

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ambiente y Desarrollo

Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación del desarrollo de la restauración natural en áreas afectadas
por *Dendroctonus Frontalis* en el ecosistema de bosque, Santa Inés,
Honduras.**

Estudiante

Fernanda Teresa Letona Carrillo

Asesores

Juan Carlos Flores, Ph.D.

Juan Ramón Liconá, Mtr.

Honduras, julio 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA ALEJANDRA TENORIO

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Metodología.....	14
Descripción del Sitio de Estudio.....	14
Diseño Muestral.....	14
Instalación de Parcelas.....	15
Recolección de Datos	15
Análisis Estadístico	15
Resultados y Discusión.....	17
Brinzales	17
Tratamiento de Control del Dendroctonus frontalis	17
Viento.....	18
Distancia del Árbol Semillero	19
Latizales.....	21
Tratamiento control del Dendroctonus frontalis.....	21
Viento.....	22
Distancia del Árbol Semillero	23
Cantidad Total de Árboles Presentes.....	25
Tratamiento de control del Dendroctonus frontalis.....	25
Viento.....	26

Distancia del Árbol Semillero	26
Área Basal	28
Conclusiones	30
Recomendaciones	31
Referencias.....	32
Anexos.....	36

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Niveles de los diferentes factores	14
Cuadro 2 Prueba Shapiro-Wilk con respecto a la distancia del árbol semillero	20
Cuadro 3 Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.	21
Cuadro 4 Prueba Shapiro-Wilk con respecto a la distancia del árbol semillero.	24
Cuadro 5 Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.	24
Cuadro 6 Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.	27
Cuadro 7 Área basal promedio (m ² /ha) en el brote Sibaja.	28
Cuadro 8 Área basal promedio en el brote Zarciles.	29

Índice de Figuras

Figura 1 Población de brinzales por hectárea con respecto al tratamiento.....	18
Figura 2 Población de brinzales con respecto a la dirección del viento en ambos sitios.	19
Figura 3 Población de brinzales por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.	20
Figura 4 Población de latizales con respecto al tratamiento.....	21
Figura 5 Población de latizales por hectárea con respecto a la dirección del viento.	22
Figura 6 Población de brinzales por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.	23
Figura 7 Población de árboles con respecto al tratamiento (quema completa y, quema y extracción).	25
Figura 8 Población de árboles con respecto a la dirección del viento.....	26
Figura 9 Población del total de árboles por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.	27

Índice de Anexos

Anexo A Mapa de ubicación de sitios de estudio	36
Anexo B Diseño de parcela	37

Resumen

El gorgojo de pino *Dendroctonus frontalis* genera diferentes impactos en los bosques de pino afectando su dinámica. Uno de los controles mas comunes es el corte de los árboles atacados por el insecto. Tras la eliminación de los árboles afectados, inicia la fase de restauración del ecosistema ya sea de forma natural o intervenida. Durante el desarrollo de la recuperación de los bosques se presentan distintas dinámicas de crecimiento y comportamiento influido por los diferentes factores bióticos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la restauración natural tras el ataque de *Dendroctonus frontalis* en el área de la microcuenca Santa Inés, Honduras. Se instalaron 60 unidades de muestreo circulares de 25 m², donde se evaluó la distribución de latizales y brinzales con relación a los tratamientos de quema completa y quema y extracción, la dirección del viento y la distancia desde el árbol semillero. Se realizó un diseño factorial de 3 factores por 3 repeticiones. Se encontró que el factor más influyente en el proceso de restauración es la dirección del viento, además la distancia con respecto al árbol semillero no tiene influencia sobre el proceso de regeneración. Además que en el estadio inicial de restauración la incidencia de la práctica de quema puede contribuir a la restauración de las zonas donde predomine el pino.

Palabras clave: uso del fuego, brinzales, latizales, influencia, dinámica.

Abstract

The pine weevil *Dendroctonus frontalis* generates different impacts on pine forests, affecting their dynamics. One of the most common controls is the cutting of trees attacked by the insect. After the elimination of the affected trees, the ecosystem restoration phase begins, either in a natural or intervened way. During the development of forest recovery, there are different growth dynamics and behavior influenced by different biotic factors. The present study aimed to evaluate the natural restoration after the attack of *Dendroctonus frontalis* in the area of the Santa Inés micro-watershed, Honduras. Sixty circular sampling units of 25 m² were installed, where the distribution of grasses and saplings was evaluated in relation to the treatments of complete burning and burning and extraction, wind direction and distance from the seed tree. A 3-factor factorial design with 3 replications was used. It was found that the most influential factor in the restoration process is the wind direction, and the distance from the seed tree has no influence on the regeneration process. In addition, in the initial stage of restoration, the incidence of burning can contribute to the restoration of areas dominated by pine.

Key words: fire use, saplings, grasslands, influence, dynamics.

Introducción

La cobertura forestal a nivel mundial es de aproximadamente 4,000 millones de hectáreas, de esta cantidad, 927 millones de hectáreas se encuentran en América Latina (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). La cobertura forestal de Honduras es de 6,314,814. 59 hectáreas lo que equivale a un 56.06% de la superficie que se encuentra cubierta por bosque. De ese total, el 30.91% esta cubierto por bosque de conífera, 68.30% por bosque latifoliado y 0.9% por bosque de Mangle (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [ICF], 2020).

Los bosques de coníferas son aquellos que se encuentran compuestos por distintas especies de pinos. En Honduras las especies más comunes son el *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* y *Pinus caribaea* (ICF, 2020). De acuerdo con el reporte anual del 2021 del ICF, el departamento Francisco Morazán cuenta con 359,149.62 hectáreas de bosque de conífera.

Debido a alta presencia de bosques, es necesario que Honduras cuente con planes de manejo e instituciones que se encarguen de su regulación y manejo. Uno de los mayores retos para la gestión forestal en los bosques de pinos es la relación que existe entre los brotes de insectos como huéspedes y los individuos como hospederos (Zas Arregui y Sampedro Pérez, 2016). De acuerdo con Billings y Espino Mendoza (2005) la plaga que más afecta a los bosques de pino es el gorgojo descortezador de pino (*Dendroctonus* spp), del cual se registran un total de 12 especies. Siendo la especie más agresiva la *frontalis*, debido a que es capaz de afectar a los pinos sanos y en buenas condiciones, característica que lo clasifica como plaga.

Entre enero a diciembre de 2019 se reportaron a nivel nacional un total de 1,831 brotes de gorgojo descortezador de pino, un 16% del total corresponde al departamento de Francisco Morazán (ICF, 2020). El gorgojo es una de las plagas de mayor impacto económico para los pinares centroamericanos, especialmente en Honduras (Rivera Rojas et al., 2010).

La problemática de las plagas afecta la existencia de los ecosistemas, amenazando amplias extensiones de bosque que se encuentran en distintos estados vegetativos (Comité Nacional de Protección Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre [CONAPROFOR], 2021). Estudiar los recursos naturales es necesario con el fin de colaborar con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el caso de este estudio, los objetivos involucrados son: Acción por el clima y Vida de ecosistemas terrestres, considerando que los bosques cumplen con funciones ecológicas y ayudan a la conservación de la biodiversidad.

Se conoce que el problema con los brotes del gorgojo es que, dependiendo de su ubicación, pueden impactar de distintas maneras. Por ejemplo pueden reducir la captación de agua, afectar los recursos de los pobladores cercanos y reducir la oportunidad de generar ingresos por medio de la forestería (Defensoría Nacional del Medio Ambiente, 2016).

De acuerdo con McDonald et al. (2016) después de un brote de plaga debe haber restauración, esta puede ser de forma natural o por plantaciones. En este caso, el estudio se enfoca en la evaluación de la restauración natural. Esta se define como: un proceso de germinación, nacimiento u otra manera de reemplazo de biota, incluyendo plantas, animales y microbiota, ya sea si surge de la colonización o de procesos *in situ* (McDonald et al., 2016). Es importante destacar que la regeneración natural es el principal mecanismo para la recuperación de los bosques. Se reporta que el 93% de la superficie forestal mundial corresponde a bosques regenerados de forma natural y el 7% a plantaciones forestales (FAO, 2021).

La restauración cumple un rol fundamental en la dinámica de bosque, permitiendo un proceso llamado sucesión ecológica. Este se define como un proceso por el cual un ecosistema recupera su estructura y funcionalidad tras una perturbación (Murcia y Guariguata, 2014). Cabe recalcar que los encargados de la restauración natural no son los humanos, sino los elementos realizados por la biota, mediante los procesos naturales de germinación, crecimiento, reproducción e interacciones que se realicen entre los seres vivos para reconstruir el ecosistema (McDonald et al., 2016). La restauración

se vuelve esencial en el caso del pino, ya que esta especie tiene importancia a nivel económico y ecológico, debido a que interviene en procesos del ecosistema como ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, además de ser hábitat y fuente de alimento para la fauna (Sánchez-González, 2008).

Cada especie necesita de distintas condiciones para desarrollarse dependiendo de varios factores del ambiente donde se encuentran (Muñoz, 2018). De acuerdo con la investigación de Herrera Eguigure (2017) para estimar la densidad y el tiempo de regeneración del *Pinus oocarpa* hay que tomar en cuenta, la dirección del viento, la pendiente, distancia del árbol semillero y los tratamientos de preparación realizados. Con base en algunas investigaciones se estima que el fuego crea condiciones para la repoblación de algunas especies como los pinos, y dificulta el establecimiento de otras especies que podrían ser obstáculos para la especie mencionada con anterioridad, aparte de añadir ciertos minerales al suelo (Juárez-Martínez et al., 2003).

Analizar la situación tras años posteriores, permite una comparación del crecimiento presentado por los individuos que se restauraron. La eliminación o reducción de una cubierta protectora aumenta la variabilidad de temperatura, la cual obstaculiza el crecimiento por el riesgo de quemadura de los individuos (González Morazán y Ramírez Palma, 2000). Herrera Eguigure (2017) cuantificó y comparó el efecto de los tratamientos meses después de haberlos realizado, por lo que efectuar un seguimiento es conveniente para el manejo de estas áreas.

Después de unos años, se vuelve necesario monitorear y evaluar los resultados generados por prácticas de la restauración natural (Sánchez Durán et al., 2014). El monitoreo es la recolección de datos, observaciones y estudios sobre el área de investigación, con el objetivo de caracterizar el estado actual y documentar datos que han ocurrido a lo largo del tiempo (Aguilar-Garavito y Ramírez Wilson, 2015). La dinámica evolutiva del bosque, por ejemplo, la regeneración natural y el establecimiento de nuevos individuos, ya que algunos estudios demuestran que los individuos del género *Pinus* de dos a cuatro años son capaces de emerger si el fuego elimina la competencia de otras plantas. Hay aspectos importantes que pocas veces son evaluados, por ejemplo, la recuperación de

ecosistemas impactados y el tiempo que tardan en retomar su condición original (López Martínez et al., 2017). La planificación temporal se vuelve importante, tanto como las labores de control y seguimiento, comparando con resultados obtenidos de otros ecosistemas. Esto requiere marcos temporales de seguimiento de 5 a 10 años (Pérez-Cabello et al., 2014).

Por tanto, los objetivos planteados para el estudio fueron: evaluar el desarrollo de la restauración natural del ecosistema de pino en áreas afectadas por *Dendroctonus frontalis* en la cuenca Santa Inés, Honduras. Específicamente, caracterizar los sitios regenerados que fueron afectados, evaluar el efecto de los principales factores que afectan la regeneración del pino en áreas afectadas por el gorgojo descortezador y estimar el crecimiento del pino desde el ataque del gorgojo descortezador.

Metodología

Descripción del Sitio de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la microcuenca Santa Inés (Anexo A). La microcuenca tiene un área de 1,858 ha, esta se encuentra ubicada entre los municipios de Yuscarán, Güinope y San Antonio de Oriente, en el Departamento de Francisco Morazán en Honduras (Montenegro Correa, 2013). La temperatura media anual es de 24°C y una precipitación media anual de 1,100 mm (Dubon Escobar, 2015).

En la microcuenca Santa Inés, El Zamorano cuenta con 737.81 ha, de estas 582.26 ha son de bosque de coníferas (Dubon Escobar, 2015). Dentro de estas, se encuentra los sitios específicos que fueron afectados en el 2015 y que ahora son parte del estudio, el brote Sibaja con un área de 43.08 ha, a las cuales se les aplicó un tratamiento donde se extrajeron los árboles afectados y se quemaron en un lugar en específico dentro del sitio y el brote Zarciles con 41 ha donde se realizó una quema completa en todo el sitio como tratamiento (Herrera Eguigure, 2017). Los tratamientos de control del *Dendroctonus frontalis* fueron realizados en 2015.

Diseño Muestral

El diseño muestral fue sistemático, tomando en cuenta un arreglo de 2x2x5. Se tomaron en cuenta tres factores que son: el tratamiento (tipo de quema), distancia del árbol semillero y dirección del viento. Cabe aclarar que la pendiente no es un factor que se pueda tomar en cuenta por los constantes cambios en la inclinación presente en el área de estudio. Los factores y sus niveles son los siguientes:

Cuadro 1

Niveles de los diferentes factores

Dirección del viento	Distancia al árbol semillero	Práctica
A favor	0 – 10 m	Quema completa
En contra	10 – 20 m	Quema completa y extracción
	20 – 30 m	
	30– 40 m	
	> 40 m	

Instalación de Parcelas

La selección e instalación de las parcelas se hizo a través de un método sistemático de muestreo, siendo la principal condición que se encuentre dentro de las áreas que fueron regenerados tras el ataque de *Dendroctonus frontalis* en los brotes de Sibaja y Zarciles. Además, se tomó en cuenta la distancia que posee en relación con un árbol semillero, para ello se observó el área evitando que se encuentre otro semillero cerca que pudiese ocasionar sesgo. Otro factor, fue la dirección del viento que fue determinada por el movimiento de las copas de los árboles.

Se instalaron 60 unidades de muestreo de forma circular de 25 m² con un radio de 2.81 m, delimitadas por estacas y subdividas en cuadrantes de 6.25 m² (Anexo B). Se realizaron 3 repeticiones por cada combinación de factores, cada sector contó con 5 unidades de muestreo. La distancia entre unidades de muestreo fue de 10 metros desde el centro de cada circunferencia. Al final, cada brote tuvo seis transectos, obteniendo 30 unidades de muestreo en cada brote respectivamente, con un total de 60 unidades de muestreo para todo el estudio y un nivel de confianza del 95%.

Recolección de Datos

Para la recolección de datos se contaron los árboles de pino presentes de izquierda a derecha, y de abajo hacia arriba en cada uno de los cuadrantes para generar la suma total de la parcela. Con ayuda de una forcípula se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de aquellos árboles cuya altura supera los 1.3 metros.

Análisis Estadístico

Se utilizó la herramienta estadística Microsoft Excel 2019 con Real Statistics 2010, se determinaron estadísticas descriptivas de ambos brotes, se determinó un promedio por brote y por factor. Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk con el objetivo de determinar si los resultados pertenecen a una distribución normal. Posteriormente, se analizó la distribución de las poblaciones para cada uno de los factores. Con respecto a la distancia del árbol semillero, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si la distancia con respecto al árbol semillero influye en

la densidad de restauración. Para la dirección del viento y quema se realizaron pruebas de Friedman. Además, para la dirección del viento se realizó una prueba U de Mann-Whitney para determinar si estos factores influyen en la densidad de restauración. Para el área basal se realizó una prueba de normalidad de cada sector y una prueba de Mann-Whitney comparando los sitios. El nivel de confianza utilizado para todas las pruebas fue del 95%.

Resultados y Discusión

Existe una mayor densidad de árboles en el brote con quema completa y extracción ya que en las parcelas se encontraron 163 árboles con alturas menores al 1.3 metros (brinzales) y 50 árboles con alturas mayores al 1.3 metros (latizales) para un total de 213 árboles. En cambio, en las parcelas del brote con quema completa se obtuvieron 88 brinzales y 49 latizales para un total de 137 árboles, obteniendo 350 árboles entre la suma de ambos brotes.

Se encontró que los datos obtenidos de la población restaurada de pino muestran una distribución no paramétrica ($p \leq 0.05$), en Zarciles y en Sibaja analizado en todo el conjunto de factores. El estudio realizado por Rebottaro et al. (2011) obtuvo también asimetría en la distribución de datos y por tanto, las siguientes pruebas utilizadas en el estudio, como en este caso, se realizaron mediante métodos no paramétricos. Cabe mencionar que con la cantidad de muestras tomadas en cuenta se obtuvo un error muestral de 20.5%

Brinzales

Tratamiento de Control del Dendroctonus frontalis

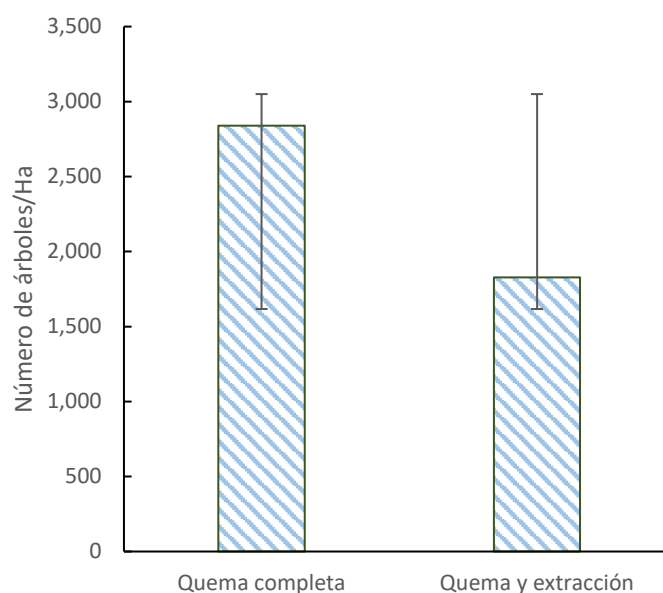
En el caso de Zarciles cuyo tratamiento fue quema completa se obtuvo una población de 2,173 árboles/ha y para Sibaja con el tratamiento de quema y extracción se obtuvieron 1,173 árboles/ha (Figura 1). En ambos casos la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$), encontrándose según las pruebas de Friedman y Mann-Whitney una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las prácticas. Por lo que se infiere que el tipo de práctica es una variable influyente en los estadios iniciales de la restauración en las zonas donde predomina el pino.

Este comportamiento podría deberse, como lo indican otros estudios a que los individuos del género Pinus son capaces de emerger de dos a cuatro años después de tener contacto con fuego (López Martínez et al., 2017). Además, este terreno cuenta con una mejor distribución de latizales aunque no significativamente, creando una mejor distribución de sombra. Como las plántulas al inicio de la germinación para poder crecer necesitan contar con cierto grado de sombra con el fin de evitar

quemaduras por las altas temperaturas y por la exposición al sol (González Morazán y Ramírez Palma, 2000), la condición de sombra podría influenciar.

Figura 1

Población de brinzales por hectárea con respecto al tratamiento.

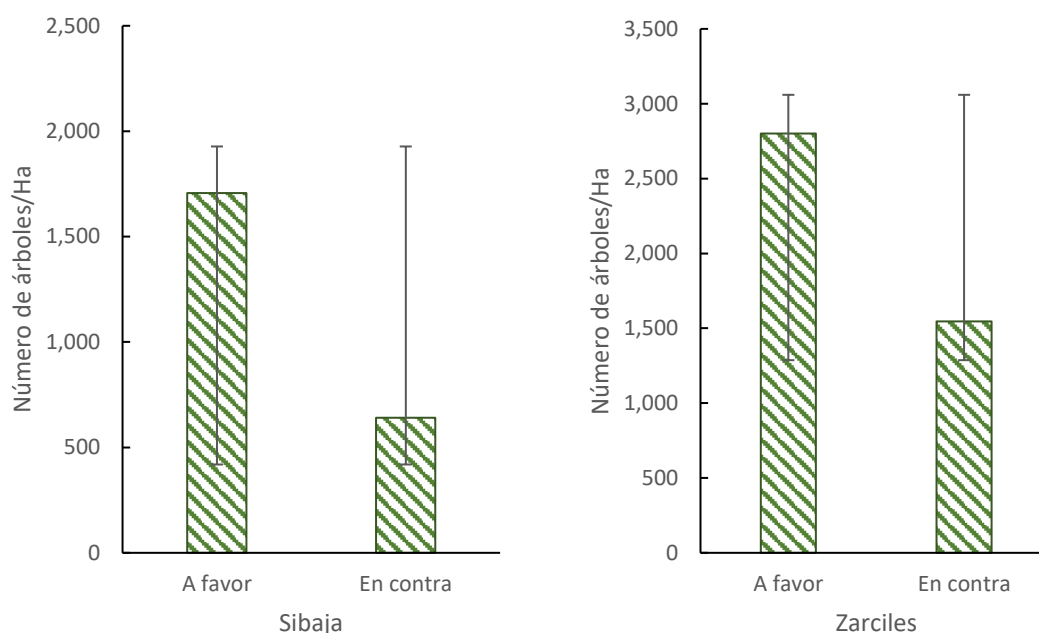


Viento

Con respecto al factor de la dirección del viento en el brote Zarciles se encontraron 1,707 árboles/ha a favor del viento y 640 árboles/ha en contra del viento. En el caso del brote Sibaja, se encontraron 2800 árboles/ha favor del viento y 1547 árboles en contra del viento (Figura 2). En ambos casos la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$). De acuerdo con Dalling (2002) uno de los factores que más puede influir en la distribución asimétrica alrededor del árbol semillero de algunas semillas es la dirección de los vientos. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las direcciones del viento, por lo tanto, se infiere que en los sectores en que la dirección es a favor del viento existe mayor restauración que en aquellos sectores donde la dirección se dirige en contra.

Figura 2

Población de brinzales con respecto a la dirección del viento en ambos sitios.



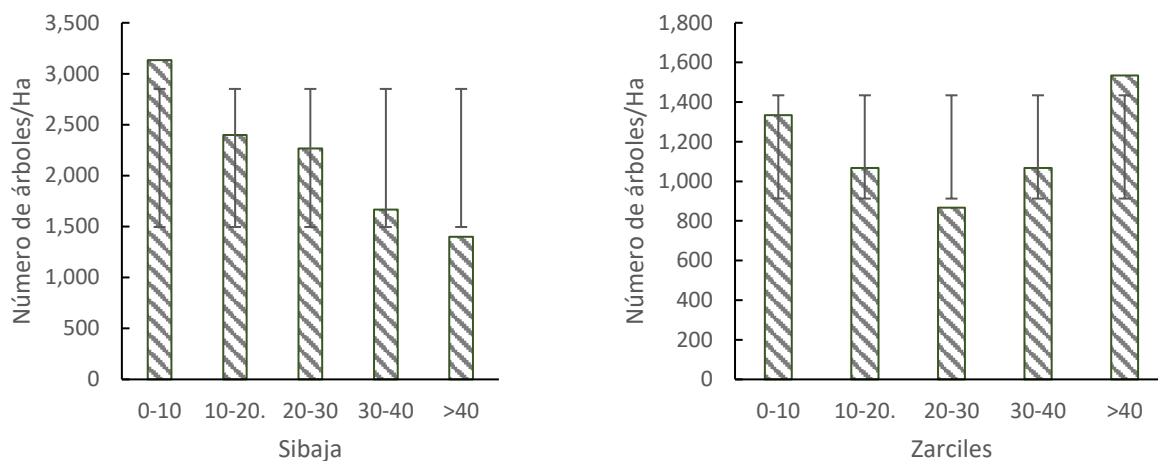
Resultados similares reporta Herrera Eguigure (2017) quien encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a densidades en los sectores que se encuentran a favor del viento. Corroborado por Rebottaro et al. (2011) quienes indican que las semillas se dispersan en la dirección predominante del viento en el sitio de estudio. También, Tercero-Burcado y Rovere (2010) reportaron una mayor cantidad de semillas dispersadas hacia el noreste, dirección en la que el viento predominaba dentro de su sitio de estudio.

Distancia del Árbol Semillero

La población de brinzales por hectárea con respecto a la distancia con el árbol semillero en cada uno de los sitios se observan en la Figura 3. Posteriormente, se realizó la prueba de normalidad para definir el tipo de distribución de los datos.

Figura 3

Población de brinzales por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.



En el Cuadro 2, se observa el nivel de significancia de cada una de las categorías. En este factor la mayoría de los datos obtenidos pertenecen a una distribución no paramétrica ($p \leq 0.05$), excepto aquellos valores obtenidos en la distancia entre los 10 a 20 metros y más de los 40 metros que presentan una distribución paramétrica ($p > 0.05$). En la restauración natural es común que la distribución de los datos no sea paramétrica debido a que dentro de este proceso influyen varios factores.

Cuadro 2

Prueba Shapiro-Wilk con respecto a la distancia del árbol semillero

Distancia al árbol	Estadístico F	Significancia
0-10	0.8872	0.1283
10-20	0.7812	0.0053
20-30	0.8845	0.1189
30-40	0.9406	0.5285
>40	0.8319	0.0247

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a la densidad de árboles y la distancia con relación al árbol semillero (Cuadro 3). Los resultados coinciden con la investigación de Herrera Eguigure (2017) quien indica que la distancia del árbol semillero no afecta la cantidad de

brinzales. Sin embargo, difiere con los comportamientos reportados por Lara Rivas (2011) quien indicó que la mayor parte de la regeneración ocurre a distancias intermedias, y también en aquellas distancias que se encuentran más cercanas al árbol de origen.

Cuadro 3

Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.

Distancia al árbol (m)	Media	Estadístico F	Significancia
0-10	3.5	0.4383	0.4406
10-20	3	0.4383	0.4406
20-30	4.5	0.4383	0.4406
30-40	3.5	0.4383	0.4406
>40	2.5	0.4383	0.4406

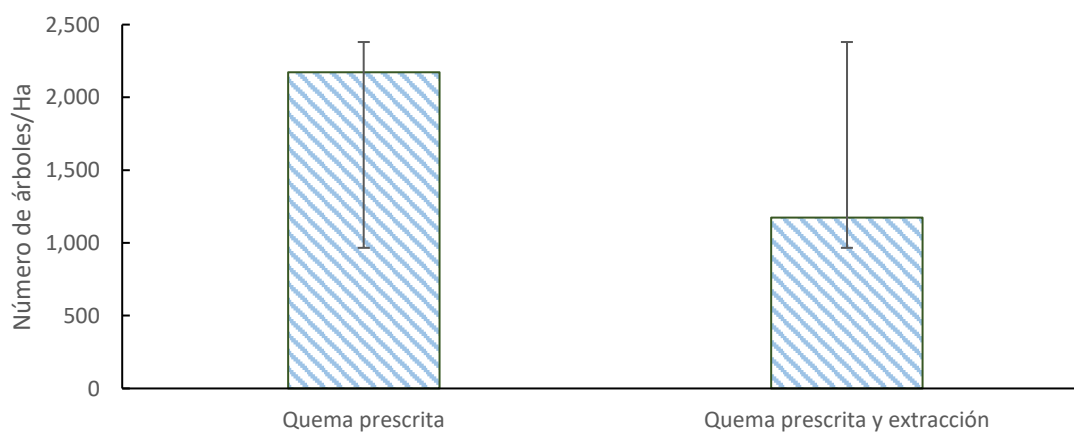
Latizales

Tratamiento control del Dendroctonus frontalis

En el caso de Zarciles cuyo tratamiento fue quema completa se obtuvo una población de 667 árboles/ha y para Sibaja con el tratamiento de quema y extracción se obtuvieron 653 árboles/ha (Figura 4). En ambos casos, la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$), y no se reporta diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la quema completa y la quema y extracción en la prueba de Friedman.

Figura 4

Población de latizales con respecto al tratamiento.



A través de la prueba estadística se infiere que no importa si el tratamiento fue la quema completa o la quema y extracción, de igual forma se obtienen beneficios, ya que existen estudios que demuestran que después de un incendio existe un incremento en la regeneración natural.

Las altas temperaturas incentivan la liberación de semillas en algunas especies de pinos porque deshidratan los tejidos de los conos y facilitan la liberación (Flores Rodríguez et al., 2021), por lo, que la densidad se ve influenciada por el contacto con el fuego.

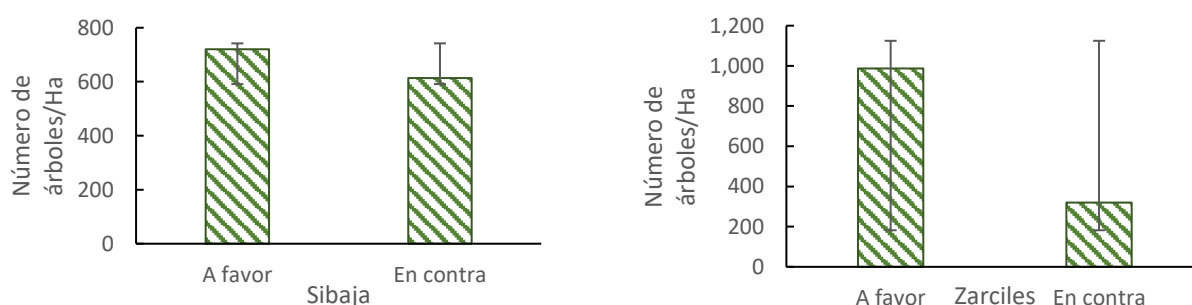
Por el contrario, los brinzales si mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), esto podría atribuirse, a que durante el paso de los años la diferencia va disminuyendo probablemente por la mortalidad de los individuos. Es decir, el éxito de la regeneración depende de la supervivencia y crecimiento de las plántulas producidas, que posteriormente pueden explicar muchos aspectos de la población adulta (Méndez Hernandez et al., 2011).

Viento

Para el caso de Zarciles se obtuvieron 987 árboles/ha a favor del viento y 320 árboles/ha en contra del viento, en el brote de Sibaja 720 árboles/ha favor del viento y 613 árboles/ha en contra del viento (Figura 5). En ambos casos la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$), encontrándose según las pruebas de Friedman y Mann-Whitney una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las direcciones del viento, se infiere que la dirección a favor del viento posee mayor cantidad de individuos.

Figura 5

Población de latizales por hectárea con respecto a la dirección del viento.



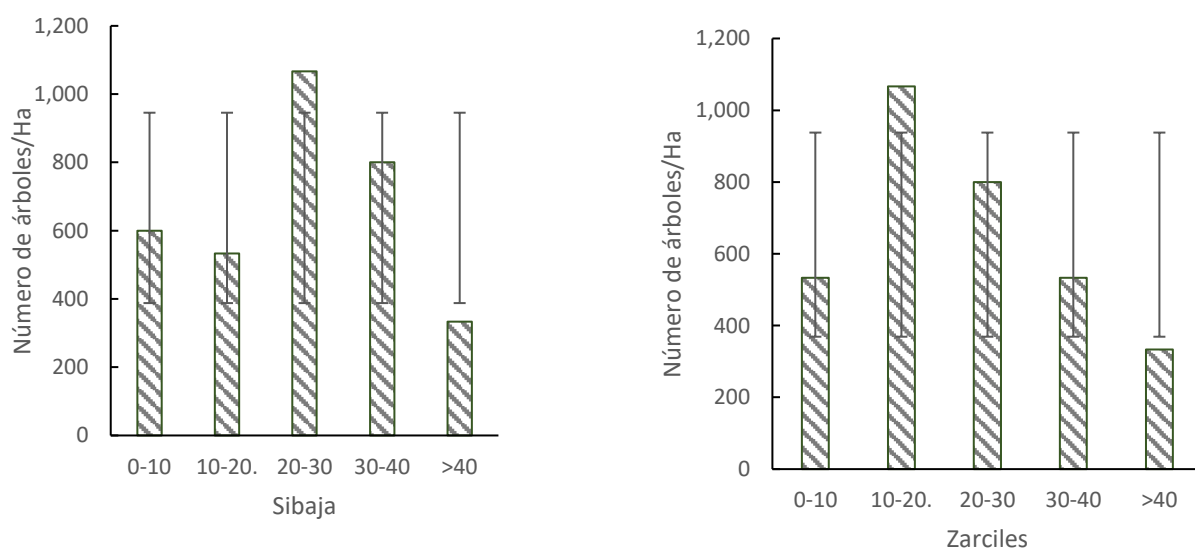
Los resultados, donde la densidad de plantas es mayor en la dirección a favor del viento, coinciden con la investigación de Arechitobehere y Orellana (2016) cuyos resultados determinaron que existe una mayor densidad de plántulas en las orientaciones que favorecen la dirección del viento, y continúan coincidiendo con los resultados de Herrera Eguigure (2017) quien obtuvo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto a la cantidad de árboles con respecto a la dirección del viento, observando mayor presencia de pinos en los sitios a favor del viento.

Distancia del Árbol Semillero

En la Figura 6 se presentan los datos de la cantidad de latizales por hectárea con respecto a la distancia con el árbol semillero en cada uno de los sitios. En este caso, no se encontró diferencia significativa entre las diferentes distancias, por lo que se infiere, que la distancia no es un factor influyente en la densidad de restauración de los pinos. Estos resultados coinciden con la investigación de Herrera Eguigure (2017) quién tampoco encontró diferencias significativas con respecto a la distancia del árbol semillero.

Figura 6

Población de brinzales por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.



En este factor la mayoría de los datos obtenidos pertenecen a una distribución no paramétrica. Excepto aquellos valores obtenidos en la distancia entre los 0 a 10 metros y de los 20 a 30 metros que presentan una distribución paramétrica (Cuadro 4).

Cuadro 4

Prueba Shapiro-Wilk con respecto a la distancia del árbol semillero.

Distancia al árbol	Estadístico ¿?	Significancia
0-10	0.8819	0.1100
10-20	0.6683	0.0001
20-30	0.8555	0.0503
30-40	0.8134	0.0140
>40	0.6976	0.0004

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a la distancia con el árbol semillero (Cuadro 5). Estos resultados difieren con Gonzáles Morazán y Ramírez Palma (2000) quienes mencionan que hay experimentos que demuestran que el máximo número de semillas que son viables en el caso del pino se encuentran entre los 10 a 30 metros del árbol semillero.

Cuadro 5

Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.

Distancia al árbol (m)	Media	Estadístico	Significancia
0-10	1	5.7901	0.1872
10-20	1.5	5.7901	0.1872
20-30	2	5.7901	0.1872
30-40	1	0.438	0.1872
>40	0	0.4383	0.1872

En su investigación Flores Garnica y Benavides Soloria (1985) recomiendan una evaluación posterior a los 5 años luego de los impactos de una quema, en este caso considerado práctica. De forma general los datos serán presentados en el siguiente apartado.

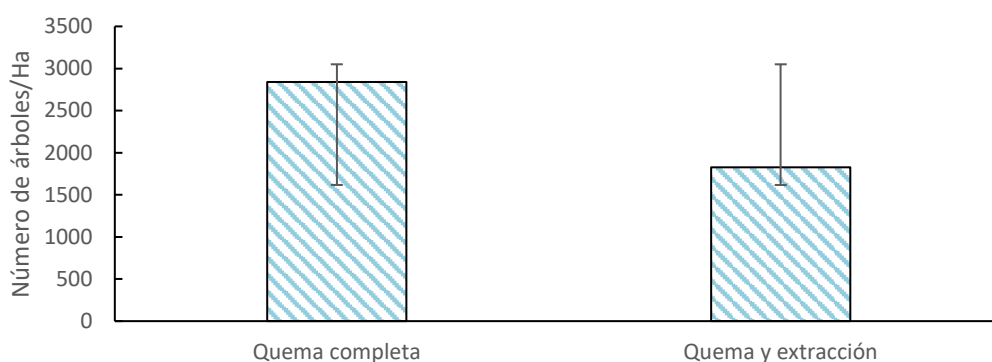
Cantidad Total de Árboles Presentes

Tratamiento de control del Dendroctonus frontalis

La población obtenida en el caso de Zarciles que fue el brote con quema completa fue de 2,840 árboles/ha y en el caso de Sibaja cuyo tratamiento fue quema completa y extracción se obtuvieron 1,827 árboles/ ha (Figura 7). En ambos casos la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$), según las pruebas de Friedman y Mann-Whitney no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las prácticas.

Figura 7

Población de árboles con respecto al tratamiento (quema completa y, quema y extracción).



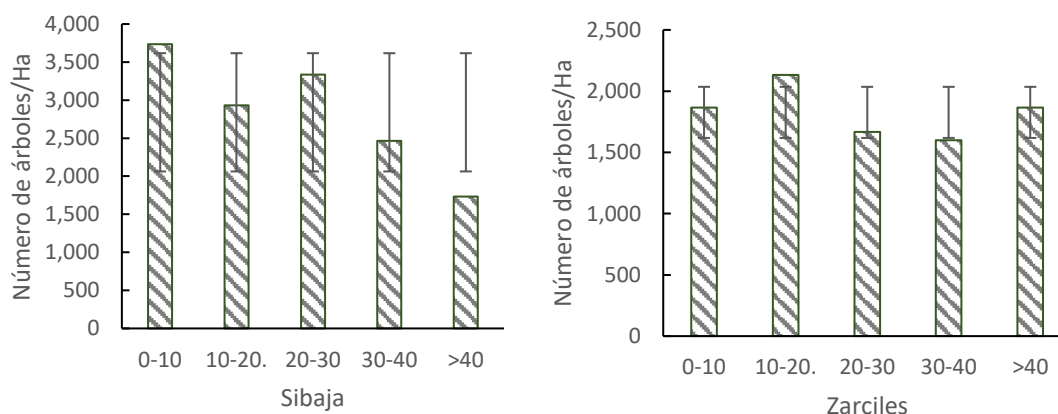
Con ambos tratamientos se observa que hubo restauración, debido a que el fuego favorece la especie de pino. El crecimiento de plántulas posteriormente a los incendios, especialmente, en la zona donde hubo una quema completa podría deberse a la preferencia que presenta la especie en torno a los lugares abiertos y limpios (Capulín Grande et al., 2010). El fuego al remover los impedimentos físicos como hojarasca, arbustos y los restos de árboles afectados facilita el contacto de las semillas con el suelo (Juárez-Martínez y Rodríguez-Trejo, 2003). Además, de acuerdo con Rau et al. (2008) la densidad de las plántulas tiende a aumentar en suelos donde ha existido exposición al fuego por el efecto que este tiene sobre los minerales del suelo.

Viento

Con respecto a la relación con la dirección del viento, se encontraron 3,520 árboles/ha a favor del viento y 2,160 árboles/ha en contra del viento. Por otro lado, para el brote Zarciles se obtuvieron 2,693 árboles/ha a favor y 960 árboles/ha en contra (Figura 8). En ambos casos la distribución de los datos fue no paramétrica ($p \leq 0.05$), encontrándose según las pruebas de Friedman y Mann-Whitney una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la dirección del viento.

Figura 8

Población de árboles con respecto a la dirección del viento.



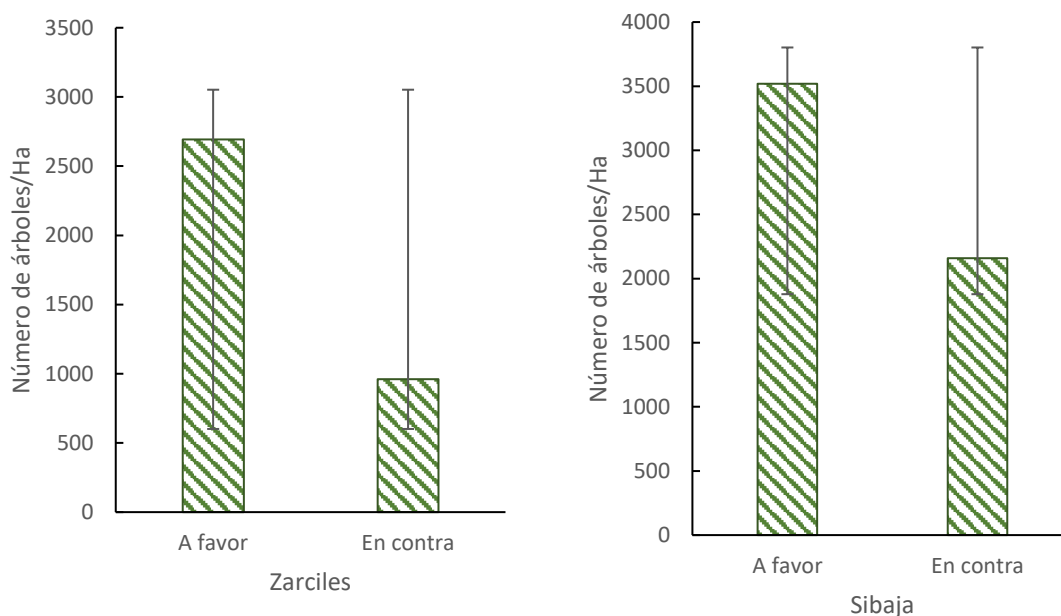
Los resultados coinciden con lo planteado por Lezama Estrada (2015) quien menciona que en los ecosistemas donde la dispersión ocurre por viento alguno de los factores más determinantes de la disseminación y distribución espacial de las semillas son la velocidad y dirección de los vientos.

Distancia del Árbol Semillero

En la Figura 9 se observa el promedio de árboles por hectárea con respecto al factor de la distancia. En este factor la mayoría de los datos obtenidos pertenecen a una distribución no paramétrica ($p > 0.05$), excepto aquellos obtenidos en la distancia entre los 10 a 20 metros. Además, logra observar la diferencia entre las direcciones.

Figura 9

Población del total de árboles por hectárea con respecto a la distancia del árbol semillero.



Posteriormente, a la prueba de normalidad, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar si la distancia con respecto al árbol semillero influye en la densidad de restauración (Cuadro 5). Al realizar la prueba, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, por tanto, se infiere que la distancia no es un factor influyente en la densidad de restauración.

Cuadro 6

Prueba Kruskal-Wallis con respecto a la distancia del árbol semillero.

Distancia al árbol (m)	Mediana	Estadístico F	Significancia
0-10	5	1.456	0.8319
10-20	5	1.456	0.8319
20-30	6.5	1.456	0.8319
30-40	4	1.456	0.8319
>40	3	1.456	0.8319

Como ya se mencionó estos resultados coinciden con la investigación de Herrera Eguigure (2017) quien indica que no encontró diferencias significativas con respecto a la distancia. Sin embargo, difieren con Gonzáles Morazán y Ramírez Palma (2000) ya que ellos mencionan que entre los 10-30 metros del árbol semillero se encuentra la mayor cantidad de semillas. Spurr y Barnes (1982)

mencionan que hay estudios que demuestran que la mitad de las semillas de los pinos de hojas pequeñas y más de la mitad de los pinos de hojas largas se dispersan en los primeros 10 metros desde la localización del árbol principal. Complete la dos líneas o mejor suba todo.

Área Basal

Conocer el área basal de los sitios es importante, ya que en ocasiones sirve como indicador de densidad del rodal, además de permitir el cálculo del volumen de los árboles que se encuentran en pie. Cabe mencionar que el estado de una masa forestal se define por los factores y características del sitio, por estructura y densidad de la población, y también se ve influenciado por los tratamientos silvícolas aplicados (Díaz Vásquez et al., 2017).

En el Cuadro 7 se observa el área basal (m^2/ha) en relación con la distancia del árbol semillero y la dirección del viento en el brote Sibaja. Los mayores promedios de área basal se encuentran en la distancia entre los 10 a 20 metros y los 20 a 30 metros en la dirección en contra del viento.

Cuadro 7

Área basal promedio (m^2/ha) en el brote Sibaja.

Distancia	Dirección del viento	Área Basal Promedio (m^2/ha)
0-10	AF	0.1461
0-10	EC	4.0971
10-20.	AF	0.4420
10-20.	EC	8.8812
20-30	AF	0.3990
20-30	EC	7.2177
30-40	AF	0.5409
30-40	EC	0.0661
40-50	AF	0.4799
40-50	EC	0.4301

En el Cuadro 8 se observa el área basal (m^2/ha) en relación con la distancia y la dirección del viento en el brote Zarciles. Los mayores promedios de área basal se encuentran entre los 10 a 20 metros a favor del viento y entre los 20 a 30 metros en contra del viento.

En ambos cuadros, se observa que los sitios que poseen mayor área basal son los que se encuentran en contra del viento, esto podría deberse a la cantidad de árboles que existían con

anterioridad al brote y sobrevivieron a los efectos del fuego y por ende, tienen más años y también un mayor radio, que influye en la obtención de un mayor promedio de área basal.

Algo similar sucede en la investigación de Peña-Ramírez y Bonfíl (2017) quienes evaluaron dos sitios comparando dos especies de *Quercus* y encontraron en el sitio que tenía menor densidad de individuos una mayor área basal atribuyendo este comportamiento a la existencia de individuos con una mayor edad en ese sitio en comparación al terreno que poseía la mayor densidad.

Cuadro 8

Área basal promedio en el brote Zarciles.

Distancia	Dirección del viento	Área Basal Promedio (m ² /ha)
0-10	AF	0.1411
0-10	EC	0.2961
10-20.	AF	2.6496
10-20.	EC	1.3393
20-30	AF	0.8340
20-30	EC	1.0244
30-40	AF	0.2765
30-40	EC	0.0447
40-50	AF	0.4664
40-50	EC	0.2827

Estadísticamente en términos de normalidad después de realizar la prueba Shapiro-Wilk, ninguno de los brotes presentó una distribución normal. La prueba de Mann-Whitney no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la dirección del viento, lo cual indica que la dirección del viento no es un factor influyente en la distribución del área basal.

De acuerdo con Quintero-Gradilla et al. (2019) el área basal de las zonas afectadas por quemadas disminuye, sin embargo, progresivamente se van recuperando hasta alcanzar niveles óptimos. Se infiere que el fuego no suele ser favorable para el área basal. López Martínez et al. (2017) reportaron que encontraron diferencias significativas en la comparación de área basal entre una zona que recibió un tratamiento de quema y una que no. González-Tagle et al. (2008) mencionan que los cambios en la estructura del bosque en rodales quemados se dedujeron de las mediciones de densidad, altura y diámetro de árboles y arbustos.

Conclusiones

La regeneración natural ocurre de la misma forma en brinzales y latizales independientemente de la dirección del viento y la distancia al árbol semillero.

El factor que puede influir de forma más favorable para que ocurra regeneración natural es la dirección del viento. En los sitios ubicados a favor del viento se encontraron mayor cantidad de nuevos árboles

En los estadios iniciales de la regeneración, el tratamiento de quema de bosques de manera controlada puede contribuir a la restauración de zonas forestales donde predomine el pino.

El crecimiento de los latizales después del brote de gorgojo resultó ser independiente del tipo de tratamiento realizado, debido a que tanto para quema completa como quema y extracción, los resultados fueron similares.

Recomendaciones

Realizar estudios para identificar taxonómicamente las especies presentes en el sotobosque de cada uno de los sitios.

Instalar parcelas permanentes que puedan ser monitoreadas en distintos períodos de tiempo y en temporadas distintas.

Tomar en consideración otras variables que pueden influir en la densidad de regeneración como la velocidad del viento, los factores del suelo y la pendiente.

Realizar análisis de suelo para identificar aquellos nutrientes que se encuentran presentes en el suelo, disponibles para las plantas.

Referencias

- Aguilar-Garavito, M. y Ramírez Wilson (Eds.). (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Editorial Alexander von Humboldt. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9281/monitoreo_restauracion_baja_1.pdf?sequence=1
- Arechitobehere, L. M. y Orellana, I. A. (2016). Influencia del viento y de la vegetación nativa en la distribución de la regeneración de *Pseudotsuga menziesii* en Patagonia, Argentina. *Bosque*, 37(2), 317–325. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173148403010>
- Billings, R.F. y Espino Mendoza, V. (2005). *El gorgojo descortezador del pino (Dendroctonus frontalis) en Centroamérica*. <https://docplayer.es/36027228-El-gorgojo-descortezador-del-pino-dendroctonus-frontalis-en-centroamerica.html>
- Capulín Grande, J., Mohedano Caballero, L. y Razo Zarate, R. (2010). Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 79–86.
- Comité Nacional de Protección Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre. (2021). *Plan Nacional Contra Plagas y Enfermedades Forestales*. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2021/08/PNPCPEF-2021.pdf>
- Dalling, J. W. (2002). Ecología de semillas. *Ecología Y Conservación De Bosques Neotropicales*, 345–375. <https://academic.uprm.edu/~jchinea/cursos/ecolplt/lectesc/DALLING.PDF>
- Defensoría Nacional del Medio Ambiente. (2016). *Informe Especial: El gorgojo del pino y otras graves amenazas ambientales a la vida digna de los hondureños y hondureñas*. Comisionado Nacional de los Derechos Humanos.
- Díaz Vásquez, M. A., Domínguez Calleros, P. A. y Rodríguez Ortiz, G. (2017). Predicción del crecimiento y producción de *Pinus cooperi* Blanco en el ejido El Brillante, Pueblo Nuevo, Durango. *Foresta Veracruzana*, 19(2), 33–40. https://www.redalyc.org/journal/497/49753656003/html/#redalyc_49753656003_ref22
- Dubon Escobar, A. S. (2015). *Efecto del aprovechamiento forestal en el dosel inferior y el suelo en el bosque de coníferas en Santa Inés, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. <https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/642938/19831-34265-1-PB.pdf;jsessionid=CE1D1CA6ADD071C350BD66546A0863F9?sequence=1>
- Flores Garnica, J. G. y Benavides Soloria, J. d. D. (1985). *Evaluación de dos tipos de quemas controladas en un rodal de Pinus michoacana, en Tapalpa, Jalisco*. Gobierno del Estado de México. <https://www.camafu.org.mx/evaluacion-de-dos-tipos-de-quemas-controladas-en-un-rodal-de-pinus-michoacana-en-tapalpa-jalisco/>
- Flores Rodríguez, A. G., Flores Garnica, J. G., González Eguiarte, D. R., Gallegos Rodríguez, A., Zarazúa Villaseñor, P., Mena Munguía, S., Lomelí Zavala, M. E. y Ruíz Guzmán, E. (2021). Regeneración natural de pino y encino bajo diferentes niveles de perturbación por incendios forestales. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 12(65). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.776>

- González Morazán, L. M. y Ramírez Palma, O. D. (2000). *Evaluación de la regeneración natural de Pinus oocarpa Schiede; bajo planes de manejo en Dipilto Viejo, Nueva Segovia* [Tesis]. Universidad Nacional Agraria, Ocotal, Nicaragua.
- González-Tagle, M. A., Schwendenmann, L., Pérez, J. J. y Schulz, R. (2008). Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine–oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(1-2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.021>
- Herrera Eguigure, M. Y. (2017). *Evaluación de los factores que afectan la regeneración natural del bosque de pino en áreas atacadas por Dendroctonus frontalis, Santa Inés, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/SER_Standards_Spanish_rev.pdf
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). (2020). *Anuario-Forestal-2019*. <https://www.icf.gob.hn/?portfolio=cipf-2>
- Juárez-Martínez, A, Rodríguez-Trejo y A, D. (2003). Efecto de los incendios forestales en *Pinus oocarpa* var. *ochoteranae*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 9(2), 125–130.
- Juárez-Martínez, A. y Rodríguez-Trejo, D. (2003). Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. *ochoteranae*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 9, 125–130.
- Lara Rivas, J. C. (2011). *Dispersión de individuos con respecto a la distancia del árbol parental de los individuos Cedrelinga catanaeformis Ducke. (Tornillo) y Cedrela odorata L. (Cedro) en el Fundo San Antonio, Madre de Dios, Perú* [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú]. DataCite. https://www.researchgate.net/publication/341273809_Dispersion_de_Individuos_con_Respecto_a_la_Distancia_del_Arbol_Parental_de_los_individuos_Cedrelinga_catanaeformis_Ducke_Tornillo_y_Cedrela_odorata_L_Cedro_en_el_Fundo_San_Antonio_Madre_de_Dios_Peru
- Lezama Estrada, E. (2015). *Dispersión de semillas de caoba (Swietenia humillis Zucc., Meliceae) en el bosque conservado y en fragmentos de la región de Chamelo, Jalisco, México* [Tesis]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo.
- López Martínez, J. I., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, O. A., Buendía Rodríguez, E. y Ramos Reyes, J. C. (2017). Recuperación del estrato arbóreo de un ecosistema de alta montaña impactado por el fuego. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 8(41), 164–182. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322017000300164&script=sci_arttext
- McDonald, T., Gann, G. D., Jonson, J. y Dixon, K. W. (2016). *International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration. https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/SER_Standards_Spanish_rev.pdf
- Méndez Hernandez, J. R., Gallardo Correa, A. y Fernández-Palacios Martinez, J. M. (2011). *Análisis del impacto del fuego en la regeneración sexual del pino canario a lo largo de una cronosecuencia*

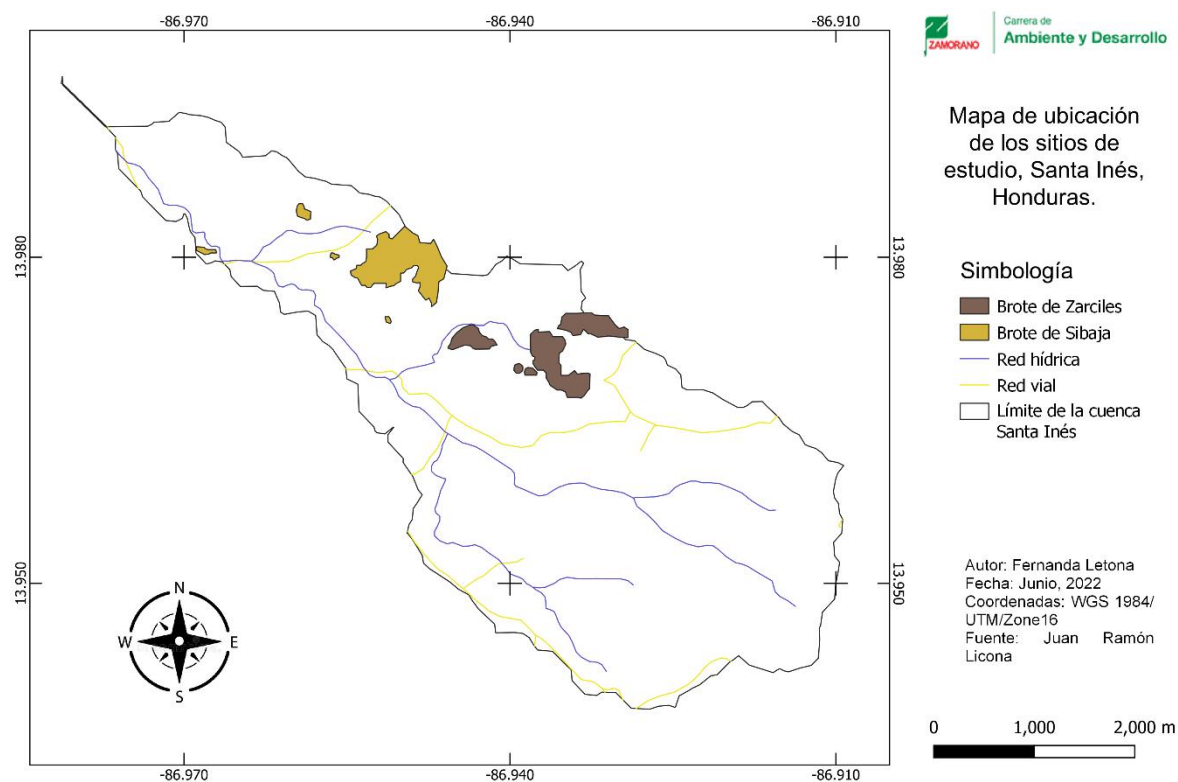
- de incendios en la isla de La Palma (Canarias). Ciencias y Tecnologías. Curso 2009/10: Vol. 31. Universidad de La Laguna.*
- Montenegro Correa, G. L. (2013). *Caracterización agrícola de la zona de recarga de la microcuenca Santa Inés, Honduras* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Muñoz, J. (2018). Regeneración Natural: Una revisión de los aspectos ecológicos en el bosque tropical de montaña del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 326. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/326>
- Murcia, C. y Guariguata, M. R. (2014). *La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos ocasionales (CIFOR): Vol. 107.* Centro para la Investigación Forestal Internacional.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020.* FAO. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9281/monitoreo_restauracion_baja_1.pdf?sequence=1 <https://doi.org/10.4060/ca9825es>
- Peña-Ramírez, V. M. y Bonfíl, C. (2017). Efecto del fuego en la estructura poblacional y la regeneración de dos especies de encinos (*Quercus liebmanii* Oerst. y *Quercus magnoliifolia* Née) en la región de La Montaña (Guerrero), México. *Botanical Sciences*(72), 5. <https://doi.org/10.17129/botsci.1668>
- Pérez-Cabello, F., Echeverría, M. T., La Riva, J. de y Ibarra, P. (2014). Apuntes sobre los efectos de los incendios forestales y restauración ambiental de área quemadas. Estado de la cuestión y principios generales. *Geographica*(59-60), 295. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201159-60839
- Quintero-Gradilla, S. D., Jardel-Peláez, E. J., Cuevas-Guzmán, R., García-Oliva, F. y Martínez-Yrizar, A. (2019). Cambio postincendio en la estructura y composición del estrato arbóreo y carga de combustibles en un bosque de *Pinus douglasiana* de México. *Madera Y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531888>
- Rau, B. M., Chambers, J. C., Blank, R. R. y Johnson, D. W. (2008). Prescribed Fire, Soil, and Plants: Burn Effects and Interactions in the Central Great Basin. *Rangeland Ecology & Management*, 61(2), 169–181. <https://doi.org/10.2111/07-037.1>
- Rebottaro, Silvia L., Cabrelli y Daniel A. (2011). Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años. *Madera Y Bosques*, 17(1), 49–70. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61721586004.pdf>
- Rivera Rojas, M., Locatelli, B. y Billings, R.F. (2010). Cambio climático y eventos epidémicos del gorgojo descortezador del pino *Dendroctonus frontalis* en Honduras. *Forest Systems*, 19(1), 70–76. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n24/v5n24a11.pdf>
- Sánchez Durán, M., Gallegos Rodríguez, A., Gonzáles Cueva, G. A., Castañeda Gonzáles, Juan Carlos y Cabrera Orozco, R. G. (2014). Fire effect upon the regeneration of *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 5(24), 126–143. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v14n1/v14n1a8.pdf>

- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera Y Bosques*, 14(1), 107–120. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v14n1/v14n1a8.pdf>
- Spurr, S. H. y Barnes, B. V. (1982). *Ecología Forestal: El árbol forestal*. AGT Editor S.A.
- Tercero-Burcado, N. y Rovere, A. (2010). Patrones de dispersión de semillas y colonización de *Misodendrum punctulatum* (Misodendraceae) en un matorral postfuego de *Nothofagus antarctica* (Nothofagaceae) del noroeste de la Patagonia. *Revista Chilena De Historia Natural*, 83(3).
- Zas Arregui, R. y Sampedro Pérez, L. (2016). Resistencia de los pinos a plagas y enfermedades: nuevas oportunidades de control fitosanitario. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*(39), 259-273. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i39.17466>

Anexos

Anexo A

Mapa de ubicación de sitios de estudio



Anexo B*Diseño de parcela*