than 20 cm; in the San Jorge farm, although the infestation was also total, the severity of damage and the affected area were lower. The analysis of climatic variables indicated that relative humidity, temperature, and precipitation influence the population behavior of the southern pine beetle. High temperatures were observed to favor the increase and spread of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann infestations, especially under conditions of water stress and low precipitation, factors that physiologically weaken pine trees and increase their susceptibility to attack. A significant loss of timber volume and negative economic impacts for forest owners were confirmed. Likewise, the delayed response to outbreaks influenced the magnitude of the recorded damage. The results provide relevant information for decision-making aimed at sustainable forest management and the conservation of pine forests in Nueva Segovia.

Keywords: mortality, infestation, outbreaks, climatic variables, forest management.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques de pinos constituyen uno de los recursos forestales de mayor valor económico a nivel mundial, debido a su amplia utilización en la industria maderera, la producción de celulosa, papel, resinas y la construcción. Además, estos sistemas naturales brindan servicios ecosistémicos esenciales, como la protección de cuencas hídricas, la conservación de suelos, la captura de carbono y la regulación climática, así como el soporte de actividades económicas complementarias como el turismo y la recolección de productos no maderables. En consecuencia, cualquier perturbación que afecte su sanidad genera impactos significativos tanto en la economía como en el equilibrio ambiental (FAO, 2018; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Pan et al., 2011).

Entre las principales amenazas para estos bosques se encuentra el gorgojo descortezador del pino, considerado una de las plagas forestales más destructivas. Aunque cumple un papel ecológico al eliminar árboles debilitados, durante brotes epidémicos provoca mortalidad masiva, reduce la disponibilidad y calidad de la madera, interrumpe los ciclos productivos forestales y genera pérdidas económicas considerables. Asimismo, incrementa los costos de control y manejo, y afecta servicios ecosistémicos claves (Wood, 1982; FAO, 2007; Raffa et al., 2008).

En las últimas décadas, los brotes de gorgojo descortezador se han intensificado a nivel mundial, particularmente en América del Norte y Centroamérica, asociados a factores como el aumento de la temperatura y periodos prolongados de sequía. En este sentido, el cambio climático ha favorecido la expansión, persistencia e intensidad de la plaga (Logan et al., 2003).

En Nicaragua, los ataques del gorgojo descortezador han sido recurrentes desde la década de 1960, registrándose brotes severos en diferentes periodos. Especies del género *Dendroctonus*, especialmente *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, han ocasionado importantes pérdidas económicas en los bosques de pino. Un caso relevante ocurrió entre 2001 y 2002 en el departamento de Nueva Segovia, donde se reportaron más de 32,000 hectáreas afectadas (INAFOR, 2002).

A pesar de estos antecedentes, existe una limitada disponibilidad de estudios que cuantifiquen y analicen de manera específica el impacto del gorgojo descortezador en áreas particulares como el municipio de Mozonte. Esta brecha de información dificulta la comprensión de la magnitud del daño, así como de los factores que influyen en la ocurrencia y severidad de los brotes, entre ellos el manejo forestal y la variabilidad climática.

En este contexto, durante los años 2015 y 2016 se registraron brotes del gorgojo descortezador en dos fincas ubicadas dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa, los cuales ocasionaron pérdidas económicas, disminución de la cobertura forestal y afectación de los beneficios ambientales que estos bosques proporcionan. Sin embargo, dichas afectaciones no han sido evaluadas ni sistematizadas de manera técnica.

Por lo anterior, la presente investigación tiene como propósito evaluar el daño causado por *Dendroctonus frontalis* Zimmermann en estas fincas, con el fin de generar información que contribuya a la comprensión de la dinámica de la plaga y apoye la toma de decisiones en el manejo forestal. Asimismo, busca aportar insumos para la prevención, control y mitigación de futuros brotes, fortaleciendo la gestión sostenible y la resiliencia de los ecosistemas de pino en la región.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los daños ocasionados por el gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) en dos fincas de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa durante el periodo 2015–2016, con el fin de generar información técnica que fortalezca el manejo sostenible de los bosques de pino.

2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar las áreas afectadas por la incidencia de la plaga del gorgojo descortezador del pino en dos fincas forestales ubicadas en la Reserva Natural Serranía Dipilto-Jalapa.
- Estimar la cantidad de árboles afectados, el número de brotes y el volumen de madera afectado por el gorgojo descortezador del pino.
- Determinar los costos económicos asociados a la pérdida de madera afectada por el gorgojo descortezador del pino que no fue susceptible de aprovechamiento forestal.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Cobertura forestal en nicaragua y su importancia ecológica

Nicaragua posee una importante diversidad de ecosistemas forestales, con una cobertura aproximada del 25 % del territorio nacional (3,254,14 ha), de la cual el 98 % corresponde a bosques naturales y el 2 % a plantaciones forestales (INAFOR, 2009). Esta predominancia de bosques naturales resalta la importancia de los procesos ecológicos en la estabilidad de los ecosistemas, particularmente en las zonas montañosas del norte del país.

El bosque latifoliado constituye el ecosistema dominante (87 %), seguido por los bosques de coníferas (12 %), mientras que otros ecosistemas como manglares y bosques mixtos presentan menor extensión (INAFOR, 2009). Estos ecosistemas proveen servicios ambientales clave, entre ellos la regulación hídrica, captura de carbono, conservación de la biodiversidad y provisión de recursos forestales.

La dinámica de los bosques en Nicaragua ha estado influenciada tanto por actividades antrópicas, como la expansión de la frontera agrícola y el aprovechamiento no sostenible, como por factores naturales, incluyendo incendios, sequías y plagas forestales. Estos últimos tienen particular relevancia en los bosques de pino, donde afectan la estructura, composición y productividad del ecosistema.

3.2 Especies de pino afectados por el gorgojo descortezador del pino

Los gorgojos descortezadores del género *Dendroctonus*, en particular *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, constituyen una de las principales plagas forestales en bosques de coníferas, debido a su capacidad de colonizar diversas especies del género *Pinus* y provocar altos niveles de mortalidad. En América Central, se ha documentado su incidencia en especies como *Pinus oocarpa* Schiede, *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea*, afectando la productividad y calidad de la madera hospedante (Billings & Espino Mendoza, 2005).

En el área de estudio predomina *Pinus oocarpa* Schiede, especie ampliamente distribuida en regiones tropicales de Mesoamérica y adaptada a condiciones de clima subhúmedo. En

Nicaragua, se localiza principalmente en la zona norte del país, donde constituye un recurso forestal de importancia ecológica y económica (INAFOR, 2009).

Desde el punto de vista fitosanitario, *Pinus oocarpa* Schiede presenta una resistencia relativa a ciertos agentes bióticos; sin embargo, es susceptible al ataque de gorgojos descortezadores bajo condiciones de estrés ambiental, lo que puede derivar en brotes severos y pérdida significativa de cobertura forestal (Perry, 1991; FAO, 1995).

3.3 Clasificación taxonómica

- Reino: Animalia
- Filo: Arthropoda
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: Curculionidae
- Subfamilia: Scolytinae
- Género: *Dendroctonus*
- Especie: *frontalis* (European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO], 2002).

3.4 Insectos descortezadores del pino: biología, especies y relevancia forestal

Los descortezadores son insectos pertenecientes principalmente a la subfamilia Scolytinae, caracterizados por alimentarse del cambium vascular y la corteza interna de los árboles. Este comportamiento interrumpe el flujo de agua y nutrientes, debilitando progresivamente al hospedero hasta provocar su muerte en infestaciones severas.

El género *Dendroctonus* constituye uno de los grupos de mayor importancia forestal en los pinares de América debido a su impacto económico y ecológico. En Nicaragua se han registrado especies como *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, *D. mexicanus*, *D. adjunctus* y *D. parallellocollis* (Dávila, s. f.; Billings, 2005), siendo *Dendroctonus frontalis* Zimmermann la especie de mayor relevancia por su capacidad de generar brotes epidémicos en la región.

Los adultos de esta especie suelen colonizar árboles debilitados por factores como sequías, alta densidad del rodal, incendios, daños mecánicos o estrés fisiológico. Una vez establecido el ataque, la reproducción y agregación de los individuos favorece la rápida expansión del brote, lo que incrementa significativamente la mortalidad del bosque en periodos cortos.

3.5 Daños causados por el gorgojo descortezador del pino.

El gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann ocasiona daños severos en los ecosistemas de pino al colonizar masivamente árboles hospedantes del género *Pinus*, afectando su fisiología y provocando mortalidad elevada. Durante el proceso de infestación, los adultos perforan la corteza y forman galerías en el floema y cambium, interrumpiendo el flujo de agua y nutrientes, lo que conduce al debilitamiento progresivo del árbol.

El daño se intensifica por la asociación con hongos simbios, principalmente del género *Ophiostoma*, los cuales contribuyen al bloqueo vascular y reducen la capacidad de defensa del hospedero.

A nivel de rodal, los brotes epidémicos provocan pérdida de cobertura forestal, alteración de la estructura del bosque e incremento del riesgo de incendios debido a la acumulación de material muerto. Asimismo, generan impactos ecológicos y económicos al afectar servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, captura de carbono y biodiversidad (Coulson & Klepzig, 2011; Raffa et al., 2008).

3.6 Factores predisponentes.

El establecimiento y expansión de brotes del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann están asociados a una combinación de factores ambientales, biológicos y de manejo forestal que debilitan a los árboles hospedantes. Entre los principales factores predisponentes se incluyen condiciones de estrés hídrico, altas densidades del rodal, temperaturas elevadas y perturbaciones como incendios o daños mecánicos, los cuales reducen la capacidad de defensa del árbol y facilitan su colonización. Estas condiciones favorecen la sincronización de ataques masivos y la rápida expansión de los brotes dentro del bosque (Fettig et al., 2007; Raffa et al., 2008).

3.7 Ciclos de brotes históricos en nicaragua

En Nicaragua se han registrado episodios de infestaciones severas en bosques de pino durante los periodos 1964–1966, 1975–1977, 1984–1985, 1992–1993 y 1999–2001, asociados principalmente a insectos del orden Coleóptera, especialmente del género *Dendroctonus frontalis*

Zimmerman. Estos eventos han generado pérdidas significativas en la cobertura forestal y en la productividad de los ecosistemas de pino del país.

A nivel general, también se han reportado otros insectos defoliadores y herbívoros, aunque con menor impacto en comparación con los descortezadores. Entre los insectos defoliadores más relevantes se encuentran especies como el gusano defoliador del pino (*Prorifrons* sp.), que reduce el área foliar y debilita el crecimiento de los árboles mediante la pérdida de acículas (Sediles & Zúñiga, 2001). De igual forma, la langosta gigante del pino (*Tropidacris* sp.) puede ocasionar defoliación en condiciones favorables de proliferación, afectando la cobertura vegetal en áreas forestales (OIRSA, 2024).

La identificación y caracterización de insectos forestales en Nicaragua aún presenta limitaciones, ya que solo una fracción de las especies reportadas como plagas corresponde a organismos que afectan directamente los bosques (Dávila, s. f.). Esta situación dificulta la implementación de estrategias de manejo más precisas y aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas forestales.

En conjunto, las plagas forestales de mayor relevancia en los pinares del país están dominadas por insectos defoliadores y descortezadores, siendo estos últimos los de mayor impacto económico y ecológico, debido a su capacidad de provocar mortalidad masiva en árboles.

3.8 Importancia económica del gorgojo descortezador del pino.

El gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann constituye una de las plagas forestales de mayor impacto en ecosistemas de pino, debido a su capacidad de provocar mortalidad masiva de árboles y, en consecuencia, pérdidas significativas de volumen maderable. En Nicaragua, brotes registrados entre 1999 y 2001 afectaron aproximadamente 32,359 ha de bosque, con pérdidas cercanas a 3 millones de m³ de madera en pie y un impacto económico estimado en 38.9 millones de dólares, evidenciando la magnitud del daño sobre la producción forestal (López Zeledón & Toledo Marín, 2005).

A nivel regional, se han reportado pérdidas superiores a 95 millones de dólares asociadas a la disminución del volumen aprovechable, así como afectaciones a actores de la cadena forestal, incluyendo productores, transportistas e instituciones públicas (Flores & Gutiérrez, 2002).

En el contexto internacional, los brotes de escarabajos descortezadores han generado pérdidas acumuladas de gran escala, afectando los ingresos del sector forestal y la estabilidad económica de los productores (Pye et al., 2011).

Estas afectaciones no se limitan a la pérdida directa de madera comercializable, sino que también inciden en la reducción de ingresos fiscales, la disminución del empleo vinculado a las actividades forestales y el deterioro de la dinámica económica local, lo que refuerza la necesidad de evaluar cuantitativamente el daño generado por esta plaga.

3.9 Métodos de manejo y control del descortezador

Los programas de control de descortezadores generalmente combinan medidas directas e indirectas para reducir la mortalidad de árboles y prevenir la expansión de los brotes. (Billings y Flores (1996) identifican dos enfoques principales:

3.10 Métodos de control directo

Los métodos de control directo del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann se enfocan en intervenir árboles infestados con el propósito de interrumpir su ciclo biológico y limitar la propagación hacia individuos sanos. Estas acciones actúan principalmente sobre las fases larvales y adultos presentes en la corteza, contribuyendo a reducir la población del insecto. Entre los métodos más utilizados se encuentran:

a. Corte y eliminación de árboles infestados (tumba y quema)

Este método consiste en la eliminación de árboles infestados mediante su derribo y quema controlada, con el fin de destruir las fases inmaduras del insecto e impedir la emergencia de nuevos adultos. Su efectividad depende principalmente de la detección oportuna y del manejo adecuado de los residuos.

b. Corte y aprovechamiento inmediato

Consiste en el corte y aprovechamiento de la madera infestada antes de su deterioro, con el fin de reducir pérdidas económicas y contribuir al control del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann. Su efectividad depende de la detección oportuna y del manejo adecuado para evitar la dispersión del insecto.

c. Aplicación de productos químicos en casos puntuales

Consiste en el uso selectivo de insecticidas para proteger árboles individuales de alto valor, cuando otras medidas no son viables. Su efectividad depende de una aplicación oportuna y adecuada, por lo que se recomienda únicamente en situaciones específicas debido a su costo y posibles impactos ambientales.

La combinación de estos métodos, en el marco del manejo integrado de plagas, permite reducir la población del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, limitar su propagación y disminuir las pérdidas económicas. La selección de las estrategias de control depende de las condiciones del rodal y del nivel de infestación.

3.11 Métodos de control indirecto

Los métodos de control indirecto buscan reducir la susceptibilidad de los rodales forestales mediante el fortalecimiento de la resistencia natural del bosque y la disminución de factores de estrés que favorecen la infestación del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann. Estos enfoques actúan sobre las condiciones del ecosistema para limitar la reproducción y dispersión de la plaga.

a. Prevención de incendios forestales

La prevención de incendios forestales contribuye a reducir el estrés en los rodales y, por tanto, la susceptibilidad de los árboles al ataque del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann. Estas medidas ayudan a mantener el vigor del bosque y a disminuir condiciones que favorecen la infestación de plagas.

b. Monitoreo sistemático de rodales susceptibles

El monitoreo sistemático permite detectar oportunamente la presencia del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, identificar su distribución y evaluar la efectividad de las medidas de manejo. Este enfoque constituye una base para la toma de decisiones en el manejo forestal, al facilitar la priorización de áreas de intervención y la planificación de acciones de control.

3.12 Características forestales del municipio de Mozonte.

El municipio de Mozonte, en el departamento de Nueva Segovia, Nicaragua, se ubica en una zona montañosa caracterizada por la presencia de extensas áreas de bosques de pino. Estos ecosistemas incluyen formaciones en diferentes estados de desarrollo, como pino cerrado, pino abierto y áreas de regeneración natural (INAFOR/AMUNSE, 2008).

Estos bosques constituyen un recurso forestal de importancia ecológica y productiva para la región, debido a su potencial para el manejo forestal sostenible y la producción maderera. Sin embargo, presentan alta vulnerabilidad a factores bióticos y abióticos, particularmente al ataque de insectos descortezadores del género *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, lo que representa un desafío para su conservación y aprovechamiento sostenible. (INAFOR/AMUNSE, 2008).

Las condiciones ambientales del municipio, como la variabilidad climática, la incidencia de sequías, la acumulación de material combustible y la alta densidad de rodales, influyen en la susceptibilidad de los pinares al ataque de plagas forestales (INAFOR/AMUNSE, 2008).

3.13 La Reserva natural serranía Dipilto – Jalapa: contexto territorial y ecológico

La Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa se localiza en el norte de Nicaragua, dentro de la cuenca del río Coco, abarcando territorios de los municipios de Dipilto, Mozonte, San Fernando y Jalapa. Fue declarada área protegida mediante el Decreto 42-91, debido a su importancia ecológica, hidrológica y forestal.

Esta serranía constituye una de las principales formaciones montañosas del país y se caracteriza por la presencia de ecosistemas de pino y bosque nuboso, los cuales cumplen funciones ecológicas relevantes en la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad.

Las condiciones topográficas, geológicas y climáticas de la zona favorecen el desarrollo de bosques de pino, aunque también influyen en la susceptibilidad de estos ecosistemas a factores de estrés ambiental y al ataque de plagas forestales, particularmente del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann (Plan Manejo RN Serranías Dipilto – Jalapa 2008).

3.14 Biodiversidad de la reserva y su relevancia en la conservación nacional

La Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa presenta una cobertura significativa de bosques relativamente poco intervenidos, principalmente pinares, además de bosques latifoliados y formaciones de transición. Esta diversidad de ecosistemas sustenta una alta riqueza biológica, lo que le confiere un valor importante para la conservación a nivel nacional.

En el área se encuentran diversas especies de flora y fauna, incluyendo especies representativas de aves, mamíferos, reptiles, anfibios y una elevada diversidad de plantas. Destaca la presencia de múltiples especies del género *Pinus*, así como del género *Quercus*, lo que refuerza su importancia ecológica y forestal en el contexto nacional.

Asimismo, la reserva funciona como un corredor biológico relevante para especies migratorias, contribuyendo a la conectividad ecológica regional y al mantenimiento de procesos biológicos a escala nacional e internacional (Plan de Manejo RN Serranías Dipilto–Jalapa 2008).

3.15 Importancia hidrológica de la reserva

La Serranía Dipilto–Jalapa constituye una zona de recarga hídrica de importancia para la región norte de Nicaragua, contribuyendo al abastecimiento de agua en comunidades del departamento de Nueva Segovia y al sostenimiento de actividades agropecuarias en los municipios de Dipilto y Jalapa (Plan de Manejo RN Serranías Dipilto–Jalapa 2008).

La funcionalidad hidrológica del área está estrechamente relacionada con el estado de conservación de sus bosques de pino y latifoliados, los cuales regulan procesos de infiltración, escorrentía y protección del suelo. La pérdida de cobertura forestal asociada a plagas como el gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann puede afectar estos procesos, incrementando la erosión y alterando la dinámica hídrica de la zona (Plan de Manejo RN Serranías Dipilto–Jalapa 2008).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El estudio se desarrolló en dos fincas forestales ubicadas en las comunidades de Achuapa Arriba y Quisulí Arriba, municipio de Mozonte, departamento de Nueva Segovia, dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.

Las fincas se encuentran aproximadamente a 19 km al noreste de la cabecera municipal de Mozonte, con una superficie conjunta de 395.61 ha. Presentan un rango altitudinal entre 1,316 y 1,547 msnm y pendientes del 30 % al 60 %, ubicándose en la zona de aprovechamiento sostenido de pinares según el plan de manejo de la reserva.

La cobertura vegetal está dominada por bosques naturales de *Pinus oocarpa* Schiede en diferentes estados de desarrollo, con presencia de especies asociadas como *Quercus* y *Liquidambar* spp. En zonas bajas se observa transición hacia bosque seco o deciduo, mientras que en áreas altas y riparias predominan formaciones más húmedas.

El clima corresponde a sabana tropical de altura, con condiciones más frescas en la zona norte del municipio. La temperatura media anual es de 24 °C y la precipitación oscila entre 1,000 y 1,200 mm.

4.2. Diseño metodológico

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo-retrospectivo, orientado a sistematizar, caracterizar y analizar retrospectivamente las afectaciones ocasionadas por el gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann en el municipio de Mozonte. El carácter retrospectivo se sustenta en el análisis de información histórica correspondiente al período de estudio, obtenida de los registros institucionales disponibles y complementada mediante verificación en campo.

Se utilizó como base la información disponible en la delegación municipal del Instituto Nacional Forestal (INAFOR), la cual fue complementada con verificación en campo y recopilación

directa de datos en dos fincas forestales: Sitio Ramos 2 y San Jorge, ubicadas dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.

El análisis se centró en los brotes registrados durante el período 2015–2016, considerando variables dasométricas, espaciales y económicas para la evaluación del daño. De manera complementaria, se analizaron los factores climáticos correspondientes al período 2012–2016, específicamente temperatura media anual, humedad relativa media y precipitación media anual, con un carácter exploratorio, orientado a identificar patrones que pudieran estar asociados con la ocurrencia de los brotes. Debido al período limitado de información y a la ocurrencia de brotes registrada únicamente en un año, estos factores no se utilizaron para establecer relaciones causales ni influencia estadísticamente significativa sobre los brotes.

El carácter retrospectivo de la investigación se justifica por la necesidad de documentar y analizar los brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) ocurridos durante 2015–2016, a partir de registros institucionales y de la información obtenida mediante verificación de campo. Aunque existe una brecha temporal entre el período en que ocurrieron los brotes y la presentación de la investigación en 2026, el análisis conserva su valor científico, debido a que permite sistematizar y cuantificar retrospectivamente la magnitud de los daños, identificar las características de las áreas afectadas y analizar las condiciones asociadas al evento. Esta información constituye un antecedente técnico que puede contribuir al establecimiento de una línea base para la vigilancia, prevención y manejo de futuros brotes del gorgojo descortezador en los bosques de pino de la zona de estudio.

La presentación de la investigación en 2026, pese a que la información correspondiente a los brotes de 2015–2016 se encontraba disponible, estuvo condicionada por las responsabilidades laborales desempeñadas durante el período posterior a la recopilación de los datos. Inicialmente, las funciones como delegado municipal del Instituto Nacional Forestal (INAFOR) y posteriormente como delegado departamental demandaron una alta disponibilidad de tiempo para el cumplimiento de las responsabilidades institucionales, lo que limitó el tiempo destinado al procesamiento, análisis de la información y redacción del documento. No obstante, la información recopilada se mantuvo como una fuente válida para el análisis retrospectivo,

permitiendo desarrollar la presente investigación con base en los registros disponibles y la evidencia obtenida durante el período de estudio.

4.3. Manejo del ensayo y metodología

El estudio se desarrolló mediante una ruta metodológica estructurada en seis etapas, orientadas a la obtención, verificación, análisis y cuantificación del daño causado por el gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* Zimmermann.

Etapas 1. Obtención y verificación de información institucional

Se obtuvieron los expedientes técnicos de los planes de saneamiento de las fincas San Jorge y Sitio Ramos 2 en la delegación municipal del INAFOR en Mozonte, con autorización institucional para su uso en la investigación.

Los expedientes incluyeron dictámenes técnicos del IPSA sobre la presencia de la plaga, estimaciones de área afectada, número de árboles infestados por fase y volumen autorizado, así como resoluciones administrativas emitidas por MARENA que otorgaron la autorización ambiental para la ejecución de los planes de saneamiento.

La información fue validada mediante contraste entre INAFOR, MARENA e IPSA, verificando consistencia en área afectada, número de árboles y volumen autorizado. Asimismo, se revisaron actas de inspección generadas durante la detección, seguimiento y cierre de los brotes, las cuales documentaron observaciones técnicas y medidas de control aplicadas.

Etapas 2. Aplicación y análisis de entrevistas

Se realizaron entrevistas semiestructuradas dirigidas a informantes relacionados con el manejo, seguimiento y atención de los brotes del gorgojo descortezador del pino en las fincas evaluadas. Las entrevistas tuvieron como propósito complementar y contrastar la información obtenida mediante la revisión de los expedientes técnicos y las observaciones realizadas durante el trabajo de campo.

El instrumento estuvo conformado principalmente por preguntas abiertas, orientadas a obtener información sobre la identificación y evolución de los brotes, las medidas de control y

saneamiento implementadas, el aprovechamiento de la madera afectada y las principales dificultades encontradas durante el proceso. La modalidad semiestructurada permitió mantener los temas previamente definidos y, al mismo tiempo, ampliar las respuestas cuando fue necesario para obtener información relevante para la investigación.

La información obtenida mediante las entrevistas fue procesada mediante un análisis cualitativo de contenido. Las respuestas fueron revisadas, organizadas y agrupadas de acuerdo con categorías temáticas relacionadas con la presencia y evolución de la plaga, medidas de manejo y saneamiento, aprovechamiento de la madera afectada y aspectos económicos asociados. Posteriormente, los resultados fueron contrastados con la información documental de INAFOR, MARENA e IPSA y con los datos obtenidos durante el trabajo de campo, con el propósito de identificar coincidencias y diferencias entre las fuentes de información.

Etapas 3. Planificación del trabajo de campo

Se definieron las rutas de recorrido en función de los reportes de infestación y el conocimiento del área.

Se establecieron criterios para la identificación de brotes, considerando indicadores visibles como cambio de coloración del follaje, exudación de resina, perforaciones en la corteza y presencia de galerías.

Se prepararon los instrumentos de campo, incluyendo GPS para georreferenciación, clinómetro Suunto para la medición de altura, cinta diamétrica para el DAP, relascope simple para área basal y fichas estandarizadas para el registro de datos. Esta preparación permitió asegurar la consistencia y precisión en la recolección de información.

Etapas 4. Delimitación y georreferenciación de brotes

Se realizaron recorridos sistemáticos en campo con apoyo de la comisión interinstitucional, durante los cuales se identificaron los brotes activos y se registraron sus características.

Para cada brote se tomaron coordenadas perimetrales mediante GPS utilizando el sistema de referencia WGS84. Posteriormente, los datos fueron procesados en un sistema de información geográfica (ArcGIS), donde se construyeron polígonos representativos de las áreas afectadas.

El área de cada brote se calculó en hectáreas mediante herramientas de geoprocésamiento, lo que permitió determinar la extensión total de la infestación y su distribución espacial en las fincas evaluadas.

Etapas 5. Cuantificación del daño en árboles

La estimación de árboles afectados se realizó mediante un total de 30 muestras, de las cuales 21 correspondieron a la finca Sitio Ramos 2 y 9 a la finca San Jorge. Las muestras fueron distribuidas de forma aleatoria dentro de las áreas afectadas por los brotes, procurando representar sectores con alta, media y baja densidad arbórea, con el propósito de obtener información representativa de las condiciones existentes en las áreas afectadas. Debido a que la evaluación correspondió a una situación de emergencia fitosanitaria, el muestreo se orientó específicamente a las áreas con presencia de afectación, en lugar de aplicar un esquema de inventario forestal convencional para toda la superficie de las fincas.

La selección de los puntos de muestreo se efectuó de manera aleatoria dentro de cada área afectada, procurando evitar la concentración de las muestras en un solo sector y lograr una distribución que representara las diferentes condiciones de densidad arbórea y los brotes identificados en cada finca.

En cada muestra se realizaron mediciones registrando variables dasométricas de área basal mediante el uso del relascopio simple, diámetro a la altura del pecho (DAP) usando cinta diamétrica, altura total con el uso del clinómetro Suunto. Para estimar el número de árboles por hectárea se utilizó el gráfico de relación DAP–área basal–número de árboles, utilizado por INAFOR, complementado con la siguiente expresión:

$$N^0 = AB/(DAP/200)^2 * \pi$$

Donde N°. corresponde al número de árboles por hectárea, AB al área basal expresada en m²/ha, DAP al diámetro promedio a la altura del pecho expresado en centímetros y π al valor constante 3.1416.

El número de árboles afectados en cada brote se estimó multiplicando el número de árboles por hectárea obtenido mediante el procedimiento anterior por el área correspondiente a cada brote. Posteriormente, la sumatoria del número de árboles estimados para cada brote permitió determinar el total de árboles afectados en las fincas evaluadas.

El registro de la afectación se efectuó mediante formatos institucionales, clasificando los árboles en fases I, II y III, según el grado de infestación, e incorporando información sobre signos de daño, agente causal (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) y presencia de insectos secundarios.

Etapas 6. Estimación del volumen afectado, aprovechado y perdido

Para la estimación del volumen de los árboles afectados se utilizó un factor de forma de 0.43, aplicado para ajustar el volumen cilíndrico teórico del fuste a su forma real, utilizando la siguiente ecuación:

$$V = (\pi * D^2 / 4) * H * f$$

y para trozas mediante:

$$V = \pi / 8 (D_{mayor}^2 + D_{menor}^2) \times L$$

La estimación del volumen afectado se realizó mediante extrapolación de datos dasométricos obtenidos en campo (área basal y altura), utilizando tablas volumétricas para *Pinus oocarpa* Schiede empleada por INAFOR para estimar el volumen por hectárea. El volumen por hectárea fue proyectado al área total de cada brote, permitiendo obtener el volumen total afectado.

El volumen aprovechado se determinó a partir de registros oficiales de transporte de madera emitidos por INAFOR, mientras que el volumen perdido se estimó como la diferencia entre el volumen autorizado y el volumen transportado.

La corrección por deterioro de la madera se realizó de forma práctica mediante la exclusión de secciones con alta afectación (principalmente en fase III), considerando únicamente la madera con condiciones estructurales aptas para su aprovechamiento.

Para la estimación del volumen por hectárea y del número de árboles por hectárea se utilizaron las tablas contenidas en la Guía para la formulación de planes de manejo en pinares, elaborada por el Servicio Forestal Nacional de IRENA, con apoyo de la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI), Managua, abril de 1993. Esta guía presenta la metodología adoptada y recomendada para el manejo de los bosques de pino a nivel nacional. Las tablas corresponden a la metodología utilizada por el INAFOR para la estimación de existencias de madera y número de árboles por hectárea en bosques de pino. En la presente investigación fueron aplicadas a *Pinus oocarpa* Schiede, utilizando las variables dasométricas obtenidas en campo, principalmente DAP y altura, para estimar el volumen por hectárea de los rodales evaluados.

4.4. Recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo a través de la revisión, verificación y sistematización de la información proporcionada por los propietarios de las fincas afectadas, a través de los regentes forestales designados ante el INAFOR, así como la consulta de los expedientes técnicos relacionados con los brotes de gorgojo descortezador del pino. Complementariamente, se aplicaron entrevistas directas a los dueños de las fincas, con el fin de obtener información cualitativa y cuantitativa relevante sobre las afectaciones y las acciones coordinadas ejecutadas para su control.

4.5. Notificación y activación del proceso institucional

La primera comunicación sobre la presencia de brotes activos fue presentada por escrito por los propietarios de las fincas ante el Instituto de Protección y Sanidad Agropecuaria (IPSA), Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) e Instituto Nacional Forestal (INAFOR). Al recibir estas notificaciones, y debido a que las fincas se ubican dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa, MARENA convocó por escrito a la comisión interinstitucional del municipio de Mozonte. Esta comisión está integrada por representantes de INAFOR, MARENA, IPSA, Alcaldía de Mozonte, Pueblo Indígena de Mozonte (cuando corresponde), Policía Nacional, el regente forestal designado y el propietario del bosque.

4.6. Inspección técnica de campo

La inspección técnica de campo fue realizada por la comisión interinstitucional del municipio de Mozonte con el fin de verificar la presencia de la plaga y validar la información contenida en los expedientes técnicos. Durante esta actividad se confirmó la existencia de brotes activos de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann sustentada en el dictamen técnico emitido por el IPSA y se registraron las condiciones generales de afectación en las áreas evaluadas. El procedimiento metodológico detallado para la identificación, delimitación y cuantificación de los brotes se desarrolló conforme a lo establecido en la sección de etapas del presente estudio.

4.7. Procedimiento para la aprobación del plan de saneamiento forestal

De acuerdo con la Ley N.º 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, las actividades forestales en áreas protegidas requirieron la autorización del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) como entidad administradora del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). En este contexto, el proceso de autorización ambiental se desarrolló mediante la revisión técnica y legal de los planes de saneamiento forestal, la verificación de campo y la emisión de la resolución administrativa correspondiente. Posteriormente, el expediente fue tramitado ante el Instituto Nacional Forestal (INAFOR), siguiendo el procedimiento de la Ley 462, Ley de Conservación, Fomento y Desarrollo Sostenible del Sector Forestal, el cual realizó la evaluación técnica final y otorgó la autorización de aprovechamiento forestal por afectación de plaga.

4.8. Variables evaluadas

4.8.1 Número de árboles afectados

Correspondió al total de individuos de *Pinus oocarpa* Schiede que presentaron signos de infestación por el gorgojo descortezador del pino en las áreas evaluadas. Esta variable se expresó en número de árboles y permitió cuantificar la magnitud del daño ocasionado por la plaga, así como caracterizar la estructura del bosque afectado en las fincas de estudio.

4.8.2 Número de brotes detectados

Se refirió a la cantidad de focos de infestación identificados en el área de estudio, definidos como agrupaciones de árboles afectados por la plaga. Esta variable se expresó en número de brotes y permitió analizar la distribución y frecuencia de la infestación en las fincas evaluadas.

4.8.3 Área total afectada(ha)

Representó la superficie total impactada por la infestación del gorgojo descortezador del pino en las fincas de estudio. Se expresó en hectáreas y permitió dimensionar la extensión espacial del daño y su distribución en el área evaluada.

4.8.4 Volumen afectado (m³) en las categorías:

Correspondió al volumen total de madera en pie afectada por la plaga en las áreas evaluadas. Se expresó en metros cúbicos y permitió estimar el impacto productivo del daño sobre el recurso forestal.

4.8.5 Volumen aprovechado(m³)

Representó el volumen de madera que fue efectivamente extraído y transportado para su procesamiento y comercialización. Se expresó en metros cúbicos y permitió evaluar el rendimiento del aprovechamiento forestal en relación con el volumen afectado.

4.8.6 Volumen perdido(m³)

Correspondió al volumen de madera afectada que no fue aprovechada debido a limitaciones de calidad o condiciones de mercado. Se expresó en metros cúbicos y permitió estimar las pérdidas económicas derivadas de la infestación.

4.9. Análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante métodos descriptivos, utilizando hojas de cálculo en formato Excel para la organización, procesamiento y resumen de la información recolectada en campo. En las dos fincas estudiadas, Sitio Ramos 2 y San Jorge, se evaluaron todas las variables registradas durante las encuestas y verificaciones de campo, con el objetivo

de caracterizar la afectación de los bosques de *Pinus oocarpa* Schiede y estimar sus impactos ecológicos y económicos.

Las variables analizadas incluyeron: número de árboles afectados, Número de brotes detectados, área total afectada (ha), volumen afectado (m³), volumen aprovechado (m³), volumen perdido (m³), así como los costos asociados a la pérdida de madera.

El agente causal de la afectación se identificó como insectos de las especies *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, *Dendroctonus valens* e *Ips* sp., siendo *Dendroctonus frontalis* Zimmermann la especie más agresiva y responsable de los brotes registrados. El análisis de los datos permitió establecer la severidad de la infestación, la distribución espacial de los brotes, y la relación entre la densidad de árboles afectados y la extensión de los brotes. Además, los resultados sirvieron para evaluar la eficiencia de las acciones de manejo implementadas, cuantificar los impactos económicos derivados de la pérdida de madera.

Los resultados fueron presentados mediante tablas, mapas y gráficos, mostrando la distribución de los brotes, los volúmenes aprovechados y no aprovechados, y la comparación de los impactos entre las fincas, lo que facilitó la interpretación técnica y la planificación de futuras acciones de manejo forestal.

4.9.1 Actividades de control de la plaga

Durante la ejecución de las actividades de control de brotes, se implementaron diversas acciones de manejo que permitieron mitigar la afectación por el gorgojo y reducir el riesgo de propagación. Estas incluyeron el corte y aprovechamiento de árboles afectados, así como la delimitación de franjas de contención donde era necesario, trazadas por la comisión interinstitucional, con el objetivo de aislar las áreas infestadas. Los árboles en fase I y II de afectación fueron sometidos a fumigación con cipermetrina (50 cc por bomba de 20 litros) para el control directo de los insectos. Además, se realizaron labores de descortezado de tocones y trozas en el sitio, seguido de su transporte a los cargaderos, apilado y quema de residuos en el centro del brote, garantizando la eliminación de material infectado. Las trozas cargadas fueron posteriormente fumigadas durante el transporte, asegurando medidas preventivas adicionales.

Se llevaron a cabo inspecciones semanales de seguimiento, las cuales permitieron verificar la correcta aplicación de las medidas de control, detectar la aparición de nuevos brotes y asegurar el cumplimiento de los protocolos establecidos. Además, se elaboraron informes semanales del avance del control de la plaga, facilitando la evaluación continua de las acciones implementadas. Como medida complementaria, los camiones de transporte de madera fueron estacionados en un puesto de control municipal, donde se supervisó que las trozas se trasladaran bajo condiciones adecuadas, evitando la dispersión de la plaga fuera del área de manejo. Finalmente, una inspección final realizada por la Comisión Interinstitucional permitió constatar la no presencia de la plaga, verificando la efectividad de las medidas de control aplicadas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los principales hallazgos obtenidos durante la evaluación de la incidencia del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) en dos fincas ubicadas en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa, durante el período 2015–2016. Los resultados se analizan desde una perspectiva integral de manejo forestal, considerando variables dasométricas, espaciales y económicas, con el propósito de comprender la magnitud del impacto y sus implicaciones sobre la sostenibilidad del ecosistema de *Pinus oocarpa* Schiede.

En este contexto, la sección no solo presenta datos cuantitativos relacionados con número de brotes, árboles afectados, área afectada y volumen maderable comprometido, sino que también examina la dinámica espacial de la infestación, la relación con factores ambientales predisponentes y los efectos económicos derivados del aprovechamiento sanitario. Asimismo, se discute la efectividad de las acciones de control implementadas y su coherencia con los principios del manejo forestal sostenible.

El siguiente cuadro presenta la información recopilada en las fincas evaluadas, detallando el área total y afectada, número de brotes detectados, árboles dañados y volumen de madera afectado, aprovechado y sin aprovechar

Estos datos permiten cuantificar el impacto del daño forestal y valorar el nivel de aprovechamiento realizado en cada unidad productiva.

Cuadro 1. Análisis de fincas afectadas

Nombre de la Finca	Propietario	Área total de la finca(ha)	Área afectada(ha)	Número de brotes encontrados	Árboles afectados	Vol. m ³ afectados	Vol. m ³ aprovechado	Vol. m ³ sin aprovechar
Sitio Ramos 2	Ramón Augusto Ortiz Peralta	218.90	46.56	04	7,527	2,887	1,897.82	989.18
San Jorge	Valerio López Ruiz	176.71	19.89	01	4,525	2,197.85	1,538.49	659.36
Total		395.61	66.45	05	12,052	5,084.85	3,436.31	1,648.54

Fuente: Elaboración propia con base en expedientes técnicos de INAFOR y datos de campo, 2026.

5.1 Análisis de las fincas afectadas

a. Superficie total y área afectada

La superficie total evaluada en ambas fincas fue de 395.61 ha, de las cuales 66.45 ha presentaron afectación, lo que representó el 16.8 % del área total bajo estudio. Estos resultados evidenciaron una incidencia significativa del disturbio forestal en las unidades productivas analizadas (Cuadro 1).

b. Distribución de la afectación por finca

La finca Sitio Ramos 2 registró la mayor afectación absoluta, con 46.56 ha impactadas, equivalentes al 21.3 % de su superficie total, además de concentrar el mayor número de árboles afectados (7,527 individuos). Por su parte, la finca San Jorge presentó 19.89 ha afectadas, correspondientes al 11.3 % de su área total, con 4,525 árboles dañados.

c. Volumen maderable afectado, aprovechado y perdido

El volumen total de madera afectada alcanzó 5,084.85 m³, de los cuales se aprovecharon 3,436.31 m³, mientras que 1,648.54 m³ no fueron aprovechados. En términos relativos, el 67.6 % del volumen afectado fue recuperado, en tanto que el 32.4 % permaneció en campo.

d. Número y distribución de brotes

Se identificaron cinco brotes en total, de los cuales cuatro se localizaron en la finca Sitio Ramos 2 y uno en la finca San Jorge. En este sentido, la mayor concentración de brotes en Sitio Ramos 2 sugirió una mayor intensidad o dispersión del agente causal en esta unidad productiva.

e. Síntesis de la afectación

En general, los resultados evidenciaron una afectación significativa en ambas fincas, con mayor impacto en Sitio Ramos 2 en términos de superficie afectada, número de árboles y volumen maderable comprometido.

5.2 Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada

En la siguiente figura se desglosan los principales conceptos económicos involucrados en el proceso, incluyendo los pagos por impuesto de aprovechamiento, regencia forestal, mano de obra, fondo ambiental municipal y el ingreso generado por la venta de madera al comprador. Esta representación permite visualizar la distribución de los ingresos y costos asociados al aprovechamiento forestal y facilita el análisis del impacto económico derivado de la madera que no pudo ser aprovechada.

Para estimar el valor económico asociado a la madera no aprovechada se consideró un valor total de US\$48.33 por m³, determinado a partir del precio de venta de la madera y de los costos asociados al aprovechamiento asumidos por el comprador. El propietario recibía US\$25.00/m³ por la venta de la madera, mientras que el comprador asumía adicionalmente US\$4.37/m³ por impuesto de aprovechamiento, US\$3.00/m³ por pago de regente forestal, US\$13.96/m³ por mano de obra y US\$2.00/m³ por fondo ambiental.

En consecuencia, el valor económico total asociado a cada metro cúbico se determinó de la siguiente manera:

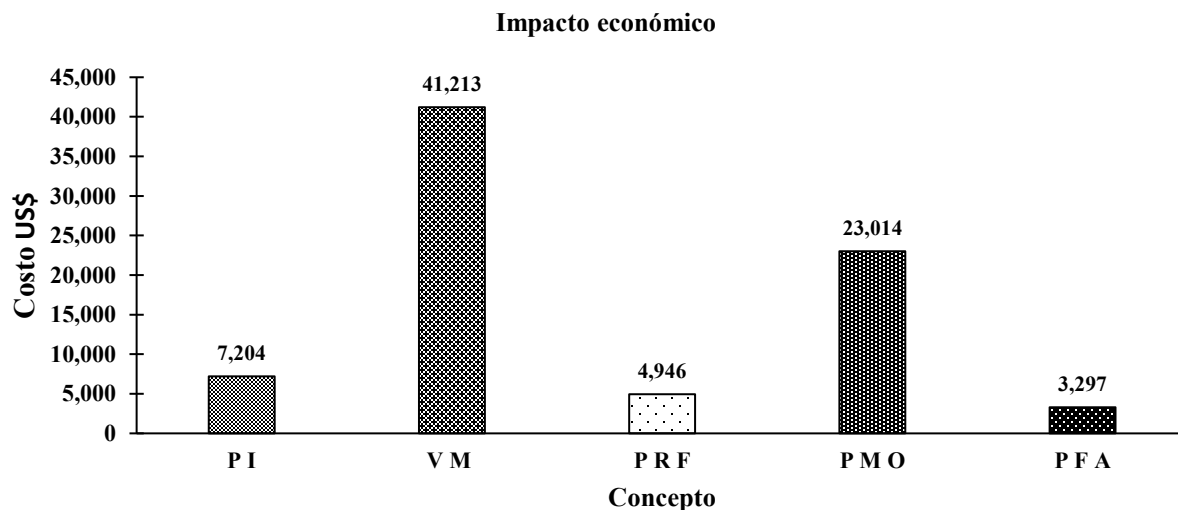
$$\text{US\$25.00} + \text{US\$4.37} + \text{US\$3.00} + \text{US\$13.96} + \text{US\$2.00} = \text{US\$48.33/m}^3.$$

Este valor representa el costo económico total asociado al aprovechamiento de un metro cúbico de madera, considerando tanto el ingreso por la venta de la madera como los costos asumidos por el comprador. Estos costos no se adicionaron nuevamente al cálculo del valor de la madera no aprovechada, evitando así una doble contabilización.

Considerando un volumen de 1,648.54 m³ de madera no aprovechada, el valor económico total asociado a este volumen se estimó en:

$$1,648.54 \text{ m}^3 \times \text{US\$48.33/m}^3 = \text{US\$79,690.74}.$$

De este valor, US\$41,213.50 corresponden al ingreso que habría recibido el propietario por la venta de la madera, calculado a razón de US\$25.00/m³, mientras que US\$38,477.24 corresponden a los costos asociados al aprovechamiento que habría asumido el comprador.



Fuente: Elaboración propia con base en los costos e ingresos asociados al aprovechamiento de la madera y el volumen de madera no aprovechada, 2026.

Figura 1. Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada.

Nota: PI = Pago por Impuesto; VM = Venta de Madera; PRF = Pago al Regente Forestal; PMO = Pago de Mano de Obra; PFA = Pago de Fondo Ambiental

a. Impacto económico de la madera no aprovechada

El desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada evidencia el efecto económico directo generado por la afectación del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) en las fincas forestales. El valor económico asociado comprende tanto el ingreso potencial por la venta de la madera como los costos de aprovechamiento que habría asumido el comprador, los cuales no se incorporaron nuevamente al cálculo para evitar doble contabilización (Figura 1).

b. Valor económico total y principales componentes

El valor económico total asociado a los 1,648.54 m³ de madera no aprovechada se estimó en US\$79,690.74. De este monto, US\$41,213.50 corresponden al ingreso potencial que habría recibido el propietario por la venta de la madera a razón de US\$25.00/m³, mientras que US\$38,477.24 corresponden a los costos asociados al aprovechamiento que habría asumido el comprador.

c. Costos operativos del manejo de la plaga

Dentro del valor económico total asociado a la madera no aprovechada, los costos de aprovechamiento representaron US\$38,477.24, correspondientes a los gastos que habría asumido el comprador para realizar el aprovechamiento. El principal componente fue la mano de obra, con un valor de US\$23,013.61, asociada a las labores de control, saneamiento y corta sanitaria.

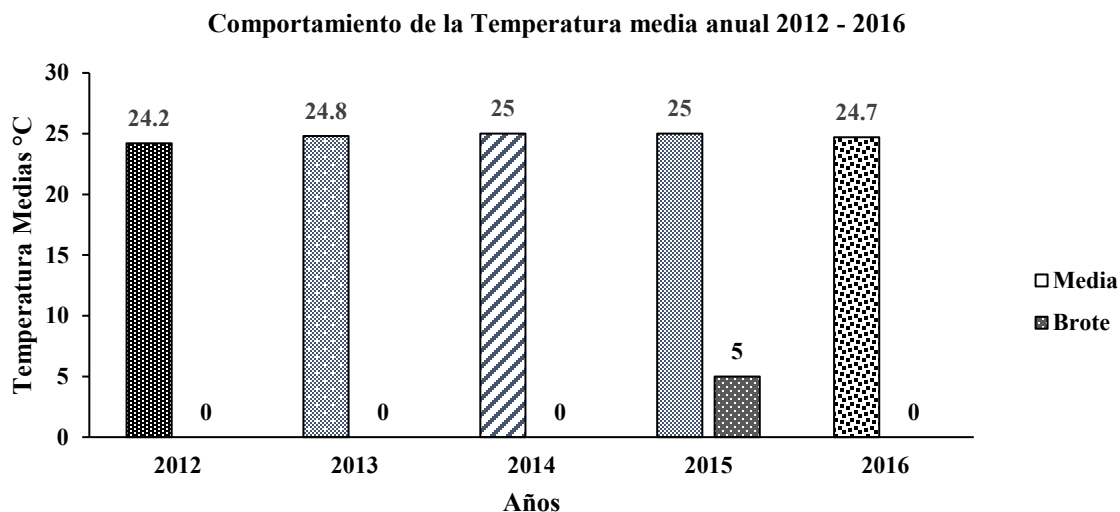
Otros costos asociados correspondieron al impuesto por aprovechamiento, por US\$7,204.11; los honorarios del regente forestal, por US\$4,945.62; y el aporte al fondo ambiental municipal, por US\$3,297.08. Estos valores forman parte de los costos incluidos en el valor total de US\$79,690.74 estimado para los 1,648.54 m³ de madera no aprovechada, por lo que no se adicionaron nuevamente al cálculo, evitando así una doble contabilización.

d. Síntesis del impacto económico

En conjunto, los resultados mostraron que el gorgojo descortezador del pino generó un impacto económico negativo integral, caracterizado por pérdidas de ingresos y aumento de costos de manejo y control. Esto evidenció la necesidad de fortalecer estrategias preventivas, detección temprana y apoyo institucional para reducir pérdidas económicas en áreas forestales.

5.3 Temperatura media anual durante el período 2012–2016.

Con el propósito de analizar el comportamiento térmico durante el período de estudio, se presentó el rango de temperatura registrado entre los años 2012 y 2016. Este análisis permitió identificar variaciones interanuales y su posible relación con la aparición y desarrollo de brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann). La temperatura constituye un factor climático relevante en la dinámica poblacional de la plaga, ya que influye en su ciclo biológico y en la ocurrencia de eventos de infestación, lo que facilita la interpretación de los resultados obtenidos.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INETER, período 2012–2016.

Figura 2. Temperatura media anual (2012–2016) en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.

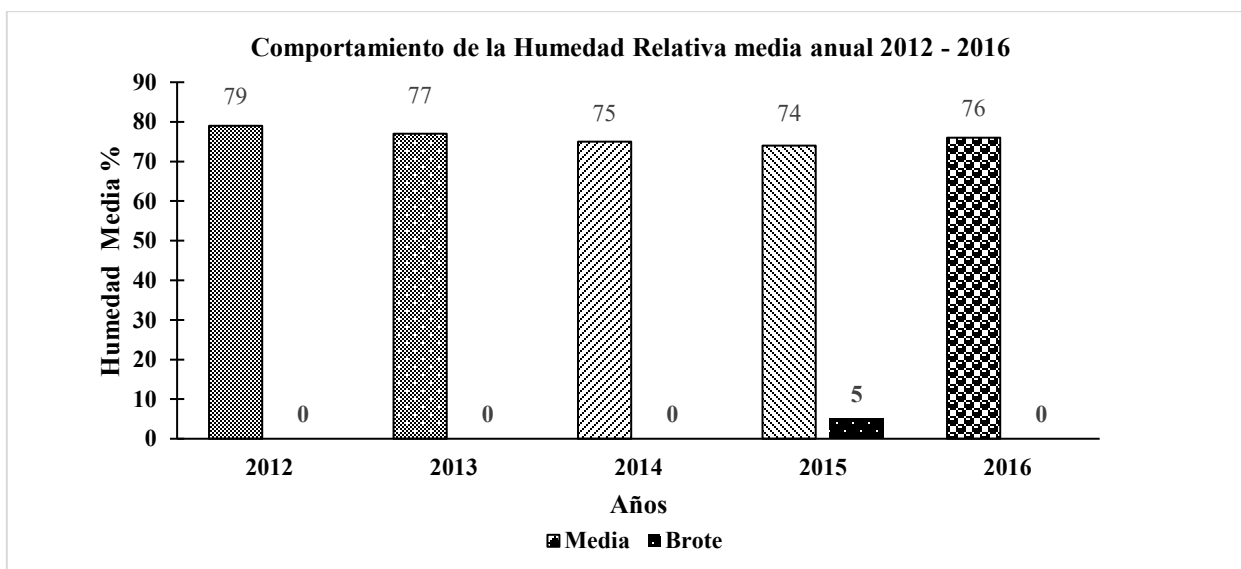
La humedad relativa media anual presentó una variación moderada durante el período 2012–2016, con valores entre 74 % y 79 %. El valor más alto se registró en 2012 (79 %), mientras que el más bajo correspondió a 2015 (74 %).

Los cinco brotes registrados durante el período de estudio ocurrieron en 2015, coincidiendo con el menor valor de humedad relativa observado. Esta coincidencia temporal constituye un patrón descriptivo que puede ser considerado en la interpretación de los resultados; sin embargo, debido al reducido número de observaciones y a que los brotes se registraron únicamente en un año, no es posible establecer una relación estadística entre la humedad relativa y la ocurrencia de los brotes.

En consecuencia, la humedad relativa se considera una variable ambiental asociada temporalmente al año de ocurrencia de los brotes, pero su posible participación en la dinámica del gorgojo debe interpretarse de manera exploratoria y no como una relación causal demostrada.

5.4. Humedad relativa media anual durante el período 2012–2016.

Con el propósito de caracterizar el comportamiento de la humedad relativa durante el período 2012–2016, se evaluó su variación interanual en la zona de estudio y su comportamiento temporal durante el año en que se registraron los brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann). La humedad relativa constituye una variable climática que permite caracterizar las condiciones ambientales del área de estudio y contextualizar el comportamiento observado durante el período analizado. En este sentido, el análisis permitió identificar coincidencias temporales entre la variación de la humedad relativa y la ocurrencia de los brotes, sin establecer una relación causal entre esta variable y la incidencia del gorgojo.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INETER, período 2012–2016.

Figura 3. Humedad relativa media anual durante el período 2012–2016 en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.

La humedad relativa media anual presentó una variación moderada durante el período 2012–2016, con valores entre 74 % y 79 %. El valor más alto se registró en 2012 (79 %), mientras que el más bajo correspondió a 2015 (74 %).

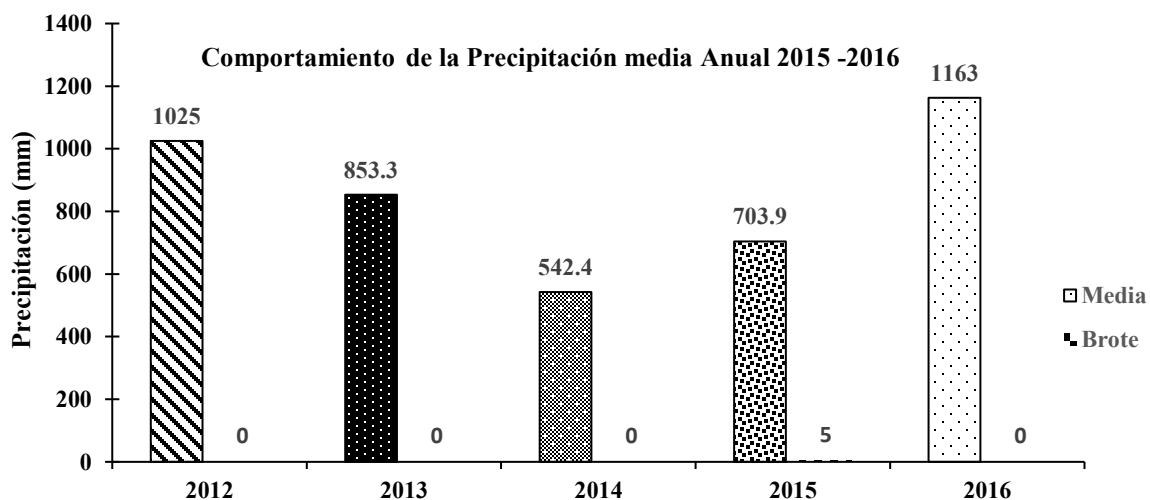
Los cinco brotes registrados durante el período de estudio ocurrieron en 2015, coincidiendo con el menor valor de humedad relativa observado. Esta coincidencia temporal constituye un patrón descriptivo que puede ser considerado en la interpretación de los resultados; sin embargo, debido al reducido número de observaciones y a que los brotes se registraron únicamente en un

año, no es posible establecer una relación estadística entre la humedad relativa y la ocurrencia de los brotes.

En consecuencia, la humedad relativa se considera una variable ambiental asociada temporalmente al año de ocurrencia de los brotes, pero su posible participación en la dinámica del gorgojo debe interpretarse de manera exploratoria y no como una relación causal demostrada.

5.5 Precipitación media anual durante el período 2012–2016.

Se analizó el comportamiento de la precipitación durante el período 2012–2016, con el propósito de caracterizar las condiciones de disponibilidad hídrica durante el período de estudio y observar su comportamiento en relación temporal con la ocurrencia de brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann). La precipitación constituye una variable climática relacionada con la disponibilidad de agua en el ambiente y con las condiciones de humedad del bosque, por lo que su comportamiento permite contextualizar las condiciones ambientales observadas durante el período analizado. En este sentido, el análisis se realizó con un enfoque descriptivo y exploratorio, sin establecer una relación causal entre la precipitación y la incidencia del gorgojo.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de INETER, período 2012–2016.

Figura 4. Precipitación media anual durante el período 2012–2016 en la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa.

La precipitación anual presentó una mayor variabilidad durante el período 2012–2016, con valores de 1,025 mm en 2012, 853.3 mm en 2013, 542.4 mm en 2014, 703.9 mm en 2015 y 1,163 mm en 2016. El menor registro correspondió a 2014, mientras que el mayor se presentó en 2016.

Los cinco brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) se registraron en 2015, año en que la precipitación alcanzó 703.9 mm. Este valor fue superior al registrado en 2014 y considerablemente inferior al observado en 2016. De manera descriptiva, se observa que el año de ocurrencia de los brotes estuvo precedido por el menor registro de precipitación del período.

Esta secuencia temporal permite plantear, de manera exploratoria, que las condiciones de disponibilidad hídrica observadas en 2014 pudieron coincidir con condiciones de estrés en el bosque. No obstante, los datos disponibles no permiten demostrar que el déficit de precipitación haya provocado la aparición de los brotes, por lo que esta interpretación debe considerarse como una posible asociación y no como una relación causal.

En consecuencia, el análisis climático realizado en esta investigación se interpreta como una caracterización retrospectiva de las condiciones ambientales asociadas al período de ocurrencia de los brotes, y no como una demostración de causalidad entre las variables climáticas y la incidencia de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann.

5.6 Condiciones estructurales del bosque y distribución de los brotes

Durante las inspecciones de campo se identificaron evidencias de incendios forestales previos en algunos sectores, así como rodales con alta densidad arbórea en etapas de desarrollo. Estas condiciones estructurales influyeron en la dinámica del bosque, al incrementar la competencia por recursos, generar debilitamiento fisiológico en los árboles y aumentar su susceptibilidad frente a agentes bióticos.

La distribución de los brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) se concentró principalmente en áreas con estas características, lo que evidenció una mayor incidencia en rodales con antecedentes de disturbio y alta densidad forestal.

5.7 Medidas de control y resultados del saneamiento forestal

Las acciones de control implementadas incluyeron corte sanitario, fumigación con cipermetrina, descortezado, quema de residuos y seguimiento semanal de los brotes. Estas medidas permitieron reducir la población activa del insecto y limitar su expansión hacia áreas adyacentes.

La inspección final confirmó la ausencia de brotes activos en las áreas intervenidas, lo que evidenció la efectividad del plan de saneamiento forestal y la adecuada coordinación interinstitucional durante el proceso de control.

5.8 Caracterización general de la afectación

Durante el período 2015–2016 se confirmó la presencia de brotes activos de gorgojo descortezador del pino en las fincas Sitio Ramos 2 y San Jorge, ubicadas dentro de la Reserva Natural Serranía Dipilto–Jalapa, municipio de Mozonte.

La inspección técnica de campo permitió:

- Identificar y delimitar espacialmente los brotes activos.
- Clasificar los árboles afectados en fases I, II y III.
- Determinar el número total de árboles infestados.
- Calcular el área total afectada (ha).
- Estimar el volumen maderable afectado (m^3), volumen aprovechado y volumen no aprovechado.

El agente causal predominante fue *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, observándose además presencia de *Dendroctonus valens* e *Ips* sp, aunque con menor incidencia, según dictamen técnico del IPSA.

5.9 Número de brotes y área afectada

El levantamiento de información permitió cuantificar los brotes activos presentes en cada finca y delimitar su extensión mediante georreferenciación GPS y análisis en SIG. Los resultados evidenciaron que los brotes presentaron distribución espacial agregada. Las densidades más altas se concentraron principalmente en rodales de bosque en desarrollo y el año donde hubo la mayor intensidad fue durante el año 2015.

El cálculo del área afectada permitió estimar la magnitud territorial del impacto, evidenciando una afectación significativa dentro de la zona de aprovechamiento sostenido de pinares.

5.10 Número de árboles afectados y severidad del daño

El muestreo aleatorio permitió cuantificar los árboles afectados por fase de infestación:

- Fase I: Árboles con síntomas iniciales.
- Fase II: Infestación moderada con presencia activa de galerías.
- Fase III: Árboles con daño severo y mortalidad inminente.

La mayor proporción de individuos se concentró en fases II y III durante el período crítico del brote, evidenciando que la detección ocurrió cuando la infestación ya presentaba un nivel avanzado en determinados sectores del bosque.

5.11 Volumen maderable afectado, aprovechado y perdido

La estimación volumétrica, basada en variables dasométricas (DAP, altura total, área basal y distribución), permitió calcular:

- Volumen total afectado (m^3)
- Volumen efectivamente aprovechado (m^3)
- Volumen no aprovechado o perdido (m^3)

Los resultados evidenciaron que una proporción considerable del volumen afectado logró ser aprovechado mediante los planes de saneamiento forestales autorizados. No obstante, se registró un volumen significativo de madera no aprovechada, debido a:

- Deterioro por acción del insecto.
- Presencia de insectos secundarios.
- Baja calidad estructural.
- Restricciones comerciales.

Esto generó un impacto económico directo para los propietarios.

5.12 Análisis espacial de brotes y factores asociados a la severidad del daño

El análisis evidenció que, aunque el número de brotes del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) se mantuvo constante en cinco brotes, la magnitud del daño aumentó entre el momento de la inspección y la aprobación de los planes de saneamiento, particularmente en términos de área afectada y número de árboles infestados. En este período, el área impactada se incrementó de 35.67 ha a 66.45 ha, mientras que el número de árboles infestados pasó de 6,629 a 12,052 individuos. Estos resultados sugieren que el retraso en la implementación de las medidas de saneamiento forestal favoreció la expansión de los brotes existentes.

Desde el punto de vista espacial, la afectación presentó una distribución agregada, con mayor incidencia en áreas de difícil acceso, lo que limitó la intervención oportuna y favoreció la permanencia del insecto. Asimismo, los rodales en etapa de desarrollo, caracterizados por alta densidad arbórea, mostraron mayor susceptibilidad debido a la competencia por recursos y al debilitamiento fisiológico de los árboles.

Las condiciones microclimáticas influyeron en la dinámica de los brotes, particularmente en sectores con mayor cobertura de dosel, donde se generaron ambientes con menor circulación de aire y mayor retención de humedad, favorables para el desarrollo del insecto. De igual forma, en zonas con topografía irregular se presentaron condiciones de mayor estabilidad térmica y humedad relativa, lo que contribuyó a la persistencia de la infestación, mientras que áreas más expuestas mostraron menor incidencia.

La severidad del daño también estuvo asociada al manejo forestal previo. En rodales sin intervenciones silviculturales, como raleos y podas, se observó mayor densidad arbórea y acumulación de material susceptible, lo que incrementó la vulnerabilidad del bosque. En contraste, áreas con manejo previo presentaron menor intensidad de daño, evidenciando la importancia del manejo preventivo en la reducción del riesgo de infestación.

5.13 Influencia de factores estructurales y disturbios previos

Durante las inspecciones se identificaron evidencias de incendios forestales previos en algunos sectores, así como alta densidad arbórea en rodales en desarrollo.

Estos factores contribuyen a:

- Mayor competencia por recursos.
- Debilitamiento fisiológico de los árboles.
- Incremento de la vulnerabilidad ante agentes bióticos.

Los brotes se concentraron principalmente en áreas con estas características, lo que evidencia una relación entre estructura del bosque y susceptibilidad al ataque.

5.14 Eficiencia de las acciones de control

Las actividades implementadas (corte sanitario, fumigación con cipermetrina, descortezado, quema de residuos y seguimiento semanal) permitieron:

- Contener la propagación del brote.
- Reducir la población activa del insecto.
- Evitar la expansión hacia áreas adyacentes.

La inspección final confirmó la ausencia de brotes activos, demostrando la efectividad de los planes de saneamiento forestal y de la coordinación interinstitucional.

5.15 Etapas de aprobación de los planes de saneamientos

a. Finca Sitio Ramos 2

La notificación de la presencia del gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann) en la finca Sitio Ramos 2 fue realizada por el propietario el 20 de agosto de 2015 ante IPSA, MARENA e INAFOR, dando inicio al proceso institucional de atención fitosanitaria.

En la etapa de verificación, el IPSA emitió el dictamen técnico el 27 de agosto de 2015, con un tiempo de respuesta de 7 días. Posteriormente, el regente forestal presentó el plan de saneamiento ante MARENA el 23 de septiembre de 2015, 27 días después del dictamen, el cual fue aprobado el 20 de octubre de 2015, con un tiempo de respuesta de 27 días. El regente presentó la solicitud de saneamiento al INAFOR el 28 de octubre, 8 días después de ser autorizado por MARENA. Finalmente, INAFOR emitió la autorización forestal el 10 de noviembre de 2015, en un período de 13 días. En conjunto, el proceso completo tuvo una duración de 82 días.

Este período de tramitación evidenció que la duración acumulada entre etapas administrativas permitió la continuidad del proceso de infestación, lo que incrementó la probabilidad de expansión de la plaga y la afectación de nuevos árboles, afectando la oportunidad de control temprano.

b. Finca San Jorge

En el caso de la finca San Jorge, la notificación se realizó el 11 de agosto de 2015. El IPSA emitió el dictamen técnico el 19 de agosto de 2015, con un tiempo de respuesta de 8 días. Posteriormente, el plan de saneamiento fue presentado ante MARENA el 12 de octubre de 2015, 54 días después del dictamen, lo que representó el mayor retraso del proceso. MARENA otorgó la autorización el 03 de noviembre de 2015, 22 días después de ser presentada la solicitud, y el regente presentó el plan de saneamiento al INAFOR el 23 de noviembre, 21 días después de la autorización de MARENA y finalmente INAFOR emitió el permiso el 02 de diciembre de 2015 en 8 días. El proceso completo tuvo una duración de 113 días.

Este prolongado tiempo de gestión evidenció un retraso significativo entre la fase técnica y la presentación del plan, lo que favoreció la expansión del gorgojo descortezador del pino y contribuyó al incremento del número de árboles infestados, así como al deterioro progresivo de la calidad de la madera.

5.16 Análisis Comparativo

El análisis comparativo de los procesos evidenció que los tiempos administrativos prolongados, especialmente en la elaboración y presentación del plan de saneamiento, constituyeron un factor crítico en la expansión de la plaga. Esta situación permitió que el insecto continuara su ciclo biológico sin interrupción, aumentando el nivel de daño antes de la intervención efectiva.

5.17 Principales limitaciones identificadas

Entre las principales limitaciones del proceso se identificó la intervención de múltiples instituciones con trámites independientes (IPSA, MARENA e INAFOR), lo que generó duplicidad de gestiones y tiempos acumulados. Asimismo, el tiempo requerido por el regente

forestal para la elaboración y presentación del plan de saneamiento representó una limitante operativa adicional, afectando la oportunidad de respuesta ante la infestación.

VI. CONCLUSIONES

Se cuantificó un área afectada de 66.45 ha por la incidencia del gorgojo descortezador del pino en las dos fincas evaluadas, correspondiente a 46.56 ha en Sitio Ramos 2 y 19.89 ha en San Jorge, evidenciando una afectación importante de la superficie forestal estudiada.

Se estimaron 12,052 árboles afectados, cinco brotes y un volumen total de 5,084.85 m³ de madera afectada por el gorgojo descortezador del pino (*Dendroctonus frontalis* Zimmermann). Los cinco brotes se registraron durante el año 2015, coincidiendo con un valor de humedad relativa de 74 %; esta coincidencia se interpreta como una asociación descriptiva y no como una relación causal demostrada.

Se determinó que de los 5,084.85 m³ de madera afectada, 3,436.31 m³ fueron aprovechados y 1,648.54 m³ quedaron sin aprovechar, representando estos últimos un impacto económico estimado de US\$79,673.92, considerando los costos asociados al aprovechamiento y manejo de la madera afectada.

VII. RECOMENDACIONES

MARENA e IPSA deberán implementar un sistema estandarizado de monitoreo e inspección fitosanitaria en campo, con la participación de regentes forestales y propietarios, mediante fichas de monitoreo georreferenciadas que permitan la detección temprana de brotes del gorgojo descortezador del pino.

INAFOR y MARENA, en coordinación con regentes forestales y propietarios, deberán fortalecer el manejo silvicultural preventivo mediante la aplicación de raleos, podas y eliminación oportuna de árboles y material vegetal susceptible al ataque de la plaga.

MARENA, INAFOR e IPSA deberán establecer un protocolo interinstitucional de respuesta temprana que defina procedimientos, responsabilidades y tiempos de atención desde la notificación de un brote hasta la autorización y ejecución de las actividades de saneamiento forestal.

INAFOR y MARENA deberán implementar un sistema de registro forestal digital que permita documentar la ubicación de los brotes, número de árboles infestados, volumen de madera afectado, volumen aprovechado y pérdidas económicas asociadas a la incidencia de la plaga.

MARENA, INAFOR e IPSA deberán fortalecer el uso de herramientas de georreferenciación para delimitar con precisión las áreas afectadas y realizar el seguimiento temporal de la distribución y avance de la plaga.

Propietarios y regentes forestales, en coordinación con INAFOR, deberán ejecutar medidas de restauración en las áreas afectadas, priorizando la regeneración natural asistida y la reforestación con *Pinus oocarpa* Schiede, de acuerdo con las condiciones del sitio.

MARENA, IPSA e INAFOR deberán desarrollar programas de capacitación y sensibilización dirigidos a propietarios, regentes forestales y comunidades locales, orientados a fortalecer la identificación temprana del gorgojo descortezador y la aplicación adecuada de medidas de manejo y saneamiento forestal.

IPSA deberá promover estudios complementarios sobre los factores que favorecen la propagación de *Dendroctonus frontalis* Zimmermann, considerando variables climáticas, edáficas, estructurales y de estrés hídrico, con el propósito de mejorar las estrategias de prevención y manejo de la plaga.

MARENA, INAFOR e IPSA deberán fortalecer la coordinación con propietarios, regentes forestales y actores locales mediante mecanismos formales de comunicación, notificación y seguimiento que permitan una atención oportuna de los brotes forestales.

MARENA e INAFOR deberán revisar y agilizar los procedimientos administrativos relacionados con la autorización de actividades de saneamiento forestal, con el propósito de reducir los tiempos de respuesta y evitar que las demoras contribuyan a la expansión de la plaga.

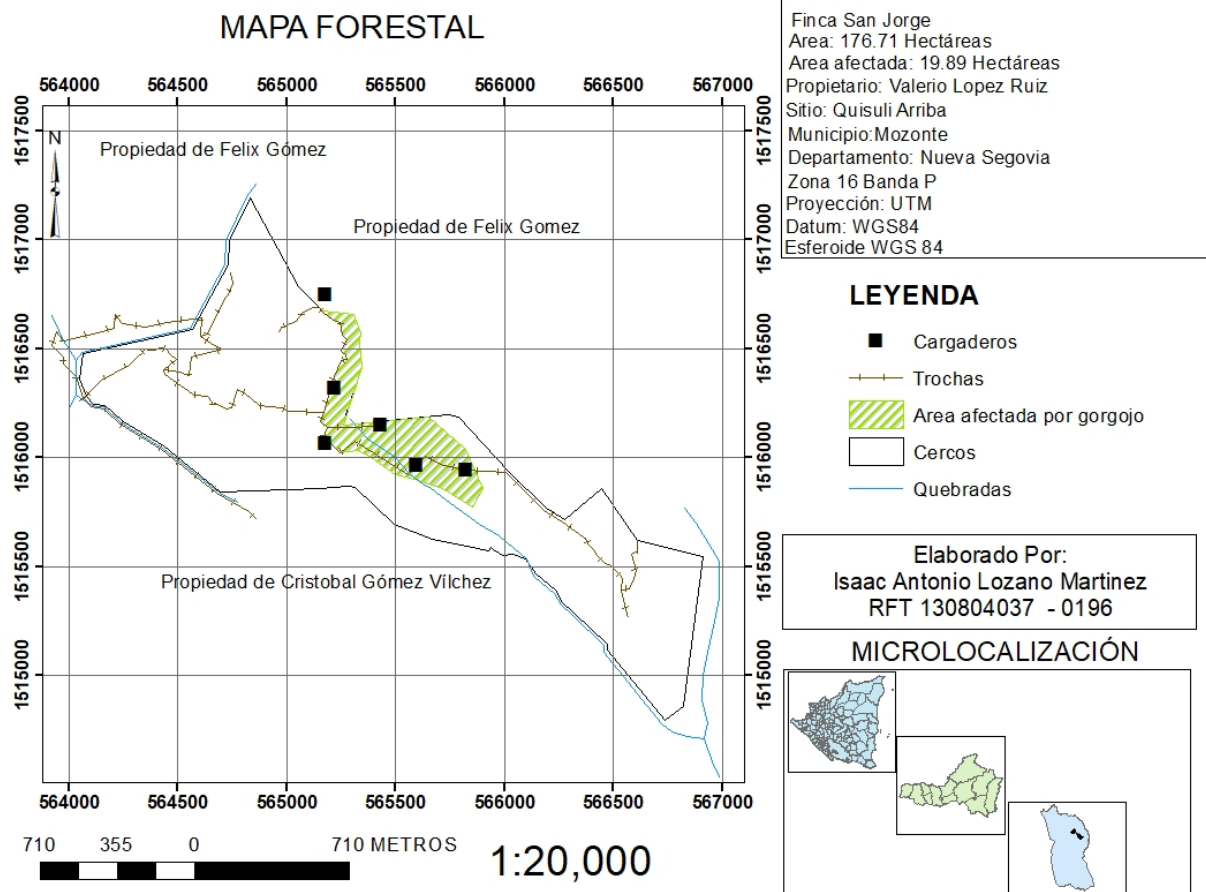
VIII. LITERATURA CITADA

- Bentz, B. J., Régnière, J., Fettig, C. J., Hansen, E. M., Hayes, J. L., Hicke, J. A., Kelsey, R. G., Negrón, J. F., & Seybold, S. J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602–613. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.8.6>
- Billings, R. F., & Espino Mendoza, V. (2005). *El gorgojo descortezador del pino (Dendroctonus frontalis) en Centroamérica: Cómo reconocer, prevenir y controlar plagas*. Texas Forest Service.
- Billings, R. F., Flores, J. E., & Cameron, R. S. (1996). *Los escarabajos descortezadores del pino, con énfasis en Dendroctonus frontalis: Métodos de control directo* (Publicación 150). Texas Forest Service.
- Coulson, R. N., & Klepzig, K. D. (Eds.). (2011). *Southern pine beetle II*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Dávila, M. L. (s. f.). *Plagas forestales en Nicaragua*. Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2002). *Dendroctonus frontalis*. EPPO Global Database.
- Fettig, C. J., Klepzig, K. D., Billings, R. F., Munson, A. S., Nebeker, T. E., Negrón, J. F., & Nowak, J. T. (2007). The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest Ecology and Management*, 238(1–3), 24–53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.10.011>
- Flores Ramírez, N. S., & Gutiérrez Aráuz, L. E. (2002). *Valoración económica de la afectación por descortezadores en cuatro comunidades de Jalapa, Nueva Segovia, año 2001* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria].
- Food and Agriculture Organization. (1995). *Situación de los bosques del mundo 1995*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2007). *Situación de los bosques del mundo 2007*. FAO.
- Food and Agriculture Organization. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018*. FAO.
- Instituto Nacional Forestal. (2002). *Informe de monitoreo de la plaga y de incendios forestales en Nueva Segovia*.
- Instituto Nacional Forestal. (2009). *Inventario nacional forestal 2007–2008* (2.^a ed.).

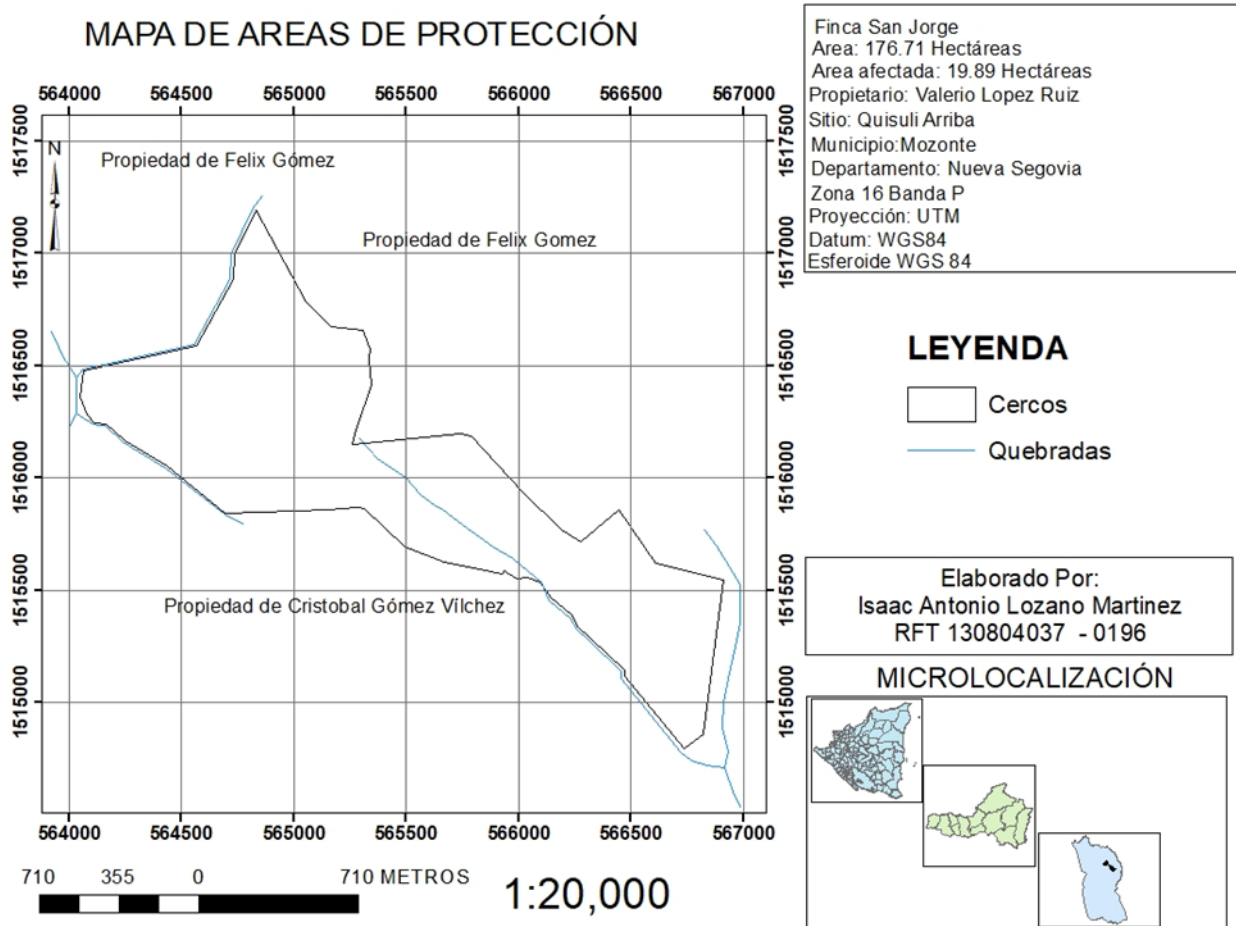
- Instituto Nacional Forestal, & Asociación de Municipios de Nueva Segovia. (2008). *Plan de manejo de la Reserva Natural Serranías Dipilto–Jalapa 2008–2020*.
- Logan, J. A., Régnière, J., & Powell, J. A. (2003). Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(3), 130–137. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0130:ATIOGW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0130:ATIOGW]2.0.CO;2)
- López Zeledón, L. B., & Toledo Marín, L. I. (2005). *Dinámica poblacional de descortezadores de pino en dos municipios del departamento de Nueva Segovia* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria].
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Perry, D. A. (1991). *Forest ecosystems*. McGraw-Hill.
- Pye, J. M., Holmes, T. P., Prestemon, J. P., & Wear, D. N. (2011). Economic impacts of the southern pine beetle. In R. N. Coulson & K. D. Klepzig (Eds.), *Southern pine beetle II* (pp. 213–222). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Raffa, K. F., Aukema, B. H., Bentz, B. J., Carroll, A. L., Hicke, J. A., Turner, M. G., & Romme, W. H. (2008). Cross-scale drivers of natural disturbances prone to anthropogenic amplification. *BioScience*, 58(6), 501–517. <https://doi.org/10.1641/B580607>
- Rivera Rojas, M., Locatelli, B., & Billings, R. (2010). Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* en Honduras. *Forest Systems*, 19(1), 70–76. <https://doi.org/10.5424/fs/2010191-01168>
- Wood, S. L. (1982). The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 6, 1–1359.

IX. ANEXOS

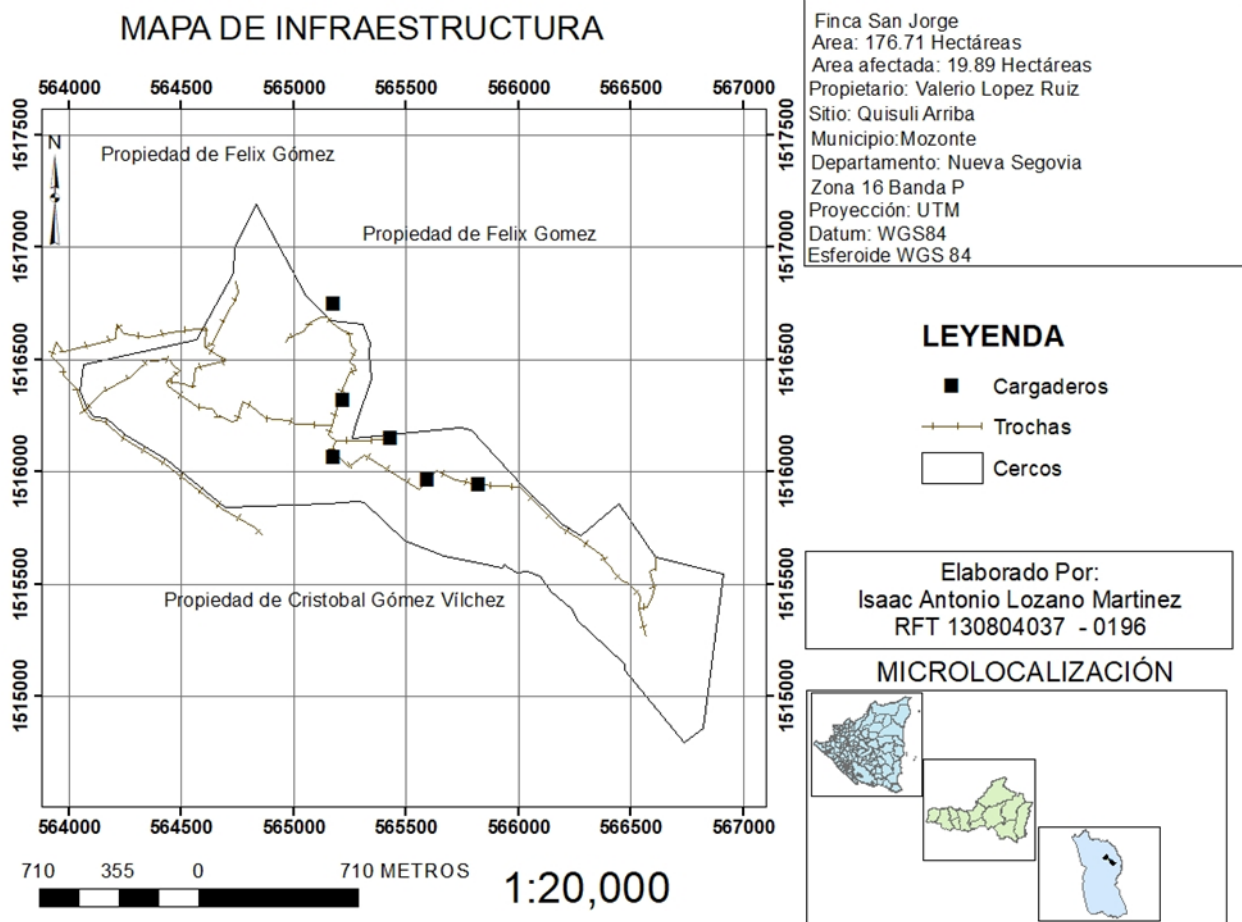
Anexo 1. Mapa forestal finca San Jorge



Anexo 2. Mapa de protección finca San Jorge

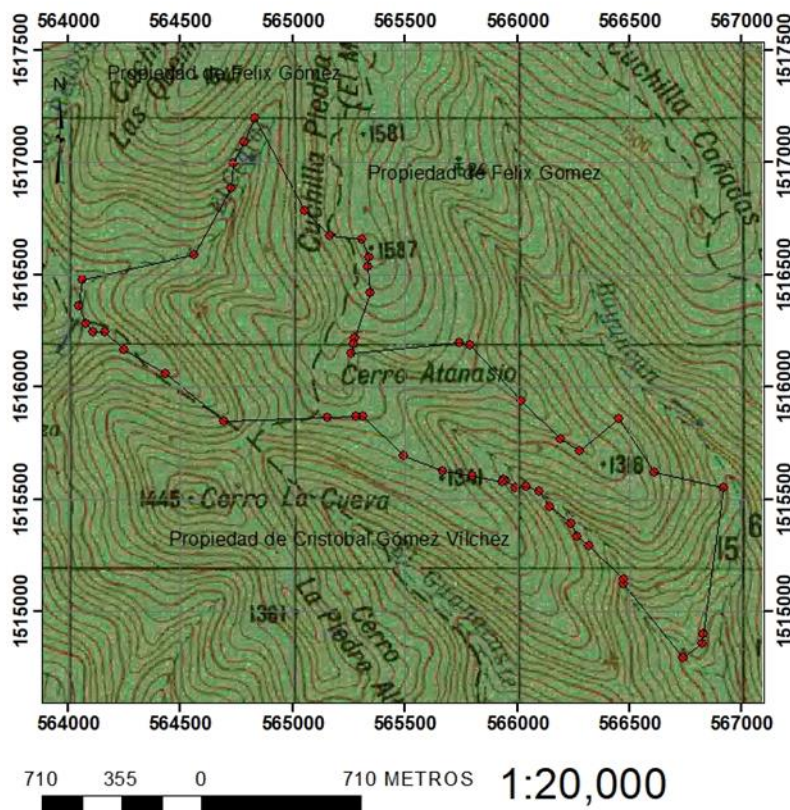


Anexo 3. Mapa de infraestructura finca San Jorge



Anexo 4. Mapa cartográfico finca San Jorge

MAPA HOJA CARTOGRAFICA FINCA SAN JORGE



Finca San Jorge
 Area: 176.71 Hectáreas
 Area afectada: 19.89 Hectáreas
 Propietario: Valerio Lopez Ruiz
 Sitio: Quisuli Arriba
 Municipio: Mozonte
 Departamento: Nueva Segovia
 Zona 16 Banda P
 Proyección: UTM
 Datum: WGS84
 Esferoide WGS 84

LEYENDA

□ Cercos

2957-III.sid

RGB

Red: Band_1

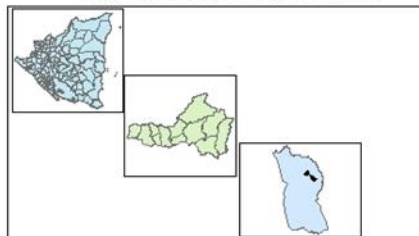
Green: Band_2

Blue: Band_3

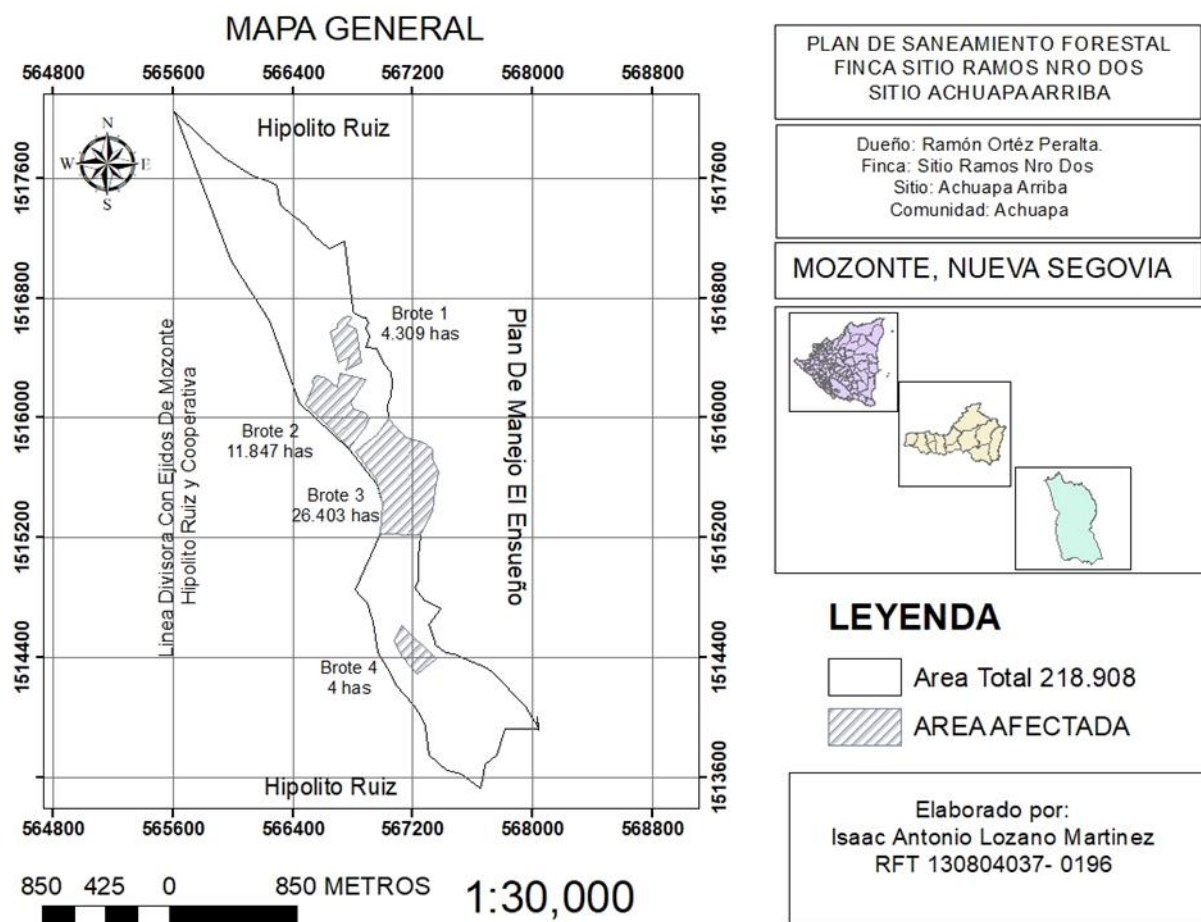
• PUNTOS GPS

Elaborado Por:
 Isaac Antonio Lozano Martinez
 RFT 130804037 - 0196

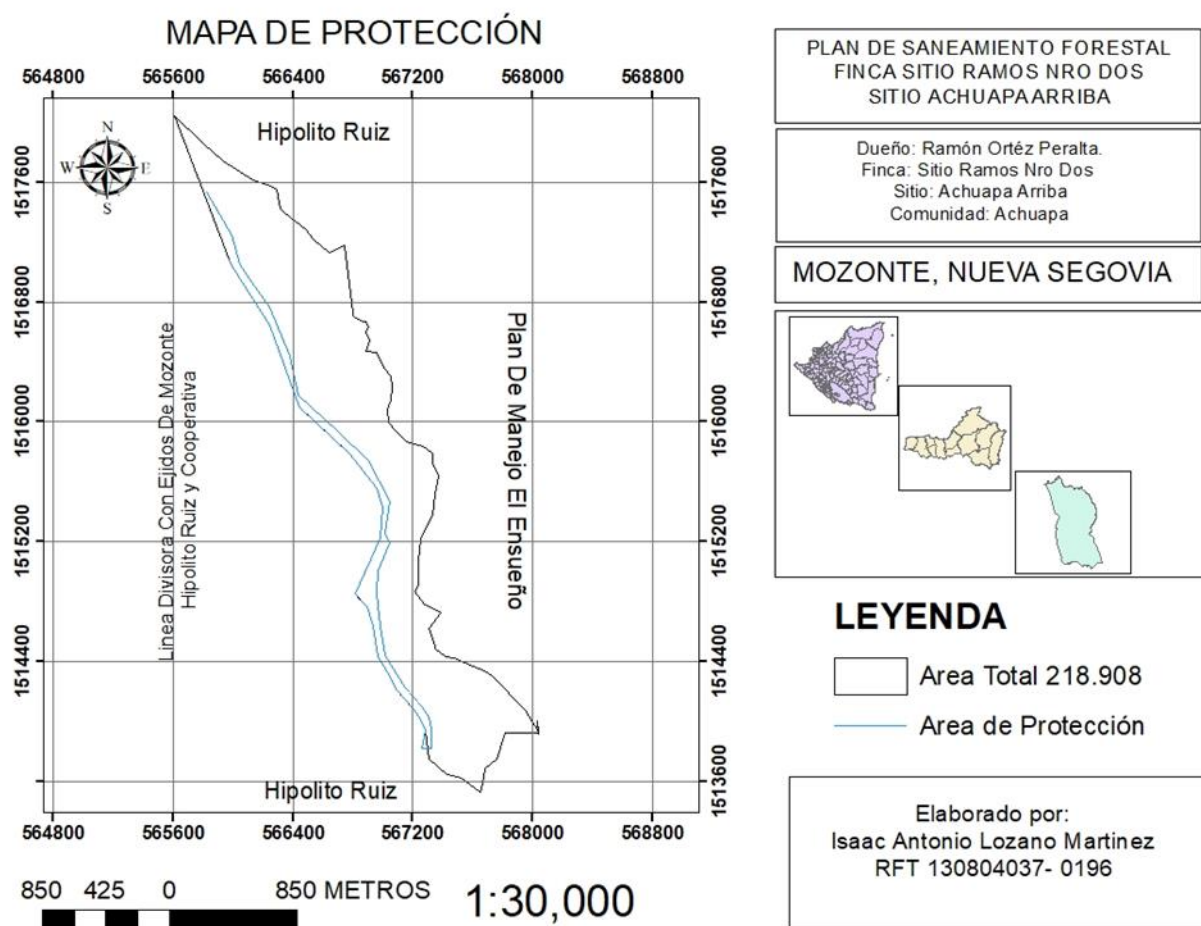
MICROLOCALIZACIÓN



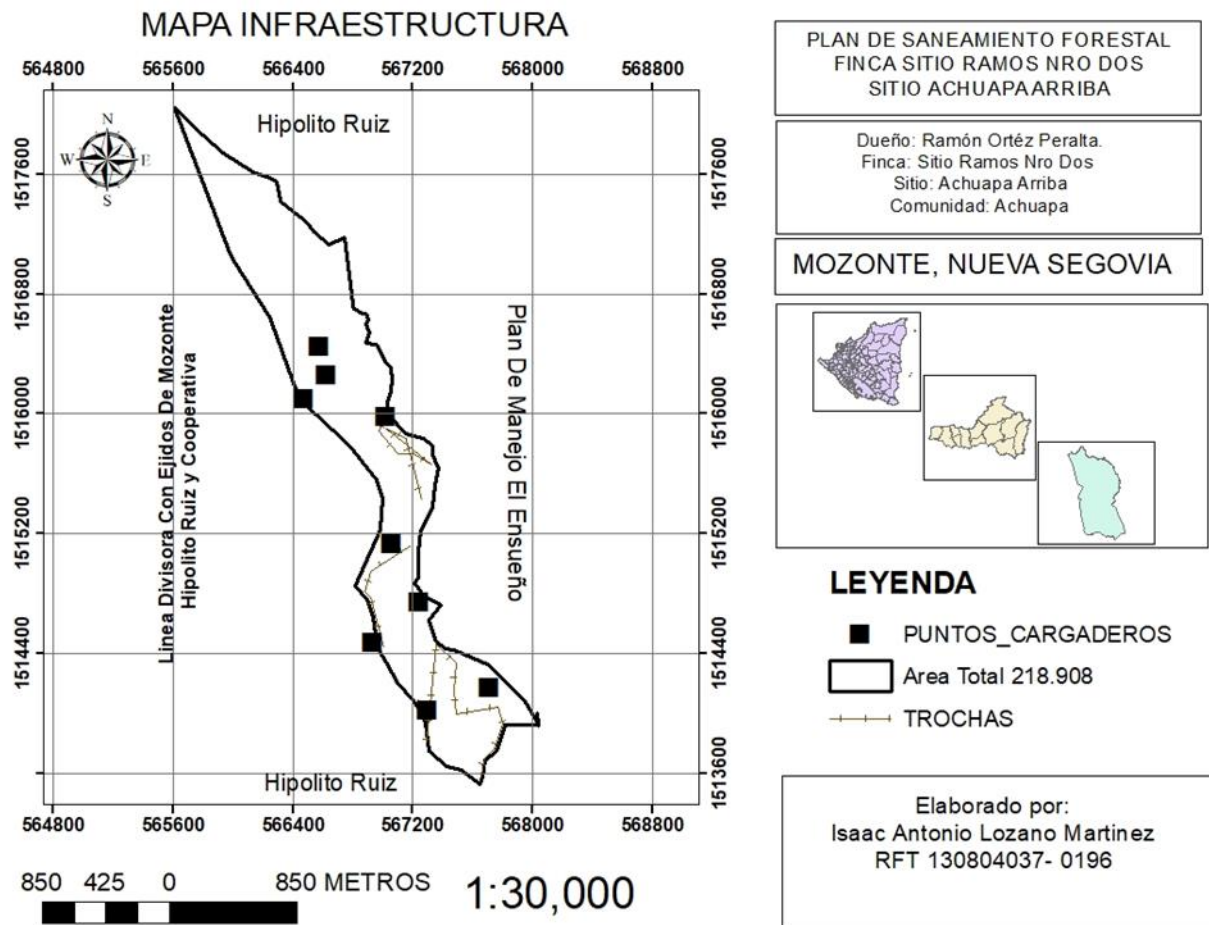
Anexo 5. Mapa Forestal finca Sitio Ramos 2



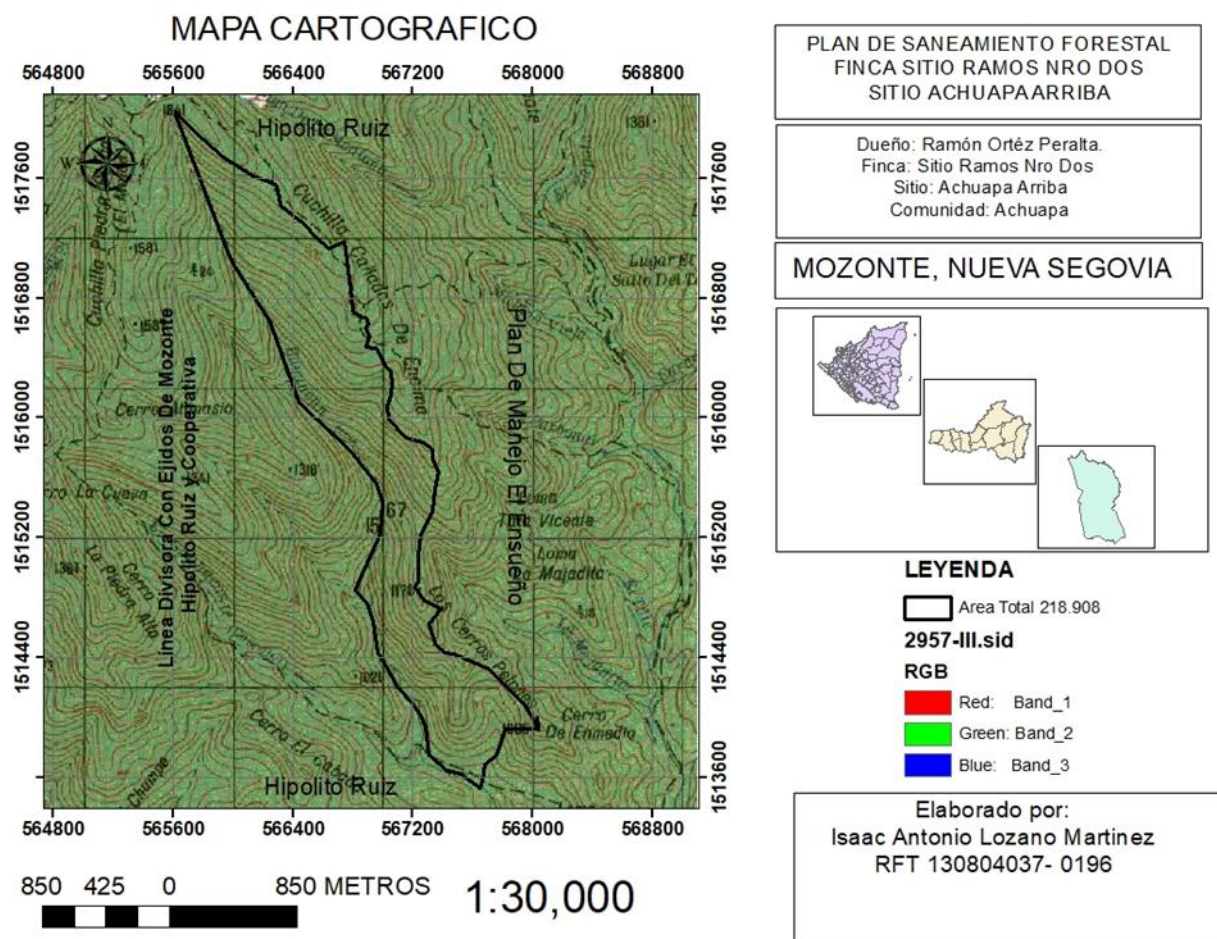
Anexo 6. Mapa de protección finca Sitio Ramos 2



Anexo 7. Mapa de infraestructura finca Sitio Ramos 2



Anexo 8. Mapa cartográfico finca Sitio Ramos 2



ENTREVISTA A PRODUCTORES

Nombre del productor: _____

Nombre de la finca: _____

Área total de la finca: _____

Tipo de bosque existente en la finca: _____

1. ¿El bosque existente en la finca ha sido manejado y en qué año?
2. ¿Su bosque ha sido afectado por plagas y enfermedades y en qué año?
3. ¿A qué cree usted se deba la afectación de la plaga en su finca?
4. ¿Toda la madera afectada por la plaga fue aprovechada?
5. ¿En caso de que no haya aprovechado toda la madera afectada, Cual fue el motivo de no aprovecharla?
6. ¿Qué volumen de madera considera que se perdió en la finca?
7. ¿A cuánto equivale en dinero este volumen de madera no aprovechado?
8. ¿Está de acuerdo usted con la aplicación de manejo forestal en su finca?
9. ¿Qué inconvenientes se le presentan al momento de aplicar manejo forestal en su finca y control de plagas?
10. ¿Qué uso actualmente le está dando a las áreas que fueron afectadas por el gorgojo?
11. ¿Recibe asistencia técnica de instituciones del estado en la aplicación de métodos de control de plaga?
12. ¿Qué tipo de métodos de control de plagas aplico en su finca y si le funciona?

X Cuadros

Cuadro 2. Desglose del impacto económico asociado a la madera no aprovechada

Concepto	Vol. M ³	Costo M ³	Monto (USD)
Pago de impuesto por aprovechamiento	1,648.54 m ³	US\$4.37	US\$7,204.11
Venta de madera al comprador	1,648.54 m ³	US\$25.00	US\$41,213.50
Pago al Regente forestal (plan de saneamiento)	1,648.54 m ³	US\$3.00	US\$4,945.62
Pago de mano de obra	1,648.54 m ³	US\$13.96	US\$23,013.61
Pago de fondo ambiental (Alcaldía) (ver nota)	1,648.54 m ³	US\$2.00	US\$3,297.08
TOTAL, COSTOS	—		US\$79,673.92

Cuadro 3. Temperatura media anual entre los años 2012 al 2016

Resumen Meteorológico Anual																
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017							
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal							
Latitud: 13° 37' 00"									Longitud: 86° 28' 00"							
Años: 2012-2016									Elevación: 612 msnm				Tipo: HMP			
									Septie	Octubre	Noviemb	Diciemb				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	mbre		e	re	Media	Años	Brote	
2012	22.6	23.7	24.8	26.4	25.2	24.9	24.4	24.7	24.3	24.1	22.5	22.7	24.2	12	0	
2013	23.0	24.4	25.5	27.7	26.5	24.8	24.6	24.7	24.6	24.5	23.8	23.0	24.8	12	0	
2014	23.0	24.2	25.8	27.6	27.2	25.7	26.1	25.4	24.7	24.3	23.5	22.9	25.0	12	0	
2015	23.4	23.8	25.2	27.0	26.5	25.4	25.0	25.4	25.4	25.0	24.1	24.0	25.0	12	5	
2016	23.5	24.1	26.5	27.6	26.7	24.6	24.4	24.8	24.6	24.0	22.9	22.7	24.7	12	0	

Cuadro 4. Temperatura máxima media entre los años 2012 al año 2016

Resumen Meteorológico Anual																
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017							
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal							
Latitud: 13° 37' 00"			Parámetro: Temperatura Máxima Media (C°)						Longitud: 86° 28' 00"			Elevación: 612 msnm			Tipo: HMP	
Años: 2012-2016																
Año	Ener o	Feb rero	Marz o	Abril	M ay o	Ju nio	Juli o	Agost o	Septiem bre	Octubr e	Novie mbre	Diciem bre	Media	Años		
2012	28.6	29.8	31.1	33.6	31. 7	30. 9	30. 6	31.8	31.6	31.3	29.1	30.0	30.8	12		
2013	29.1	31.3	32.5	34.2	33. 3	31. 1	30. 6	31.0	31.1	30.8	30.3	29.1	31.2	12		
2014	28.9	30.5	32.3	33.8	32. 8	31. 5	31. 6	32.0	30.8	30.2	29.5	29.5	31.1	12		
2015	29.2	30.2	31.6	33.7	32. 5	30. 8	30. 5	32.1	32.1	31.3	30.2	30.3	31.2	12		
2016	30.3	30.2	33.2	34.4	33. 2	31. 0	30. 8	31.5	31.0	30.7	28.9	28.4	31.1	12		

Cuadro 5. Temperatura mínima media entre los años 2012 al año 2016

Resumen Meteorológico Anual														
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017					
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal					
Latitud: 13° 37' 00"			Parámetro: Temperatura Mínima Anual (C°)						Longitud: 86° 28' 00"					
Años: 2012-2016									Elevación: 612 msnm			Tipo: HMP		
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media	Años
2012	17.3	18.5	19.0	20.4	20.9	20.6	19.7	19.9	19.4	19.6	16.7	16.4	19.0	12
2013	17.5	18.0	19.4	21.5	21.1	21.1	20.2	19.8	20.9	20.4	18.8	17.8	19.7	12
2014	17.3	17.4	19.1	21.3	22.2	21.5	21.4	20.4	20.4	20.1	18.8	16.9	19.7	12
2015	18.2	17.8	19.6	20.8	21.5	21.5	20.3	20.0	20.7	20.6	19.5	18.9	20.0	12
2016	17.4	18.4	20.2	21.8	21.3	20.5	19.6	20.3	20.3	19.7613	18.33667	18.18065	19.7	12

Cuadro 6. Humedad relativa media entre los años 2012 al año 2016

Resumen Meteorológico Anual																
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017							
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal							
Latitud: 13° 37' 00"									Parámetro: Humedad Relativa Media (%)							
Años: 2012-2016									Longitud: 86° 28' 00"							
									Elevación: 612 msnm				Tipo: HMP			
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media	Años	Brote	
2012	77	76	68	70	81	83	81	82	82	84	82	78	79	12	0	
2013	77	71	67	63	70	83	80	81	85	83	81	81	77	12	0	
2014	77	75	69	59	66	76	72	78	84	86	83	78	75	12	0	
2015	76	72	64	62	66	81	75	73	77	81	82	78	74	12	5	
2016	72	67	64	60	71	82	80	80	84	85	84	81	76	12	0	

Cuadro 7. Precipitación anual entre los años 2012 al año 2016

Resumen Meteorológico Anual															
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017						
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal						
Latitud: 13° 37' 00"				Parámetro: Precipitación(mm)					Longitud: 86° 28' 00"						
Años: 2012-2016									Elevación: 612 msnm				Tipo: HMP		
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media	Años	Brote
2012	4.8	1.7	0.2	100.0	337.6	167.7	29.8	96.5	86.7	197.1	1.9	1.1	1025	12	0
2013	1.8	0.7	1.2	1.1	135.1	127.0	79.9	131.3	274.1	83.3	11.7	6.1	853.3	12	0
2014	3.8	0.6	4.8	2.7	9.6	68.6	20.1	161.9	105.6	148.7	14.0	2.0	542.4	12	0
2015	3.9	13.6	3.8	36.7	3.6	218.1	63.3	19.5	117.2	179.9	36.9	7.4	703.9	12	5
2016	0.3	0.0	7.2	56.3	181.5	136.1	90.2	230.7	72.5	350.8	18.9	18.3	1163	12	0

Cuadro 8. Precipitación anual máxima absoluta entre los años 2012 al año 2016

Resumen Meteorológico Anual														
Estación: Ocotal/Nueva Segovia									Código: 45017					
Departamento: Nueva Segovia									Municipio: Ocotal					
Latitud: 13° 37' 00"			Parámetro: Precipitación Máxima Absoluta(mm)						Longitud: 86° 28' 00"					
Años: 2012-2016									Elevación: 612 msnm				Tipo: HMP	
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media	Años
2012	1.4	1.1	0.1	40.0	118.4	57.3	9.6	23.7	18.8	37.2	1.4	0.9	118.4	12
2013	1.3	0.7	0.8	1.1	53.4	58.8	17.7	40.9	111.7	20.3	2.5	3.8	111.7	12
2014	1.4	0.3	3.8	1.4	8.1	18.0	12.2	64.5	24.7	40.5	6.3	0.9	64.5	12
2015	3.3	13.5	1.8	32.8	3	55.8	25.5	5.5	61.8	54.3	20	4.5	61.8	12
2016	0.3	0.0	3.9	40.4	63.2	47.0	21.3	60.3	15.6	83.9			83.9	12

