



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Estimación de los efectos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano

Trabajo de Titulación previa a la
obtención del título de Ingeniero Forestal

AUTOR:

Oscar Eduardo Ortega Ortiz

DIRECTOR:

Ing. Juan Maita Chamba Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 09 de septiembre de 2022

Ing. Juan Maita Chamba Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación de los efectos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Forestal**, de autoría del estudiante **Oscar Eduardo Ortega Ortiz**, con cédula de identidad Nro. **1105774408**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**JUAN ARMANDO
MAITA CHAMBA**

Ing. Juan Maita Chamba Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Oscar Eduardo Ortega Ortiz**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105774408

Fecha: 24 de enero del 2023

Correo electrónico: oscar.ortega@unl.edu.ec

Teléfono: 0968847346

Carta de autorización por parte del autor para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Oscar Eduardo Ortega Ortiz**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación de los efectos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dieciocho días del mes de enero del año dos mil veintitrés.

Firma: 

Autor: Oscar Eduardo Ortega Ortiz

Cédula: 1105774408

Dirección: París y Dublín, Loja

Correo electrónico: oscar.ortega@unl.edu.ec

Teléfono: 0968847346

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación:

Ing. Juan Maita Chamba Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a Dios, por brindarme fuerzas para continuar con este proceso de obtener un anhelado deseo. A mis padres Washington y María por el trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos puedo estar aquí. Me siento muy orgulloso y es un privilegio ser su hijo. A mis hermanos por estar presentes, por el acompañamiento y apoyo brindado a lo largo de esta etapa. A mis queridos abuelitos, a mi familia por apoyarme y extenderme su mano en los momentos más difíciles.

Oscar Eduardo Ortega Ortiz

Agradecimiento

A Dios por bendecirme y guiarme a lo largo de este proceso, ser el apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y debilidad. A mis padres y hermanos por confiar y creer en mis expectativas, el sacrificio, consejos, valores y principios inculcados a lo largo de mi crecimiento personal. A la Universidad Nacional de Loja, la carrera de Ingeniería Forestal y docentes, quienes compartieron conmigo sus valiosos conocimientos y experiencias e hicieron que pueda crecer día a día como profesional y persona. Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Juan Armando Maita, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo. Finalmente al Ing. Erick Darío Angamarca por haber compartido sus conocimientos, apoyo y amistad brindada dentro de este proceso.

Oscar Eduardo Ortega Ortiz

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Manejo Forestal de los Bosques.....	6
4.1.1. Especies de aprovechamiento condicionado.....	6
4.1.2. Descripción botánica de <i>Cabralea canjerana</i>	7
4.1.3. Descripción botánica de <i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	7
4.1.4. Descripción botánica de <i>Platymiscium pinnatum</i>	8
4.1.5. Descripción botánica de <i>Platymiscium stipulare</i>	8
4.1.6. Descripción botánica de <i>Swietenia macrophylla</i>	8
4.2. Áreas de distribución de especies.....	9

4.2.1.	SDMtoolbox.....	9
4.2.2.	Diagrama BAM.....	9
4.2.3.	Áreas de calibración.....	10
4.2.4.	Nicho Ecológico.....	10
4.2.5.	Dualidad de Hutchinson.....	11
4.2.6.	Modelos de nicho ecológico (MNE).....	12
4.2.7.	Modelos de distribución de especies (MDE).....	13
4.2.8.	Maxent.....	13
4.2.9.	Contribución de las variables bioclimáticas.....	13
4.2.10.	Calibración, creación y evaluación del modelo final.....	14
4.3.	Deforestación e incendios forestales.....	15
4.4.	Paquetes y pruebas usados en RStudio.....	15
4.4.1.	Grinnell.....	15
4.4.2.	Ellipsenm.....	17
4.4.3.	Kuenm.....	17
4.4.4.	Prueba Mann-Kendall.....	17
4.4.5.	Prueba Sen's Slope.....	18
5.	Metodología.....	19
5.1.	Área de estudio.....	19
5.2.	Flujograma de trabajo.....	20
5.3.	Metodología para determinar la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano.....	20
5.3.1.	Selección de especies a evaluar.....	20
5.3.2.	Obtención de la base de datos de los registros de presencias de las especies.....	21
5.3.3.	Filtrado de la base de registros de presencias.....	21

5.3.3.1. Depuración de registros con coordenadas en 0, coordenadas duplicadas y registros sin coordenadas (Filtro 1).	21
5.3.3.2. Depuración de registros según el rango altitudinal (Filtro 2).	22
5.3.4. Variables bioclimáticas.	22
5.3.5. Eliminación de la autocorrelación espacial (Filtro 3).	23
5.3.6. Variables LGM.	23
5.3.7. Determinación de las áreas de calibración y recorte de variables.	23
5.3.8. Selección de las variables bioclimáticas.	24
5.3.9. Determinación de áreas de distribución potencial.	24
5.3.10. Validación de los modelos por parte de especialistas.	25
5.3.11. Perfil bioclimático.	25
5.4. Metodología para evaluar las áreas de distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano, afectadas por procesos de deforestación e incendios forestales	25
5.4.1. Obtención de datos de deforestación e incendios forestales.	25
5.4.2. Análisis de datos de deforestación.	26
5.4.3. Análisis de datos de fuegos activos.	26
6. Resultados	28
6.1. Determinación de la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano	28
6.1.1. Filtrado de la base de registros de presencias.	28
6.1.2. Estadísticos de la calibración de los modelos.	28
6.1.3. Modelos seleccionados.	29
6.1.4. Distribución potencial.	30
6.1.4.1. Distribución potencial de <i>Cabrlea canjerana</i> .	30

6.1.4.2.	<i>Distribución potencial de Caryodaphnopsis theobromifolia.</i>	32
6.1.4.3.	<i>Distribución potencial de Platymiscium pinnatum.</i>	33
6.1.4.4.	<i>Distribución potencial de Platymiscium stipulare.</i>	35
6.1.4.5.	<i>Distribución potencial de Swietenia macrophylla.</i>	36
6.1.5.	Perfil bioclimático.	38
6.2.	Evaluación de las áreas de distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano, afectadas por procesos de deforestación e incendios forestales	39
6.2.1.	Deforestación.	39
6.2.1.1.	<i>Análisis estadístico de la deforestación en el Ecuador en el periodo de 1990-2018.</i>	39
6.2.1.2.	<i>Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial en el periodo de 1990-2018.</i>	41
6.2.2.	Incendios Forestales.	46
6.2.2.1.	<i>Análisis estadístico de fuegos activos en el Ecuador en el periodo de 2001-2021.</i>	46
6.2.2.2.	<i>Análisis estadístico de fuegos activos por provincias en el periodo de 2001-2021.</i>	47
6.2.2.3.	<i>Serie temporal de fuegos activos en el periodo de 2001-2021.</i>	52
7.	Discusión	58
8.	Conclusiones	63
9.	Recomendaciones	65
10.	Bibliografía	66
11.	Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1. Especies consideradas en el listado del Acuerdo Ministerial del Bosque Húmedo.	6
Tabla 2. Descripción de la significancia del test Mann – Kendall.	17
Tabla 3. Especies seleccionadas del listado de aprovechamiento condicionado.....	21
Tabla 4. Variables bioclimáticas de WordClim versión 2.1.....	22
Tabla 5. Especies y número de registros utilizados en el modelamiento de especies.	28
Tabla 6. Información sobre los modelos que cumplieron con los criterios de selección.	28
Tabla 7. Parámetros de los modelos seleccionados en la calibración.	30
Tabla 8. Datos climatológicos de las especies seleccionadas.....	38
Tabla 9. Pruebas estadísticas aplicadas a las series temporales.	57

Índice de figuras

Figura 1. Representación del Diagrama BAM.	10
Figura 2. Nicho ecológico representado por dos variables ambientales.	11
Figura 3. Dualidad de Hutchinson.	12
Figura 4. Representación de la construcción de MNE.	12
Figura 5. Prueba Jackknife con la aportación de las variables al modelo.	14
Figura 6. Preparación y análisis de datos iniciales para la simulación.	16
Figura 7. Mapa del Bosque Húmedo Tropical Ecuatoriano.	19
Figura 8. Flujograma de trabajo.	20
Figura 9. Modelo de distribución potencial para la especie <i>Cabrlea canjerana</i> . A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.	31
Figura 10. Modelo de distribución potencial para la especie <i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i> . A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.	33
Figura 11. Modelo de distribución potencial para la especie <i>Platymiscium pinnatum</i> . A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.	34
Figura 12. Modelo de distribución potencial para la especie <i>Platymiscium stipulare</i> . A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.	36

Figura 13. Modelo de distribución potencial para la especie *Swietenia macrophylla*. A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.37

Figura 14. Análisis estadístico de la deforestación en el Ecuador en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.....40

Figura 15. Deforestación por periodos en las áreas de adecuación de las especies.41

Figura 16. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Cabralea canjerana* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación. .42

Figura 17. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Caryodaphnopsis theobromifolia* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.43

Figura 18. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Platymiscium pinnatum* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación. .44

Figura 19. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Platymiscium stipulare* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación. .45

Figura 20. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Swietenia Macrophylla* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación. .46

Figura 21. Análisis estadístico de fuegos activos en el Ecuador en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.47

Figura 22. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de <i>Cabranea canjerana</i> en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.....	48
Figura 23. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de <i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i> en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.	49
Figura 24. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de <i>Platymiscium pinnatum</i> en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.....	50
Figura 25. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de <i>Platymiscium stipulare</i> en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.....	51
Figura 26. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de <i>Swietenia macrophylla</i> en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.....	51
Figura 27. Serie temporal de fuegos activos por especie en el periodo de 2001-2021.	53
Figura 28. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para <i>Cabranea canjerana</i> desde 2001 a 2021.....	54
Figura 29. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para <i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i> desde 2001 a 2021.	54
Figura 30. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para <i>Platymiscium pinnatum</i> desde 2001 a 2021.	55
Figura 31. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para <i>Platymiscium stipulare</i> desde 2001 a 2021.	56
Figura 32. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para <i>Swietenia macrophylla</i> desde 2001 a 2021.	56

Índice de anexos

Anexo 1. Script para la descarga y unión de la base de datos de los registros de presencias.	76
Anexo 2. Script para el filtrado de la base de datos de los registros de presencias.	78
Anexo 3. Script para determinar las áreas de calibración.	80
Anexo 4. Script para el análisis de contribución, permutación, Jackknife y correlación.	81
Anexo 5. Graficas para el análisis de contribución, permutación, Jackknife y correlación.	82
Anexo 6. Script para la determinar las de áreas de distribución potencial.	84
Anexo 7. Mapa para la evaluación del modelo de distribución de las especies.....	88
Anexo 8. Plantilla enviada a los especialistas para la evaluación del modelo.....	88
Anexo 9. Script para la determinación de la superficie de bosque nativo de las especies.....	89
Anexo 10. Script para el análisis de datos de deforestación.	96
Anexo 11. Script para el análisis de datos de deforestación a nivel provincial.	97
Anexo 12. Script para la depuración de datos y conteo general de fuegos activos por especie. .	102
Anexo 13. Script para el análisis de datos de fuegos activos.....	105
Anexo 14. Script para el análisis de datos de fuegos activos a nivel provincial.....	109
Anexo 15. Script para la construcción de series temporales.....	113
Anexo 16. Certificado de traducción del Resumen/abstract.	118

1. Título

Estimación de los efectos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano.

2. Resumen

La degradación del bosque húmedo tropical ha llamado la atención mundial debido a la interminable amenaza por deforestación, tala selectiva y aumentando la vulnerabilidad al fuego, dejando importantes secuelas económicas, sociales y ambientales. En este contexto es necesario contar con información a nivel espacial y temporal sobre la distribución potencial de especies. El objetivo de la presente investigación fue contribuir al conocimiento de la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano y su relación con procesos de deforestación e incendios forestales. Se determinó la distribución potencial de cinco especies de importancia ecológica y económica del bosque húmedo tropical (*Cabralea canjerana*, *Caryodaphnopsis theobromifolia*, *Platymiscium stipulare*, *Platymiscium pinnatum* y *Swietenia macrophylla*) mediante el software Maxent y variables bioclimáticas. Posteriormente, se evaluó las áreas de distribución potencial afectadas por procesos de deforestación durante el periodo 1990-2018 e incendios forestales en el periodo 2001-2021. El área de distribución potencial de *Cabralea canjerana*, *Platymiscium pinnatum* y *Swietenia macrophylla* se localizó en la región amazónica; para *Caryodaphnopsis theobromifolia* se ubicó en la región del Chocó y en el caso de *Platymiscium stipulare* se registró en la región amazónica y el Chocó. La especie más afectada por deforestación e incendios forestales fue *Caryodaphnopsis theobromifolia* con una pérdida del 43.88 % de su cobertura boscosa y una densidad de 0.0414 FA/km², seguida de *Platymiscium pinnatum* con el 15.23 % y una densidad de 0.0114 FA/km², *Cabralea canjerana* con 9.59 % y una densidad de 0.0013 FA/km², *Platymiscium stipulare* con el 8.33 % y una densidad de 0.0019 FA/km², finalmente *Swietenia macrophylla* con el 7.74 % y una densidad de 0.0025 FA/km².

Palabras clave: bosque húmedo, especie, distribución potencial, deforestación, incendios forestales

2.1. Abstract

The degradation of the tropical rainforest has attracted worldwide attention due to the never-ending threat of deforestation, selective logging and increasing vulnerability to fire, leaving important economic, social and environmental consequences. In this context, it is necessary to have spatial and temporal information on the potential distribution of species. The objective of this research was to contribute to the knowledge of the potential distribution of threatened forest species in the Ecuadorian rainforest and their relationship with deforestation and forest fires. The potential distribution of five ecologically and economically important species of the tropical rainforest (*Cabrlea canjerana*, *Caryodaphnopsis theobromifolia*, *Platymiscium stipulare*, *Platymiscium pinnatum* and *Swietenia macrophylla*) was determined using Maxent software and bioclimatic variables. Subsequently, the potential distribution areas affected by deforestation processes during the period 1990-2018 and forest fires in the period 2001-2021 were evaluated. The potential distribution area of *Cabrlea canjerana*, *Platymiscium pinnatum* and *Swietenia macrophylla* was located in the Amazon region; for *Caryodaphnopsis theobromifolia* it was located in the Chocó region and in the case of *Platymiscium stipulare* it was recorded in the Amazon region and the Chocó. The species most affected by deforestation and forest fires was *Caryodaphnopsis theobromifolia* with a loss of 43.88 % of its forest cover and a density of 0.0414 FA/km², followed by *Platymiscium pinnatum* with 15.23 % and a density of 0.0114 FA/km², *Cabrlea canjerana* with 9.59 % and a density of 0.0013 FA/km², *Platymiscium stipulare* with 8.33 % and a density of 0.0019 FA/km², finally *Swietenia macrophylla* with 7.74 % and a density of 0.0025 FA/km².

Key words: rainforest, species, potential distribution, deforestation, forest fires.

3. Introducción

La destrucción de los bosques húmedos tropicales ha llamado la atención mundial debido a su importancia ecológica, abundante biodiversidad y la interminable amenaza por deforestación y degradación (Armenteras y Rodríguez, 2014). En Ecuador, estos bosques se encuentran en la región Costa y Amazónica, donde se han identificado más de 200 especies forestales como ceibos, cedro, caoba y otras especies de gran importancia económica (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020).

La deforestación y tala selectiva tiene importantes secuelas económicas, sociales y ambientales, promoviendo mayor degradación o vulnerabilidad (Monteros, 2011). Ecuador presenta las tasas de deforestación más altas de Latinoamérica en comparación con su tamaño. En el periodo de 1990 a 2018 hubo una gran reducción de los bosques nativos, pasó de 14,5 a 12,5 millones de hectáreas (Camacho et al., 2021; Sierra et al., 2021). Adicionalmente, los incendios forestales han causado daños de índole social, económico y ecológico. Las áreas afectadas por incendios van en rangos desde 15 000 hasta 20 000 ha/año, causando daño a plantaciones forestales, bosques y vegetación natural (Ministerio del Ambiente, 2016).

En Ecuador existen algunas herramientas de manejo y conservación de los bosques, una de ellas es el Acuerdo Ministerial No. 0125 referente a las Normas para el Manejo Forestal Sostenible de los Bosques (Ministerio del Ambiente, 2015a), donde se enlista especies de aprovechamiento condicionado, debido a su alto valor comercial, sobreexplotación, abundancia baja y que no se regeneran naturalmente con facilidad (Cuasapaz, 2017).

Cada especie dentro de una comunidad tiene un lugar propio en el espacio y tiempo que puede ser representado geográficamente, ya que su distribución no es aleatoria, si no que responde a intervalos o capacidad de tolerar ciertos factores ambientales como: altitud, posición topográfica, temperatura, humedad y precipitación (Leal-Nares et al., 2012).

La distribución potencial de especies es una herramienta útil en el sector forestal para la implementación de estrategias de conservación, manejo y recuperación de áreas degradadas, estudios de reforestación, taxonomía, ecología, biogeografía y evolución, establecimiento de plantaciones forestales comerciales y monitoreo de plagas forestales (Itla, 2012; Manzanilla, 2021).

Bajo este contexto es necesario contar con información a nivel espacial y temporal sobre la distribución potencial de especies, con el fin de implementar medidas que aseguren su manejo sostenible y conservación. El objetivo general de la presente investigación es contribuir al conocimiento de la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano y su relación con procesos de deforestación e incendios forestales, por lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos.

- Determinar la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano.
- Evaluar las áreas de distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano, afectadas por procesos de deforestación e incendios forestales.

4. Marco teórico

4.1. Manejo Forestal de los Bosques

El manejo forestal engloba a las actividades y decisiones enfocadas al aprovechamiento de los recursos forestales de manera ordenada, asegurando la producción de bienes y servicios a partir de ecosistemas forestales permitiendo satisfacer las necesidades de la población actual, sin poner en peligro el suministro de bienes y servicios para futuras generaciones. Desde hace algunos años el manejo forestal considera tres factores: económico, social y ecológico para la toma de decisiones. El objetivo del manejo forestal es administrar y utilizar los bosques y áreas forestales de tal forma que se conserve la biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración y capacidad de cumplir funciones ecológicas, económicas y sociales a diferentes escalas (Aguirre-Calderón, 2015).

4.1.1. Especies de aprovechamiento condicionado.

En el Acuerdo Ministerial No. 0125 aprobado en el 2004 sobre las Normas para el Manejo Forestal Sostenible de los Bosques Húmedos se enlista las especies de aprovechamiento condicionado, considerando su importancia económica, sobreexplotación, abundancia baja y que no se regeneran con facilidad (Cuasapaz, 2017) (Tabla 1).

Tabla 1. Especies consideradas en el listado del Acuerdo Ministerial del Bosque Húmedo.

Nombre común	Nombre científico
Bálsamo, chaquito	<i>Myroxylon balsamum</i>
Bateascapi	<i>Cabralea canjerana</i>
Caoba	<i>Platymiscium stipulare</i>
Caoba	<i>Platymiscium pinnatum</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Caoba	<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>
Cedro	<i>Cedrela spp</i>
Chanul	<i>Humirium procerum</i>
Chanul del Oriente	<i>Humirium spp</i>
Cucharillo	<i>Talauma dixonii</i>
Cuero de sapo	<i>Ochroma dendron</i>
Guadaripo	<i>Nectandra guararipo</i>
Guayacán	<i>Handroanthus spp</i>
Guayacán pechiche	<i>Minquartia guianensis</i>

Moral bobo, pituca	<i>Clarisia racemosa</i>
Moral fino	<i>Manclura tinctoria</i>
Pilche de Oriente	<i>Vantanea occidentalis</i>
Romerillo	Todas las especies de la familia Podocarpaceae
Salero	<i>Lecythis ampla</i>
Yumbingue	<i>Terminalia amazonia</i>
Seique	<i>Cedrelinga cateniformis</i>

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015a)

4.1.2. Descripción botánica de *Cabralea canjerana*.

Cabralea canjerana (Vell.) Mart., especie de la familia Meliaceae. Llamada comúnmente como: Ahuano, Bateacspi, Cedrillo, Cedro macho, Mashua, Cancharana. Se distribuye geográficamente en las provincias de: Napo, Pastaza, Sucumbíos y Zamora Chinchipe entre 0 a 2000 msnm (Guamán, 2019; Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Presenta las siguientes características botánicas: árbol de 25 m de altura aproximadamente, copa irregular y simpódica. La corteza externa presenta fisuras y es de color marrón claro. Hojas compuestas, alternas, paripinnadas, peciolo con abultamiento en la base, foliolos de 9 a 22 pares con disposición alterna en la base y opuesta en el extremo. Sus flores son pequeñas y unisexuales, con cáliz y corola presente. Su fruto es una cápsula globosa y se abre en cinco valvas cada una con 1 o 2 semillas. Su madera es usada para elaborar muebles finos, ya que presenta un gran parecido con el cedro (Aguirre, Loja, Solano, y Aguirre, 2015). Su reproducción depende considerablemente de los polinizadores (Villaron, Mendes do Carmo, de Melo e Silva Neto, Bastos, y Lima, 2015).

4.1.3. Descripción botánica de *Caryodaphnopsis theobromifolia*.

Caryodaphnopsis theobromifolia (AH Gentry) van der Werff y HG Richt., especie de la familia Lauraceae. Llamada comúnmente como Caoba, distribuido geográficamente en Ecuador en las provincias de: Esmeraldas, Los Ríos y Pichincha y en Colombia se encuentran registros en la Isla Gorgona y Cauca entre 0 a 1500 msnm (Jorgensen y León-Yáez, 1999; Olano, 2007).

Según (Olano, 2007) presenta las siguientes características botánicas: árbol de 30 a 40 m de altura y 50 cm de DAP aproximadamente. Hojas opuestas, decusadas, láminas elípticas de 10 a 22 cm largo, ápice y base obtuso, peciolo de 1 a 2.5 cm de largo. Presenta inflorescencias axilares

de 8 cm de longitud, flores color verde grisáceo con filamentos pubescentes y ovario globoso con pubescencia corta. Su fruto es obovoide, de 8.5 a 10 cm de largo y 5.5 cm de largo.

4.1.4. Descripción botánica de *Platymiscium pinnatum*.

Platymiscium pinnatum (Jacq.) Dugand, especie de la familia Fabaceae, de nombre común Caoba. Árbol nativo de la región amazónica y costera, distribuido geográficamente en Ecuador en las provincias de: Esmeraldas, Morona Santiago, Napo y Zamora Chinchipe entre 0 a 500 msnm (Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Presenta las siguientes características botánicas: árbol de 40 m aproximadamente, caducifolio con fuste recto, base alargada y con raíces tabloides cóncavas. Corteza color gris oscuro a blanco grisáceo con fisuras longitudinales y savia incolora. Sus hojas compuestas, opuestas, con 4 a 7 foliolos con margen entero, base obtusa y ápice acuminado. Inflorescencias axilares, flores numerosas, pubescentes de color naranja o amarillo. Sus frutos indehiscentes tipo vaina aplanada, contiene una semilla con forma arriñonada. Su madera se usa para la construcción, estructura y pisos, en mueblería fina, instrumentos musicales y artesanía (Devia, Moncaleano, y Miño, 2014).

4.1.5. Descripción botánica de *Platymiscium stipulare*.

Platymiscium stipulare Benth., especie perteneciente a la familia Fabaceae, llamada comúnmente como Caoba. Árbol nativo de la región amazónica, distribuido geográficamente en Ecuador en las provincias de: Morona Santiago, Napo, Pastaza, Sucumbíos y Zamora Chinchipe entre 0 a 500 msnm (Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Presenta las siguientes características botánicas: árbol de 40 m aproximadamente de altura con 100 cm de diámetro, tronco recto e irregular. Su corteza es de color parda-oscuro con fisuras y olor a frejol. Tiene raíces anchas y bajas. Sus hojas son opuestas, redonda con una punta larga y delgada. Presenta flores papilionáceas amarillas agrupadas en racimos axilares. Sus frutos son alargados, aplanados y membranosos, de color pardo blanquecino. Presenta una sola semilla alada por fruto, de color café. Se usa su madera para la elaboración de muebles, pisos e instrumentos musicales por su color y durabilidad (Fundación Ishpingo, 2008; Prado, 2020).

4.1.6. Descripción botánica de *Swietenia macrophylla*.

Swietenia macrophylla King, especie de la familia Meliaceae. Llamada comúnmente como

Caoba, es un árbol nativo de los bosques húmedos tropicales y secos, en las provincias de: Esmeraldas, Galápagos, Napo, Pastaza y Loja entre 0 a 500 msnm (Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Presenta las siguientes características botánicas: árbol que alcanza aproximadamente 40 m de alto, tronco recto y cilíndrico, con pequeñas raíces tablares. El color de su corteza externa es gris o marrón con fisuras verticales. Hojas compuestas, paripinnadas, alternas, con 3 a 6 pares de foliolos opuestos a lo largo del raquis. Foliolos con ápice agudo y bordes enteros. Esta especie es monóica con flores blanco-amarillentas, vistosas en panículas. Su fruto es una cápsula grande y leñosa, dehiscente en 4 o 5 valvas con numerosas semillas aladas. Su madera es usada para fabricar muebles finos, instrumentos musicales y ebanistería por su excelente calidad (Aguirre et al., 2015).

4.2. Áreas de distribución de especies

El área de distribución de las especies es la parte del espacio geográfico donde una especie se encuentra presente y se relaciona con el ecosistema. Al estimar la distribución espacial se plantean algunas preguntas como: ¿Qué procesos determinan la ubicación de una especie?, ¿Su distribución es la misma a lo largo del tiempo?, ¿Se puede hacer predicciones sobre su distribución a futuro?, ¿Qué información proporciona el conocer su distribución?” (Maciel et al., 2015).

La distribución de una especie se encuentra delimitada a lo largo de los ecosistemas por restricciones fisiológicas ante diversos factores ambientales. El área de distribución de cada especie depende de su capacidad evolutiva, que da como resultado su tolerancia a los factores ambientales, principalmente temperatura y humedad. Otro factor importante a tomar en cuenta es la capacidad de dispersión de las especies, ya que permiten colonizar nuevas áreas (Maciel et al., 2015).

4.2.1. *SDMtoolbox.*

SDMtoolbox es una caja de herramientas basada en Python que se encuentra disponible en ArcGIS, se utiliza generalmente para estudios de ecología, evolución y genética. Esta herramienta se creó para complementar a Maxent en la creación de modelos de distribución de especies o para mejorar el rendimiento predictivo de los modelos (Brown et al., 2017).

4.2.2. *Diagrama BAM.*

Por medio del diagrama BAM se muestra altas posibilidades de encontrar cierta especie en regiones donde existan las condiciones abióticas necesarias (A), condiciones bióticas favorables

(B) y hayan estado accesibles a la dispersión de la especie desde la región de su origen o desde alguna región definida (M) (Soberón et al., 2017).

En la Figura 1 se representa al Diagrama BAM como una idealización del espacio geográfico. Los puntos rellenos hacen referencia a poblaciones fuente y los círculos abiertos representan poblaciones sumidero. Tomado de (Soberón et al., 2017).

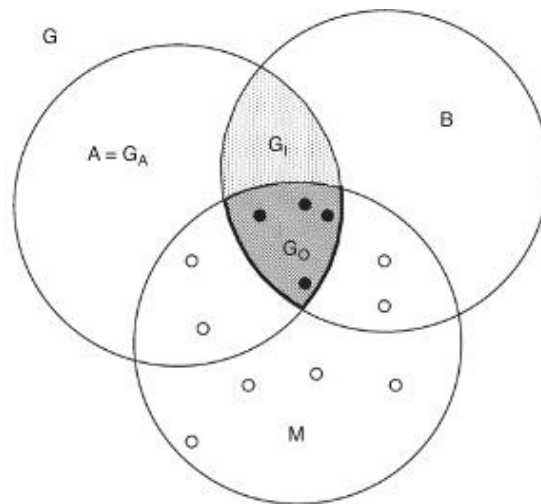


Figura 1. Representación del Diagrama BAM.

Fuente: Soberón et al. (2017)

4.2.3. Áreas de calibración.

En los Modelos de distribución de especies y Modelos de nicho ecológico es necesario establecer el área de accesibilidad o M. Se debe tener conocimiento sobre los aspectos históricos, barreras geográficas y capacidad de dispersión de las especies involucradas en el área de accesibilidad ya que influyen en el desempeño de los modelos (Mota-Vargas et al., 2019). Las áreas de calibración se definen como la zona geográfica donde se encuentran los registros de ocurrencias y los valores de las variables a tomar para el modelo (Gay Escalante, 2021).

4.2.4. Nicho Ecológico.

Las especies se encuentran en interacción directa con factores ambientales como: temperatura, humedad, presión atmosférica, entre otros. Todos los organismos poseen determinados factores a un margen de tolerancia fisiológica, por lo cual permite mediante múltiples

adaptaciones a diferentes rangos de tolerancia formar áreas multidimensionales en las cuales los organismos se desarrollan, reproducen y aseguran la preservación de la especie.

El concepto propuesto por Hutchinson en 1957 es la base para la mayoría de investigadores. El nicho se define como “la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo; el nicho es una región sobre un espacio multidimensional” (López, 2007). En la Figura 2 se representa al nicho ecológico como una región multidimensional.

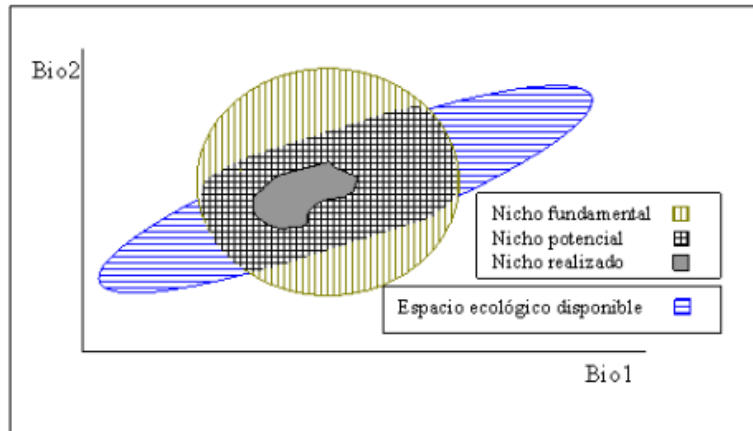


Figura 2. Nicho ecológico representado por dos variables ambientales.

Fuente: López (2007)

4.2.5. Dualidad de Hutchinson.

La dualidad de Hutchinson se utiliza para diferenciar el Modelado de Nicho Ecológico y Modelado de Distribución de Especies, propuesta por Hutchinson sobre el espacio geográfico (G) y su correspondencia en el espacio de nicho (E). Cada punto del espacio geográfico corresponde a un único punto en el espacio ambiental, por el contrario puede haber dos regiones del planeta con variables ambientales similares. (Soberón et al., 2017). Para entender el funcionamiento de los modelos de nicho ecológico es necesario saber que se desarrolla en dos espacios: un espacio geográfico (bidimensional) que determina la posición geográfica dentro del planeta donde está registrada la especie y un espacio ecológico o ambiental (multidimensional) representado por las variables ambientales (Mota-Vargas et al., 2019).

La Figura 3 se muestra la dualidad de Hutchinson donde se evidencia la correspondencia en Espacio ambiental (E) y Espacio geográfico (G).

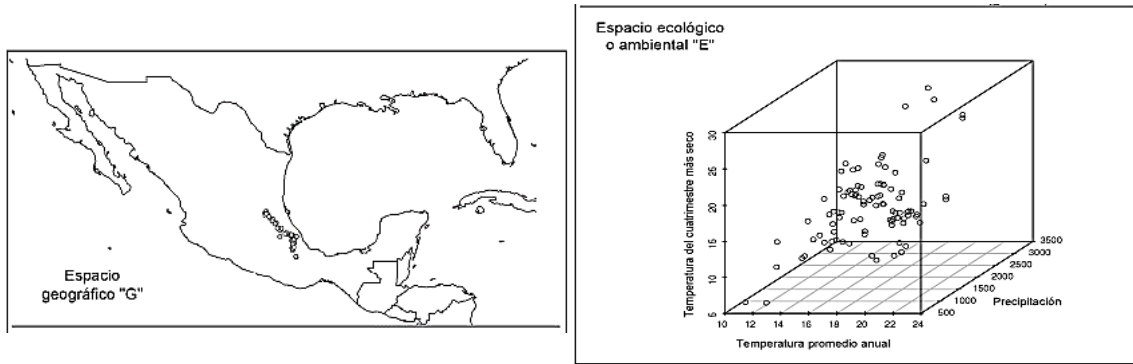


Figura 3. Dualidad de Hutchinson.

Fuente: Mota-Vargas et al. (2019)

4.2.6. Modelos de nicho ecológico (MNE).

Los MNE tienen como objetivo llegar a una estimación aproximada del nicho fundamental de la especie en la geografía. De tal forma se podría predecir condiciones ambientalmente óptimas, incluyendo donde se encuentra la especie, más las regiones que no han sido accesibles históricamente, pero podría ocupar potencialmente (Mota-Vargas et al., 2019).

En la Figura 4 se observan dos fuentes de información en el espacio geográfico, combinadas mediante algoritmos matemáticos en el espacio ecológico y se proyectan al espacio geográfico.

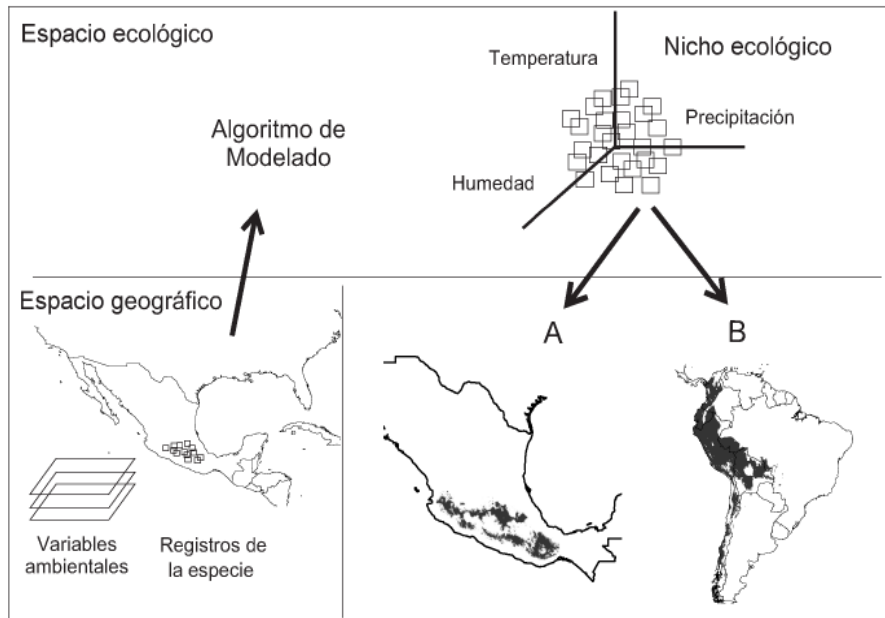


Figura 4. Representación de la construcción de MNE.

Fuente: Mota-Vargas et al. (2019)

4.2.7. Modelos de distribución de especies (MDE).

Los MDE hacen referencia a las partes geográficas del planeta donde se encuentra las condiciones ambientales para la presencia de una especie (Mota-Vargas et al., 2019). Permiten analizar los patrones espaciales de presencia y ausencia de especies, basándose en operaciones matemáticas y procedimientos cartográficos a partir de datos existentes, permiten proyectar zonas idóneas potenciales en base a sus características ambientales (Muñoz-Reja Mora, 2018).

4.2.8. Maxent.

El software Maxent es un programa con diferentes usos, basado en máxima entropía capaz de predecir el nicho ecológico fundamental y determinar la distribución potencial de una especie. Posee varias ventajas sobre otros modelos, ya que requiere solamente datos de presencia. Tiene mayor fiabilidad comparado a otros métodos similares y es un software libre (Muñoz-Reja Mora, 2018; Phillips et al., 2006), ha sido usado para la priorización de zonas para conservación y restauración ecológica, modelado de efectos del cambio climático y evaluaciones de patrones de dispersión de especies invasoras (Muñoz-Reja Mora, 2018; Pearson, 2007).

Maxent permite proyectar la variación en la distribución de una especie frente a cambios ambientales como temperatura, humedad y precipitación (Quesada-Quirós et al., 2016). Este software combina la inteligencia artificial con el principio de máxima entropía para buscar una distribución lo más parecida a la uniformidad. Los algoritmos que se usan en Maxent trasladan la ecuación al espacio geográfico generando una capa ráster con valores de 0 a 1 que representan la idoneidad ambiental de cada especie (Gil, 2017).

4.2.9. Contribución de las variables bioclimáticas.

Maxent permite interpretar la contribución de las variables al modelo mediante el análisis de Jackknife, el cual genera múltiples modelos bajo la misma parametrización pero descartando una variable a la vez; midiendo la información que aporta cada variable al modelo, así como la información perdida con la omisión de la variable (Gay Escalante, 2021; Phillips et al., 2006).

En la Figura 5 se muestra una prueba Jackknife con la aportación de las variables al modelo, en azul se muestra los resultados de la ganancia que aporta la variable y en turquesa se muestra la

pérdida a la ganancia en el modelo si se omite la variable.

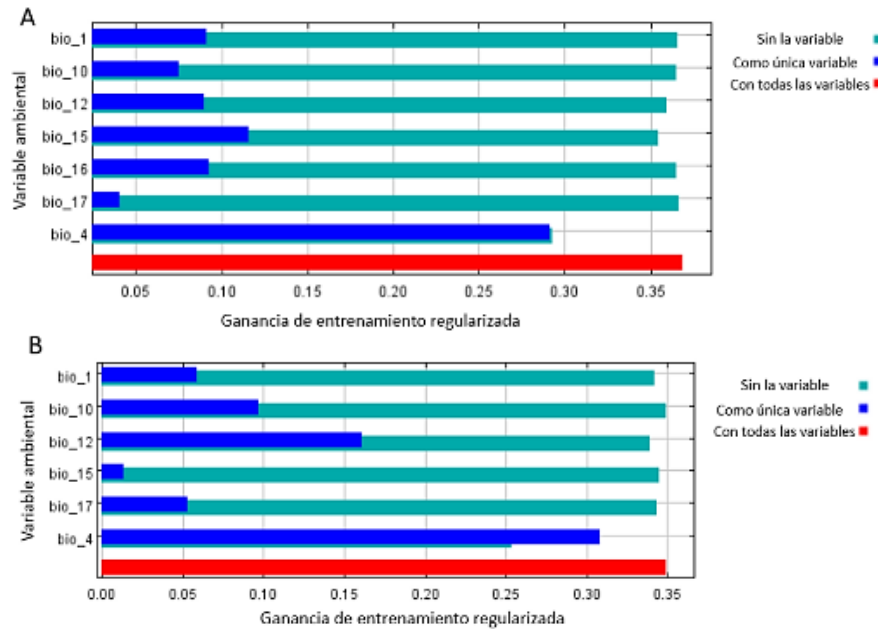


Figura 5. Prueba Jackknife con la aportación de las variables al modelo.

Fuente: Gay Escalante (2021)

4.2.10. Calibración, creación y evaluación del modelo final.

Mediante el paquete Kuenm se implementa tres fases cruciales en MNE: la calibración, creación y evaluación del modelo final. La calibración del modelo inicia con la creación de una gran cantidad de modelos candidatos y la evaluación y selección de los mejores modelos. Estos modelos se crean mediante Maxent con distintos valores para parámetros como: multiplicadores de regularización, combinación de clases de características y diferentes conjuntos de predictores ambientales. Para cada configuración de parámetro se crea dos modelos candidatos, uno basado en todo el conjunto de datos de ocurrencias y otro basándose solamente en datos de entrenamiento (Cobos et al., 2019).

Los modelos están basados en la importancia, capacidad predictiva y complejidad. Siguiendo el orden antes mencionado los modelos son filtrados detectando los que son estadísticamente significativos (tasa de omisión); para finalizar se selecciona entre los modelos candidatos significativos y de baja omisión aquellos con valores de delta AICc inferiores a dos. Las tasas de importancia y omisión se calculan en modelos creados con datos de entrenamiento,

usando subconjuntos de datos separados; la complejidad se calcula en modelos elaborados con el conjunto completo de ocurrencias (Cobos et al., 2019).

4.3. Deforestación e incendios forestales

Se define a la deforestación como el proceso en el cual se elimina la cobertura boscosa de una zona por: agricultura, actividades mineras, creación de represas, expansión urbana y otras consecuencias debido al crecimiento poblacional (Camacho et al., 2021).

La deforestación y tala selectiva origina la degradación de los bosques, aumentando la vulnerabilidad al fuego y promoviendo mayor degradación (Damasio, 2021). Ecuador presenta las tasas de deforestación más altas de Latinoamérica en comparación con su tamaño. Las causas principales de este fenómeno han sido los incendios forestales, expansión urbana, actividades extractivistas y la expansión agropecuaria. En el periodo de 1990 a 2018 hubo una gran reducción de los bosques nativos, es decir pasó de 14,5 a 12,5 millones de hectáreas del área forestal (Camacho et al., 2021; Sierra et al., 2021).

Un incendio forestal es la propagación del fuego sin control sobre la vegetación como: árboles, arbustos, pastos o cultivos, producidos de forma natural o causado por el accionar de los seres humanos ocasionando graves daños ambientales, climáticos, económicos y sociales (González, 2020). Los incendios forestales han causado daños de índole social, económico y ecológico. Las áreas afectadas por incendios van en rangos desde 15 000 hasta 20 000 ha/año, dañando a plantaciones forestales, bosques y vegetación natural (Ministerio del Ambiente, 2016).

4.4. Paquetes y pruebas usados en RStudio

4.4.1. Grinnell.

Mediante el paquete Grinnell desarrollado por Machado-Stredel, Cobos, y Townsend (2021), se provee una orientación a la estimación del espacio M tomando en cuenta procesos de dispersión, colonización y extinción en el clima actual o cambio climático global. Para el uso del paquete se tomó en cuenta “la resolución de la capa ambiental, las características del grano de dispersión y la inclusión de un marco cambiante de condiciones climáticas”.

Este método es el primero en basarse en la simulación para determinar áreas de calibración, ofreciendo un enfoque cuantitativo para estimar el área accesible considerando su capacidad de

dispersión, patrones de cambio en la idoneidad ambiental en el espacio y tiempo. El área accesible incluye los sitios donde la especie ha logrado el acceso a través de la dispersión, un subconjunto que engloban los sitios adecuados ambientalmente bióticos y abióticos.

Según Machado-Stredel, Cobos, y Townsend (2021), se determinó que el tamaño del área de calibración y el espacio ambiental que contiene influye en el modelado de nicho ecológico y modelado de distribución de especies. Al elegir el área de calibración existe una diferencia considerable en el resultado del modelado e indican un área más cercana a los puntos de ocurrencia e interpretación, por ende al transferirlos del modelo a diferentes entornos.

En la Figura 6 se observa en los componentes de márgenes sólidos y las flechas el proceso necesario para la simulación en un marco de condiciones climáticas estables. Los componentes y flechas de márgenes discontinuos hacen referencia a pasos adicionales necesarios para simulaciones en un marco de condiciones climáticas cambiantes. En el bloque de Interpolación se incluye un gráfico simplificado de la temperatura media en función del tiempo que muestra un ciclo glacial-interglacial con cuatro periodos.

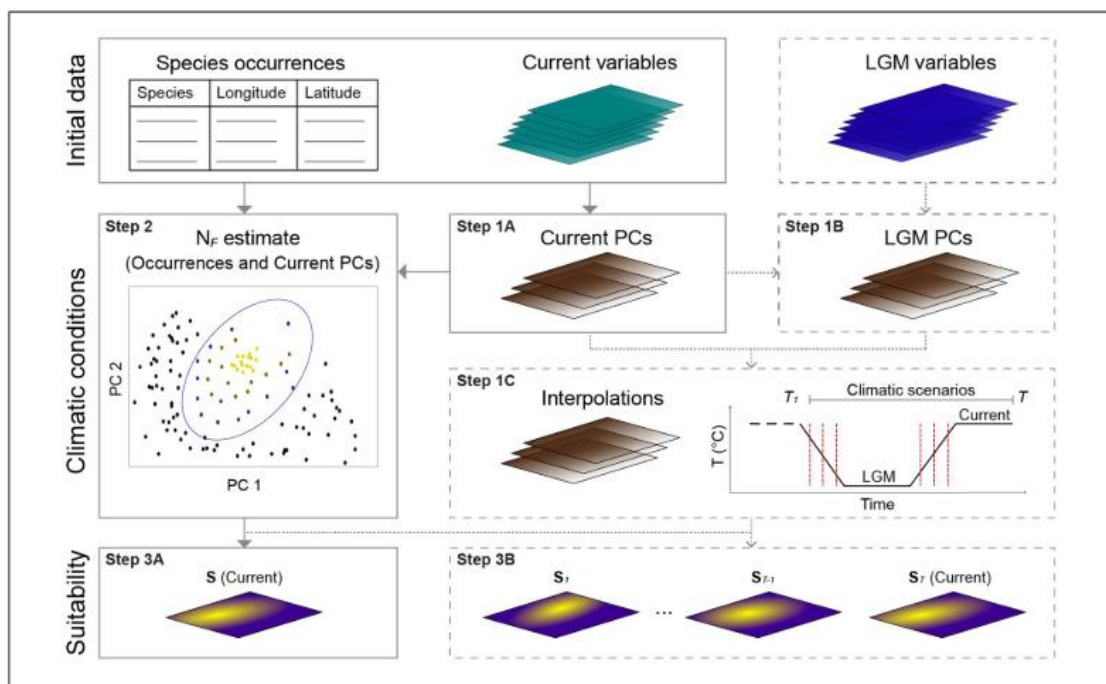


Figura 6. Preparación y análisis de datos iniciales para la simulación.

Fuente: Machado-Stredel et al. (2021)

4.4.2. *Ellipsenm.*

Ellipsenm es un paquete de R el cual implementa varias herramientas para ayudar en el uso de envolturas elipsoides para modelar nichos ecológicos de especies. En el paquete se incluyen opciones para calibrar y seleccionar modelos, reproducir modelos con réplicas y proyecciones, y evaluar la superposición de nichos (Cobos et al., 2021).

4.4.3. *Kuenm.*

Kuenm es un paquete de R que contiene un conjunto de herramientas para realizar el desarrollo de modelos de nicho ecológico mediante la plataforma Maxent. Este paquete permite la calibración y selección del modelo, creación y evaluación del modelo final y análisis de riesgo de extrapolación (Cobos et al., 2019).

4.4.4. *Prueba Mann-Kendall.*

Se considera al Test Mann-Kendall el método más apropiado para analizar tendencias en series climatológicas, además permite determinar el punto de inicio de una tendencia (Alencar da Silva y Silva, 2017; Berger, 1986). El test Mann-Kendall es una prueba no paramétrica sugerido para evaluar la tendencia en series de datos ambientales (Kendall, 1975; Mann, 1945; Yu y Kao, 2007). Esta prueba consiste en comparar los valores que componen una misma serie temporal de forma secuencial (Alencar da Silva y Silva, 2017; Silva, 2007).

La presencia de una tendencia estadísticamente significativa en la serie temporal fue evaluada utilizando el valor del estadístico Z, para determinar si existe tendencia. Los valores Z positivos indican tendencias crecientes, mientras que los negativos indican tendencias decrecientes (Bezerra Alves et al., 2015) (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de la significancia del test Mann – Kendall.

Significancia	Simbología	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> + 1,96
Tendencia significativa de decreciente	TSD	< - 1,96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< + 1,96
Tendencia no significativa de decreciente	TNSD	> - 1,96

Fuente: (Bezerra Alves et al., 2015)

4.4.5. Prueba Sen's Slope.

El método Sen's Slope permite predecir la magnitud de la pendiente real de datos de series de tiempo. El método del estimador de la pendiente de Sen utiliza un modelo lineal para el análisis de tendencias. Un valor positivo indica aumento de tendencia (ascendente) mientras que el valor negativo representa tendencia descendente o decreciente de los datos de series temporales (Hussain et al., 2015).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La Figura 7 muestra el área de estudio, el cual comprende el Bosque Húmedo Tropical Ecuatoriano, distribuido en la región amazónica (Bosque Húmedo Tropical Amazónico) y noroccidental del país (Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó).

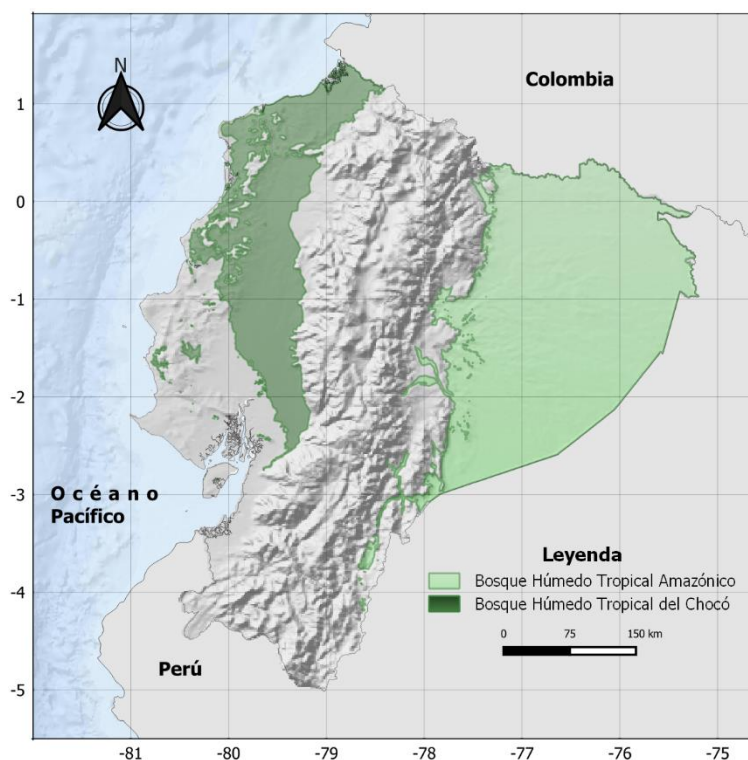


Figura 7. Mapa del Bosque Húmedo Tropical Ecuatoriano.

La región amazónica según Sierra (1999), los bosques húmedos tropicales abarcan el 47% de la superficie del país y sustentan una gran riqueza biológica, ecológica y social. Los bosques siempreverdes amazónicos son diversos y heterogéneos, con un dosel de 30 m de altura y árboles emergentes que superan los 40 m o más de altura.

Al noroccidente del país está situada la región biogeográfica del Chocó, dentro de esta región predominan los Bosques Húmedos Tropicales conocidos por ser zonas de alta diversidad biológica del planeta, con 9000 especies de plantas, 830 aves, 235 mamíferos y 350 anfibios endémicos. Integra el hotspot Tumbes-Chocó-Magdalena, área priorizada para la conservación

mundial, la misma que mantiene grandes tasas de deforestación en las últimas tres décadas, principalmente por actividades extractivistas como minería o explotación de recursos no renovables (Mejía, 2017).

Los Bosques Húmedos Tropicales conforman a lo largo de siglos un elemento fundamental para el desarrollo de la población humana y animal, siendo de gran importancia ambiental, económica y social (Alcaraz, 2012).

5.2. Flujograma de trabajo

Para entender mejor la metodología presentamos un flujograma (Figura 8) que resume los pasos que se siguieron para cumplir los objetivos.

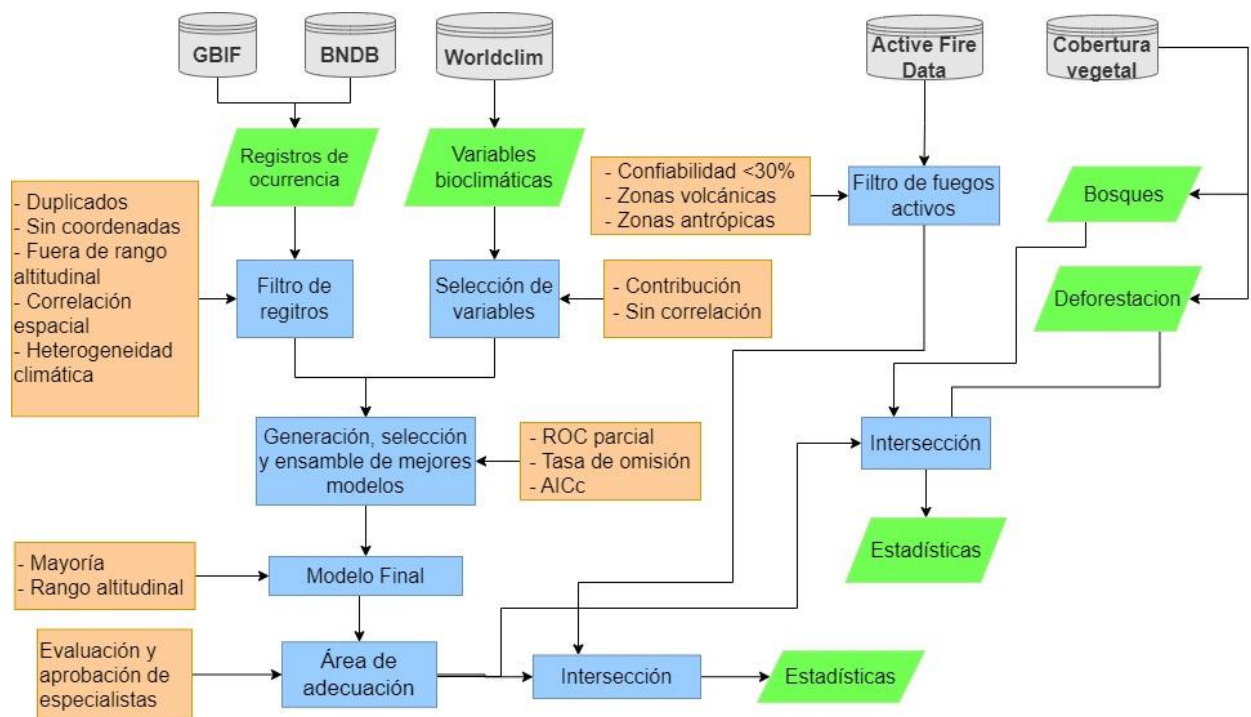


Figura 8. Flujograma de trabajo.

5.3. Metodología para determinar la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano

5.3.1. Selección de especies a evaluar.

Del listado de especies de aprovechamiento condicionado en el Acuerdo Ministerial No. 0125 sobre las Normas para el Manejo Forestal Sostenible de los Bosques del año 2015 (Tabla 1)

se seleccionó cinco especies tomando en cuenta algunas consideraciones tales como: la categoría según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), categoría según el Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), estado de conservación y sugerencias por parte de los investigadores del Herbario Reinaldo Espinoza de la Universidad Nacional de Loja (Tabla 3).

Tabla 3. Especies seleccionadas del listado de aprovechamiento condicionado.

Nombre común	Nombre científico
Bateascapi	<i>Cabralea canjerana</i>
Caoba	<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>
Caoba	<i>Platymiscium stipulare</i>
Caoba	<i>Platymiscium pinnatum</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>

5.3.2. Obtención de la base de datos de los registros de presencias de las especies.

Los registros de presencias de las especies se descargaron del portal del Fondo de Información sobre Biodiversidad Global – GBIF (<https://www.gbif.org/>), que comprendió los territorios del Ecuador, Colombia y Perú. La descarga se realizó utilizando la programación en el lenguaje R y el paquete “spocc” (Chamberlain, 2021). Adicionalmente, se descargó de forma manual registros de la Base Nacional de Datos de Biodiversidad del Ecuador – BNDB (<https://bndb.sisbioecuador.bio/bndb/collections/harvestparams.php>), los mismos que fueron unidos con los registros de GBIF utilizando R (Anexo 1).

Para las especies *Platymiscium pinnatum* y *Swietenia macrophylla* los datos descargados corresponden a un buffer de 750 km del límite de Ecuador, con el fin de omitir condiciones ambientales de las costas del Atlántico de Colombia.

5.3.3. Filtrado de la base de registros de presencias.

El filtrado de registros se lo realiza mediante RStudio con los paquetes “base”, “utils” “sf” y “rnatuarearth” (Pebesma, 2018; R Core Team, 2021; South, 2017). Este proceso se realizó para cada especie y constó de dos fases:

5.3.3.1. Depuración de registros con coordenadas en 0, coordenadas duplicadas y sin coordenadas (Filtro 1).

Se eliminaron los registros de presencia con coordenadas 0, coordenadas duplicadas y registros sin coordenadas. La depuración de la base de datos es importante ya que los datos son colectados por diferentes objetivos y recolectores sin una estrategia común de muestreo, en algunas ocasiones representan sesgo en la distribución de las especies (Becerra et al., 2016) (Anexo 2).

5.3.3.2. *Depuración de registros según el rango altitudinal (Filtro 2).*

Mediante consultas de revisión bibliográfica y consultas a expertos botánicos de diferentes universidades del Ecuador, se fijó un rango altitudinal de los registros, con el objetivo de eliminar los registros que se encontraran fuera de este rango. Para esto se utilizó R, una capa de elevación de WordClim 2.1 (Fick y Hijmans, 2017) y los registros de las especies (Anexo 2).

5.3.4. *Variables bioclimáticas.*

Las variables bioclimáticas (Tabla 4) se obtuvieron de la base de datos de WordClim versión 2.1 (Fick y Hijmans, 2017) con una resolución espacial de 30 segundos (~ 1 km²). Mediante R se recortó los bioclimas utilizando la extensión geográfica de los tres países. Se descartaron los bioclimas bio 8, bio 9, bio 18 y bio 19, porque son variables compuestas, es decir correlacionan la temperatura y precipitación en la misma capa (Escobar et al., 2014), causando anomalías espaciales frecuentemente (Gay Escalante, 2021).

Tabla 4. Variables bioclimáticas de WordClim versión 2.1.

Código	Variable bioclimática
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango Diurno Medio (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar $\times 100$)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo *
BIO9	Temperatura Media del Cuarto Más Seco *
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del cuarto más frío
BIO12	Precipitación anual

BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo
BIO17	Precipitación del cuarto más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido *
BIO19	Precipitación del trimestre más frío *

* bioclima descartado

Fuente: Fick y Hijmans (2017)

5.3.5. Eliminación de la autocorrelación espacial (Filtro 3).

El análisis de heterogeneidad se realizó para eliminar registros con la autocorrelación espacial y climática, utilizando la herramienta SDMtoolbox (Brown, 2014), la cual es instalada en el programa ArcGIS. Esta herramienta está basada en Python y es ampliamente utilizada para estudios espaciales de ecología, evolución y genética.

Utilizando las 15 variables bioclimáticas, los registros de presencias de cada especie y SDMtoolbox, se establecieron tres zonas en función de la heterogeneidad climática de los bioclimas. Para zonas de menor heterogeneidad climática, se asignó 10 km de distancia máxima, en zonas de mayor heterogeneidad climática se utilizó una distancia mínima de 2 km, finalmente para las zonas de heterogeneidad media un promedio entre el valor máximo y mínimo (Anexo 2).

5.3.6. Variables LGM.

Las variables LGM (Last Glacial Maximum) se descargaron de la base de datos de WordClim 1.4 (Hijmans et al., 2005) desarrollado bajo el Modelo Climático CCSM4 con una resolución espacial de 2.5 minutos (formato ráster). De igual forma se recortó las variables bioclimáticas mediante el polígono de Ecuador, Colombia y Perú y se dejó fuera las variables bio 8, bio 9, bio 18 y bio 19.

5.3.7. Determinación de las áreas de calibración y recorte de variables.

Mediante RStudio y el paquete “Grinnell” desarrollado por Machado-Stredel, Cobos, y Townsend (2021), se calculó las áreas de calibración. Este método es el primero en basarse en la simulación para determinar áreas de calibración (área accesible), ofreciendo un enfoque

cuantitativo para estimar el área accesible (M) considerando su capacidad de dispersión, patrones de cambio en la idoneidad ambiental en el espacio y tiempo. El área accesible incluye los sitios donde la especie ha logrado el acceso a través de la dispersión, un subconjunto que engloban los sitios adecuados ambientalmente bióticos y abióticos.

Según Machado-Stredel et al. (2021), se determinó que el tamaño del área de calibración y el espacio ambiental que contiene influye en el modelado de nicho ecológico y modelado de distribución de especies. Al elegir el área de calibración existe una diferencia considerable en el resultado del modelado e indican un área más cercana a los puntos de ocurrencia e interpretación (Anexo 3).

Mediante RStudio con el paquete “raster” (Hijmans, 2021), se recortó las variables bioclimáticas a partir de las áreas de calibración de cada especie.

5.3.8. Selección de las variables bioclimáticas.

Se realizó un análisis de contribución, permutación, Jackknife y correlación ($r < 0.8$) mediante RStudio a través del paquete “ellipsem” y “kuenm” (Cobos et al., 2019, 2021), para determinar la contribución y correlación de cada variable bioclimáticas al modelo de distribución y de esta manera ser seleccionadas (Anexo 4).

5.3.9. Determinación de áreas de distribución potencial.

A partir de las variables bioclimáticas seleccionadas y la base de registros de presencias, se determinó mediante RStudio y el paquete “kuenm” (Cobos et al., 2019) la calibración de los modelos, se tomó en cuenta multiplicados de regularización (0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4) y clases de característica (lineal-cuadrática "lq", lineal-producto "lp", cuadrática "q", cuadrática-producto "qp", lineal-cuadrática-producto "lqp").

Para la evaluación y selección de los modelos finales se consideran: el ROC parcial, la tasa de omisión $E = 5\%$ y el criterio de información Akaike (AICc). Con la combinación de los bioclimas seleccionados ajustados para Ecuador continental, se realizó la proyección del modelo al espacio geográfico G mediante una extrapolación libre. Adicionalmente, se determinó la mediana y el rango de los modelos para cada especie.

Una vez generado el modelo final, el raster de idoneidad fue reclasificado en zonas

adecuadas y no adecuadas. Para la reclasificación se utilizó un umbral estadístico obtenido a través de RStudio, utilizando los valores de idoneidad de los puntos usados para la calibración de los modelos. Posteriormente se eliminó el 5 % de los valores de idoneidad más bajos, el cual corresponde a aquellas áreas predichas que obtuvieron los valores menores al del umbral (Gay Escalante, 2021; Gil, 2017).

Mediante el software SAGA (Conrad et al., 2015) se utilizó la herramienta Majority para generalizar los bordes de la reclasificación anterior, con el objetivo de eliminar micro polígonos. Finalmente fue corregido utilizando la calculadora raster en QGIS (QGIS.org, 2022) y el rango altitudinal de la especie (Anexo 6).

5.3.10. Validación de los modelos por parte de especialistas.

Los modelos generados fueron evaluados por especialistas botánicos de diferentes universidades del Ecuador. La validación compendia los siguientes parámetros: A) Mapa para la evaluación del modelo de distribución de las especies, permitiendo al evaluador consultar la imagen a mayor detalle (Anexo 7) y b) Plantilla con el mapa de la especie en miniatura, secciones de evaluación del rango altitudinal, exactitud del modelo, sugerencias y comentarios (Anexo 8).

Una vez evaluados los modelos de las especies, los comentarios y sugerencias de los especialistas fueron considerados con el objetivo de generar un nuevo modelo de adecuación de las especies.

5.3.11. Perfil bioclimático.

Mediante QGIS se realizó el perfil bioclimático de las especies con la herramienta Raster layer zonal statistics la cual nos permitió calcular estadísticas (mínimo, máximo y promedio) para los valores de una capa ráster (Binario final). Las variables determinadas fueron: elevación (msnm), temperatura media anual (°C) y precipitación anual (mm).

5.4. Metodología para evaluar las áreas de distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano, afectadas por procesos de deforestación e incendios forestales

5.4.1. Obtención de datos de deforestación e incendios forestales.

Los datos de deforestación se obtuvieron de la plataforma SUIA (Sistema Único de

Información Ambiental) - Mapa Interactivo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Ministerio del Ambiente, 2015b) correspondiente a los periodos de 1990-2000, 2000-2008, 2008-2014, 2014-2016 y 2016-2018 (Anexo 9).

La información de incendios forestales se obtuvo de la plataforma Active Fire Data de la NASA (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/) correspondiente al periodo 2001-2021, estos datos se refieren a fuegos activos o focos de calor generados por quemas agrícolas, incendios forestales, entre otros, y que son detectados por sensores MODIS de los satélites Terra y Aqua (Anexo 12).

5.4.2. *Análisis de datos de deforestación.*

El raster del área de adecuación de cada especie fue convertido a formato vectorial, el mismo que fue utilizado para recortar a la cobertura de bosque nativo de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016, 2018.

En RStudio con el paquete “sf” y “raster” (Hijmans, 2021; Pebesma, 2018) se seleccionó la cobertura bosque nativo de los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016 y 2018.

Con el recorte del área de adecuación a partir del bosque nativo mediante RStudio se calculó el área en hectáreas de bosque nativo para los años 1990, 2000, 2008, 2014, 2016, 2018 de cada especie. Posteriormente se restó las áreas de bosque nativo en los periodos consecutivos para obtener la deforestación de cada periodo por especie (Anexo 10). La deforestación a nivel provincial se realizó con los bosques nativos presentes en las áreas de adecuación de cada especie y el shape de la división político-administrativa provincial del Ecuador. Finalmente se calculó el área en hectáreas y resto dos periodos consecutivos para obtener la deforestación por provincias (Anexo 11).

5.4.3. *Análisis de datos de fuegos activos.*

Se eliminaron los fuegos activos presentes en zonas volcánicas, mediante la utilización del centroide del volcán y un buffer de 5 km. Posteriormente, consultando los atributos de información de los datos, se tomó solo fuegos activos presentes en vegetación y se eliminó datos de baja confianza, es decir con valores menores al 30 % de confiabilidad (Giglio et al., 2020) (Anexo 12).

Para el análisis de datos de fuegos activos se agrupó los fuegos activos por periodos de

ocurrencia (2001-2007, 2008-2013, 2014-2015, 2016-2017, 2018-2021). Posteriormente se realizó una intercepción con los recortes del bosque nativo de las áreas de adecuación de cada especie. Se calculó la frecuencia de fuegos activos en las áreas de adecuación de las especies y para calcular la densidad fue necesario determinar la superficie de bosque nativo en las áreas de adecuación en km^2 para cada especie (Anexo 13). Este mismo análisis fue realizado a nivel de provincias (Anexo 14).

Utilizando la serie temporal mensual de frecuencias 2001-2021, se aplicó el test de Mann-Kendall con el paquete "trend" (Pohlert, 2020), con el objetivo de determinar la tendencia positiva o negativa mediante el valor del estadístico Z. Posteriormente, se realizó el test "Sen's Slope" con el paquete "trend" (Pohlert, 2020) con un nivel de confianza del 95% para predecir la magnitud de la pendiente o tendencia de la serie temporal.

Adicionalmente, se realizó una descomposición de la serie temporal, utilizando el método LOESS del paquete "stats" (R Core Team, 2021), el cual nos muestra a la frecuencia, estacionalidad, tendencia y residuos, con el objetivo de explorar cambios históricos a lo largo del tiempo (Anexo 15).

6. Resultados

6.1. Determinación de la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano

6.1.1. Filtrado de la base de registros de presencias.

En la Tabla 5 se muestran los registros descargados de la plataforma GBIF Y BNDB de Ecuador, Colombia y Perú. Se detallan el número de registros por cada uno de los filtros aplicados en el siguiente orden: el Filtro 1 corresponde a la depuración de registros con coordenadas 0, coordenadas duplicadas y sin coordenadas, el Filtro 2 la depuración de registros según el rango altitudinal, el Filtro 3 los registros finales filtrados por el análisis de heterogeneidad climática, con los cuales se realizó el modelamiento de las especies.

Tabla 5. Especies y número de registros utilizados en el modelamiento de especies.

Especie	Registros iniciales		Registros totales	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
	GBIF	BNDB				
<i>Cabralea canjerana</i>	246	322	568	198	150	91
<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	54	150	204	53	47	20
<i>Platymiscium pinnatum</i>	409	57	466	203	171	62
<i>Platymiscium stipulare</i>	159	174	333	120	95	50
<i>Swietenia macrophylla</i>	165	59	224	122	51	20

6.1.2. Estadísticos de la calibración de los modelos.

En la Tabla 6 se muestra el rendimiento de los modelos, los cuales fueron evaluados con los siguientes criterios de selección: significancia estadística (Partial_ROC), las tasas de omisión (OR) y el criterio de información de Akaike corregido para tamaños de muestra pequeños (AICc).

Tabla 6. Información sobre los modelos que cumplieron con los criterios de selección.

Criterios	Especie				
	<i>Cabralea canjerana</i>	<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Platymiscium stipulare</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>
Todos los modelos candidatos	150	480	150	150	150
Modelos estadísticamente significativos	150	465	147	147	130
Modelos que cumplen con los criterios de tasa de omisión	51	121	70	118	20
Modelos que cumplen los criterios AICc	1	1	1	2	2
Modelos estadísticamente significativos que cumplen con los criterios de tasa de omisión	51	106	67	115	0
Modelos estadísticamente significativos que cumplen los criterios AICc	1	1	1	2	2
Modelos estadísticamente significativos que cumplen con la tasa de omisión y los criterios AICc	3	1	1	1	2

Para *Cabralea canjerana*, *Platymiscium pinnatum*, *Platymiscium stipulare* y *Swietenia macrophylla* se generaron 150 modelos candidatos; para *Caryodaphnopsis theobromifolia* se generaron 480 modelos candidatos, considerando la combinación de los multiplicadores de regularización, clases de características y las diferentes combinaciones de las variables bioclimáticas seleccionadas.

Se puede observar cuantos modelos lograron pasar cada filtro de selección. Los modelos estadísticamente significativos que cumplieron los criterios de tasa de omisión y criterio AICc para *Caryodaphnopsis theobromifolia*, *Platymiscium pinnatum* y *Platymiscium stipulare* fue solamente uno para cada especie, para *Swietenia macrophylla* fueron seleccionados dos modelos y para *Cabralea canjerana* fueron seleccionados tres modelos.

6.1.3. Modelos seleccionados.

En la Tabla 7 se observan los parámetros de los mejores modelos seleccionados en el proceso de calibración.

Tabla 7. Parámetros de los modelos seleccionados en la calibración.

Espece	Multiplicador de regularización	Clases de características	Variables bioclimáticas
<i>Cabralea canjerana</i>	0.25, 0.5, 1	lqp, lq	bio 2, bio 4, bio 12, bio 15
<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	0.1	lqp	bio 5, bio 15, bio 16
<i>Platymiscium pinnatum</i>	0.1	lqp	bio 1, bio 3, bio 13, bio 17
<i>Platymiscium stipulare</i>	0.1	lqp	bio 6, bio 13, bio 15
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.1, 0.5	qp	bio 2, bio 4, bio 13, bio 17

Para *Cabralea canjerana* en el proceso de calibración fueron seleccionados 3 modelos, con multiplicadores de regularización de 0.25, 0.5, 1 y clases de características lqp, lq. Las variables bioclimáticas bio 2, bio 4, bio 12 y bio 15 fueron las que determinaron la distribución potencial.

Para *Caryodaphnopsis theobromifolia*, *Platymiscium pinnatum* y *Platymiscium stipulare* fue seleccionado un modelo para cada especie, todas con un multiplicador de regularización de 0.1 y clase de características lqp. Las variables bioclimáticas que determinaron la distribución potencial para *Caryodaphnopsis theobromifolia* fueron bio 5, bio 15, bio 16; para *Platymiscium pinnatum* bio 1, bio 3, bio 13, bio 17 y para *Platymiscium stipulare* bio 6, bio 13, bio 15.

Para *Swietenia macrophylla* fueron seleccionados dos modelos, con multiplicadores de regularización de 0.1, 0.5 y clase de características qp. Las variables bioclimáticas bio 2, bio 4, bio 13 y bio 17 fueron las que determinaron la distribución potencial.

6.1.4. Distribución potencial.

6.1.4.1. Distribución potencial de *Cabralea canjerana*.

En la Figura 9 (A) se muestra la idoneidad de distribución de la especie con valores entre 0 y 1, las localidades con valores cercanos a 0 y representados por color azul indican sitios no idóneos para la distribución potencial de la especie, mientras que las localidades con valores cercanos a 1 y representados por color rojo, indican sitios idóneos para la distribución potencial de la especie. El mapa de idoneidad indica la mediana de las réplicas de los modelos seleccionados que cumplieron los criterios de evaluación (AICc y ROC parcial). Adicionalmente, se visualiza el

polígono del área de adecuación (8 734 382 ha) de la especie, el cual consideró valores de idoneidad superiores a 0,64. Las zonas de mayor idoneidad se sitúan en las estribaciones orientales de la cordillera de los andes y el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, en las provincias de Sucumbíos hasta Zamora Chinchipe a excepción de la zona nororiental de Sucumbíos.

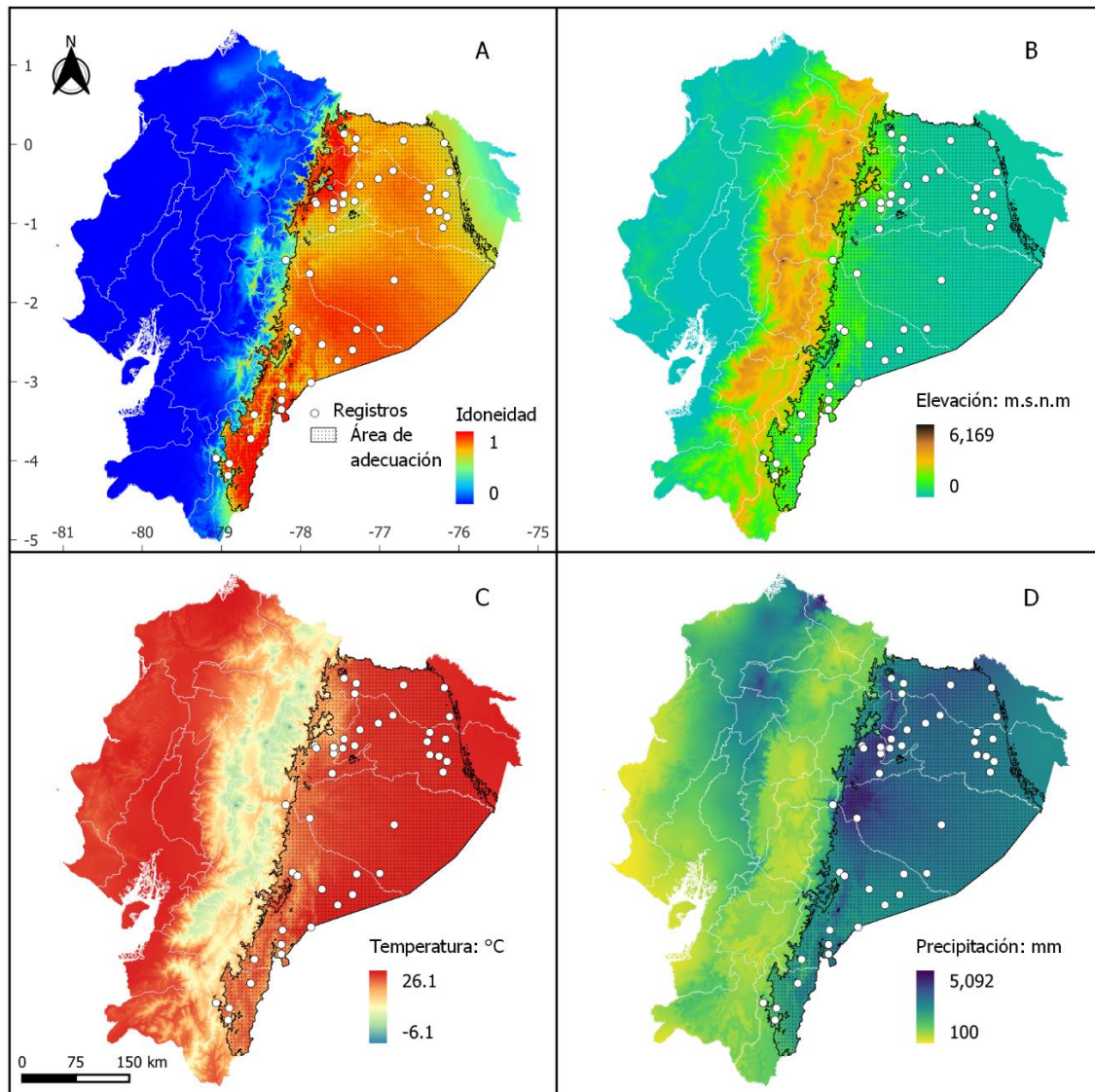


Figura 9. Modelo de distribución potencial para la especie *Cabralea canjerana*. A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.

6.1.4.2. Distribución potencial de *Caryodaphnopsis theobromifolia*.

En la Figura 10 (A) se muestra la idoneidad de distribución de la especie con valores entre 0 y 1, las localidades con valores cercanos a 0 y representados por color azul indican sitios no idóneos para la distribución potencial de la especie, mientras que las localidades con valores cercanos a 1 y representados por color rojo, indican sitios idóneos para la distribución potencial de la especie. El mapa de idoneidad indica la mediana de las réplicas de los modelos seleccionados que cumplieron los criterios de evaluación (AICc y ROC parcial). Adicionalmente, se visualiza el polígono del área de adecuación (3 179 099 ha) de la especie, el cual consideró valores de idoneidad superiores a 0,53. Las zonas de mayor idoneidad se sitúan en las estribaciones occidentales de la cordillera de los andes y Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos y pequeñas áreas en las Provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Azuay y Cañar.

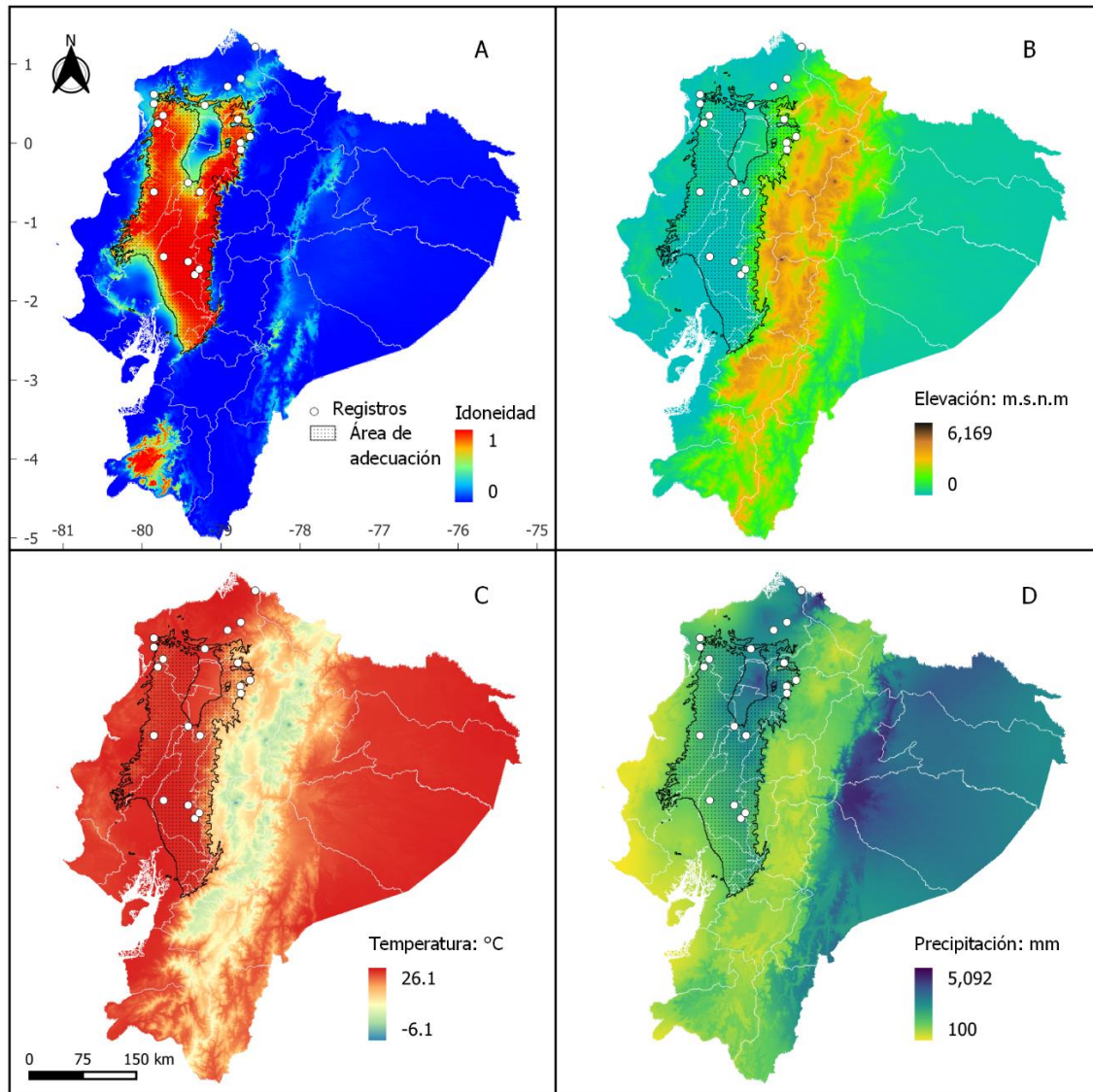


Figura 10. Modelo de distribución potencial para la especie *Caryodaphnopsis theobromifolia*. A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.

6.1.4.3. *Distribución potencial de Platymiscium pinnatum.*

En la Figura 11 (A) se muestra la idoneidad de distribución de la especie con valores entre 0 y 1, las localidades con valores cercanos a 0 y representados por color azul indican sitios no idóneos para la distribución potencial de la especie, mientras que las localidades con valores

cercanos a 1 y representados por color rojo, indican sitios idóneos para la distribución potencial de la especie. El mapa de idoneidad indica la mediana de las réplicas de los modelos seleccionados que cumplieron los criterios de evaluación (AICc y ROC parcial). Adicionalmente, se visualiza el polígono del área de adecuación (6 556 671 ha) de la especie, el cual consideró valores de idoneidad superiores a 0,45. Las zonas de mayor idoneidad se sitúan en el Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó y noroeste de Sucumbíos, zonas con idoneidad media se encuentran en las tierras bajas de la amazonia en las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza y pequeñas áreas en Morona Santiago y Zamora Chinchipe.

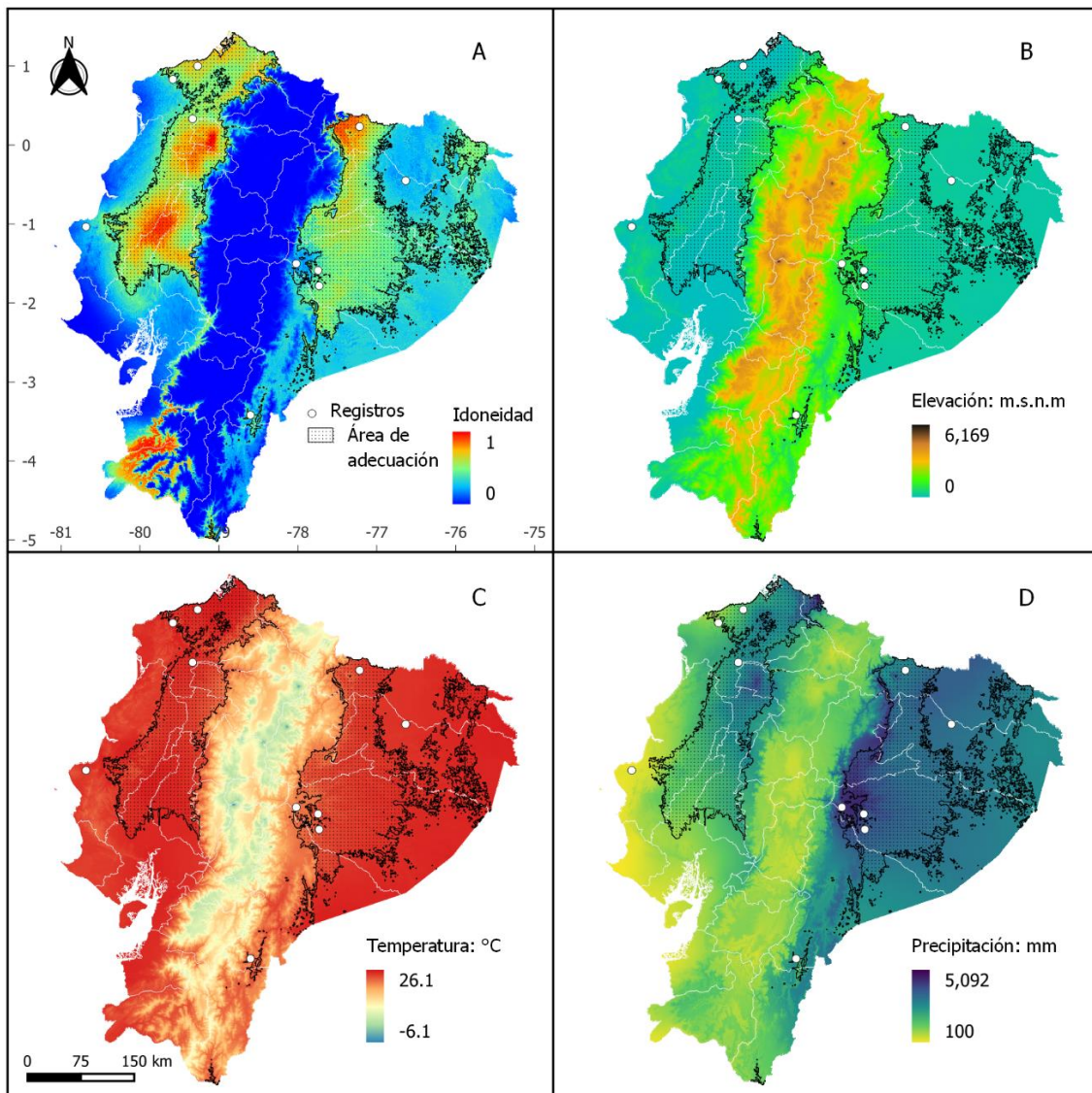


Figura 11. Modelo de distribución potencial para la especie *Platymiscium pinnatum*. A) Idoneidad

ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.

6.1.4.4. *Distribución potencial de *Platymiscium stipulare*.*

En la Figura 12 (A) se muestra la idoneidad de distribución de la especie con valores entre 0 y 1, las localidades con valores cercanos a 0 y representados por color azul indican sitios no idóneos para la distribución potencial de la especie, mientras que las localidades con valores cercanos a 1 y representados por color rojo, indican sitios idóneos para la distribución potencial de la especie. El mapa de idoneidad indica la mediana de las réplicas de los modelos seleccionados que cumplieron los criterios de evaluación (AICc y ROC parcial). Adicionalmente, se visualiza el polígono del área de adecuación (7 737 943 ha) de la especie, el cual consideró valores de idoneidad superiores a 0,41. Las zonas de mayor idoneidad se sitúan en la zona sub-andina y el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, desde la provincia de Sucumbíos hasta pequeñas áreas en Zamora Chinchipe.

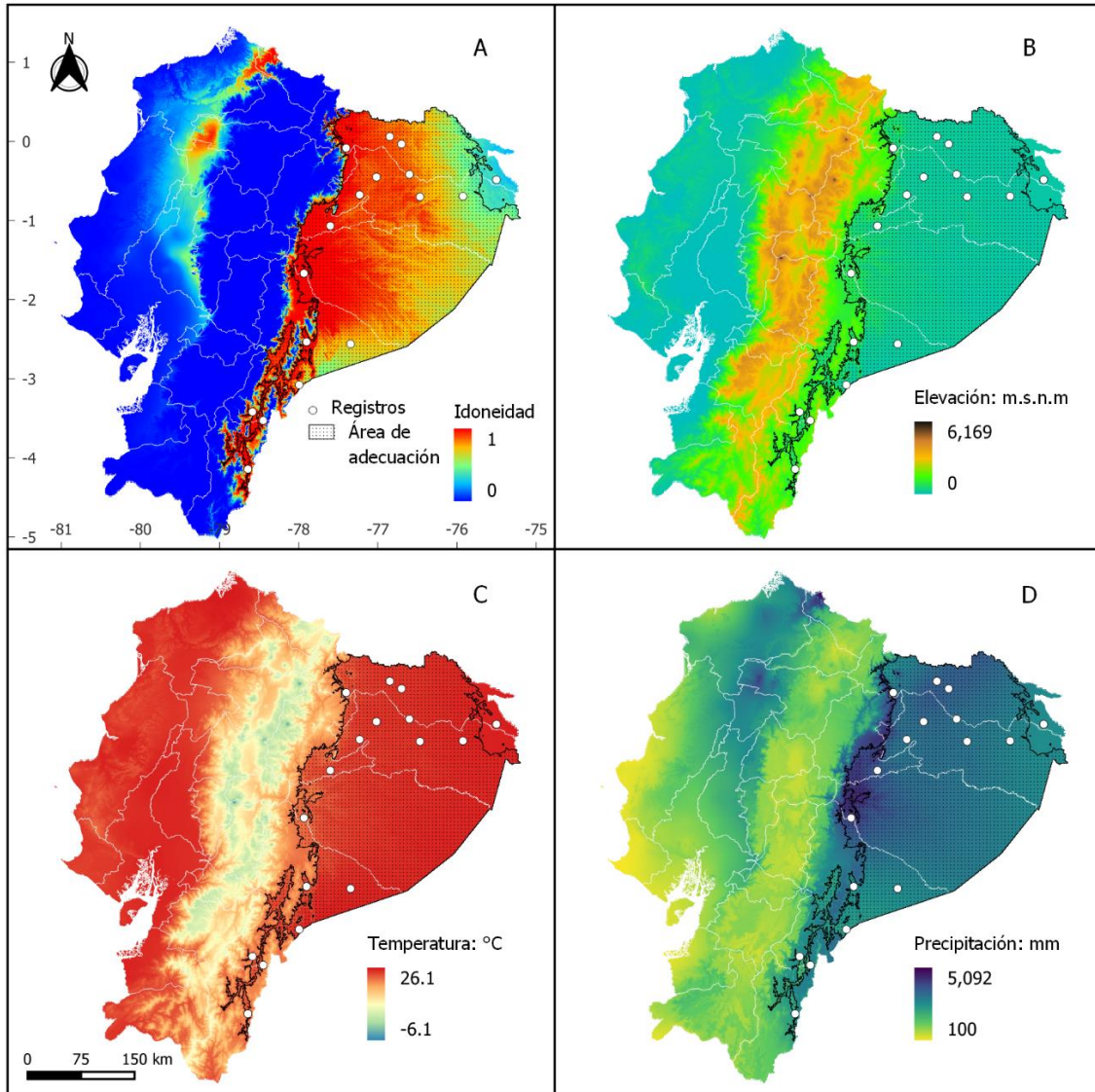


Figura 12. Modelo de distribución potencial para la especie *Platymiscium stipulare*. A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.

6.1.4.5. *Distribución potencial de Swietenia macrophylla.*

En la Figura 13 (A) se muestra la idoneidad de distribución de la especie con valores entre 0 y 1, las localidades con valores cercanos a 0 y representados por color azul indican sitios no idóneos para la distribución potencial de la especie, mientras que las localidades con valores

cercanos a 1 y representados por color rojo, indican sitios idóneos para la distribución potencial de la especie. El mapa de idoneidad indica la mediana de las réplicas de los modelos seleccionados que cumplieron los criterios de evaluación (AICc y ROC parcial). Adicionalmente, se visualiza el polígono del área de adecuación (5 717 619 ha) de la especie, el cual consideró valores de idoneidad superiores a 0,55. Las zonas de mayor idoneidad se sitúan en el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, desde la provincia de Sucumbíos hasta Morona Santiago.

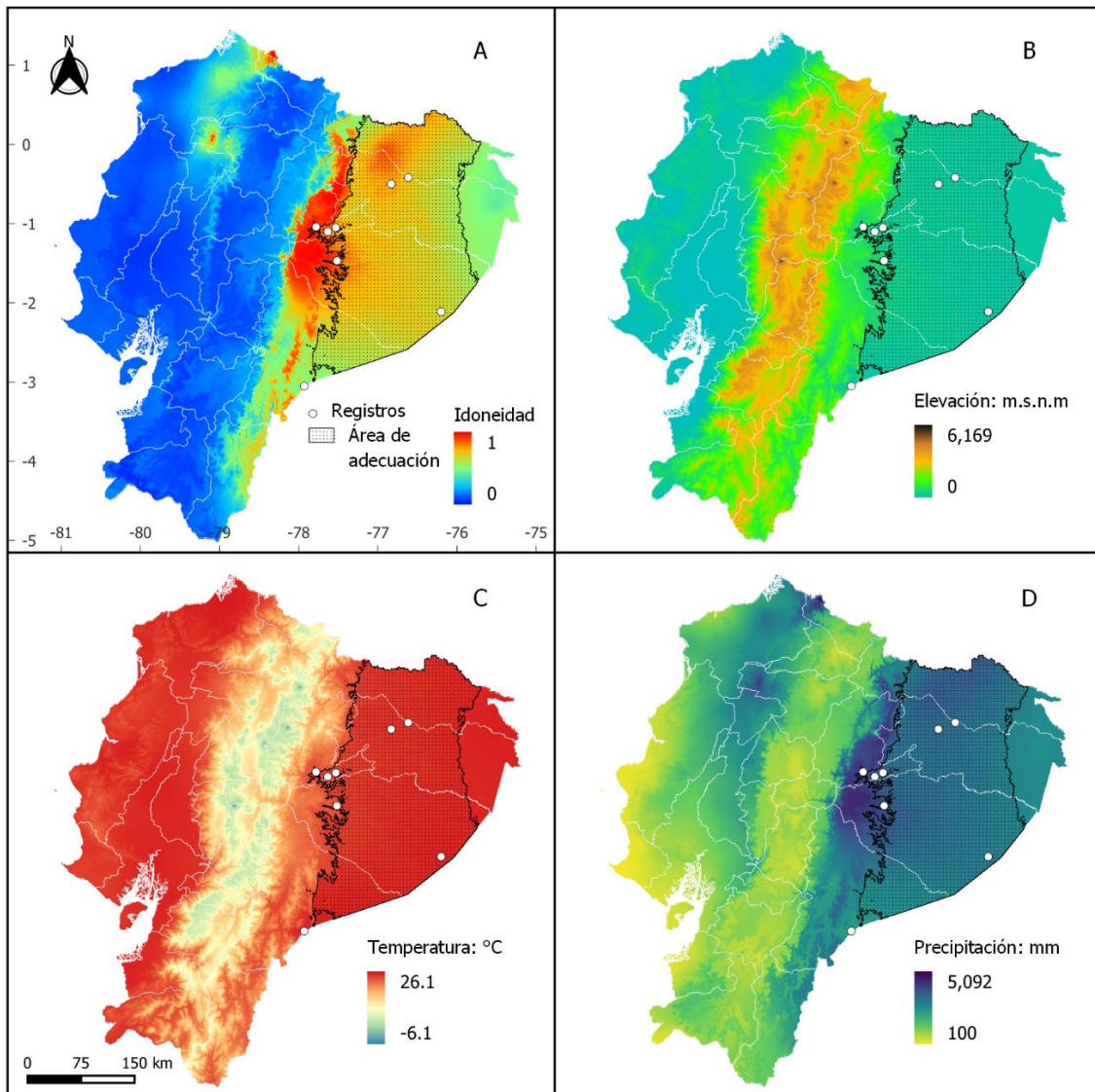


Figura 13. Modelo de distribución potencial para la especie *Swietenia macrophylla*. A) Idoneidad ambiental de la especie más el área de adecuación, B) Área de adecuación con respecto a la variable altitud, C) Área de adecuación con respecto a la variable de temperatura media anual, D) Área de

adecuación con respecto a la variable de precipitación anual.

6.1.5. Perfil bioclimático.

En la Tabla 8 se muestran las estadísticas de altitud, temperatura y precipitación de las áreas de adecuación de las especies evaluadas en el presente estudio de investigación.

Tabla 8. Datos climatológicos de las especies seleccionadas.

Especie	Elevación (msnm)		Temperatura (°C)			Precipitación (mm)		
	Min.	Max.	Min.	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.
<i>Cabrlea canjerana</i>	0	2200	16.1	25.8	23.5	1015	4551	3118
<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	0	1800	16.2	25.8	23.7	920	3526	1994
<i>Platymiscium pinnatum</i>	0	1000	20.6	26.1	24.4	390	4658	2118
<i>Platymiscium stipulare</i>	0	1000	21	25.8	24.5	1800	4494	3158
<i>Swietenia macrophylla</i>	0	500	23.3	25.7	24.9	2463	4374	3172

Con respecto al perfil altitudinal de las especies, para *Cabrlea canjerana* el intervalo donde la especie presentó mayor idoneidad ambiental fue de 0 a 2200 msnm, seguida de *Caryodaphnopsis theobromifolia* el intervalo comprendió entre 0 a 1800 msnm. *Platymiscium pinnatum* y *Platymiscium stipulare* presentaron un rango de 0 a 1000 msnm. Para *Swietenia macrophylla* el intervalo de elevación fue de 0 a 500 msnm.

Considerando el perfil de temperatura de las especies, *Cabrlea canjerana* registró un intervalo de tolerancia con temperaturas entre 16.1 y 25.8 °C, y una temperatura promedio anual de 23.5 °C. *Caryodaphnopsis theobromifolia* presentó un intervalo de 16.2 a 25.8 °C y una temperatura promedio de 23.7 °C. *Platymiscium pinnatum* se registró entre 20.6 a 26.1 °C y una temperatura promedio de 24.4 °C. *Platymiscium stipulare* presentó mayor idoneidad ambiental en temperaturas de 21 a 25.8 °C y una temperatura promedio de 24.5 °C. *Swietenia Macrophylla* presentó un intervalo de tolerancia de 23.3 a 25.7 °C y una temperatura promedio de 24.9 °C.

En cuanto al perfil de precipitación de las especies, para *Cabrlea canjerana* el intervalo

donde la especie presentó mayor idoneidad ambiental fue de 1015 a 4551 mm y una precipitación anual promedio de 3118 mm. *Caryodaphnopsis theobromifolia* presentó un intervalo de 920 a 2526 y una precipitación anual promedio de 1994 mm. *Platymiscium pinnatum* registró un intervalo de 390 a 4658 mm y una precipitación anual promedio de 2118 mm. *Platymiscium stipulare* presentó un intervalo de 1800 a 4494 y una precipitación anual promedio de 3158 mm. *Swietenia macrophylla* presentó un intervalo de 2463 a 4374 mm y una precipitación anual promedio de 3172 mm.

6.2. Evaluación de las áreas de distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano, afectadas por procesos de deforestación e incendios forestales

6.2.1. Deforestación.

6.2.1.1. Análisis estadístico de la deforestación en el Ecuador en el periodo de 1990-2018.

Según los resultados obtenidos (Figura 14; A) *Cabrlea canjerana* mostró la mayor área deforestada con 753 070 ha, esto debido a su amplia área de adecuación y patrones de deforestación, seguida de *Platymiscium pinnatum* con 649 230 ha deforestadas, *Platymiscium stipulare* con 585 988 ha, *Swietenia macrophylla* con 412 810 ha y *Caryodaphnopsis theobromifolia* con 378 515 ha.

Considerando los valores relativos del área deforestada en relación al área de adecuación de la especie, las estadísticas de deforestación relativas cambian notablemente con respecto a las estadísticas absolutas presentadas anteriormente (Figura 14; B). En este contexto, *Caryodaphnopsis theobromifolia* fue la especie que más perdió bosque en relación a su área de adecuación con un 43.88 %, seguida de *Platymiscium pinnatum* con el 15.23 %. *Cabrlea canjerana*, *Platymiscium stipulare* y *Swietenia macrophylla* presentaron menor pérdida de la cobertura boscosa, con valores menores al 10 %.

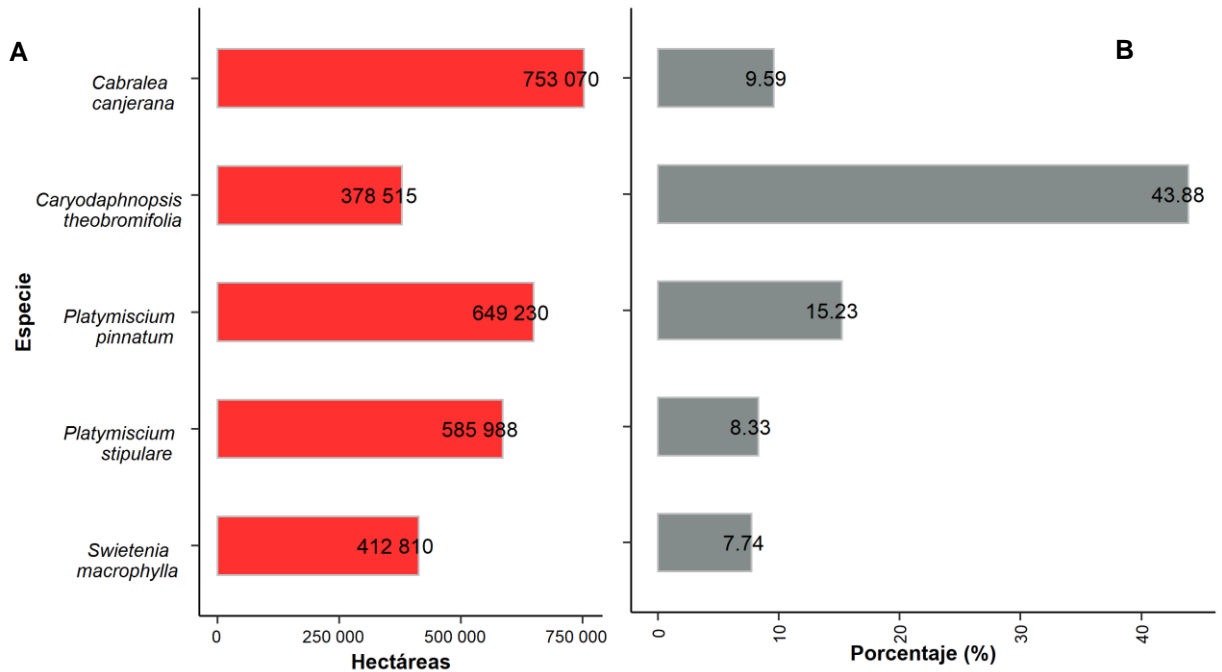


Figura 14. Análisis estadístico de la deforestación en el Ecuador en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

En la Figura 15 se detalla la superficie deforestada en el área de adecuación de cada especie entre 1990 al 2018. La mayor parte del área deforestada se perdió en el periodo de 1990-2000, luego fue decayendo paulatinamente con respecto a los periodos posteriores. *Cabralea canjerana* presentó la superficie de deforestación más alta, en el periodo de 1990-2000 con 344 573 ha.

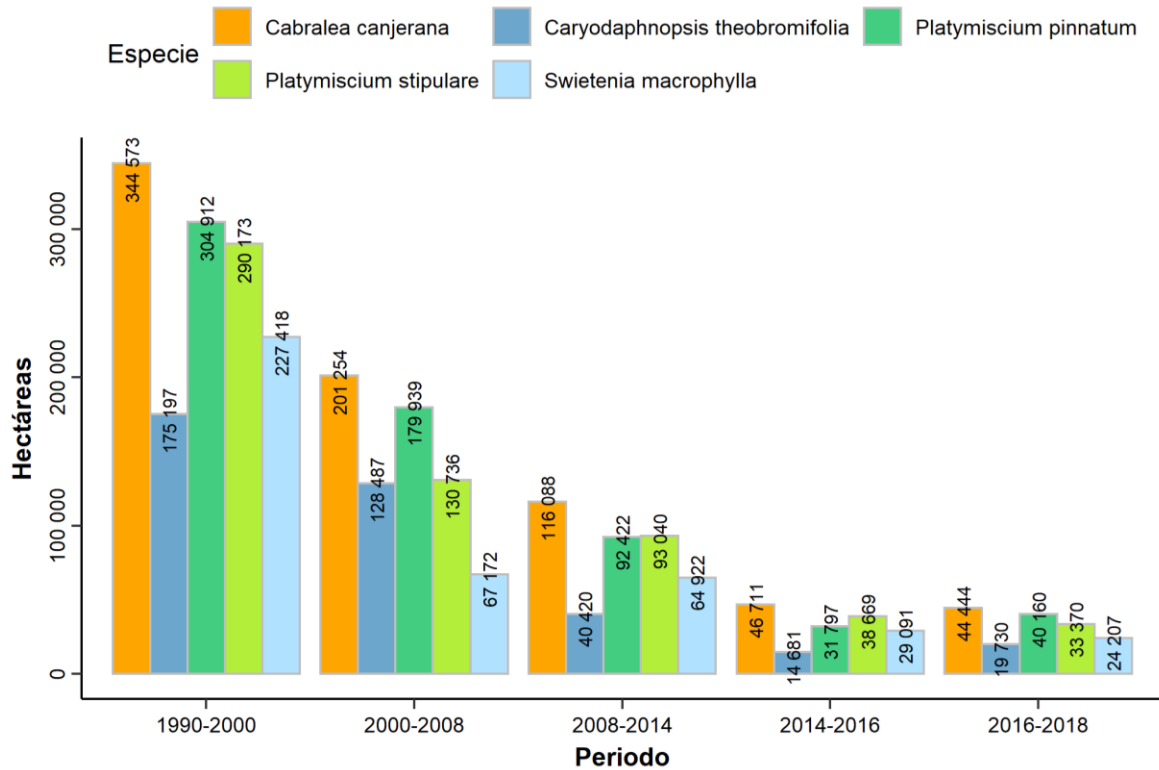


Figura 15. Deforestación por periodos en las áreas de adecuación de las especies.

6.2.1.2. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial en el periodo de 1990-2018.

El análisis estadístico de la deforestación provincial para *Cabralea canjerana* se presenta desde Sucumbíos hasta Zamora Chinchipe, y pequeñas áreas en la provincia de Azuay. Las provincias mayormente afectadas fueron Sucumbíos, Morona Santiago y Orellana con valores de 191 273 ha, 191 078 ha y 160 332 ha respectivamente. Zamora Chinchipe, Pastaza, Napo y Azuay se vieron menormente afectadas con valores menores a 80 000 hectáreas deforestadas (Figura 16; A).

Según los valores relativos del área deforestada a nivel provincial en relación al área de adecuación de la especie, la provincia de Sucumbíos es la más afectada con una pérdida del 21.53 %, seguida de Azuay con 19.8 % (Figura 16; B).

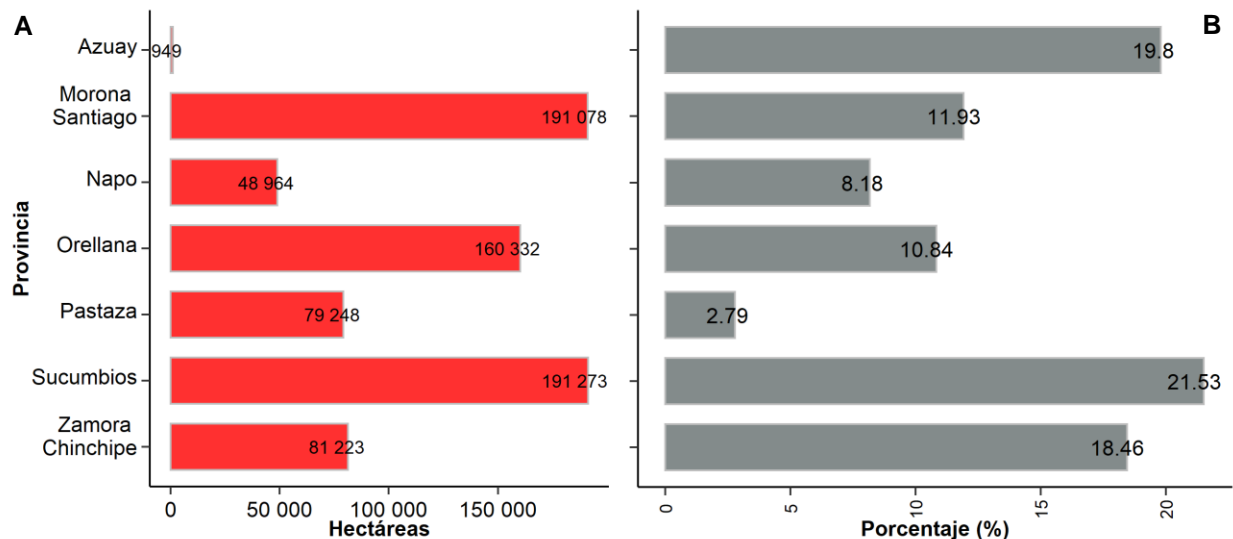


Figura 16. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Cabralea canjerana* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

Para *Caryodaphnopsis theobromifolia* el área de adecuación se localiza en las provincias de la región costera y estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes, las provincias con mayor área deforestada son Manabí (83 386 ha), Esmeraldas y Bolívar (Figura 17; A). Según el porcentaje de cobertura boscosa pérdida a nivel provincial, las provincias mayormente afectadas fueron Los Ríos y Bolívar, con 78.88 % y 73.64 % respectivamente (Figura 17; B).

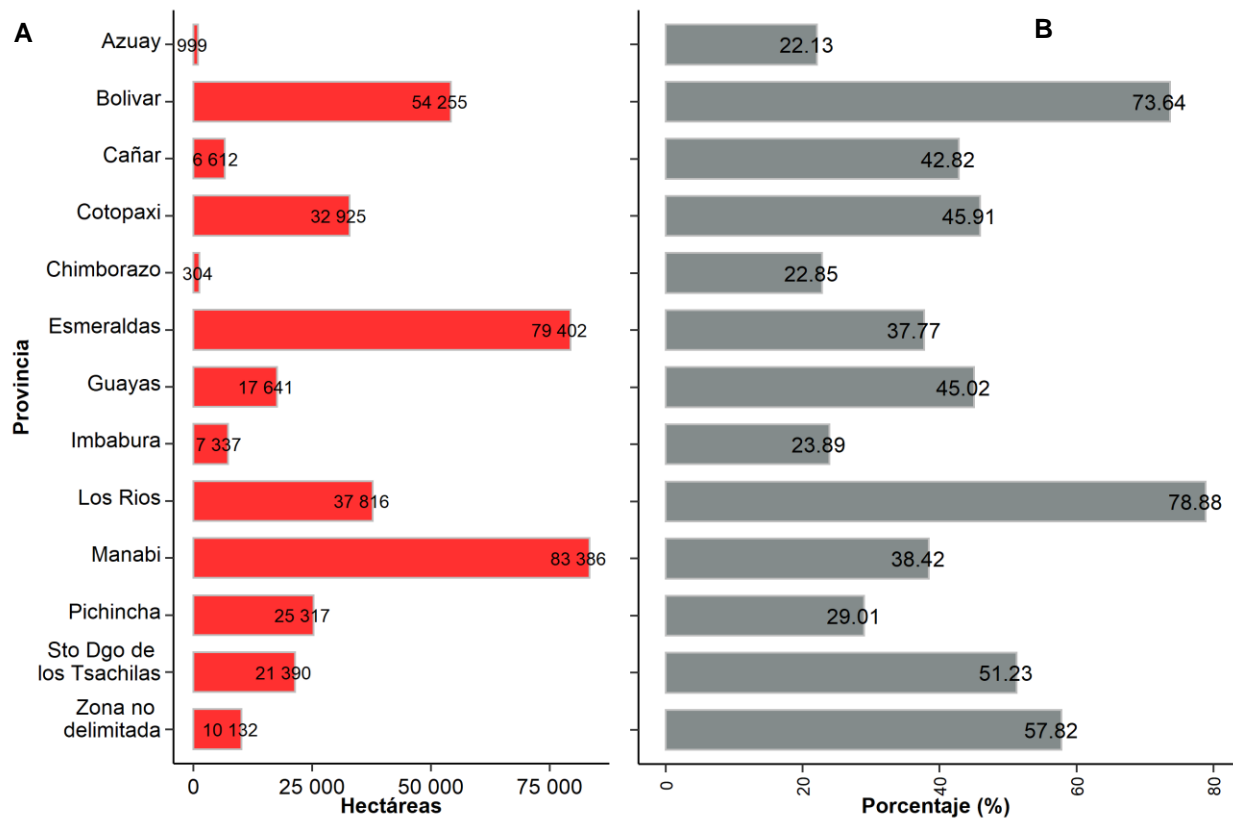


Figura 17. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Caryodaphnopsis theobromifolia* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

El análisis estadístico de la deforestación provincial para *Platymiscium pinnatum* se presenta en BHT amazónico y del Chocó. De las 17 provincias afectadas por deforestación, Esmeraldas presenta el valor más alto de área deforestada con 189 578 ha, seguido de Orellana con 101 701 ha. Las provincias restantes tienen valores menores a 60 000 ha deforestadas (Figura 18; A).

En la Figura 18; B, se observa la relación entre el área deforestada a nivel provincial y área de adecuación de la especie, donde Bolívar y Cotopaxi se vieron severamente afectadas con valores de 97.9 % y 97.23 %.

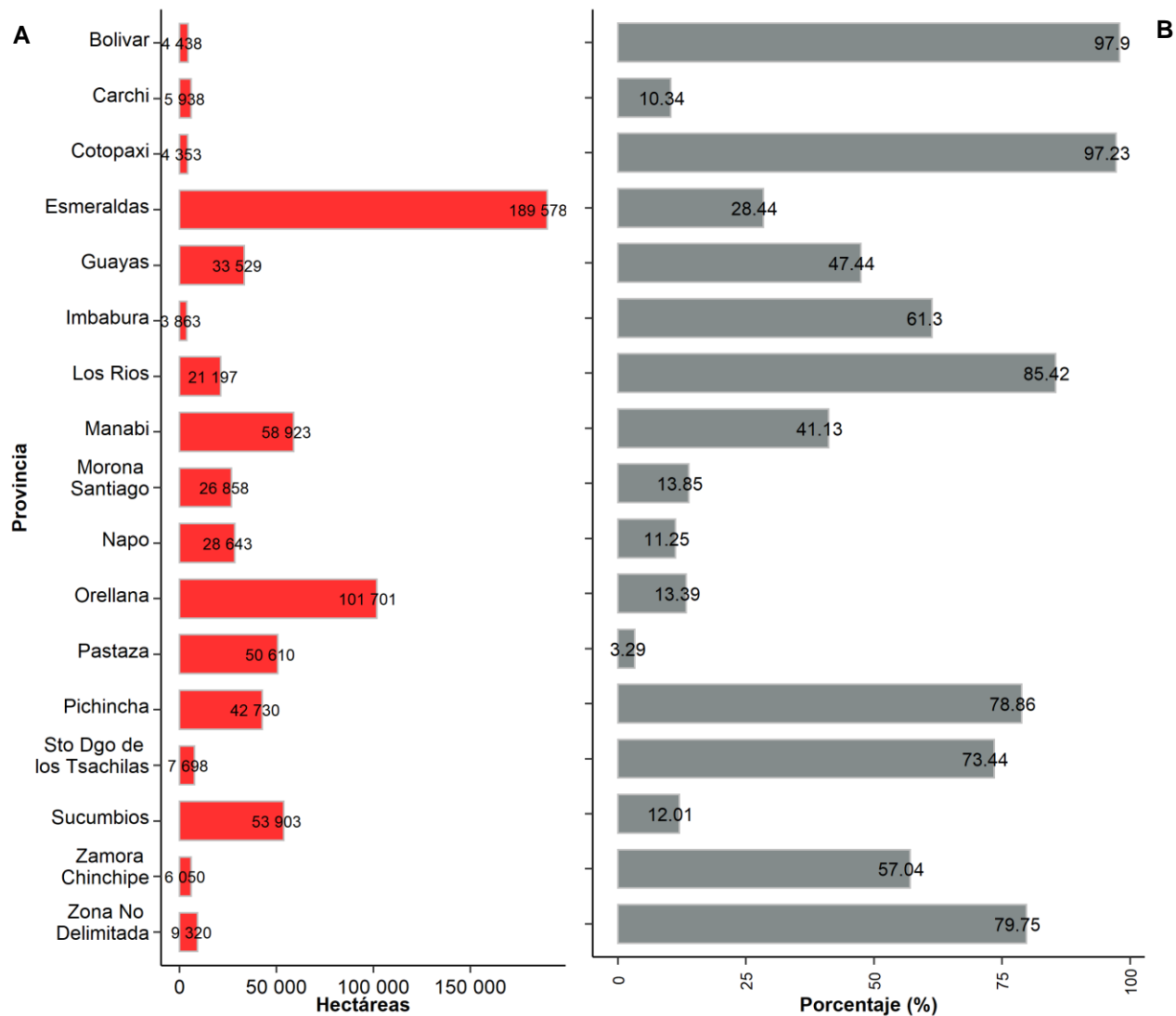


Figura 18. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Platymiscium pinnatum* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

El análisis de deforestación provincial para *Platymiscium stipulare* se presenta en las provincias de la región amazónica, desde Sucumbíos hasta Zamora Chinchipe, y pequeñas áreas en la provincia de Azuay. Las provincias mayormente afectadas fueron Sucumbíos, Orellana y Morona Santiago con valores de 203 233 ha, 160 055 ha y 104 092 ha respectivamente. En la provincia de Azuay no se observa pérdida de la cobertura boscosa, ya que las áreas de adecuación registradas dentro de la provincia no mostraron procesos de deforestación desde 1990 a 2018

(Figura 19; A).

Según los valores relativos del área deforestada a nivel provincial en relación al área de adecuación de la especie, la provincia de Zamora Chinchipe es la más afectada con una pérdida del 50.96 % (Figura 19; B).

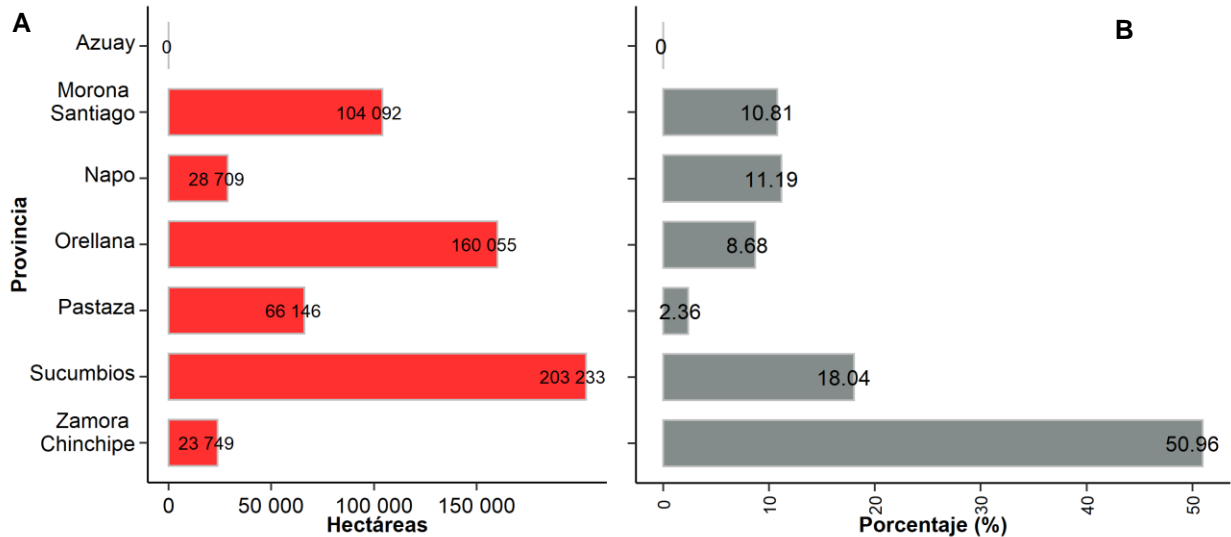


Figura 19. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Platymiscium stipulare* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

Para *Swietenia Macrophylla* el área de adecuación se ve restringida a la zona del BHT amazónico. Las provincias mayormente afectadas por procesos de deforestación son Sucumbíos con un valor de 194 479 ha y Orellana con 152 499 ha deforestadas. Las provincias restantes presentan valores de deforestación menores a 27 000 ha deforestadas (Figura 20; A).

Según el porcentaje de cobertura boscosa pérdida a nivel provincial, las provincias mayormente afectadas fueron Sucumbíos y Napo, con 20.58 % y 12.57 % respectivamente (Figura 20; B).

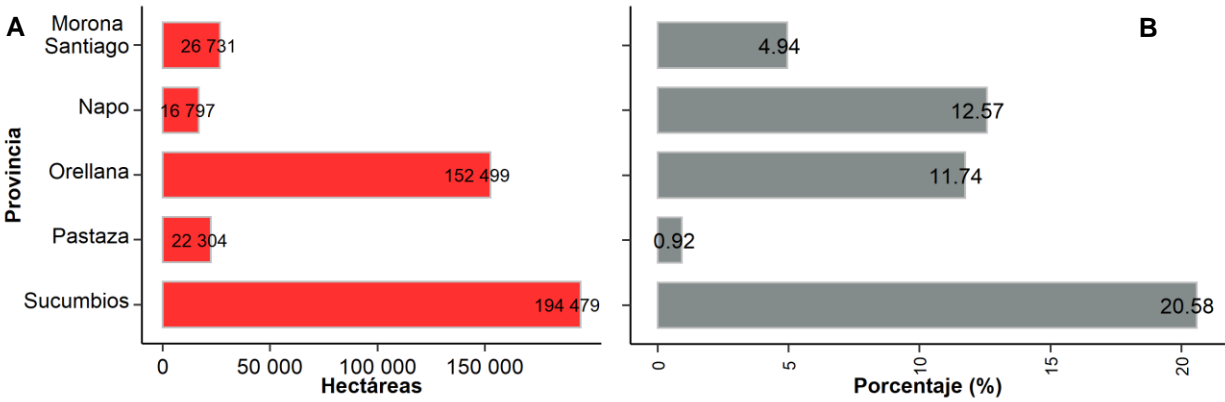


Figura 20. Análisis estadístico de la deforestación a nivel provincial de *Swietenia Macrophylla* en el periodo de 1990-2018. A) Hectáreas deforestadas dentro del área de adecuación, B) Porcentaje de cobertura boscosa perdida en base al tamaño del área de adecuación.

6.2.2. Incendios Forestales.

6.2.2.1. Análisis estadístico de fuegos activos en el Ecuador en el periodo de 2001-2021.

En la Figura 21; A se observa el análisis estadístico a nivel nacional de fuegos activos en el período 2001-2021 en las áreas de adecuación de las especies. *Platymiscium pinnatum* y *Caryodaphnopsis theobromifolia* presentaron la mayor frecuencia de fuegos activos, con valores de 2175 y 1217 registros respectivamente. *Platymiscium stipulare*, *Swietenia macrophylla* y *Cabrlea canjerana* mostraron frecuencias de fuegos activos bajos con valores de 646, 618 y 463 respectivamente.

Considerando la densidad de fuegos activos por km² (Figura 21; B) *Caryodaphnopsis theobromifolia* se vio gravemente afectada con un valor de 0.0414 FA/km², seguida de *Platymiscium pinnatum* con 0.0114 FA/km², *Swietenia macrophylla*, *Platymiscium stipulare* y *Cabrlea canjerana* presentaron valores sumamente bajos en comparación a las dos primeras.

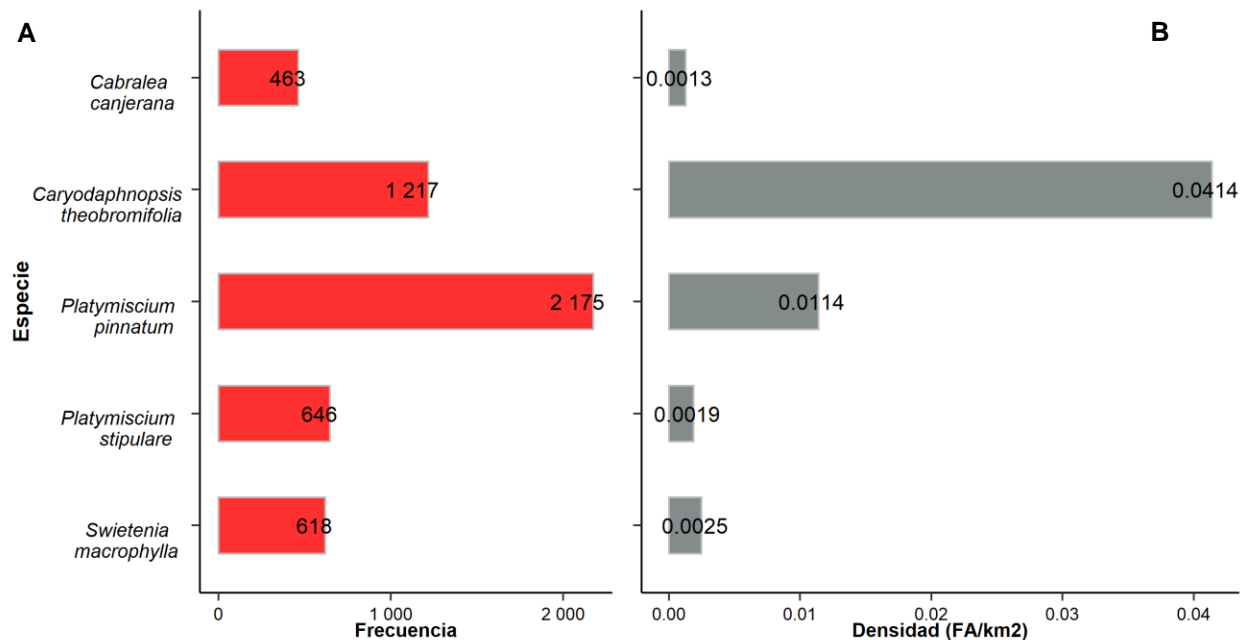


Figura 21. Análisis estadístico de fuegos activos en el Ecuador en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

6.2.2.2. Análisis estadístico de fuegos activos por provincias en el periodo de 2001-2021.

En la Figura 22; A se observa el análisis estadístico de fuegos activos por provincias para *Cabralea Canjerana* en la cual la provincia de Sucumbíos alcanza los más altos valores en frecuencia y densidad, con 282 fuegos activos y 0.0075 FA/ km², seguida de Orellana con 118 fuegos activos y 0.0017 FA/ km² (Figura 22; B).

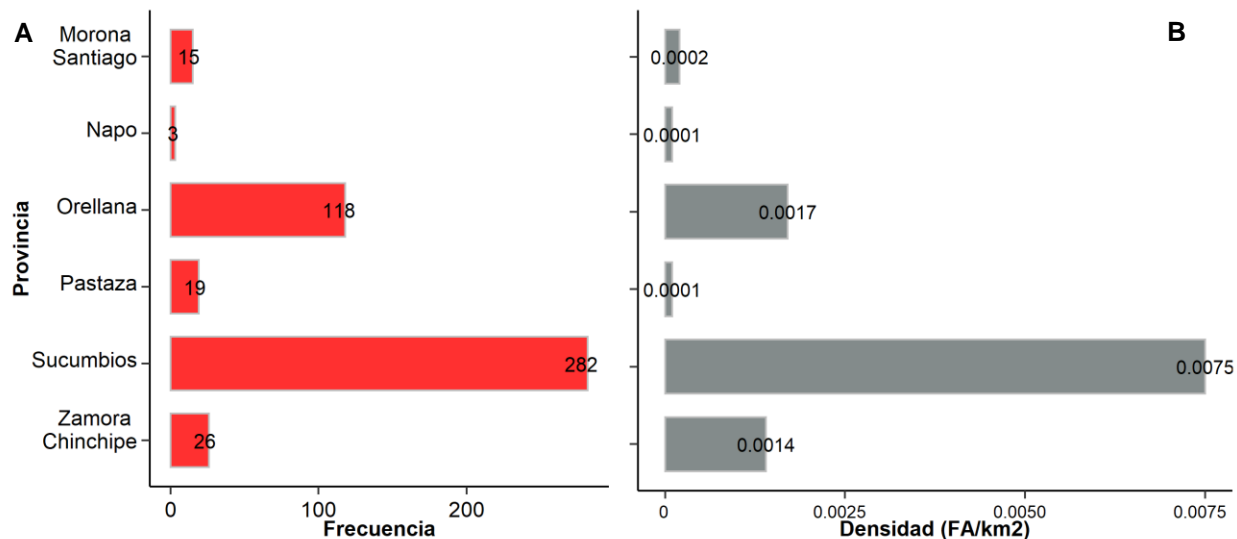


Figura 22. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de *Cabralea canjerana* en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

Para la especie *Caryodaphnopsis theobromifolia* su área de adecuación está limitada a las estribaciones occidentales de la cordillera de los andes y Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó, donde se observa una alta incidencia de fuegos activos. Manabí, Guayas, Los Ríos y Esmeraldas son las provincias con mayor frecuencia de fuegos activos con valores de 570, 392 83 y 76 respectivamente (Figura 23; A). Guayas, Los Ríos y Manabí registraron mayor densidad de fuegos activos con valores de 0.2559, 0.0946 y 0.0725 FA/km² (Figura 23; B).

Las provincias de las estribaciones occidentales de la cordillera de los andes se ven menormente afectadas ya que cuenta con pequeñas áreas de adecuación para la especie y la frecuencia de fuegos activos son menores a 26 (Figura 23; A).

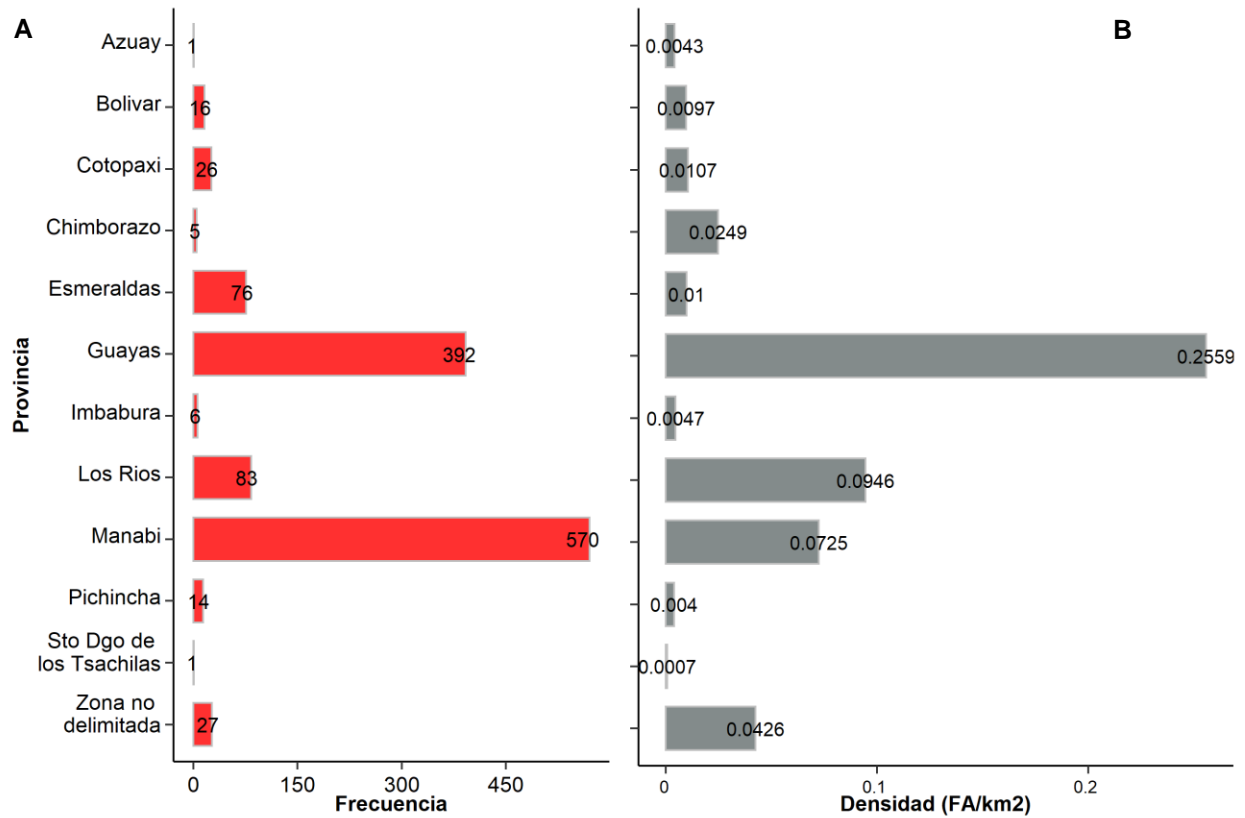


Figura 23. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de *Caryodaphnopsis theobromifolia* en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

Sobre el análisis estadístico de fuegos activos por provincias para *Platymiscium pinnatum* en las 17 provincias donde se encuentra su área de adecuación, las provincias de la región costa presentan mayor frecuencia de fuegos activos. Guayas, Manabí y Esmeraldas con valores de 1125, 466 y 333 fuegos activos respectivamente son las más afectadas (Figura 24; A). Guayas y Los Ríos registraron mayor densidad de fuegos activos con valores de 0.3843 y 0.1655 FA/ km² (Figura 24; B).

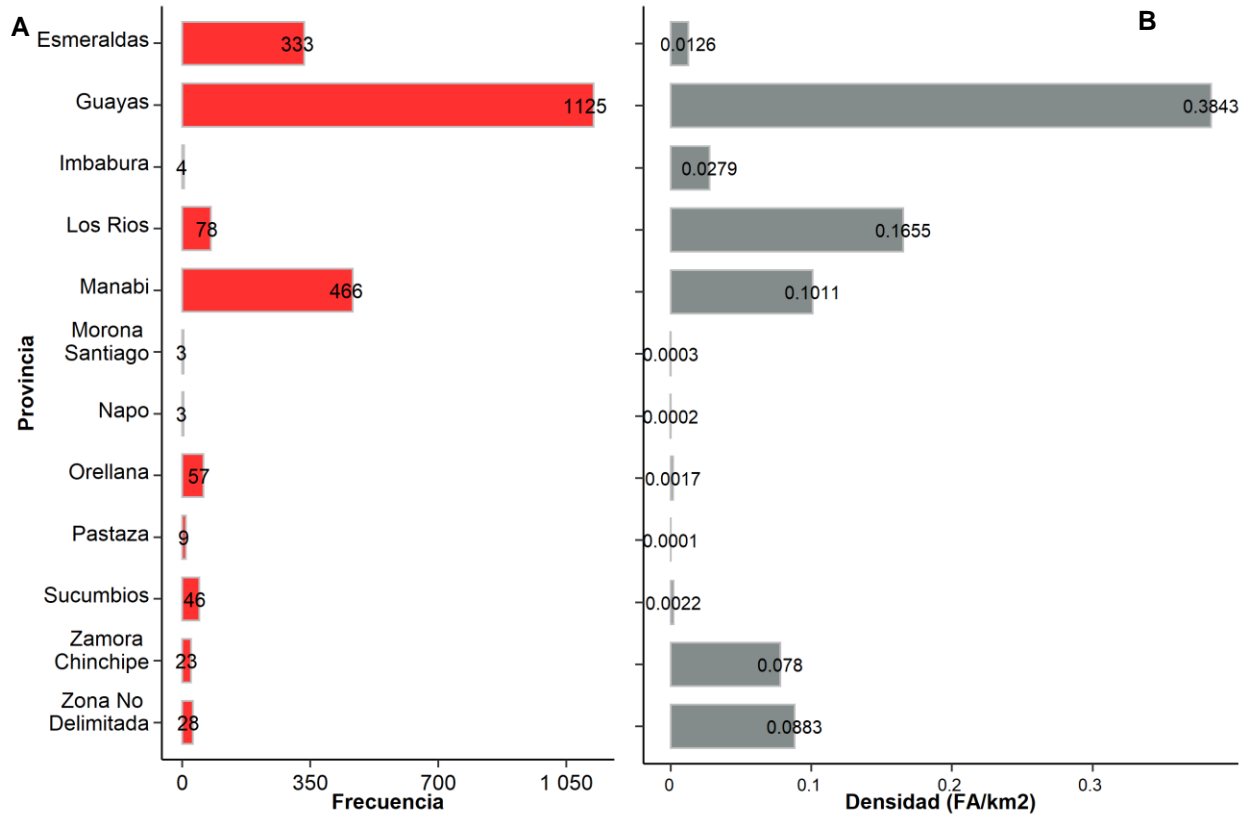


Figura 24. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de *Platymiscium pinnatum* en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

En la Figura 25; A se observa el análisis estadístico de fuegos activos por provincias para *Platymiscium stipulare* en la cual la provincia de Sucumbíos alcanza los más altos valores en frecuencia con 475 fuegos activos, seguida de Orellana con 121 fuegos activos. Zamora Chinchipe alcanza el valor más alto en densidad de fuegos activos con 0.0105 FA/ km², seguida de Sucumbíos con 0.0097 FA/ km² (Figura 25; B). Pastaza, Morona Santiago y Napo presentan valores relativamente bajos de frecuencias y densidad en comparación a las demás provincias.

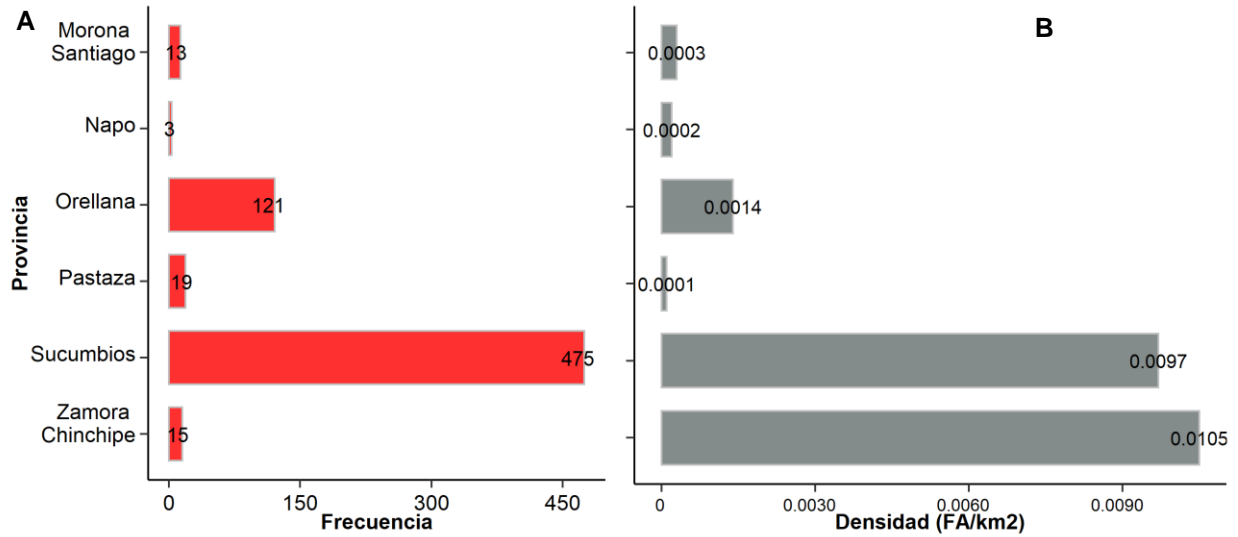


Figura 25. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de *Platymiscium stipulare* en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

Para *Swietenia macrophylla* su distribución se ve limitada al Bosque Húmedo Tropical amazónico, donde las provincias de Sucumbíos y Orellana se vieron afectadas mayormente por fuegos activos, con una frecuencia de 476 y 117 fuegos activos respectivamente (Figura 26; A) y una densidad de 0.0118 y 0.002 FA/ km² respectivamente (Figura 26; B).

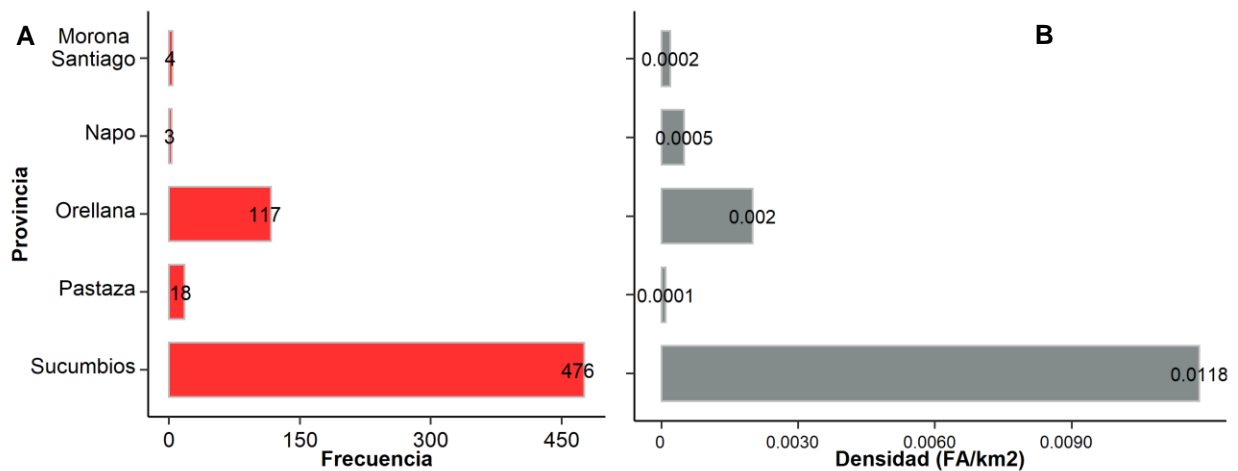


Figura 26. Análisis estadístico de fuegos activos a nivel provincial de *Swietenia macrophylla* en el periodo de 2001-2021. A) Frecuencia de fuegos activos por especie, B) Densidad de fuegos activos por especie.

6.2.2.3. Serie temporal de fuegos activos en el periodo de 2001-2021.

En la Figura 27 se refleja la frecuencia de fuegos activos con datos mensuales de las especies. *Cabrlea canjerana* mostró mayor frecuencia de fuegos activos entre 2004 a 2010, con un valor máximo de 37 fuegos activos en febrero de 2007. A partir de 2010 se muestra una reducción de fuegos activos, llegando máximo a 13 fuegos activos en enero del 2012.

Caryodaphnopsis theobromifolia muestra variación de fuegos activos en todo el periodo analizado, alcanzando valores máximos de fuegos activos en el mes de noviembre de los años 2007 (90), 2005 (85), 2011 (75), 2016 (66), 2008 (62) y 2020 (56).

Platymiscium pinnatum muestra variación de fuegos activos en todo el periodo analizado, alcanzando los valores más altos en noviembre de 2011 y 2007, con 107 y 107 fuegos activos. La frecuencia de fuegos activos se intensifica en los últimos tres meses del año para todos los periodos.

Platymiscium stipulare mostró mayor frecuencia de fuegos activos entre 2004 a 2010, con un valor máximo de 53 fuegos activos en febrero de 2007. A partir de 2010 se muestra una reducción de fuegos activos.

Swietenia macrophylla presentó una mayor variación durante el periodo de 2004 a 2010, alcanzando un valor máximo de 53 fuegos activos en febrero de 2007 y 41 en fuegos activos en enero de 2010. A partir de 2010 se muestra una reducción de fuegos activos, con valores menores a 16 fuegos activos.

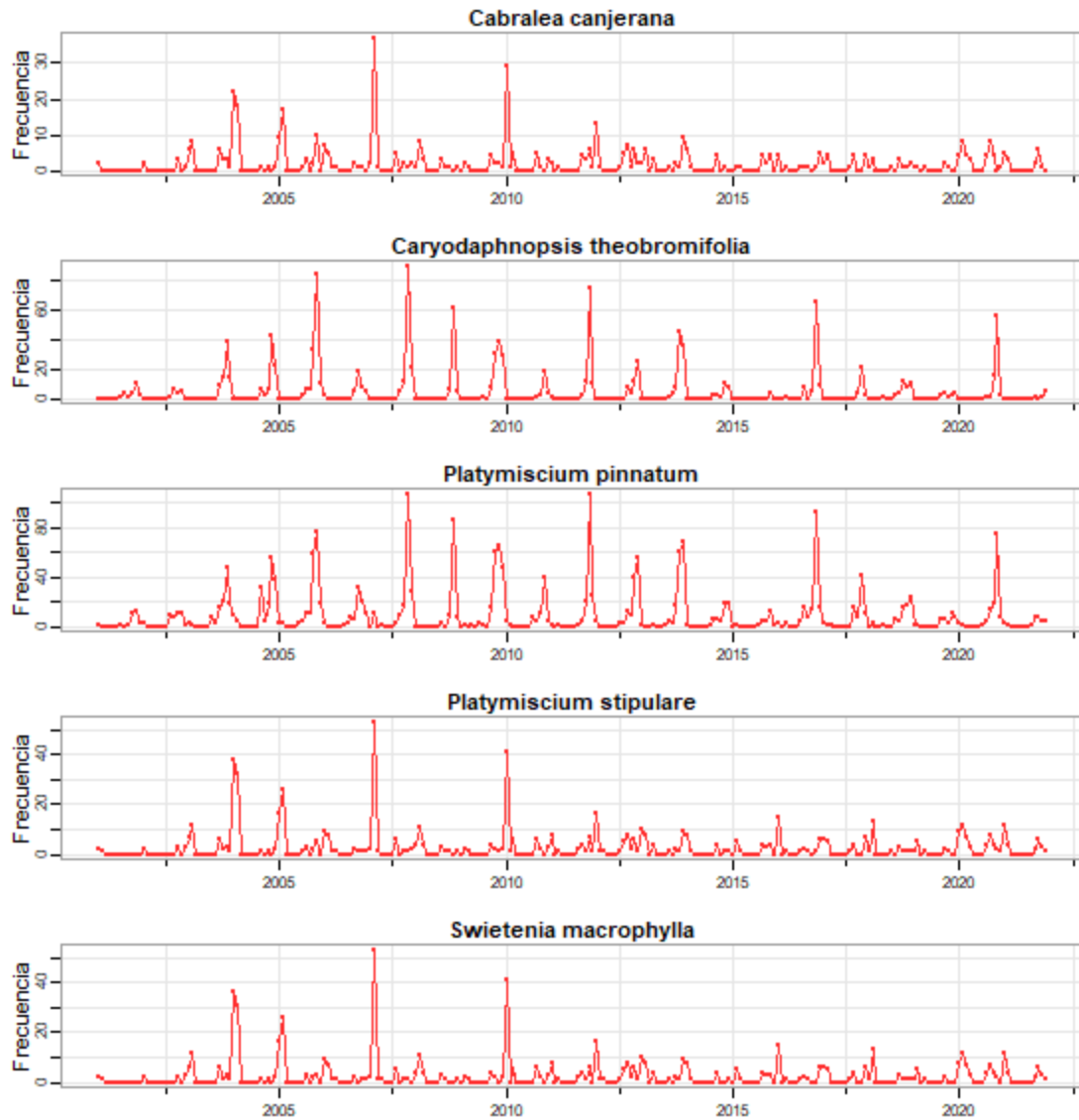


Figura 27. Serie temporal de fuegos activos por especie en el periodo de 2001-2021.

La Figura 28 muestra la descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal para *Cabralea canjerana* con el método STL. Para la especie se muestra un patrón temporal recurrente (estacionalidad). Mediante el test Mann-Kendall y Sen's Slope se determinó que la especie tiene una tendencia no significativa creciente, con un valor de Z igual a 1.17 y magnitud igual a 0 (Tabla 9).

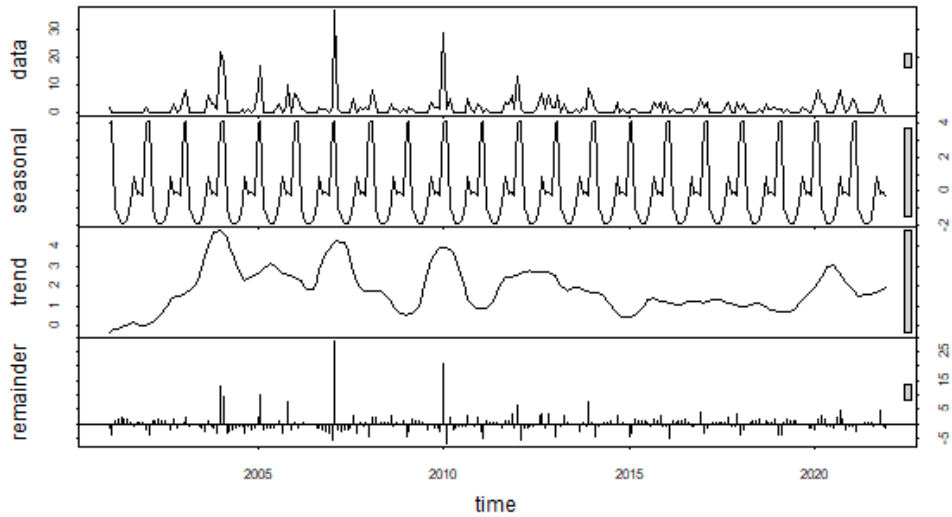


Figura 28. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para *Cabralea canjerana* desde 2001 a 2021.

Con la descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal para *Caryodaphnopsis theobromifolia* con el método STL indica que la especie presenta un patrón estacional (Figura 29). Mediante el test Mann-Kendall y Sen's Slope se determinó que la especie tiene una tendencia no significativa decreciente, con un valor de Z igual a -0.48 y magnitud igual a 0 (Tabla 9).

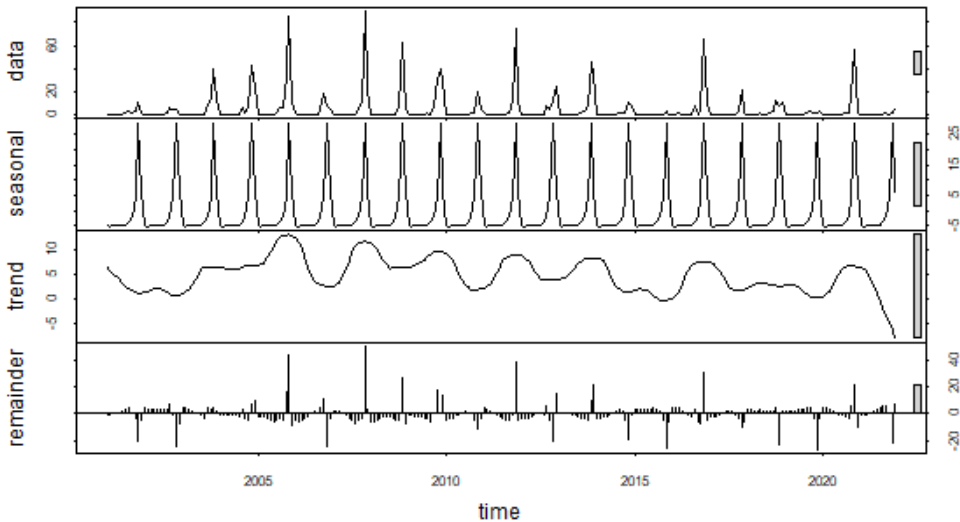


Figura 29. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para *Caryodaphnopsis theobromifolia* desde 2001 a 2021.

Con el método STL, se realizó la descomposición estacional y de tendencias de la serie

temporal para *Platymiscium pinnatum* la cual no indicó que la especie presenta un patrón temporal recurrente (estacionalidad) (Figura 30). Mediante el test Mann-Kendall y Sen's Slope se determinó que la especie tiene una tendencia no significativa creciente, con un valor de Z igual a 0.15 y magnitud igual a 0 (Tabla 9).

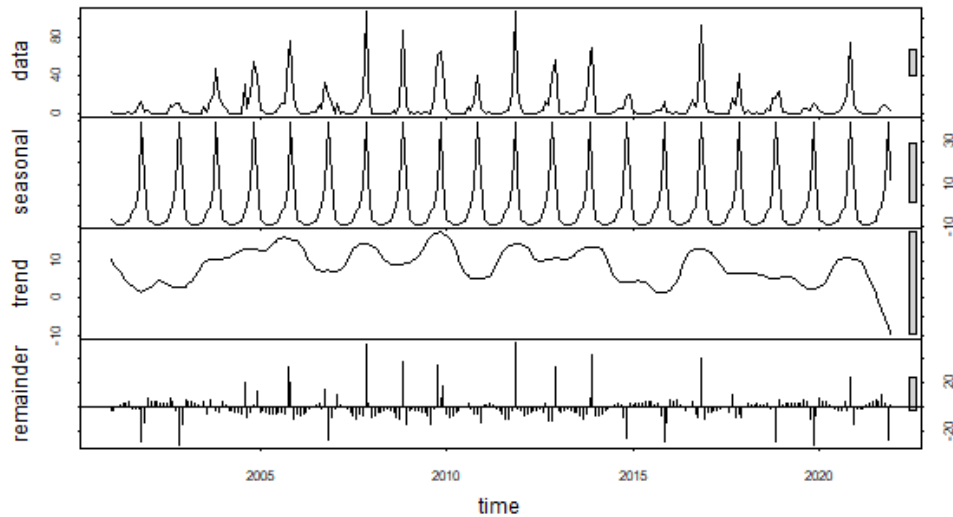


Figura 30. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para *Platymiscium pinnatum* desde 2001 a 2021.

La Figura 31 muestra la descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal para *Platymiscium stipulare* con el método STL, para la especie se muestra un patrón estacional. Mediante el test Mann-Kendall y Sen's Slope se determinó que la especie tiene una tendencia no significativa creciente, con un valor de Z igual a 1.56 y magnitud igual a 0 (Tabla 9).

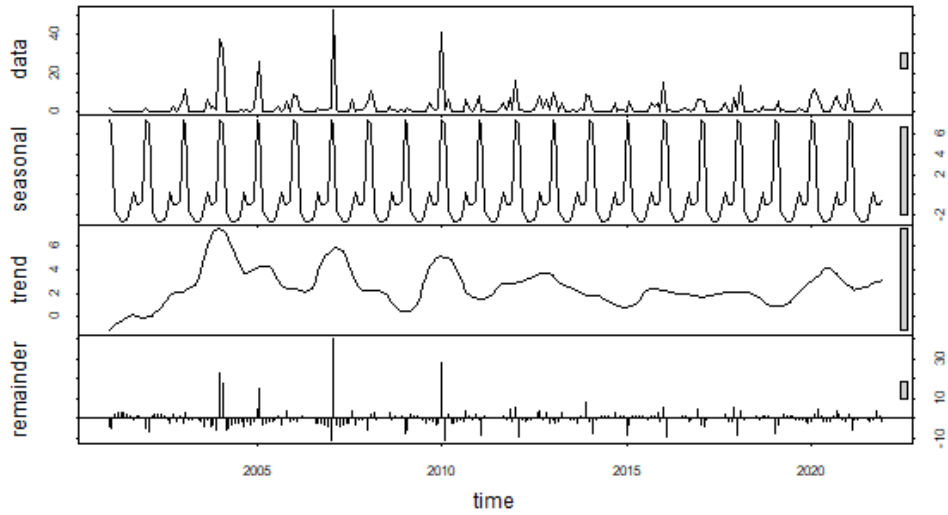


Figura 31. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para *Platymiscium stipulare* desde 2001 a 2021.

Con la descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal para *Swietenia macrophylla* con el método STL indica que la especie presenta un patrón temporal recurrente (estacionalidad) (Figura 32). Mediante el test Mann-Kendall y Sen's Slope se determinó que la especie tiene una tendencia no significativa creciente, con un valor de Z igual a 1.41 y magnitud igual a 0 (Tabla 9).

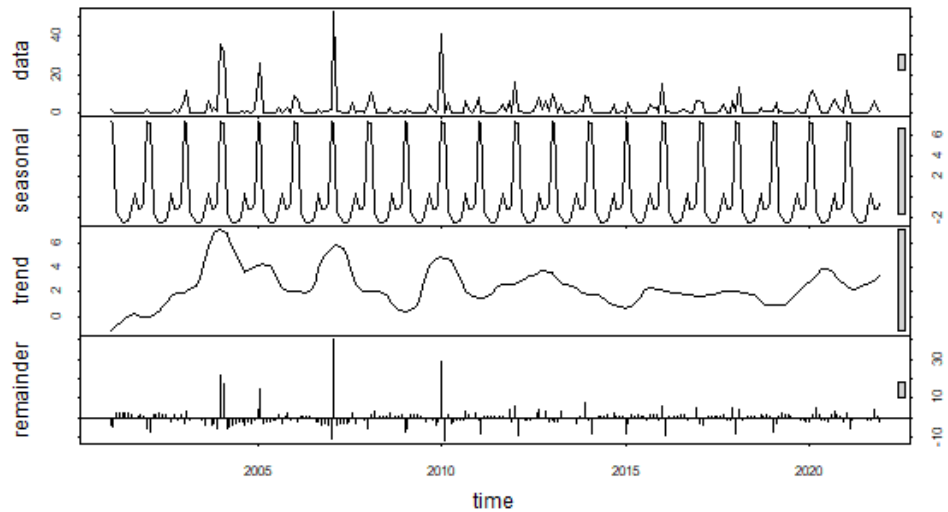


Figura 32. Descomposición estacional y de tendencias de la serie temporal de fuegos activos para *Swietenia macrophylla* desde 2001 a 2021.

En la Tabla 9 se presenta el resultado de las pruebas estadísticas Mann-Kendall para evaluar

la tendencia en series de datos ambientales y Sen's Slope para predecir la magnitud de la pendiente real de datos de series de tiempo.

Tabla 9. Pruebas estadísticas aplicadas a las series temporales.

Especie	Número de registros	Test Mann-Kendall		Test Sen's Slope
		Valor z	p-valor	
<i>Cabralea canjerana</i>	252	1.17	0.24	0
<i>Caryodaphnopsis theobromifolia</i>	252	-0.48	0.63	0
<i>Platymiscium pinnatum</i>	252	0.15	0.88	0
<i>Platymiscium stipulare</i>	252	1.56	0.12	0
<i>Swietenia macrophylla</i>	252	1.41	0.16	0

7. Discusión

Distribución Potencial

Según los resultados *Cabrlea canjerana* presenta su área de adecuación en las estribaciones orientales de la cordillera de los Andes y el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, desde la provincia de Sucumbíos hasta Zamora Chinchipe a excepción de la zona nororiental de Sucumbíos. Los registros descargados de GBIF y BNDB indican que la especie se encuentra naturalmente solo en la región amazónica.

La revisión bibliográfica indica que la especie fue registrada en las provincias de: Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (BNDB, 2022; GBIF, 2022; Jorgensen y León-Yáez, 1999). Según Parión (2011) *Cabrlea canjerana* crece en los bosques secundarios y maduros de la Amazonía ecuatoriana, reportada desde 0 hasta los 2000 m de altitud (ITTO, 2022).

Los datos climatológicos de las áreas de adecuación la especie se encuentra en zonas con temperatura mínima de 16.1 °C hasta máximo 25.8 °C y precipitaciones anuales entre 1015 a 4551 mm. Solano y Fernández (2013) mencionan que la especie se desarrolla en sitios con precipitaciones anuales de 850 a 2500 mm con estaciones secas de seis meses, temperaturas de 14 a 27 °C y su distribución altitudinal varía desde 0 a 1500 msnm.

Caryodaphnopsis theobromifolia muestra su área de adecuación en las estribaciones occidentales de la cordillera de los andes y Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó. Según la base de registros de GBIF y BNDB esta especie se encuentra solamente al occidente de la Cordillera de Los Andes, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi (BNDB, 2022; GBIF, 2022; Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Palacios y Jaramillo (2016) menciona que la especie se encuentra severamente amenazada, además es endémica al noroccidente de Ecuador, produce madera fina y se encuentra menos de un individuo mayor a 60 cm de DAP por hectárea. Esto concuerda con Paredes (2019) donde menciona que la especie se encuentra al noroccidente del país entre 100 a 1300 msnm.

El perfil climatológico en el área de adecuación para *Caryodaphnopsis theobromifolia*

muestra que la especie se adecua en zonas con temperatura de 16.2 a 25.8 °C y precipitaciones entre 920 mm a 3526 mm. El área de adecuación de la especie se encuentra en Bosque Húmedo Tropical del Chocó y Bosque Piemontano Occidental según Ron (2020), donde se presentan temperaturas entre 18.6 a 25.9 °C y precipitaciones entre 557.8 a 3168.9 mm anuales.

Para *Platymiscium pinnatum* el área de adecuación se encontró en el Bosque Húmedo Tropical de la región del Chocó y en las tierras bajas de la amazonia en las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza y pequeñas áreas en Morona Santiago y Zamora Chinchipe. Según las bases de registros GBIF Y BNDB la especie se encuentra en ambos lados de la Cordillera de Los Andes.

Según Jorgensen y León-Yáez (1999) la especie se encuentra en las provincias de Esmeraldas, Morona Santiago, Napo y Zamora Chinchipe. Palacios y Jaramillo (2009) mencionan sobre la existencia de madera proveniente del noroccidente del País, aunque no hay registros por botánicos en los últimos años.

El área de adecuación de *Platymiscium pinnatum* nos muestra que la especie se adecua de mejor manera en temperaturas de 20.6 a 26.1 °C, precipitación entre 390 a 4658 mm. Solano y Fernández (2013) indican que la especie crece en un rango altitudinal de 0 hasta los 1000 msnm, con temperaturas de 18 a 24 °C y precipitaciones anuales mayores a 2000 mm.

Según los resultados *Platymiscium stipulare* presenta su área de adecuación en la zona sub-andina y el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, desde la provincia de Sucumbíos hasta pequeñas áreas en Zamora Chinchipe. Según los registros descargados de GBIF y BNDB indican que la especie se encuentra naturalmente solo en la región amazónica.

De acuerdo con la revisión bibliográfica la especie se encuentra en las provincias de Morona Santiago, Napo, Pastaza, Sucumbíos y Zamora Chinchipe (BNDB, 2022; GBIF, 2022; Jorgensen y León-Yáez, 1999). Shiguango (2014) menciona que la cuenca amazónica cuenta con gran biodiversidad, en la cual existe *Platymiscium stipulare*.

Los datos climatológicos de las áreas de adecuación la especie se encuentra en zonas con temperatura mínima de 21 °C hasta máximo 25.8 °C y precipitaciones anuales entre 1800 a 4494 mm. El área de adecuación de la especie se encuentra en Bosque Húmedo Tropical Amazónico

según Ron (2020) donde se presentan temperatura entre 21.3 a 25.7 °C y precipitaciones entre 1709.9 a 4370 mm anuales.

Swietenia macrophylla muestra su área de adecuación en el Bosque Húmedo Tropical de la Amazonía, desde la provincia de Sucumbíos hasta Morona Santiago. Esta especie se encuentra solamente al oriente de la Cordillera de Los Andes, en las provincias de Napo, Orellana, Pastaza y Morona Santiago (BNDB, 2022; GBIF, 2022; Jorgensen y León-Yáez, 1999).

Según Torres y Velasco (2006) la especie se encuentra en condición de rareza, actualmente se conoce su distribución gracias a la información proporcionada por expertos y registro de datos en programas de aprovechamiento forestal autorizados por el Ministerio del Ambiente. En el país la especie se encuentra naturalmente en las provincias de Sucumbíos, Napo, Pastaza y parte de Morona Santiago. *Swietenia macrophylla* es nativa de Ecuador y se encuentra en la región amazónica (Galván et al., 2012; Quimis, 2019).

Los datos climatológicos de las áreas de adecuación la especie se encuentra en zonas con temperatura mínima de 23.3 °C hasta máximo 25.7 °C, precipitaciones anuales entre 2463 a 4374 mm y rango altitudinal de 0 a 500 msnm. Según Tenorio (2018) el hábitat natural de la Caoba es el bosque tropical, presenta mejor desarrollo a altitudes de 50 a 500 msnm, alcanzando hasta los 1400 msnm. La temperatura varía entre 22 a 28 °C con climas secos, húmedos o muy húmedos y precipitaciones que oscilan entre 2000 a 4000 mm anuales (Sánchez, 2004).

Deforestación

En el análisis a nivel nacional según los resultados obtenidos se observó una importante disminución de la cobertura boscosa en las áreas de adecuación de las especies. La mayor parte del área deforestada se perdió en el periodo de 1990-2000, luego se presenta una reducción importante y continua de la deforestación en todo el periodo de análisis. Según Sierra (2013) y Sierra et al. (2021) en la década de 1990 la cobertura boscosa a nivel nacional pasó de 68 a 62 %, presentando el más alto valor de deforestación entre 1990 al 2018. Luego esta presentó una disminución continua hasta el 2016 donde se registró un único incremento de la deforestación observable (Sierra et al., 2021). *Caryodaphnopsis theobromifolia* y *Platymiscium pinnatum* son las únicas especies que registraron un incremento en la deforestación durante el periodo de 2016 al 2018.

Caryodaphnopsis theobromifolia fue la especie con mayor porcentaje de cobertura boscosa perdida en el área de adecuación con 43.88 %, seguida de *Platymiscium pinnatum* con 15.23 %. Las provincias mayormente afectadas fueron las situadas en el Bosque Húmedo Tropical de la región de Chocó, para *Caryodaphnopsis theobromifolia* las provincias de Manabí, Esmeraldas, Bolívar y para *Platymiscium pinnatum* las provincias de Esmeraldas, Manabí.

Así mismo Quintero (2019) indica que el país durante las últimas tres décadas ha sufrido una de las más altas tasas de deforestación, siendo el Bosque Húmedo Tropical de la Costa o Chocó una de las tres regiones más afectadas. La provincia de Esmeraldas debería tener atención prioritaria debido a la fragilidad del ecosistema de bosque húmedo tropical, que se ve severamente afectado por actividades extractivistas no sostenibles (Mogrovejo, 2017; Quintero, 2019).

Según el área de adecuación de las cinco especies la pérdida de la cobertura boscosa afectó principalmente a las provincias de Esmeraldas, Sucumbíos, Morona Santiago, Orellana y Manabí. Para Mogrovejo (2017) estas provincias se encuentran dentro de las diez con mayores índices de deforestación en el Ecuador en el periodo de 2008 a 2014. Así mismo según Ortiz y Ramírez (2021) las provincias de Manabí, Morona Santiago, Sucumbíos y Zamora Chinchipe son las más afectadas por la deforestación en el periodo de 2014 a 2016.

Incendios Forestales

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de fuegos activos en el Ecuador en el periodo de 2001 al 2021, las especies con mayor frecuencia de fuegos activos fueron *Platymiscium pinnatum* (2175 fuegos activos) y *Caryodaphnopsis theobromifolia* (1217 fuegos activos). Las especies con mayor densidad fueron *Caryodaphnopsis theobromifolia* (0.0414 FA/ km²) y *Platymiscium pinnatum* (0.0114 FA/ km²). Estas especies muestran su área de adecuación en la zona del Bosque Húmedo Tropical del Chocó. Según Quijije (2014) la zona central y occidental del país es una de las más vulnerables a incendios forestales por sus características climáticas y vegetación, ya que son un potencial combustible.

Cabralea Canjerana, *Platymiscium stipulare* y *Swietenia macrophylla* luego del análisis de fuegos activos presentaron valores bajos en comparación a las otras especies, debido a que se distribuyen solamente en la región del Bosque Húmedo Tropical Amazónico y estribaciones orientales de la Cordillera de Los Andes. La región amazónica registra una baja probabilidad de

incendios forestales debido a sus condiciones meteorológicas ya que dificultan la generación de incendios y la incidencia es casi nula (Ministerio del Ambiente, 2016; Ospina, 2017).

En la Costa Ecuatoriana se registró el 18 % de los incendios forestales en el periodo de 2012 al 2019 y menos del 2 % en la Amazonía y Región Insular. Es importante recalcar que en este periodo se perdieron 164 000 ha de bosque nativo y plantaciones. El 99 % de estos fueron provocados por actividades antrópicas (Zambrano, 2022).

La afectación por incendios forestales a las áreas de adecuación de las especies ha sido importante, por cual puede influir en la desaparición de especies endémicas, pérdida de recursos genéticos y poner en riesgos a los esfuerzos de conservación de ecosistemas, especialmente cuando se dan en áreas protegidas o bosques protectores (Guajala, 2016; Jaksic y Fariña, 2015; Moreno, 2018)

8. Conclusiones

Los Modelos de Distribución Potencial son una herramienta útil para sintetizar la relación entre especies, sus variables ambientales y su superficie de adecuación, mejorando la toma de decisiones en la implementación de estrategias de conservación, manejo, recuperación de áreas degradadas, entre otros.

Cabralea canjerana abarcó la mayor área de adecuación con 8 734 382 ha, seguida de *Platymiscium stipulare* con 7 737 943 ha, *Platymiscium pinnatum* con 6 556 671 ha, *Swietenia macrophylla* con 5 717 619 ha y *Caryodaphnopsis theobromifolia* con 3 179 099 ha.

El periodo 1990-2000 presentó la mayor superficie deforestada en todas las especies, con un total de 1 342 273 ha, siendo *Cabralea canjerana* la especie más afectada con 344 573 ha, seguida de *Caryodaphnopsis theobromifolia* con 175 197 ha, *Platymiscium pinnatum* con 304 912 ha, *Platymiscium stipulare* con 290 173 ha y *Swietenia macrophylla* con 227 418 ha.

Las provincias más afectadas por deforestación en la región costa fueron Esmeraldas y Manabí, mientras que en la amazonia fueron Sucumbíos, Morona Santiago y Orellana. En cuanto a Fuegos Activos las provincias mayormente afectadas en la región costa fueron Guayas, Manabí, Esmeraldas, y en la región amazónica las provincias de Sucumbíos y Orellana.

Considerando la deforestación, *Caryodaphnopsis theobromifolia* fue la especie con mayor superficie deforestada con un 43.88 % de cobertura boscosa durante el periodo de 1990-2018, seguida de *Platymiscium pinnatum* con 15.23 %, *Cabralea canjerana* con 9.59 %, *Platymiscium stipulare* con 8.33 % y finalmente *Swietenia macrophylla* con 7.74 %.

En cuanto a los fuegos activos analizados, *Platymiscium pinnatum* fue la especie más afectada con un total de 2175 FA y una densidad de 0.0114 FA/km² durante el periodo de 2001-2021, seguida de *Caryodaphnopsis theobromifolia* con 1217 FA y 0.0414 FA/km², *Platymiscium stipulare* con 646 FA y 0.0019 FA/km², *Swietenia macrophylla* con 618 y 0.0025 FA/km², y *Cabralea canjerana* con 463 FA y 0.0013 FA/km².

Con respecto a la serie temporal de fuegos activos en el periodo de 2001-2021 mediante el test de Mann-Kendall, *Cabralea canjerana*, *Platymiscium pinnatum*, *Platymiscium stipulare* y *Swietenia macrophylla* presentan una tendencia no significativa creciente, mientras que

Caryodaphnopsis theobromifolia presenta una tendencia no significativa decreciente.

9. Recomendaciones

Para generar mejores modelos de distribución de especies, es recomendable aplicar filtros de rango altitudinal, auto correlación espacial-climática y por último la validación de los modelos por parte de expertos botánicos.

No es recomendable el uso de límites políticos para la generación de las áreas de calibración, para esto se recomienda usar el área total accesible (M) de la especie en el desarrollo de MNE y MDE, luego proyectarlo al área de interés.

Ampliar y profundizar este tipo de estudio en más especies forestales, incorporando el cambio climático con el objetivo de diseñar o mejorar planes de manejo, impacto de especies invasoras, entre otros.

10. Bibliografía

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21(17-28).
<https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Aguirre, Z., Loja, Á., Solano, C., y Aguirre, N. (2015). *Especies forestales más aprovechadas del sur del Ecuador* (ResearchGate (ed.)). Universidad Nacional de Loja. Ecuador.
- Alcaraz, F. (2012). Selvas ecuatoriales y tropicales. En *Geobotánica, Tema 22*.
- Alencar da Silva, K. M., y Silva, R. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 295. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>
- Armenteras, D., y Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latino América: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07>
- Becerra, J., Romero, U., Ramírez, A., y Becerra, S. (2016). Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies Review. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 4 (1)*, 4(1).
- Berger, A. (1986). Annual and saesonal climatic variations the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, 4 (B4), 385-400.
- Bezerra Alves, T., Viera de Azevedo, P., y Aires de Farias, A. (2015). Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*. [https://doi.org/\(2015\)1601-1614](https://doi.org/(2015)1601-1614).
- BNDB. (2022). *Parámetros de búsqueda de la colección Base de Datos Y Sistema de Biodiversidad del Ecuador (BNDB SISBIO)*. <https://bndb.sisbioecuador.bio/bndb/collections/harvestparams.php>
- Brown, J. L. (2014). *SDMtoolbox: a python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic, and species distribution model analyses*. *Methods in Ecology and Evolution*.
- Brown, J. L., Bennett, J. R., y French, C. M. (2017). *SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-*

- based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5, e4095. <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>
- Camacho, C., Carrión, N., y Jaramillo, A. (2021). Análisis multitemporal de la deforestación y cambio de la cobertura del suelo en Zamora Chinchipe. *Polos del conocimiento*, 6(11), 1228-1241. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3325>
- Chamberlain, S. (2021). *Spocc: Interface to Species Occurrence Data Sources*. <https://github.com/ropensci/spocc> (devel), <https://docs.ropensci.org/spocc/> (user%0A manual)
- Cobos, M., Osorio-Olvera, L., Soberón, J., Townsend, P., Barve, V., y Barve, N. (2021). *Ellipsenm: An R package for ecological niche's characterization using ellipsoids*. <https://github.com/marlonecobos/ellipsenm>
- Cobos, M., Townsend Peterson, A., Barve, N., y Osorio-Olvera, L. (2019). Kuenm: An R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 2, 1-15. <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., y Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991-2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Cuasapaz, M. (2017). Análisis de la base científica tras las regulaciones normativas para el manejo del bosque húmedo en Ecuador [CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA - CATIE]. En *CATIE*. https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8682/Analisis_de_la_base_cientifica.pdf
- Damasio, K. (2021, agosto 20). *Los incendios y la deforestación están convirtiendo a la Amazonía en una fuente de carbono*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2021/08/los-incendios-y-la-deforestacion-estan-convirtiendo-a-la-amazonia-en-una-fuente-de-carbono>
- Devia, C., Moncaleano, A., y Miño, L. (2014). *Flora del bosque seco de los Archipiélagos, Islas*

del Rosario y San Bernardo. Incoder - Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cartagena, Colombia.

Escobar, L. E., Lira-Noriega, A., Medina-Vogel, G., y Townsend Peterson, A. (2014). Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: Use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health*, 9(1), 221-229. <https://doi.org/10.4081/gh.2014.19>

Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

Fundación Ishpingo. (2008). *Guía práctica para la reforestación, recolección de semillas, Manejo de vivero y Agroforestería ;Fichas técnicas de las principales especies maderables - Alto Napo - Amazonia Ecuatoriana, Tena*.

Galván, R., Mendizábal, L., Alba-Landa, J., Chávez, A., y Landero, N. (2012). Variación de semillas y germinación de *Swietenia macrophylla* king de tres Procedencias del estado de tabasco, México. *Foresta Veracruzana*.

Gay Escalante, S. (2021). *Modelado de nicho ecológico para caracterizar la expansión del género Lonchura en México*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

GBIF. (2022). *Página de Inicio de GBIF - Global Biodiversity Information Facility*. https://www.gbif.org/occurrence/search?occurrence_status=present&q=

Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., y Justice, C. (2020). *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision C*. http://maps.geog.umd.edu/products/MODIS_Fire_Users_Guide_2.3.pdf

Gil, G. (2017). *Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos*. 287.

González, C. (2020). *Comportamiento histórico de los incendios forestales en el Cantón Paján, Manabí, Ecuador (2014-2018)*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Guajala, A. (2016). *El Daño Ambiental y la Remediación por Incendios Forestales provocados en*

el Distrito Metropolitano de Quito en el sector de Guápulo (Cerro del Auqui) en el 2015, de acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador del año 2008. Universidad Central del Ecuador.

Guamán, J. (2019). *Descripción Dendrológica y Anatómica de tres especies de importancia forestal, procedentes del Bosque Análogo Don Ramón, en el cantón Cumandá, provincia de Chimborazo.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Hijmans, R. J. (2021). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling.* R package version 3.4-13. <https://cran.r-project.org/package=raster>

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/JOC.1276>

Hussain, F., Nabi, G., y Waeenm, M. (2015). *Rainfall trend analysis by using the Mann-Kendall Test y Sen's Slope estimates: a case study of district Chakwal Rain Gauge, Barani Area, Northern Punjab Province, Pakistan.* <https://doi.org/1013-5316>

Isla, J. (2012). *Distribución potencial de especies de la familia araliaceae de la región Madidi* [Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/4444>

ITTO. (2022). *Cangerana (Cabrlea canjerana) / ITTO.* <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/cangerana-cabrlea-canjerana/#lower-content>

Jaksic, F., y Fariña, J. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *ScieELO.* <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100003>

Jorgensen, P., y León-Yáez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75: i-viii, 1-1182.* Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. http://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/citar_catalogo.shtml

Kendall, M. (1975). *Rank correlation methods.* Charles Griffin.

Leal-Nares, Ó., Mendoza, M., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E., y Carranza, E. (2012). Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en

- conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista mexicana de biodiversidad*.
<https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- López, M. A. (2007). *Descripción y caracterización de nichos ecológicos: una visión más cuantitativa del espacio ambiental*.
https://ciimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/87/2/TE_244.pdf
- Machado-Stredel, F., Cobos, M. E., y Peterson, A. T. (2021). A simulation-based method for selecting calibration areas for ecological niche models and species distribution models. *Frontiers of Biogeography*, 13(4). <https://doi.org/10.21425/F5FBG48814>
- Maciel, C., Manríquez, N., Octavio, P., y Sánchez, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19.
<https://doi.org/10.15174/au.2015.690>
- Mann, H. (1945). *Nonparametric tests against trend*. *Econometrica* 13.
- Manzanilla, G. (2021). *Diversidad, Estructura y Distribución Potencial de Áreas Productivas en Bosques Templados de Nuevo León, México*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mejía, D. (2017). *¿Cómo están protegiendo los bosques del Chocó ecuatoriano? Tres iniciativas de conservación*. Mongabat. <https://es.mongabay.com/2017/03/ecuador-bosques-biodiversidad-conservacion/>
- Ministerio del Ambiente. (2015a). *ACUERDO: No. 0125. Las Normas Para el Manejo Forestal Sostenible de los Bosques*. Ministerio del ambiente.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu162523.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015b). *Mapa Interactivo Ambiental – Sistema Único de Información Ambiental (SUIA)*. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Ministerio del Ambiente. (2016). Sistema Nacional de Control Forestal. En *Ministerio del Ambiente*. Ecuador - Quito. <http://www.ambiente.gob.ec/sistema-nacional-de-control-forestal/>
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2020, junio 26). *Los bosques tropicales, un ecosistema que salva al planeta*. Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica.

<https://www.ambiente.gob.ec/los-bosques-tropicales-un-ecosistema-que-salva-al-planeta/>

Mogrovejo, P. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. En *Universidad Andina Simón Bolívar*. <http://hdl.handle.net/10644/5862>

Monteros, I. (2011). *Tala ilegal en bosques protegidos*. <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/52148.pdf>

Moreno, H. (2018). *Vulnerabilidad de las áreas boscosas de la parroquia checa a incendios forestales por causas antropogénicas* [Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/40/simple-search?filterquery=RECURSOS+FORESTALES&filtername=subject&filtertype>equals>

Mota-Vargas, C., Encarnacion-Luévano, A., Ortega-Andrade, H. M., Prieto-Torres, D. A., Peña-Peniche, A., y Rojas-Soto, O. R. (2019). Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*, December, 39-63. https://www.researchgate.net/profile/Alondra-Encarnacion-Luevano-2/publication/339181920_Una_breve_introduccion_a_los_modelos_de_nicho_ecologico/links/5e4301f9a6fdccd9659a910a/Una-breve-introduccion-a-los-modelos-de-nicho-ecologico.pdf

Muñoz-Reja Mora, L. M. (2018). *Elaboración de un modelo predictivo de distribución potencial del cultivo *chenopodium quinoa willd.* Basado en necesidades edafoclimáticas con objeto de determinar las zonas de correcta adaptación en Extremadura*. 53. <http://hdl.handle.net/10662/7606>

Olano, C. (2007). *Estudios Filogeneticos Moleculares del género *Caryodaphnopsis* (Lauraceae) y sinopsis de las especies colombianas*. Universidad de los Andes.

Ortiz, B., y Ramírez, M. (2021). *Análisis de los efectos causados por la deforestación mediante teledetección en los cantones Olmedo y Paján provincia de Manabí* [Universidad Agraria del Ecuador]. <http://www.uagraria.edu.ec/organiograma.html>

Ospina, E. (2017). *Mapeo de áreas quemadas por incendios forestales en el Ecuador utilizando*

información satelital de la NASA, periodo 2000-2016. 112.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18807>

Palacios, W. A., y Jaramillo, N. (2016). Árboles amenazados del Chocó ecuatoriano. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(14), 51-60. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i1.508>

Palacios, W., y Jaramillo, N. (2009). Criterios para el manejo y protección de especies forestales maderables críticas del Noroccidente del Ecuador. *Cinchonia*, 9(1), 109-121.

Paredes, K. (2019). *Aspectos fitogeográficos de la flora leñosa del centro Científico Río Palenque, en la Provincia de Los Ríos Ecuador*. Universidad de Guayaquil.

Parión, W. (2011). *Crecimiento diamétrico anual y estructura de un Bosque Secundario en la región Amazónica Ecuatoriana, Sector El Huino, Provincia de Orellana*. Universidad Técnica del Norte.

Pearson, R. G. (2007). Species's distribution modelling for conservation educators and practitioners. *Lesson in conservation*, 3, 54-89. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61462-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61462-6)

Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1), 439. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>

Phillips, S., Anderson, R., y Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2005.03.026>

Pohlert, T. (2020). *Trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection* (R package). <https://cran.r-project.org/package=trend>

Prado, J. (2020). *Inoculación de Trichoderma sp. en plantas destinadas a la restauración de suelos degradados de la Amazonía ecuatoriana* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24782/1/T-IASA I-005612.pdf>

QGIS.org. (2022). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>

Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., y Rodríguez-González, A. (2016). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco

- especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>
- Quijije, J. (2014). *Sistema de prevención de incendios forestales en el área boscosa de los frailes del Parque Nacional Machalilla del cantón Puerto López*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Quimis, G. (2019). *Influencia de espaciamientos en el crecimiento inicial de cuatro procedencias de Swietenia macrophylla King, Jipijapa, Ecuador*. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Quintero, M. (2019). *Caracterización Florística del Bosque Húmedo Tropical de la Parroquia de Chontaduro Sector Iluve, Cantón Ríoverde, Provincia de Esmeraldas*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Ron, S. (2020). *Regiones naturales del Ecuador. BOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>
- Sánchez, M. (2004). *Estudio técnico y financiero para establecer una plantación de caoba del Atlántico (Swietenia macrophylla) en Balao, Guayas, Ecuador*. Zamorano.
- Shiguango, M. (2014). *Análisis de un Modelo de Gestión Organizacional para la Nacionalidad Kichwa de la Región Amazónica, representado por la CONFENIAE, para su Desarrollo Social y Económico en el periodo 2013 al 2018*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Sierra, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación Vegetal para el Ecuador Continental (Proyecto I)*.
- Sierra, R. (2013). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010 Y un acercamiento a los próximos 10 años. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends. En *Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends*. (Vol. 71, Número 1).
- Sierra, R., Calva, O., y Guevara, A. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990 – 2018. Factores, Promotores y Tendencias Recientes. En *Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa*

Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador.
https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestación_Ecuador_com2.pdf

Silva, D. (2007). *Evolução Paleoambiental dos Depósitos de Tanques em Fazenda Nova, Município de Brejo da Madre de Deus - Pernambuco.* UFPE.

Soberón, J., Osorio-Olvera, L., y Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>

Solano, B., y Fernández, C. (2013). *Zonificación Potencial preliminar de diez especies forestales de la provincia de Sucumbias.*

South, A. (2017). *rnaturalearth: World Map Data from Natural Earth. R package version 0.1.0.*
<https://cran.r-project.org/package=rnaturalearth>

Tenorio, M. (2018). *Evaluación de cuatro sustratos para la reproducción sexual de Swietenia macrophylla (Caoba) en el vivero de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad Riobamba, provincia de Chimborazo.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Torres, B., y Velasco, C. (2006). *Informe Nacional Situación de la implementación de la caoba ((Swietenia macrophylla) en el Apéndice II CITES en Ecuador.*
<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>

Villaron, E., Mendes do Carmo, R., de Melo e Silva Neto, C., Bastos, B., y Lima, L. (2015). Reproductive success of *Cabralea canjerana* (Meliaceae) in Atlantic forest fragments, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 515-524.
http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000200015&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Yu, J., y Kao, H. (2007). *Decadal changes of El Niño persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. Geophysical Research Letters .*

Zambrano, L. (2022). *Análisis de la severidad de incendios forestales en la Reserva Ecológica Los*

Ilinizas. Universidad Agraria del Ecuador.

11. Anexos

Anexo 1. Script para la descarga y unión de la base de datos de los registros de presencias.

```
## 1. PAQUETES Y LIBRERIAS ####

install.packages("rmapshaper")
install.packages("sp")
install.packages("raster")
install.packages("rgdal")
install.packages("rgeos")
install.packages("sf")
install.packages("tidyverse")
install.packages("datasets")
install.packages("pacman")
install.packages("devtools")
devtools::install_github("fmachados/grinnell", force = T)
devtools::install_github("ropenscilabs/rnaturalearth", force = T)
devtools::install_github("ropenscilabs/rnaturalearthdata", force = T)
install.packages("rnaturalearth", repos = "http://packages.ropensci.org",
                 type = "source")
devtools::install_github("marloncobos/kuenm", force = T)
devtools::install_github("marloncobos/ellipsenm", force = T)
install.packages("remotes")
remotes::install_github("mrdwab/SOfun", force = T)
install.packages("spocc", dependencies = T, force = T) # (OPCION 1)
remotes::install_github("ropensci/spocc") # (OPCION 2)

#CARGAR LIBRERIAS
pacman::p_load(raster, rgdal, spocc, rgeos, sf, ellipsenm, kuenm, SOfun,
              tidyverse, datasets, rnaturalearth, sp, rmapshaper, grinnell,
              data.table, rmarkdown)

## 2. VARIABLES Y DIRECTORIOS ####

setwd("C:/Pasantia_C_00")
name_sp <- "Cabrlea canjerana"
nm_sp <- "cab_can"
dis_het <- "_10_2km"
umbral_min <- 0
umbral_max <- 2200

## 3. DESCARGA DE DATOS DE GBIF ####

#CARGAR DATOS
countriesDss <- st_read("2_vector/countriesDiss.shp")

##DESCARGA
df_occ1 <- occ(query = name_sp, from = "gbif", geometry = st_bbox(countriesDss),
              has_coords = TRUE, limit = 10000)$gbif$data[[1]]

#ARREGLAR TABLA
df_occ2 <- as.data.frame(lapply(df_occ1, as.character), stringsAsFactors=T)
```

```

#CREAR CARPETA
sapply("4_data_csv/paso_1", function(x)if(!dir.exists(x))
  dir.create(x, recursive = T))

#GUARDAR CSV
write.csv(df_occ2, paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_gbif", ".csv"),
  row.names = F)

# 4. REUBICACION DE DATOS ####

#BNDB
#file.copy(from = paste0(nm_sp, "_bndb", ".csv"),
#  to = paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_bndb", ".csv"))
#file.remove(paste0(nm_sp, "_bndb", ".csv"))
#
#DATA PE
#file.copy(from = paste0(nm_sp, "_pe", ".csv"),
#  to = paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_pe", ".csv"))
#file.remove(paste0(nm_sp, "_pe", ".csv"))

## 5. UNION DE BASES DE DATOS ####

#CARGAR DATOS
df1 <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_bndb", ".csv"))
df2 <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_gbif", ".csv"))
df3 <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_1/", nm_sp, "_pe", ".csv"))

#RENOMBRAR COLUMNAS DE DATA FRAME 1
df1 <- setnames(df1, old = c('decimalLatitude','decimalLongitude'),
  new = c('latitude','longitude'))

#INTERSECTAR COLUMNAS SIMILARES DF1 Y DF2
common_cols <- intersect(colnames(df1), colnames(df2))

#UNIR COLUMNAS SIMILARES DE DF1 Y DF2
df_merge <- rbind(df1[common_cols], df2[common_cols])

#RENOMBRAR COLUMNAS MERGE
df_merge <- df_merge[c("scientificName", "longitude", "latitude")]
names(df_merge) <- c("species", "longitude", "latitude")

#UNIR MERGE Y DF3
df_merge_total <- rbind(df_merge, df3)

#NOMBRE ESPECIE
df_merge$species <- name_sp

#PLOT
plot(st_geometry(countriesDss))
points(df_merge[, 2:3])

#GUARDAR CSV
sapply("4_data_csv/paso_2", function(x)if(!dir.exists(x))

```

```

dir.create(x, recursive = T))
write.csv(df_merge, paste0("4_data_csv/paso_2/", nm_sp, "_merge", ".csv"),
          row.names = F)

```

Anexo 2. Script para el filtrado de la base de datos de los registros de presencias.

6. FILTRADO DE DATOS

#CARGAR DATOS

```

occ <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_2/", nm_sp, "_merge", ".csv"),
               header = TRUE, sep = ",", dec = ".")

```

#EXCLUIR DATOS SIN COORDENADAS

```

occ_1 <- occ[!is.na(occ$longitud) & !is.na(occ$latitud), ]

```

#EXCLUIR DUPLICADOS

```

occ_1$code <- paste(occ_1$species, occ_1$longitud,
                  occ_1$latitud, sep = "_")
occ_2 <- occ_1[!duplicated(occ_1$code), 1:4]

```

#EXCLUIR VALORES DE CERO

```

occ_3 <- occ_2[occ_2$longitud != 0 & occ_2$latitud != 0, 1:3]

```

#CREAR CARPETA

```

sapply("4_data_csv/paso_3", function(x)if(!dir.exists(x))
      dir.create(x, recursive = T))

```

#GUARDAR CSV

```

write.csv(occ_3, paste0("4_data_csv/paso_3/", nm_sp, "_filt", ".csv"),
          row.names = FALSE)

```

7. ANALISIS DE DATOS ATIPICOS

#CARGAR DATOS

```

occ_filt <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_3/", nm_sp, "_filt", ".csv"),
                    header = TRUE, sep = ",", dec = ".")

```

#PUNTOS SHP

```

spatial_pts <- SpatialPointsDataFrame(occ_filt[,2:3], occ_filt,
                                     proj4string = CRS("+init=epsg:4326"))

```

```

spatial_pts<- st_as_sf(spatial_pts)

```

#CREAR CARPETA

```

sapply("2_vector/registros_sp", function(x)if(!dir.exists(x))
      dir.create(x, recursive = T))

```

#GUARDAR REGISTROS

```

st_write(spatial_pts, paste0("2_vector/registros_sp/", nm_sp, "_filt.shp"),
          driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

```

#CARGAR PUNTOS SHP

```

spatial_pts_filt <- readOGR(paste0("2_vector/registros_sp/", nm_sp, "_filt.shp"))
alt <- raster("3_raster/wc_elev.tif")

```

```

#EXTRACCION ALTITUD
data <- data.frame(spatial_pts_filt$species, coordinates(spatial_pts_filt),
                  raster::extract(alt, spatial_pts_filt))

#ACTUALIZAR NOMBRES COLUMNAS
names(data) <- c("species", "longitudo", "latitudo", "alt")
names(data)

#ELIMINAR PUNTOS NA
data <- na.omit(data)

#BOXPLOT
boxplot(data$alt, horizontal=T)
stripchart(data$alt, method = "jitter", pch = 1, add = TRUE, col = "blue")

#VISUALIZAR DATOS
data %>% arrange(desc(alt)) %>% head(20)
data %>% arrange(desc(alt)) %>% tail(20)

#ELIMINAR DATOS ATIPICOS
data_umb_min <- data[data$alt > umbral_min, ]
data_umb_max <- data_umb_min[data_umb_min$alt < umbral_max, ]

#CREAR CARPETA
sapply("4_data_csv/paso_4", function(x)if(!dir.exists(x))
      dir.create(x, recursive = T))

#GUARDAR CSV
write.csv(data_umb_max, paste0("4_data_csv/paso_4/", nm_sp, "_alt", ".csv"),
          row.names = F)

## 8. DATOS HETEROGENEIDAD ARCMAP ####

#   NOTA: REVISAR SISTEMAS DE PROYECCION DE LOS ARCHIVOS QUE SE VAN A UTILIZAR
#   EN EL ANALISIS

#CARGAR DATOS PARA CAMBIAR CSV A SHP
data_filt_alt <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_4/", nm_sp, "_alt", ".csv"),
                        header = TRUE, sep = ",", dec = ".")

#PUNTOS SHP
spatial_pts_alt <- SpatialPointsDataFrame(data_filt_alt[,2:3], data_filt_alt,
                                         proj4string = CRS("+init=epsg:4326"))
spatial_pts_alt <- st_as_sf(spatial_pts_alt)

#GUARDAR REGISTROS SHP
st_write(spatial_pts_alt, paste0("2_vector/registros_sp/", nm_sp, "_alt", ".shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

#CREAR CARPETAS DE TRABAJO
sapply("5_heterogeneidad/paso_1", function(x) if (!dir.exists(x))

```

```

dir.create(x, recursive = T))
sapply("5_heterogeneidad/paso_2", function(x) if (!dir.exists(x))
  dir.create(x, recursive = T))
sapply(paste0("5_heterogeneidad/", nm_sp, dis_het), function(x) if
  (!dir.exists(x)) dir.create(x, recursive = T))

```

Anexo 3. Script para determinar las áreas de calibración.

```

## 9. AREAS DE CALIBRACION ####

```

```

##### SOLO PARA CALCULO DE M TRABAJAR CON BIOCLIMAS RES 2.5'

```

```

#CARPETA DE TRABAJO GRINNELL

```

```

sapply(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/m_grinnell"), function(x) if
  (!dir.exists(x)) dir.create(x, recursive = T))

```

```

#CARPETA DE DATOS CSV PASO 5

```

```

sapply("4_data_csv/paso_5", function(x)if(!dir.exists(x))
  dir.create(x, recursive = T))

```

```

#REUBICAR OCCURENCIAS FILTRADAS

```

```

occ_het <- read.csv(paste0("5_heterogeneidad/", nm_sp, dis_het, "/", nm_sp, dis_het,
  "_rarefied_points", ".csv"))

```

```

#ELIMINAR COLUMNAS INECESARIAS

```

```

occ_het$RASTERVALU <- NULL
occ_het$alt <- NULL

```

```

#GUARDAR CSV

```

```

write.csv(occ_het, paste0("4_data_csv/paso_5/", nm_sp, dis_het, "_rarefied_points",
  ".csv"), row.names = F)

```

```

#CARGAR DATOS

```

```

bioclim_current <- raster::stack(list.files(path = "3_raster/var_bio_2-5min",
  pattern = ".tif$",
  full.names = T))
bioclim_lgm <- raster::stack(list.files(path = "3_raster/var_bio_lgm",
  pattern = ".tif$", full.names = T))

```

```

occ_het <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_5/", nm_sp, dis_het, "_rarefied_points",
  ".csv"))

```

```

#M_GRINNELL

```

```

help("M_simulationR")

```

```

M_simulationR(data = occ_het, current_variables = bioclim_current, project = T,
  projection_variables = bioclim_lgm, dispersal_kernel = "normal",
  kernel_spread = 2, max_dispersers = 2, replicates = 10,
  dispersal_events = 10, simulation_period = 70, stable_lgm = 25,
  transition_to_lgm = 10, lgm_to_current = 10, stable_current = 25,
  scenario_span = 1, output_directory = paste0("6_calibracion/",
  nm_sp, "/m_grinnell"))

```

```

## 10. RECORTE BIOCLIMAS SEGUN M #####

```

```

#CARGAR DATOS
bioclim_30s <- raster::stack(list.files("3_raster/var_bio_30s", pattern = ".tif$",
                                     full.names = TRUE))
m_grinnell <- st_read(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/m_grinnell/",
                             "accessible_area_M.shp"))
m_grinnell <- st_transform(m_grinnell, crs = 4326)

#RECORTE
bioclim_mask <- mask(crop(bioclim_30s, m_grinnell), m_grinnell)

#PLOT
plot(bioclim_mask[[1]])
plot(st_geometry(m_grinnell))

#CREAR CARPETA
dir.create(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/mask_var"), recursive = T)

#COPIAR NOMBRE DE BIOCLIMAS
namesr <- paste0(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/mask_var/"), names(bioclim_mask),
                 ".asc")

#GUARDAR BIOCLIMAS
wr <- lapply(1:nlayers(bioclim_mask), function(x) {
  writeRaster(bioclim_mask[[x]], filename = namesr[x], format = "ascii", overwrite=T)
})

```

Anexo 4. Script para el análisis de contribución, permutación, Jackknife y correlación.

```

## 11. SELECCION DE BIOCLIMAS #####

#CARGAR DATOS
occ_het <- read.csv(paste0("4_data_csv/paso_5/", nm_sp, dis_het, "_rarefied_points",
                           ".csv"))
bioclim_mask <- raster::stack(list.files(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/mask_var")
,
                                     pattern = ".asc$", full.names = TRUE))

#ANALISIS JACKKNIFE
bioclim_cont <- explore_var_contrib(occ = occ_het, M_variables = bioclim_mask,
                                   maxent.path = "C:/maxent", plot = F)

#GUARDAR PLOT
png(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/jackknife.png"), width = 550, height = 450,
    units = "px")
plot <- plot_contribution(bioclim_cont)
dev.off()

#ANALISIS CORRELACION
png(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/correlation.png"), width = 475,
    height = 350, units = "px")
cor <- variable_correlation(bioclim_mask, correlation_limit = 0.8, corrplot = T,
                            magnify_to = 3, save = F)
dev.off()

```



```

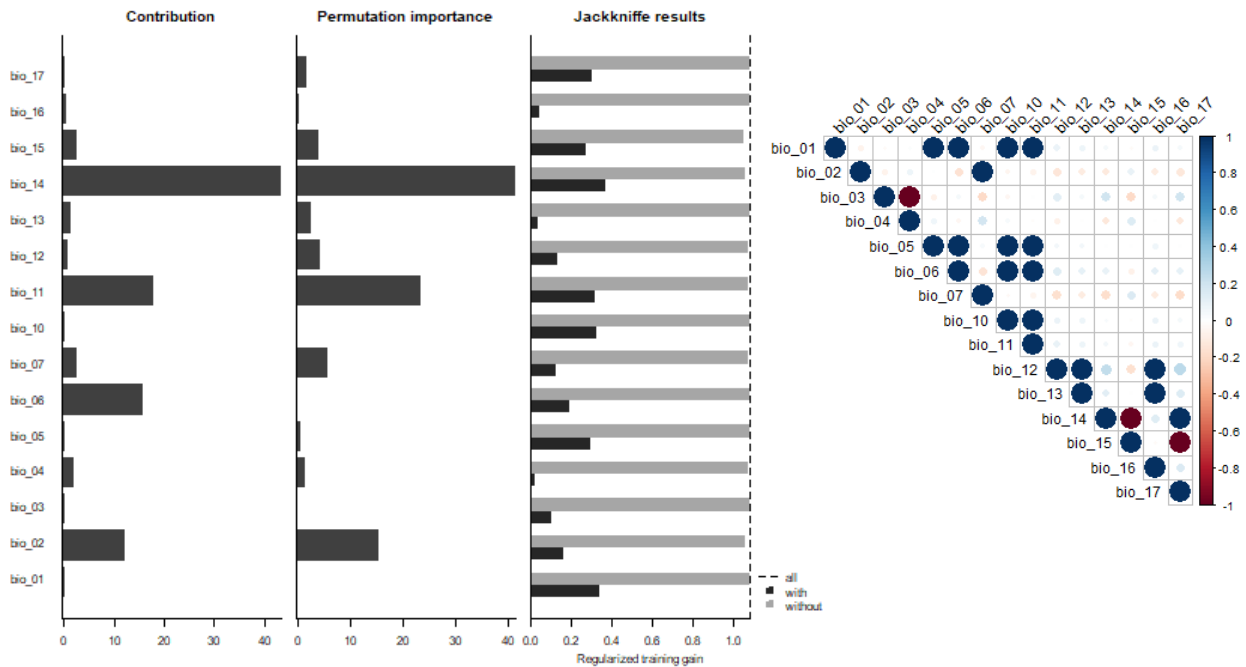
#TABLA DE BIOCLIMAS SELECCIONADAS
vars_select <- data.frame("name_bioclim" = c("bio_04", "bio_05", "bio_07", "bio_16"),
                        "order_bioclim" = c(4, 5, 7, 14))

#GUARDAR CSV
write.csv(vars_select, paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/var_select.csv"),
         row.names = F)

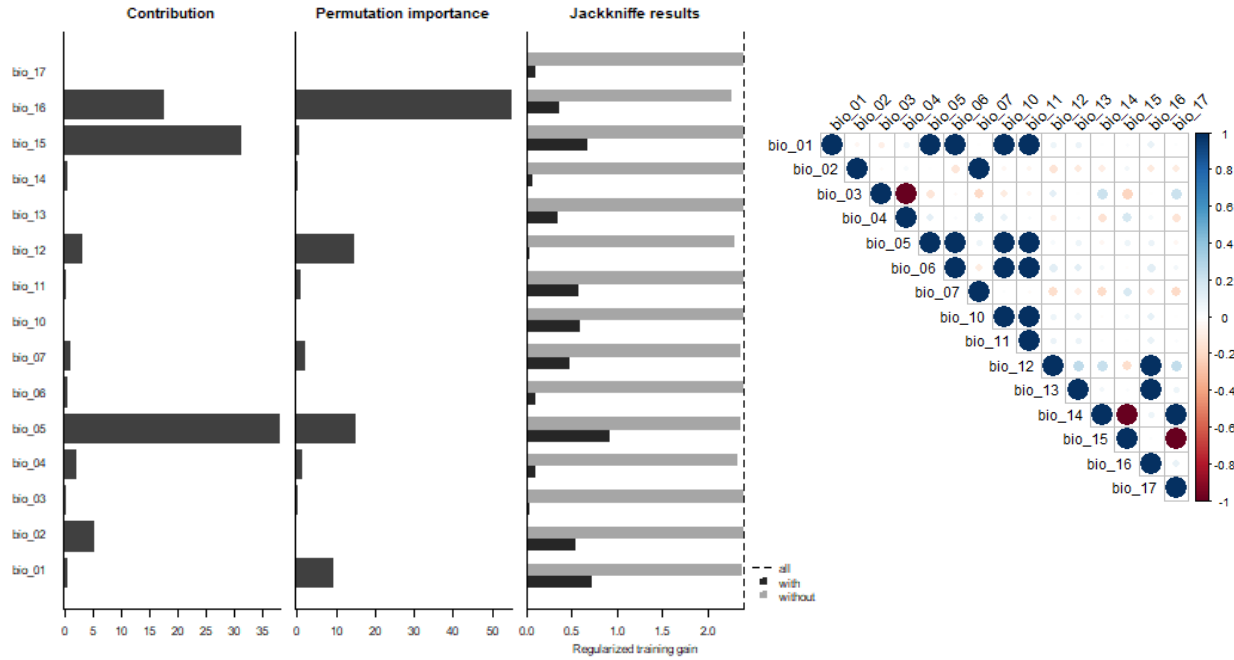
```

Anexo 5. Graficas para el análisis de contribución, permutación, Jackknife y correlación.

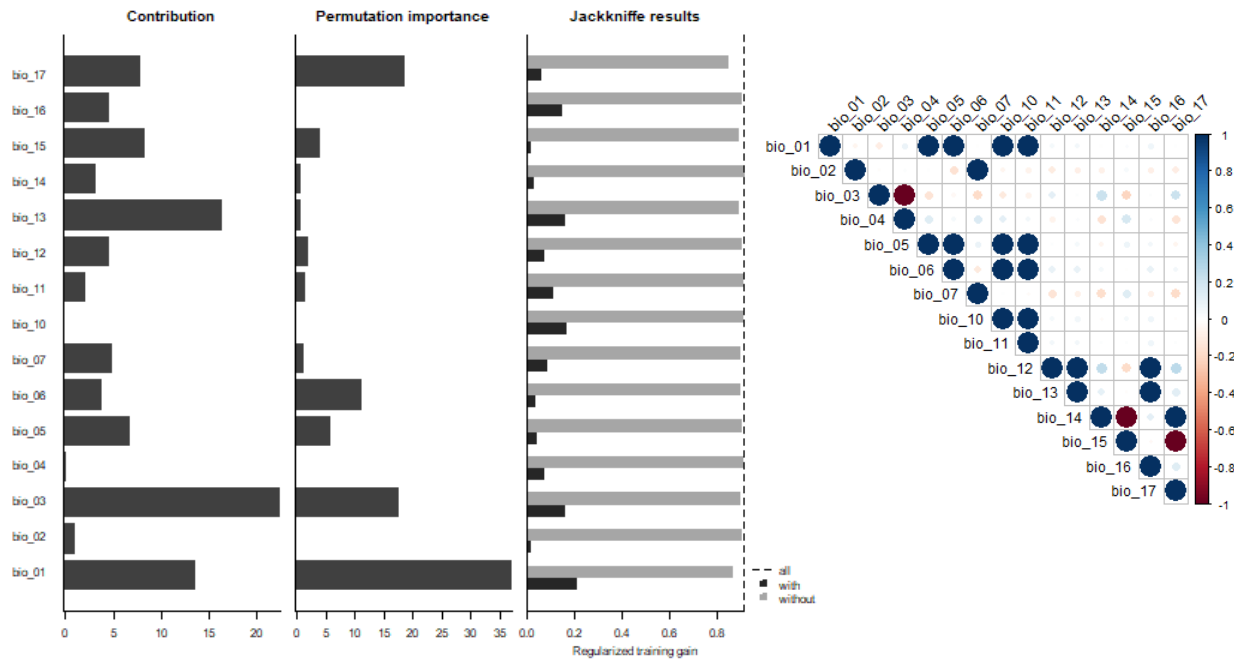
- *Cabralea canjerana*



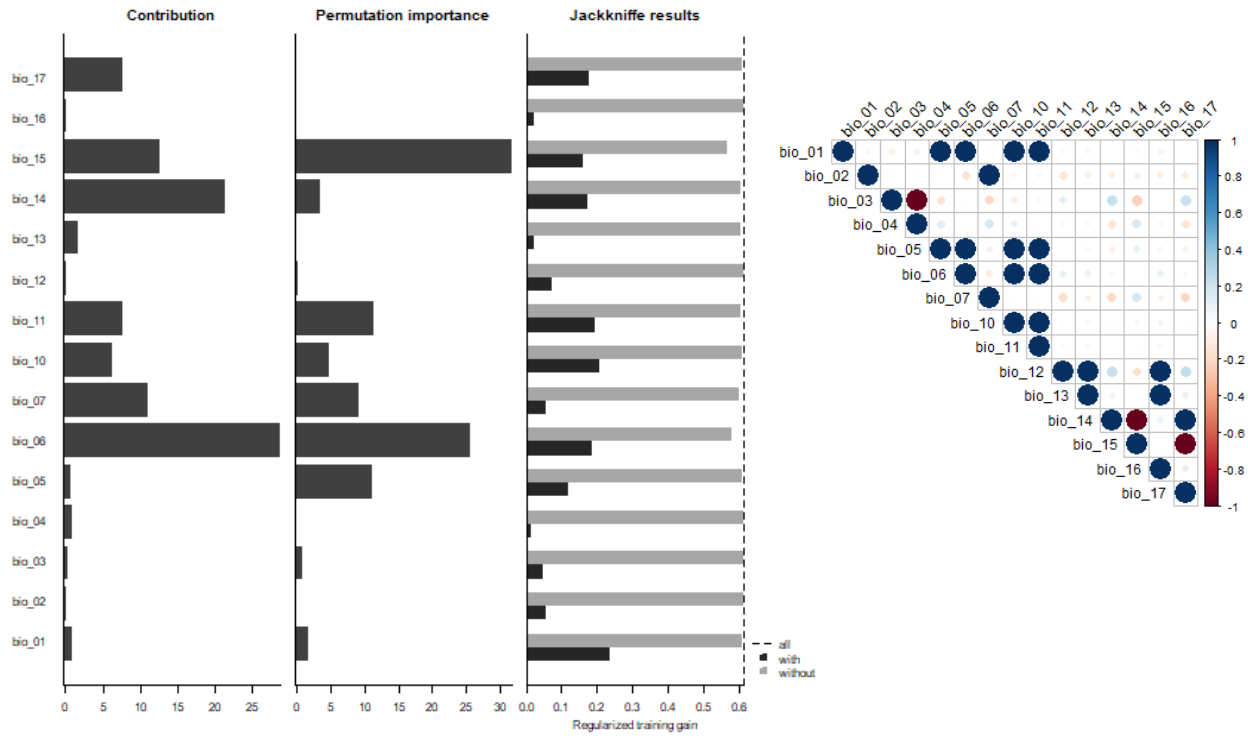
- *Caryodaphnopsis theobromifolia*



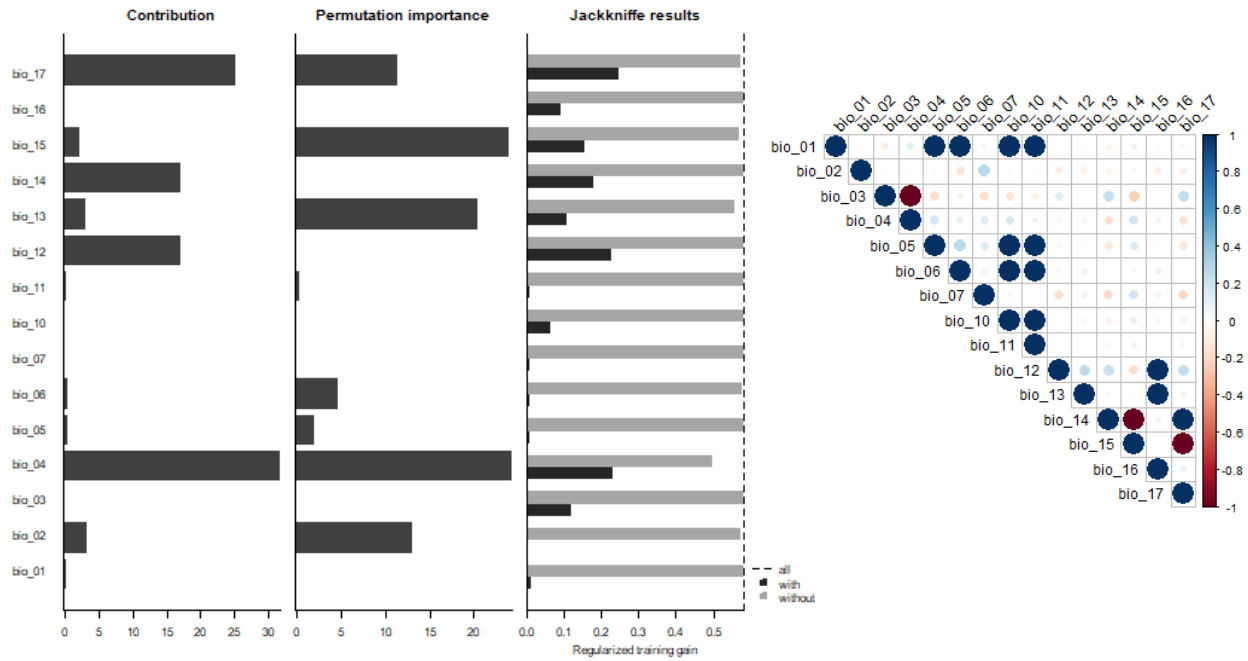
• *Platymiscium pinnatum*



• *Platymiscium stipulare*



- *Swietenia macrophylla*



Anexo 6. Script para la determinar las de áreas de distribución potencial.

```

# 1. LIBRERIAS #####

#CARGAR LIBRERIAS
pacman::p_load(raster, rgeos, rgdal, kuenm, ellipsenm, sf, rmapshaper)

# 2. VARIABLES Y DIRECTORIOS #####

getwd()
name_sp <- "Caryodaphnopsis theobromifolia"
nm_sp <- "car_the"
dis_het <- "_10_2km"
dir.create(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/m_variables"), recursive = T)
dir.create(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/g_variables"), recursive = T)

# 3. DATOS PARA CALIBRACION #####

#COPIAR OCCURENCIAS
file.copy(from = paste0("4_data_csv/paso_5/", nm_sp, dis_het, "_rarefied_points.csv")
,
          to = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/", nm_sp, ".csv"))

#COPIAR BIOCLIMAS SELECCIONADAS
table_select <- read.csv(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/var_select.csv"))
table_select <- as.numeric(table_select$order_bioclim)

bioclim_select <- stack(list.files(path = paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/mask_var"
),
                                pattern = ".asc$", full.names = T))[[c(table_select
)]]
namesr <- paste0(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/m_variables/"),
                names(bioclim_select), ".asc")
wr <- lapply(1:nlayers(bioclim_select), function(x) {
  writeRaster(bioclim_select[[x]], filename = namesr[x], format = "ascii", overwrite
= T)
})

#CARGAR DATOS
occurrences <- read.csv(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/", nm_sp, ".csv"))
bioclim_select <- raster::stack(list.files(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/m_variables"
),
                                          pattern = ".asc$", full.names = TRUE))

#DATOS PRUEBA Y ENTRENAMIENTO
help(prepare_swd)
prepare_swd(occ = occurrences, species = "species", longitude = "longitude",
            latitude = "latitude", data.split.method = "random",
            train.proportion = 0.7, raster.layers = bioclim_select,
            sample.size = 50000, var.sets = "all_comb", min.number = 3,
            save = TRUE, name.occ = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/occ"),
            back.folder = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Background"),
            set.seed = 1)

```

```

# 4. CALIBRACION DE MODELOS #####

#VARIABLES PARA CALIBRACION

oj <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/occ_joint.csv")
otr <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/occ_train.csv")
ote <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/occ_test.csv")
back <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Background")
bcal <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/batch_cal")
candir <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Candidate_models")
regm <- c(0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4)
fclas <- c("lq", "lp", "q", "qp", "lqp")
mxpath <- "C:/maxent"
cresdir <- paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Calibration_results")

#CALIBRACION
help(kuenm_cal_swd)
kuenm_cal_swd(occ.joint = oj, occ.tra = otr, occ.test = ote,
              back.dir = back, batch = bcal, out.dir.models = candir,
              reg.mult = regm, f.clas = fclas, max.memory = 1000,
              args = NULL, maxent.path = mxpath,
              selection = "OR_AICc", threshold = 5, rand.percent = 50,
              iterations = 500, kept = TRUE, out.dir.eval = cresdir)

# 5. RECORTE BIOS PROYECCION #####

#CREACION DE TABLA Y VARIABLE NECESARIA
set <- "set_8"
table_set_select <- data.frame("name_bioclim" = c("bio_4", "bio_6", "bio_17"),
                              "order_bioclim" = c(4, 6, 15))
write.csv(table_set_select, paste0("7_modelos/", nm_sp, "/var_set_select.csv"),
          row.names = F)

#CARGAR DATOS
table_set_select <- read.csv(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/var_set_select.csv"))
table_set_select <- as.numeric(table_set_select$order_bioclim)
ecu <- st_read("2_vector/ecu_diss_4326.shp")
bioclim_set_select <- raster::stack(list.files(path = "3_raster/var_bio_30s",
                                              pattern = ".tif$",
                                              full.names = T))[[c(table_set_select)]]

bioclim_set_select

#RECORTE
bioclim_mask_proj <- mask(crop(bioclim_set_select, ecu), ecu)

#PLOT
plot(st_geometry(ecu))
plot(bioclim_mask_proj[[1]], add = TRUE)

#CREAR CARPETA
dir.create(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/g_variables/", set, "/Ecuador_current"),
          recursive = T)

```

```

#COPIAR NOMBRES DE BIOCLIMAS
namesr <- paste0(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/g_variables/", set, "/Ecuador_current/"),
                names(biocl原因_mask_proj), ".asc")

#GUARDAR BIOCLIMAS
wr <- lapply(1:nlayers(biocl原因_mask_proj), function(x) {
  writeRaster(biocl原因_mask_proj[[x]], filename = namesr[x], format = "ascii",
              overwrite=T)
})

# 6. PROYECCION DEL MODELO #####

help("kuenm_mod_swd")
kuenm_mod_swd(occ.joint = oj, back.dir = back, out.eval = credir,
              batch = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/batch_mod"), rep.n = 10,
              rep.type = "Bootstrap", jackknife = T, max.memory = 1200,
              out.format = "cloglog", project = T,
              G.var.dir = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/g_variables"),
              ext.type = "ext", write.mess = FALSE, write.clamp = FALSE,
              maxent.path = mxpath, args = NULL,
              out.dir = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Final_models"), wait = F,
              run = TRUE)

# 7. ESTADISTICAS DEL MODELO #####

help(kuenm_modstats_swd)
kuenm_modstats_swd(sp.name = name_sp,
                   fmod.dir = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Final_models"),
                   format = "asc", statistics = c("med", "range"),
                   proj.scenarios = "Ecuador_current", ext.type = "E",
                   out.dir = paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Final_Model_Stats"))

# 8. BINARIZACION DEL MODELO #####

#CARGAR DATOS
model <- raster(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Final_Model_Stats/",
                      "Statistics_E/Ecuador_current_med.tif"))

#PLOT
plot(model)

#DETERMINACION DEL UMBRAL
fols <- dir(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Final_models"), full.names = T)
lcsv <- lapply(fols, function(x) {
  vec <- list.files(x, pattern = "\\d_samplePredictions.csv$", full.names = T)
  print(vec)
  sapply(vec, function(y) {
    read.csv(y)[, "Cloglog.prediction"]
  })
})
preds <- do.call(cbind, lcsv)

```

```

median_pred <- apply(preds, 1, median)
val <- ceiling(length(median_pred) * 0.05) + 1
values <- sort(median_pred)
thres <- values[val]
print(thres)
threshold <- data.frame("threshold" = thres)
write.csv(threshold, paste0("7_modelos/", nm_sp, "/threshold.csv"),
          row.names = F)

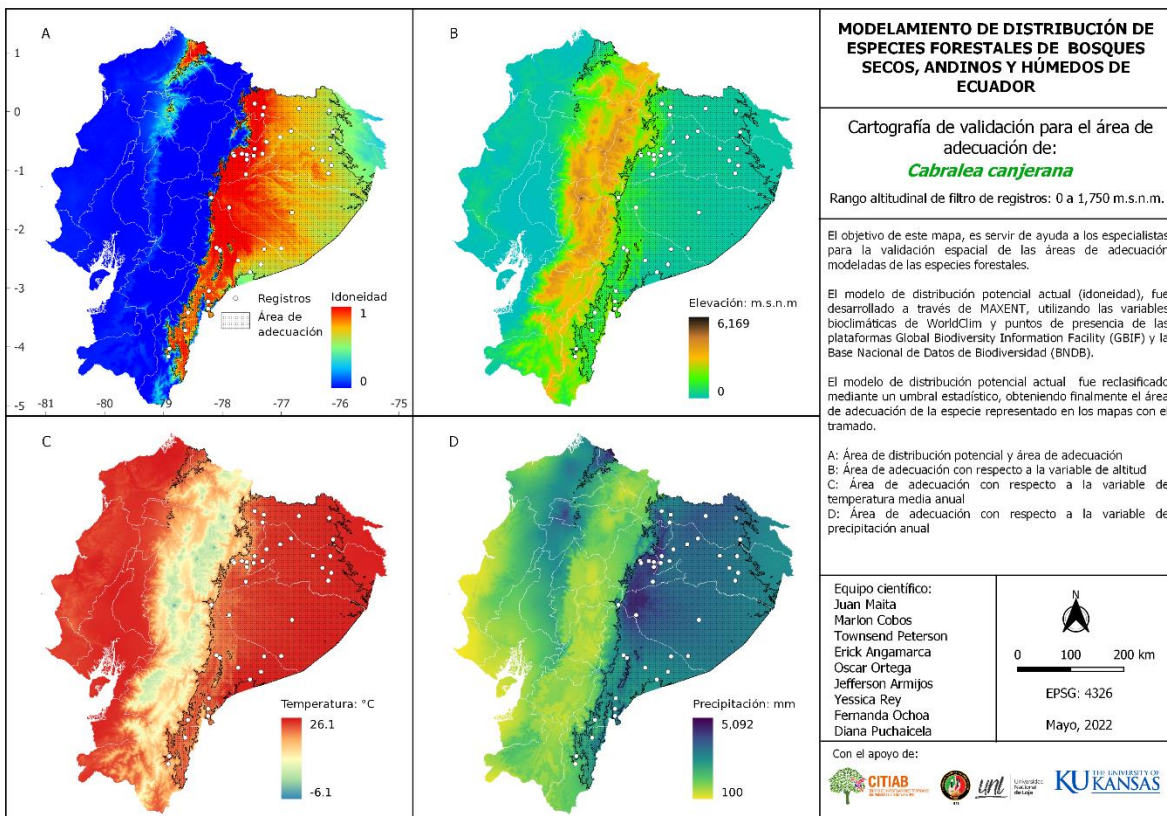
#PLOT
model_bin <- model >= thres
plot(model_bin)

#PROYECCION
projection(model_bin) <- CRS("+init=epsg:4326")

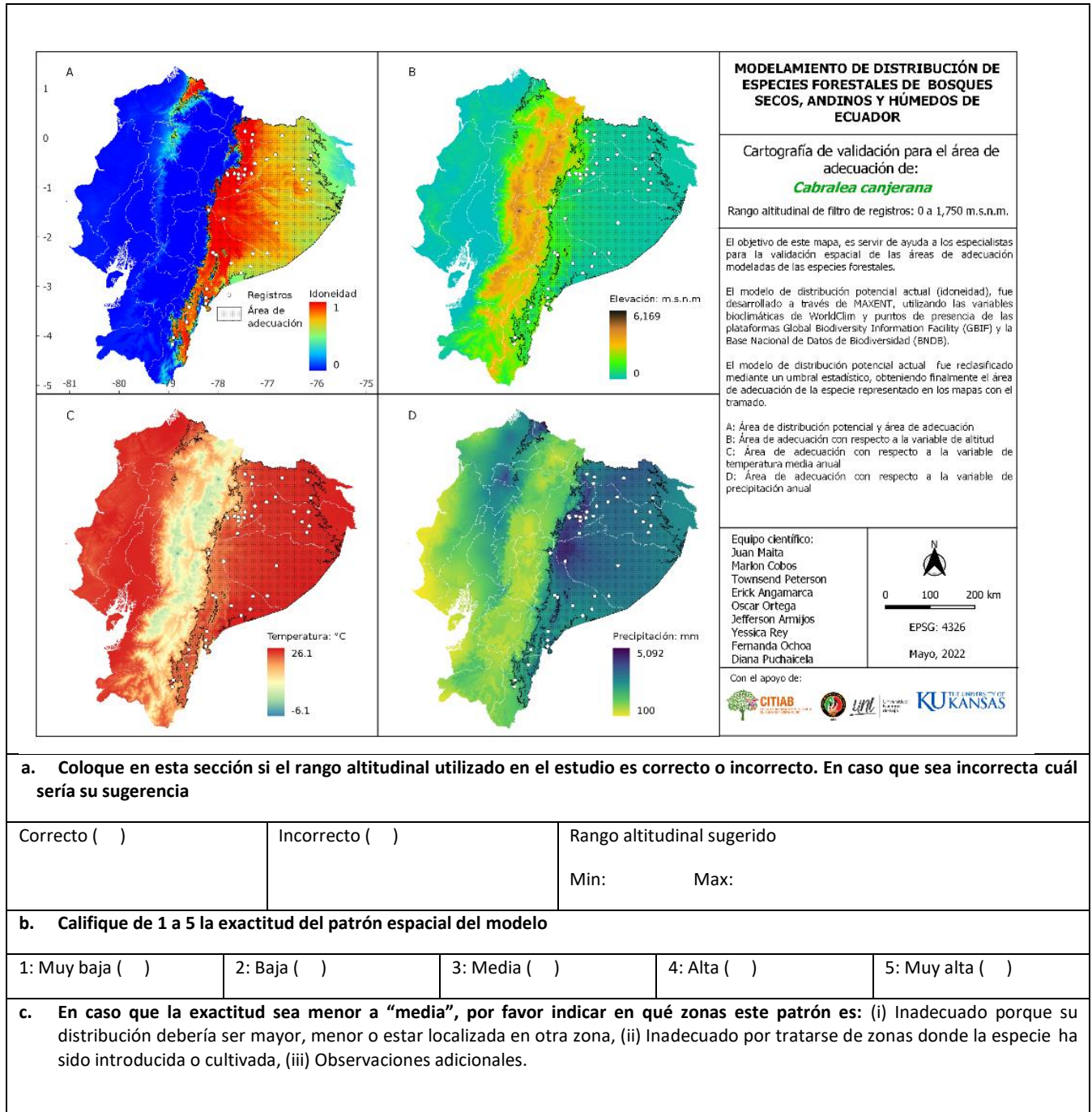
#GUARDAR RASTER
writeRaster(model_bin, paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Binario.tif"),
            format = "GTiff", overwrite=T)

```

Anexo 7. Mapa para la evaluación del modelo de distribución de las especies.



Anexo 8. Plantilla enviada a los especialistas para la evaluación del modelo.



Anexo 9. Script para la determinación de la superficie de bosque nativo de las especies.

1. INSTALAR PAQUETES Y CARGAR LIBRERIAS

```
install.packages("sf")
install.packages("sp")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("raster")
```



```

install.packages("rgdal")

#CARGAR LIBRERIAS
pacman::p_load(rgdal, sf, sp, cleangeo, rmapshaper, raster, rgeos)

# 2. ASIGNACION DE DIRECTORIO ####

getwd()
# 3. DESCARGAR SHP CUT ####

#CREAR CARPETA
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
sapply(dir_cut, function(x)if(!dir.exists(x)) dir.create(x, recursive = T))

#a. 1990

#LINK
link_cut_90 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert
ura_vegetal_1990_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_1990_a.zip"))){
  download.file(link_cut_90,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                      "v_ff010_cobertura_vegetal_1990_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_1990_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

#b. 2000

#LINK
link_cut_20 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert
ura_vegetal_2000_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2000_a.zip"))){
  download.file(link_cut_20,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                      "v_ff010_cobertura_vegetal_2000_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2000_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

#c. 2008

#LINK
link_cut_08 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert

```

```

ura_vegetal_2008_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2008_a.zip"))){
  download.file(link_cut_08,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                      "v_ff010_cobertura_vegetal_2008_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2008_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

#d. 2014

#LINK
link_cut_14 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert
ura_vegetal_2014_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2014_a.zip"))){
  download.file(link_cut_14,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                      "v_ff010_cobertura_vegetal_2014_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2014_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

#e. 2016

#LINK
link_cut_16 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert
ura_vegetal_2016_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2016_a.zip"))){
  download.file(link_cut_16,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                      "v_ff010_cobertura_vegetal_2016_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2016_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

#f. 2018

#LINK
link_cut_18 <- "http://ide.ambiente.gob.ec/geoserver/mae_ide/ows?service=WFS&version=
1.0.0&format_options=CHARSET:UTF-8&request=GetFeature&typeName=mae_ide:v_ff010_cobert
ura_vegetal_2018_a&outputFormat=SHAPE-ZIP"

```

```

#DESCARGAR SHAPE
dir_cut <- file.path("2_vector/MAE")
if (!file.exists(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2018_a.zip"))){
  download.file(link_cut_18,
                destfile = file.path(dir_cut,
                                     "v_ff010_cobertura_vegetal_2018_a.zip"),
                method = "curl")
  unzip(file.path(dir_cut, "v_ff010_cobertura_vegetal_2018_a.zip"), exdir = dir_cut)
}

# 4. EXTRACCION DEL BN 1990-2018 ####

#CARGAR DATOS
cut_1990 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_1990_aPolygon.shp")
cut_2000 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_2000_aPolygon.shp")
cut_2008 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_2008_aPolygon.shp")
cut_2014 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_2014_aPolygon.shp")
cut_2016 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_2016_aPolygon.shp")
cut_2018 <- st_read("2_vector/MAE/v_ff010_cobertura_vegetal_2018_aPolygon.shp")

#1900
bn <- cut_1990[(cut_1990$cobertura1 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_1990.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#2000
bn <- cut_2000[(cut_2000$cobertura1 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_2000.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#2008
bn <- cut_2008[(cut_2008$cobertura1 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_2008.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#2014
bn <- cut_2014[(cut_2014$cobertura1 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_2014.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#2016
bn <- cut_2016[(cut_2016$cobertura1 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_2016.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#2018
bn <- cut_2018[(cut_2018$cobertura0 == "BOSQUE NATIVO" ), ]
bn <- st_transform(bn, 4326)
st_write(bn, "2_vector/bn_2018.shp", delete_layer = T, driver = "ESRI Shapefile")

#### SP 1 ####

nm_sp <- "cab_can"

```

```

# 5. MASK BINARIO CON AREA DE ADECUACION M #####

#CARGAR DATOS
m_grinnell <- st_read(paste0("6_calibracion/", nm_sp, "/m_grinnell/",
                             "accessible_area_M.shp"))
binario <- raster(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Binario_elev.tif"))

#REVISAR SI NECESITA CORTE
plot(binario)
plot(st_geometry(m_grinnell))

#CORTE
bin_mask <- mask(crop(binario, m_grinnell), m_grinnell)
plot(bin_mask)

# 6. RASTER A VECTOR #####

#binario <- raster(paste0("7_modelos/", nm_sp, "/Binario_elv.tif"))
binario <- rasterToPolygons(bin_mask, dissolve = T)
plot(binario)
projection(binario) <- CRS("+init=epsg:4326")
binario <- st_as_sf(binario)
binario <- binario[(binario$Binario_elev == 1), ]
plot(st_geometry(binario))
st_write(binario, paste0("2_vector/", nm_sp, "_adc.shp"), delete_layer = T,
          driver = "ESRI Shapefile")

# 7. CLIP BN #####

#DATOS ADECUACION
adc <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_adc.shp"))

#DATOS BOSQUE NATIVO
bn_90 <- st_read("2_vector/bn_1990.shp")
bn_20 <- st_read("2_vector/bn_2000.shp")
bn_08 <- st_read("2_vector/bn_2008.shp")
bn_14 <- st_read("2_vector/bn_2014.shp")
bn_16 <- st_read("2_vector/bn_2016.shp")
bn_18 <- st_read("2_vector/bn_2018.shp")

#1990
sf::sf_use_s2(FALSE) #apague el procesamiento s2 para usar version 1.0 de sf
clip <- st_intersection(bn_90, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)
st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_90.shp"), delete_layer = T)

#2000
clip <- st_intersection(bn_20, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)

```

```

st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_20.shp"), delete_layer = T)

#2008
clip <- st_intersection(bn_08, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)
st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_08.shp"), delete_layer = T)

#2014
clip <- st_intersection(bn_14, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)
st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_14.shp"), delete_layer = T)

#2016
clip <- st_intersection(bn_16, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)
st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_16.shp"), delete_layer = T)

#2018
clip <- st_intersection(bn_18, adc)
clip <- ms_dissolve(clip)
st_is_valid(clip, reason = TRUE)
clip <- st_make_valid(clip)
clip <- st_collection_extract(clip, "POLYGON")
st_write(clip, paste0("2_vector/", nm_sp, "_18.shp"), delete_layer = T)

#CARGAR LIBRERIAS
pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, tidyverse, sf, GISTools, rmapshaper,
              dplyr, ggplot2, lwgeom)

# 2. ASIGNAR DIRECTORIO ####

getwd()
dir_def <- file.path("8_deforestacion")
sapply(dir_def, function(x)if(!dir.exists(x)) dir.create(x, recursive = T))
sf::sf_use_s2(FALSE)

#### SP 1 ####

nm_sp <- "cab_can"
name_sp = "Cabralea canjerana"

```

3. CALCULO DE AREA

#CARGAR DATOS

```
bn_90 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_90.shp"))
bn_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20.shp"))
bn_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08.shp"))
bn_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14.shp"))
bn_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16.shp"))
bn_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18.shp"))
```

#1990

```
bn_90$Area_ha <- st_area(bn_90)/10000 #calcula area en hectareas
bn_90$Area_ha <- ceiling(bn_90$Area_ha) #redondea el valor a entero
bn_90$Especie = name_sp
bn_90$Periodo="1990"
bn_90$rmpshpr <- NULL
bn_90$geometry <- NULL
```

#2000

```
bn_20$Area_ha <- st_area(bn_20)/10000
bn_20$Area_ha <- ceiling(bn_20$Area_ha)
bn_20$Especie = name_sp
bn_20$Periodo="2000"
bn_20$rmpshpr <- NULL
bn_20$geometry <- NULL
```

#2008

```
bn_08$Area_ha <- st_area(bn_08)/10000
bn_08$Area_ha <- ceiling(bn_08$Area_ha)
bn_08$Especie = name_sp
bn_08$Periodo="2008"
bn_08$rmpshpr <- NULL
bn_08$geometry <- NULL
```

#2014

```
bn_14$Area_ha <- st_area(bn_14)/10000
bn_14$Area_ha <- ceiling(bn_14$Area_ha)
bn_14$Especie = name_sp
bn_14$Periodo="2014"
bn_14$rmpshpr <- NULL
bn_14$geometry <- NULL
```

#2016

```
bn_16$Area_ha <- st_area(bn_16)/10000
bn_16$Area_ha <- ceiling(bn_16$Area_ha)
bn_16$Especie = name_sp
bn_16$Periodo="2016"
bn_16$rmpshpr <- NULL
bn_16$geometry <- NULL
```

#2018

```
bn_18$Area_ha <- st_area(bn_18)/10000
bn_18$Area_ha <- ceiling(bn_18$Area_ha)
```

```

bn_18$Especie = name_sp
bn_18$Periodo="2018"
bn_18$rmpshpr <- NULL
bn_18$geometry <- NULL

# 4. UNION DE TABLAS #####

tabla_1 <- union(bn_90, bn_20)
tabla_2 <- union(tabla_1, bn_08)
tabla_3 <- union(tabla_2, bn_14)
tabla_4 <- union(tabla_3, bn_16)
tabla_5 <- union(tabla_4, bn_18)
write.csv(tabla_5, paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_bn.csv"), row.names = F)

# 5. BOSQUE DEGRADADO % #####
bn_sp <- read.csv(paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_bn.csv"), header = T)
percent_sp <- data.frame(round((bn_sp[1,1]-bn_sp[6,1])*100/bn_sp[1,1], 2))
percent_sp["Especie"] <- name_sp
names(percent_sp) <- c("Porcent", "Especie")
write.csv(percent_sp, paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_percent.csv"),
          row.names = F)

```

Anexo 10. Script para el análisis de datos de deforestación.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES #####

install.packages("raster")
install.packages("rgdal")
install.packages("rgeos")
install.packages("stringr")
install.packages("sf")
install.packages("dplyr")
install.packages("tidyverse")
install.packages("GISTools")
install.packages("rmapshaper")

# 2. IMPORTAAR LIBERIAS #####

pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, tidyverse, sf, GISTools, rmapshaper,
              dplyr, ggplot2, gridExtra)

# 3. ASIGNAR DIRECTORIO #####
getwd()

# 4. DEFORESTACION POR PERIODO #####

#CARGAR DATOS
bn_sp <- read.csv("8_deforestacion/bn_sp.csv", header = TRUE, sep = ",",
                dec = ".")

#### SP 1 ####

nm_sp <- "cab_can"

```

```

name_sp <- "Cabralea canjerana"

#CALCULO

#1990-2000
df_90_20 <- data.frame(Periodo="1990-2000")
df_90_20$Def <- (bn_sp[1,1])-(bn_sp[2,1])

#2000-2008
df_20_08 <- data.frame(Periodo="2000-2008")
df_20_08$Def <- (bn_sp[2,1])-(bn_sp[3,1])

#2008-2014
df_08_14 <- data.frame(Periodo="2008-2014")
df_08_14$Def <- (bn_sp[3,1])-(bn_sp[4,1])

#2014-2016
df_14_16 <- data.frame(Periodo="2014-2016")
df_14_16$Def <- (bn_sp[4,1])-(bn_sp[5,1])

#2016-2018
df_16_18 <- data.frame(Periodo="2016-2018")
df_16_18$Def <- (bn_sp[5,1])-(bn_sp[6,1])

#UNION DE DATOS
tabla_1 <- union(df_90_20, df_20_08)
tabla_2 <- union(tabla_1, df_08_14)
tabla_3 <- union(tabla_2, df_14_16)
tabla_4 <- union(tabla_3, df_16_18)
tabla_4$Especie <- name_sp
write.csv(tabla_4, paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_df.csv"), row.names = F)

# 5. PREPARACION DE TABLAS PARA GRAFICAR #####
files <- list.files(path= "8_deforestacion/", pattern = "_df.csv$", full.names = T)
read_files <- lapply(files, read.csv, header = T)
def_sp <- do.call(rbind, read_files)
def_sp["Deforest"] <- prettyNum(def_sp$Def, big.mark=" ")
def_sp$Periodo <- c("a1990", "b2000", "c2008", "d2014", "e2016") #se poner para poder graficar
write.csv(def_sp, "8_deforestacion/df_sp.csv", row.names = F)

```

Anexo 11. Script para el análisis de datos de deforestación a nivel provincial.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES #####

install.packages("pacman")
install.packages("rgdal")
install.packages("ggplot2")
install.packages("rgeos")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("GISTools")
install.packages("classInt")
install.packages("tidyverse")

```



```

install.packages("sf")
install.packages("sp")
install.packages("stringr")
install.packages("lwgeom")

# 2. IMPORTAR LIBRERIAS #####
pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, tidyverse, sf, GISTools, rmapshaper,
              dplyr, ggplot2, lwgeom, gridExtra)

# 3. ASIGNAR DIRECTORIO Y VARIABLES NECESARIAS #####

getwd()
sf::sf_use_s2(FALSE)

#FUNCION PARA CREAR LETRA CAPITAL

firstCap <- function(x) {
  s <- strsplit(x, " ")[[1]]
  paste(toupper(substring(s, 1,1)),
        substring(s, 2),
        sep="", collapse=" ")
}

#### SP 1 ####
nm_sp <- "cab_can"

#CARGAR DATOS
adc <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_adc.shp"))
prv <- st_read("2_vector/INEC/SHP/nxprovincias.shp")
prv <- st_transform(prv, 4326)

# 4. INTERSECCION AREA ADECUACION Y PROVINCIAS #####
intersect <- st_intersection(adc, prv)
intersect <- ms_dissolve(intersect, field = "DPA_DESPRO",
                        copy_fields = "DPA_PROVIN")
st_write(intersect, paste0("2_vector/", nm_sp, "_prv.shp"), driver = "ESRI Shapefile"
,
        delete_layer = T)

# 5. INTERSECCION AREA ADECUACION PROVINCIAS Y BN #####

#CARGAR DATOS
bn_90 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_90.shp"))
bn_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20.shp"))
bn_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08.shp"))
bn_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14.shp"))
bn_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16.shp"))
bn_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18.shp"))

intersect <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_prv.shp"))

#1990
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_90)

```

```

intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
names(intersect_prov_bn)
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_90_prv.shp"),
         delete_layer = T)

#2000
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_20)
intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
names(intersect_prov_bn)
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_20_prv.shp"),
         delete_layer = T)

#2008
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_08)
intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
names(intersect_prov_bn)
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_08_prv.shp"),
         delete_layer = T)

#2014
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_14)
intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
names(intersect_prov_bn)
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_14_prv.shp"),
         delete_layer = T)

#2016
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_16)
intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_16_prv.shp"),
         delete_layer = T)

#2018
intersect_prov_bn <- st_intersection(intersect, bn_18)
intersect_prov_bn$rmpshpr <- NULL
intersect_prov_bn <- st_collection_extract(intersect_prov_bn, "POLYGON")
st_write(intersect_prov_bn, paste0("2_vector/", nm_sp, "_18_prv.shp"),
         delete_layer = T)

# 6. CALCULO AREA #####

#CARGAR DATOS
bn_90 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_90_prv.shp"))
bn_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20_prv.shp"))
bn_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08_prv.shp"))
bn_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14_prv.shp"))
bn_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16_prv.shp"))
bn_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18_prv.shp"))

```

```

#1990
bn_90 <- ms_dissolve(bn_90, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_90$Area_ha <- st_area(bn_90)/10000
bn_90$Area_ha <- ceiling(bn_90$Area_ha)
bn_90$Area_ha <- as.numeric(bn_90$Area_ha)
bn_90$rmpshpr <- NULL
bn_90$geometry <- NULL
#añadir fila faltante
#bn_90_c <- data.frame(DPA_PROVIN = "03", DPA_DESPRO= "CAÑAR", Area_ha = 0)
#bn_90 <- rbind(bn_90, bn_90_c)

#2000
bn_20 <- ms_dissolve(bn_20, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_20$Area_ha <- st_area(bn_20)/10000
bn_20$Area_ha <- ceiling(bn_20$Area_ha)
bn_20$Area_ha <- as.numeric(bn_20$Area_ha)
bn_20$rmpshpr <- NULL
bn_20$geometry <- NULL

#2008
bn_08 <- ms_dissolve(bn_08, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_08$Area_ha <- st_area(bn_08)/10000
bn_08$Area_ha <- ceiling(bn_08$Area_ha)
bn_08$Area_ha <- as.numeric(bn_08$Area_ha)
bn_08$rmpshpr <- NULL
bn_08$geometry <- NULL

#2014
bn_14 <- ms_dissolve(bn_14, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_14$Area_ha <- st_area(bn_14)/10000
bn_14$Area_ha <- ceiling(bn_14$Area_ha)
bn_14$Area_ha <- as.numeric(bn_14$Area_ha)
bn_14$rmpshpr <- NULL
bn_14$geometry <- NULL

#2016
bn_16 <- ms_dissolve(bn_16, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_16$Area_ha <- st_area(bn_16)/10000
bn_16$Area_ha <- ceiling(bn_16$Area_ha)
bn_16$Area_ha <- as.numeric(bn_16$Area_ha)
bn_16$rmpshpr <- NULL
bn_16$geometry <- NULL

#2018
bn_18 <- ms_dissolve(bn_18, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_18$Area_ha <- st_area(bn_18)/10000
bn_18$Area_ha <- ceiling(bn_18$Area_ha)
bn_18$Area_ha <- as.numeric(bn_18$Area_ha)
bn_18$rmpshpr <- NULL
bn_18$geometry <- NULL

# 7. CALCULO DEFORESTACION POR PERIODO #####

```

```
#1990-2000
```

```
Def <- (bn_90$Area_ha)-(bn_20$Area_ha)  
df_90 <- as.data.frame(Def)  
df_90 ["DPA_PROVIN"] <- bn_90$DPA_PROVIN  
df_90 ["DPA_DESPRO"] <- bn_90$DPA_DESPRO  
df_90 $Periodo = "1990-2000"
```

```
#2000-2008
```

```
Def <- (bn_20$Area_ha)-(bn_08$Area_ha)  
df_20 <- as.data.frame(Def)  
df_20 ["DPA_PROVIN"] <- bn_20$DPA_PROVIN  
df_20 ["DPA_DESPRO"] <- bn_20$DPA_DESPRO  
df_20 $Periodo="2000-2008"
```

```
#2008-2014
```

```
Def <- (bn_08$Area_ha)-(bn_14$Area_ha)  
df_08 <- as.data.frame(Def)  
df_08 ["DPA_PROVIN"] <- bn_08$DPA_PROVIN  
df_08 ["DPA_DESPRO"] <- bn_08$DPA_DESPRO  
df_08 $Periodo="2008-2014"
```

```
#2014-2016
```

```
Def <- (bn_14$Area_ha)-(bn_16$Area_ha)  
df_14 <- as.data.frame(Def)  
df_14 ["DPA_PROVIN"] <- bn_14$DPA_PROVIN  
df_14 ["DPA_DESPRO"] <- bn_14$DPA_DESPRO  
df_14 $Periodo="2014-2016"
```

```
#2016-2018
```

```
Def <- (bn_16$Area_ha)-(bn_18$Area_ha)  
df_16 <- as.data.frame(Def)  
df_16 ["DPA_PROVIN"] <- bn_16$DPA_PROVIN  
df_16 ["DPA_DESPRO"] <- bn_16$DPA_DESPRO  
df_16 $Periodo="2016-2018"
```

```
# 8. UNION DE TABLAS #####
```

```
tabla_1 <- union(df_90, df_20)  
tabla_2 <- union(tabla_1, df_08)  
tabla_3 <- union(tabla_2, df_14)  
tabla_4 <- union(tabla_3, df_16)
```

```
# 9. DEFORESTACION TOTAL #####
```

```
def_prv <- tabla_4 %>%  
  as_tibble()%>%  
  dplyr::group_by(DPA_DESPRO) %>%  
  dplyr::summarise(Area= sum(Def))  
print(def_prv)  
write.csv(def_prv, paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_prv.csv"),  
          row.names = F)
```

```

# 10. PREPARACION DE TABLAS PARA GRAFICAR #####

#CARGAR DATOS
def<- read.csv(paste0("8_deforestacion/", nm_sp, "_prv.csv"),
              header = TRUE, sep = ",", dec = ".")

#CONVERTIR LETRA MINUSCULA
def["Provin"] <- tolower(def$DPA_DESPRO)

#CONVERTIR LETRA CAPITAL
def$Provin <- unlist(lapply(def$Provin, FUN=firstCap))

#SEPARA EN MILES
def["Deforest"] <- prettyNum(def$Area, big.mark=" ")

```

Anexo 12. Script para la depuración de datos y conteo general de fuegos activos por especie.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES #####

install.packages("pacman")
install.packages("rgdal")
install.packages("ggplot2")
install.packages("forecast")
install.packages("rgeos")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("GISTools")
install.packages("classInt")
install.packages("tidyverse")
install.packages("sf")
install.packages("cleangeo")
install.packages("sp")
install.packages("stringr")
install.packages("RColorBrewer")
install.packages("lubridate")

# 2. IMPORTAR LIBRERIAS #####

pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, tidyverse, sf, classInt, sp,
              maptools, cleangeo, rmapshaper, GISTools, RColorBrewer,
              lubridate)

# 3. ASIGNAR DIRECTORIO #####

getwd()
sapply("10_incendios", function(x)if(!dir.exists(x)) dir.create(x, recursive = T))

# 4. REPROYECCION DE CAPAS A 17S #####

#CARGAR DATOS
modis <- st_read("2_vector/NASA/fire_archive_M-C61_280829.shp")
volc <- st_read("2_vector/VOLCANES/GLB_VOLC.shp")
ecu <- st_read("2_vector/ecu_diss_4326.shp")

```

```

#REPROYECCION
modis = st_transform(modis, crs = 32717)
volc = st_transform(volc, crs = 32717)
ecu = st_transform(ecu, crs = 32717)

#GUARDAR DATOS
st_write(modis, "2_vector/wf_utm.shp", driver="ESRI Shapefile",
         delete_layer = T)
st_write(volc, "2_vector/volc_utm.shp", driver="ESRI Shapefile",
         delete_layer = T)
st_write(ecu, "2_vector/ecu_utm.shp", driver="ESRI Shapefile", delete_layer = T)

# 5. FILTRO VOLCANES #####

#CARGAR DATOS
volc <- st_read("2_vector/volc_utm.shp")
ecu <- st_read("2_vector/ecu_utm.shp")
modis <- st_read("2_vector/wf_utm.shp")

#FILTRO
sf::sf_use_s2(FALSE)
volc_ec <- st_intersection(volc, ecu)
volc_buff_5km <- st_buffer(volc_ec, 5000)
volc_buff_5km <- ms_dissolve(volc_buff_5km)
wf_diff <- st_difference(modis, volc_buff_5km)

#SELECCION COLUMNAS DE INTERES
wf_diff <- wf_diff[, c("ACQ_DATE", "TYPE", "CONFIDENCE")]
names(wf_diff) <- c("ACQ_DATE", "TYPE", "CONFIDENCE", "geometry")
st_write(wf_diff, "2_vector/wf_diff.shp", driver="ESRI Shapefile",
         delete_layer = T)

# 6. FILTRO DATOS BAJA CONFIANZA #####

#CARGAR DATOS
wf_diff <- st_read("2_vector/wf_diff.shp")

#FILTRO
wf_filt <- wf_diff[wf_diff$TYPE %in% c(0, NA), ] # 0 = INCENDIOS EN VEGETACION
wf_filt <- wf_filt[wf_filt$CONFIDENCE %in% c(30:100), ]
st_write(wf_filt, "2_vector/wf_conf.shp", driver = "ESRI Shapefile",
         delete_layer = T)

# 7. AGRUPAMIENTO PERIODOS #####

#CARGAR DATOS
wf_filt <- st_read("2_vector/wf_conf.shp")

#FORMATO FECHA
wf_filt$ACQ_DATE <- ymd(wf_filt$ACQ_DATE)
wf_filt$year <- format(wf_filt$ACQ_DATE, '%Y')

#2001-2007

```

```

wf_01 <- wf_filt[wf_filt$year%in%c(2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007),]
st_write(wf_01, "2_vector/wf_01_07.shp", delete_layer = T,
         driver="ESRI Shapefile")

#2008-2013
wf_08 <- wf_filt[wf_filt$year%in%c(2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013),]
st_write(wf_08, "2_vector/wf_08_13.shp", delete_layer = T,
         driver="ESRI Shapefile")

#2014-2015
wf_14 <- wf_filt[wf_filt$year%in%c(2014, 2015),]
st_write(wf_14, "2_vector/wf_14_15.shp", delete_layer = T,
         driver="ESRI Shapefile")

#2016-2017
wf_16 <- wf_filt[wf_filt$year%in%c(2016, 2017),]
st_write(wf_16, "2_vector/wf_16_17.shp",
         delete_layer = T, driver="ESRI Shapefile")

#2018-2021
wf_18 <- wf_filt[wf_filt$year%in%c(2018, 2019, 2020, 2021),]
st_write(wf_18, "2_vector/wf_18_21.shp", delete_layer = T,
         driver="ESRI Shapefile")

# 8. ASIGNAR MEMORIA AL PROCESO #####

#REALIZAR SOLO SI ES NECESARIO
gc()
if(.Platform$OS.type == "windows") withAutoprint({
  memory.size()
  memory.size(TRUE)
  memory.limit()
})
memory.limit(size=56000)

##### SP 1 #####

nm_sp <- "cab_can"
name_sp <- "Cabralea canjerana"

# 9. REPROYECCION BN #####

#CARGAR DATOS
bn_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20.shp"))
bn_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08.shp"))
bn_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14.shp"))
bn_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16.shp"))
bn_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18.shp"))

#REPROYECCION
bn_20 <- st_transform(bn_20, 32717)
bn_08 <- st_transform(bn_08, 32717)
bn_14 <- st_transform(bn_14, 32717)

```

```

bn_16 <- st_transform(bn_16, 32717)
bn_18 <- st_transform(bn_18, 32717)

#SF A SP
bn_20 <- as_Spatial(bn_20)
bn_08 <- as_Spatial(bn_08)
bn_14 <- as_Spatial(bn_14)
bn_16 <- as_Spatial(bn_16)
bn_18 <- as_Spatial(bn_18)

```

Anexo 13. Script para el análisis de datos de fuegos activos.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES ####

install.packages("pacman")
install.packages("rgdal")
install.packages("ggplot2")
install.packages("forecast")
install.packages("rgeos")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("GISTools")
install.packages("classInt")
install.packages("tidyverse")
install.packages("sf")
install.packages("cleangeo")
install.packages("sp")
install.packages("stringr")
install.packages("RColorBrewer")
install.packages("lubridate")
install.packages("gridExtra")

# 2. IMPORTAR LIBRERIAS ####

pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, tidyverse, sf, classInt, sp,
              maptools, cleangeo, rmapshaper, GISTools, RColorBrewer, lubridate, gri
              dExtra)

# 3. ASIGNAR DIRECTORIO DE TRABAJO ####

getwd()

#### SP 1 ####

nm_sp <- "cab_can"
name_sp <- "Cabralea canjerana"

# 4. EXTRACCION DE FA EN ADC ####

#CARGAR DATOS
wf_01 <- readOGR("2_vector/wf_01_07.shp")
wf_08 <- readOGR("2_vector/wf_08_13.shp")
wf_14 <- readOGR("2_vector/wf_14_15.shp")
wf_16 <- readOGR("2_vector/wf_16_17.shp")

```



```

wf_18 <- readOGR("2_vector/wf_18_21.shp")

#2001-2007
wf_01 <- wf_01[complete.cases(over(wf_01, bn_20)), ]
wf_01 <- st_as_sf(wf_01)
st_write(wf_01, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_01.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

#2008-2013
wf_08 <- wf_08[complete.cases(over(wf_08, bn_08)), ]
wf_08 <- st_as_sf(wf_08)
st_write(wf_08, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_08.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

#2014-2015
wf_14 <- wf_14[complete.cases(over(wf_14, bn_14)), ]
wf_14 <- st_as_sf(wf_14)
st_write(wf_14, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_14.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

#2016-2017
wf_16 <- wf_16[complete.cases(over(wf_16, bn_16)), ]
wf_16 <- st_as_sf(wf_16)
st_write(wf_16, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_16.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

#2018-2021
wf_18 <- wf_18[complete.cases(over(wf_18, bn_18)), ]
wf_18 <- st_as_sf(wf_18)
st_write(wf_18, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_18.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

# 5. UNION DE TABLAS #####
tabla_1 <- union(wf_01, wf_08)
tabla_2 <- union(tabla_1, wf_14)
tabla_3 <- union(tabla_2, wf_16)
tabla_4 <- union(tabla_3, wf_18)
tabla_4$Especie = name_sp
st_write(tabla_4, paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_01_18.shp"),
         driver = "ESRI Shapefile", delete_layer = T)

# 6. PPREPARACION DE TABLAS PARA GRAFICAR #####
{
  files <- list.files(path= "2_vector/", pattern = "_01_18.shp$", full.names = T)
  shp_list <- lapply(files, st_read)
  wf_union_sp <- rbind(shp_list[[1]], shp_list[[2]], shp_list[[3]], shp_list[[4]],
                    shp_list[[5]])
  wf_union_sp$geometry <- NULL
}

# 7. CONTEO FA #####
wf_count <- wf_union_sp %>%
  as_tibble()%>%

```

```

dplyr::group_by(Especie) %>%
dplyr::summarise(count = n())
wf_count["count_wf"] <- prettyNum(wf_count$count, big.mark=" ")
write.csv(wf_count, "10_incendios/wf_count_sp.csv", row.names = F)

# 8. REPROYECCION BN #####

#CARGAR DATOS
bn_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20.shp"))
bn_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08.shp"))
bn_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14.shp"))
bn_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16.shp"))
bn_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18.shp"))

#REPROYECCION
bn_20 <- st_transform(bn_20, 32717)
bn_08 <- st_transform(bn_08, 32717)
bn_14 <- st_transform(bn_14, 32717)
bn_16 <- st_transform(bn_16, 32717)
bn_18 <- st_transform(bn_18, 32717)

# 9. CALCULO AREA BN #####

#2000
bn_20$Area_km2 <- st_area(bn_20)/1000000
bn_20$geometry <- NULL

#2008
bn_08$Area_km2 <- st_area(bn_08)/1000000
bn_08$geometry <- NULL

#2014
bn_14$Area_km2 <- st_area(bn_14)/1000000
bn_14$geometry <- NULL

#2016
bn_16$Area_km2 <- st_area(bn_16)/1000000
bn_16$geometry <- NULL

#2018
bn_18$Area_km2 <- st_area(bn_18)/1000000
bn_18$geometry <- NULL

# 10. CONTEO DE PUNTOS #####

#CARGAR DATOS
wf_01 <- st_read(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_01.shp"))
wf_08 <- st_read(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_08.shp"))
wf_14 <- st_read(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_14.shp"))
wf_16 <- st_read(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_16.shp"))
wf_18 <- st_read(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_18.shp"))

#2001-2007

```

```

wf_01$Especie <- name_sp
wf_count_01 <- wf_01 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(count_wf = n())

#2008-2014
wf_08$Especie <- name_sp
wf_count_08 <- wf_08 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(count_wf = n())

#2014-2016
wf_14$Especie <- name_sp
wf_count_14 <- wf_14 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(count_wf = n())

#2016-2018
wf_16$Especie <- name_sp
wf_count_16 <- wf_16 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(count_wf = n())

#2018-2021
wf_18$Especie <- name_sp
wf_count_18 <- wf_18 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(count_wf = n())

# 11. UNION DE CONTEO Y AREA #####

wf_count_01["Area_km2"] <- bn_20$Area_km2
wf_count_08["Area_km2"] <- bn_08$Area_km2
wf_count_14["Area_km2"] <- bn_14$Area_km2
wf_count_16["Area_km2"] <- bn_16$Area_km2
wf_count_18["Area_km2"] <- bn_18$Area_km2

# 12. CALCULO DENSIDAD POR PERIODO #####

wf_count_01["Wf_km2"] <- round(wf_count_01$count_wf/wf_count_01$Area_km2, 4)
wf_count_08["Wf_km2"] <- round(wf_count_08$count_wf/wf_count_08$Area_km2, 4)
wf_count_14["Wf_km2"] <- round(wf_count_14$count_wf/wf_count_14$Area_km2, 4)
wf_count_16["Wf_km2"] <- round(wf_count_16$count_wf/wf_count_16$Area_km2, 4)
wf_count_18["Wf_km2"] <- round(wf_count_18$count_wf/wf_count_18$Area_km2, 4)

# 13. UNION DE DATOS #####

tabla_1 <- rbind(wf_count_01, wf_count_08)

```

```

tabla_2 <- rbind(tabla_1, wf_count_14)
tabla_3 <- rbind(tabla_2, wf_count_16)
tabla_4 <- rbind(tabla_3, wf_count_18)

# 14. DENSIDAD TOTAL #####

media <- tabla_4 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(Especie) %>%
  dplyr::summarise(Densidad = mean(Wf_km2))
media$Densidad <- round(media$Densidad, 4)
write.csv(media, paste0("10_incendios/wf_", nm_sp, "_dens.csv"), row.names = F)

```

Anexo 14. Script para el análisis de datos de fuegos activos a nivel provincial.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES #####

install.packages("pacman")
install.packages("rgdal")
install.packages("ggplot2")
install.packages("forecast")
install.packages("rgeos")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("GISTools")
install.packages("classInt")
install.packages("tidyverse")
install.packages("sf")
install.packages("cleangeo")
install.packages("sp")
install.packages("stringr")
install.packages("RColorBrewer")
install.packages("lubridate")
install.packages("formattable")
install.packages("kableExtra")
install.packages("viridis")
install.packages("colourvalues")
webshot::install_phantomjs()

# 2. IMPORTAR LIBRERIAS #####

pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, sf, tidyverse, sf, classInt, sp,
  maptools, cleangeo, rmapshaper, GISTools, RColorBrewer, lubridate,
  formattable, kableExtra, viridis, colourvalues, phantomjs)

# 3. ASIGNAR DIRECTORIO DE TRABAJO #####

getwd()

#FUNCION PARA CREAR LETRA CAPITAL

firstCap <- function(x) {
  s <- strsplit(x, " ")[[1]]
  paste(toupper(substring(s, 1,1)),
    substring(s, 2),

```

```

        sep="", collapse=" ")
}

#### SP1 ####

nm_sp <- "cab_can"
name_sp <- "Cabralea canjerana"

# 4. REPROYECCION BN ####

#CARGAR DATOS
bn_prv_20 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_20_prv.shp"))
bn_prv_08 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_08_prv.shp"))
bn_prv_14 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_14_prv.shp"))
bn_prv_16 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_16_prv.shp"))
bn_prv_18 <- st_read(paste0("2_vector/", nm_sp, "_18_prv.shp"))

#DISSOLVE
bn_prv_20 <- ms_dissolve(bn_prv_20, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_prv_08 <- ms_dissolve(bn_prv_08, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_prv_14 <- ms_dissolve(bn_prv_14, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_prv_16 <- ms_dissolve(bn_prv_16, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")
bn_prv_18 <- ms_dissolve(bn_prv_18, field = "DPA_DESPRO", copy_fields = "DPA_PROVIN")

#REPROYECCION
bn_prv_20 <- st_transform(bn_prv_20, 32717)
bn_prv_08 <- st_transform(bn_prv_08, 32717)
bn_prv_14 <- st_transform(bn_prv_14, 32717)
bn_prv_16 <- st_transform(bn_prv_16, 32717)
bn_prv_18 <- st_transform(bn_prv_18, 32717)

# 5. CALCULO AREA BN ####

#2000
bn_prv_20$Area_km2 <- st_area(bn_prv_20)/1000000

#2008
bn_prv_08$Area_km2 <- st_area(bn_prv_08)/1000000

#2014
bn_prv_14$Area_km2 <- st_area(bn_prv_14)/1000000

#2016
bn_prv_16$Area_km2 <- st_area(bn_prv_16)/1000000

#2018
bn_prv_18$Area_km2 <- st_area(bn_prv_18)/1000000

#SF A SP BN PARA CONTEO
bn_prv_20 <- as_Spatial(bn_prv_20)
bn_prv_08 <- as_Spatial(bn_prv_08)
bn_prv_14 <- as_Spatial(bn_prv_14)
bn_prv_16 <- as_Spatial(bn_prv_16)

```

```

bn_prv_18 <- as_Spatial(bn_prv_18)

# 6. CONTEO DE PUNTOS #####

#CARGAR DATOS
wf_01 <- readOGR(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_01.shp"))
wf_08 <- readOGR(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_08.shp"))
wf_14 <- readOGR(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_14.shp"))
wf_16 <- readOGR(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_16.shp"))
wf_18 <- readOGR(paste0("2_vector/wf_", nm_sp, "_18.shp"))

#2001-2007
count_wf <- poly.counts(wf_01, bn_prv_20)
count_01 <- as.data.frame(count_wf)
count_01["DPA_PROVIN"] <- bn_prv_20$DPA_PROVIN
count_01["DPA_DESPRO"] <- bn_prv_20$DPA_DESPRO

#2008-2013
count_wf <- poly.counts(wf_08, bn_prv_08)
count_08 <- as.data.frame(count_wf)
count_08["DPA_PROVIN"] <- bn_prv_08$DPA_PROVIN
count_08["DPA_DESPRO"] <- bn_prv_08$DPA_DESPRO

#2014-2015
count_wf <- poly.counts(wf_14, bn_prv_14)
count_14 <- as.data.frame(count_wf)
count_14["DPA_PROVIN"] <- bn_prv_14$DPA_PROVIN
count_14["DPA_DESPRO"] <- bn_prv_14$DPA_DESPRO

#2016-2017
count_wf <- poly.counts(wf_16, bn_prv_16)
count_16 <- as.data.frame(count_wf)
count_16["DPA_PROVIN"] <- bn_prv_16$DPA_PROVIN
count_16["DPA_DESPRO"] <- bn_prv_16$DPA_DESPRO

#2018-2021
count_wf <- poly.counts(wf_18, bn_prv_18)
count_18 <- as.data.frame(count_wf)
count_18["DPA_PROVIN"] <- bn_prv_18$DPA_PROVIN
count_18["DPA_DESPRO"] <- bn_prv_18$DPA_DESPRO

# 7. UNION DE TABLAS #####

count_01$Area_km2 <- bn_prv_20$Area_km2[match(count_01$DPA_DESPRO, bn_prv_20$DPA_DESPRO)]
count_08$Area_km2 <- bn_prv_08$Area_km2[match(count_08$DPA_DESPRO, bn_prv_08$DPA_DESPRO)]
count_14$Area_km2 <- bn_prv_14$Area_km2[match(count_14$DPA_DESPRO, bn_prv_14$DPA_DESPRO)]
count_16$Area_km2 <- bn_prv_16$Area_km2[match(count_16$DPA_DESPRO, bn_prv_16$DPA_DESPRO)]
count_18$Area_km2 <- bn_prv_18$Area_km2[match(count_18$DPA_DESPRO, bn_prv_18$DPA_DESPRO)]

```

```

# 8. CALCULO DENSIDAD POR PEIODO #####

count_01["Wf_km2"] <- round(count_01$count_wf/count_01$Area_km2, 4)
count_08["Wf_km2"] <- round(count_08$count_wf/count_08$Area_km2, 4)
count_14["Wf_km2"] <- round(count_14$count_wf/count_14$Area_km2, 4)
count_16["Wf_km2"] <- round(count_16$count_wf/count_16$Area_km2, 4)
count_18["Wf_km2"] <- round(count_18$count_wf/count_18$Area_km2, 4)

# 9. UNION DE TABLAS #####

tabla_1 <- rbind(count_01, count_08)
tabla_2 <- rbind(tabla_1, count_14)
tabla_3 <- rbind(tabla_2, count_16)
tabla_4 <- rbind(tabla_3, count_18)

# 10. FRECUENCIA Y DENSIDAD TOTAL #####

#DENSIDAD
densidad <- tabla_4 %>%
  as_tibble()%>%
  dplyr::group_by(DPA_DESPRO) %>%
  dplyr::summarise(Densidad = mean(Wf_km2))
densidad$Densidad <- round(densidad$Densidad, 4)

#FRECUENCIA
frecuencia <- tabla_4 %>%
  as_tibble() %>%
  dplyr::group_by(DPA_DESPRO) %>%
  dplyr::summarise(Frecuencia = sum(count_wf))

#UNION TABLA
frecuencia$Densidad <- densidad$Densidad[match(frecuencia$DPA_DESPRO,
                                              densidad$DPA_DESPRO)]

# 11. PREPARACION DE TABLAS PARA GRAFICAR #####

#CONVERTIR LETRA MINUSCULA
names(frecuencia) <- c("Provincias", "Frecuencia", "Densidad")
frecuencia$Provincias <- tolower(frecuencia$Provincias)

#CONVERTIR LETRA CAPITAL
frecuencia$Provincias <- unlist(lapply(frecuencia$Provincias, FUN=firstCap))

#SEPARA EN MILES
#frecuencia$Frecuencia <- prettyNum(frecuencia$Frecuencia, big.mark=" ")

#GUARDA CSV
write.csv(frecuencia, paste0("10_incendios/frc_dns_", nm_sp, "_prv.csv"),
          row.names = F)

# 12. TABLA INTERACTIVA #####

```

```

#CARGAR DATOS
tabla <- read.csv(paste0("10_incendios/frc_dns_", nm_sp, "_prv.csv"))

#ORDENAR TABLA
tabla <- tabla %>% arrange(desc(Frecuencia))

#TABLA
tabla %>%
  kbl() %>%
  kable_classic(full_width = F, font_size = 30, html_font = "Times New Roman") %>%
  column_spec(2, color = "white",
              background = spec_color(tabla$Frecuencia[1:paste0(nrow(tabla))], begin
= 0,
                                  end = 1, alpha = 0.9, direction = -1))%>%
  column_spec(3, color = "white",
              background = spec_color(tabla$Densidad[1:paste0(nrow(tabla))], begin =
0,
                                  end = 1, alpha = 0.9, direction = -1))%>%
  row_spec(0, bold = T, color = "black", font_size = 30)%>%
  save_kable(paste0("9_graficos/", nm_sp, "_FA_prv.png"))

```

Anexo 15. Script para la construcción de series temporales.

```

# 1. INSTALAR PAQUETES #####

install.packages("pacman")
install.packages("rgdal")
install.packages("ggplot2")
install.packages("forecast")
install.packages("rgeos")
install.packages("rmapshaper")
install.packages("GISTools")
install.packages("classInt")
install.packages("tidyverse")
install.packages("sf")
install.packages("cleangeo")
install.packages("sp")
install.packages("stringr")
install.packages("lubridate")
install.packages("chron")
install.packages("timsac")
install.packages("NPL")
install.packages("lattice")
install.packages("zoo")
install.packages("fcast")
install.packages("astsa")
install.packages("trend")
install.packages("tseries")

# 2. IMPORTAR LIBRERIAS #####

pacman::p_load(raster, rgdal, rgeos, stringr, sf, tidyverse, classInt, sp,
              maptools, cleangeo, rmapshaper, GISTools, dplyr, lubridate,

```



```
xts, timeSeries, tidyr, ggplot2, chron, plyr, iClick, timsac,  
forecast, trend, zoo, astsa, tseries, stats, gridExtra)
```

```
# 3. DIRECTORIO DE TRABAJO Y VARIABLES #####
```

```
getwd()
```

```
name_sp1 <- "Cabrilea canjerana"  
name_sp2 <- "Caryodaphnopsis theobromifolia"  
name_sp3 <- "Platymiscium pinnatum"  
name_sp4 <- "Platymiscium stipulare"  
name_sp5 <- "Swietenia macrophylla"
```

```
inc_sp1 <- "cc"  
inc_sp2 <- "ct"  
inc_sp3 <- "pp"  
inc_sp4 <- "ps"  
inc_sp5 <- "sm"
```

```
# 4. PREPARACION DE DATOS PARA GRAFICO #####
```

```
#CARGAR DATOS
```

```
files <- list.files(path= "2_vector/", pattern = "_01_18.shp$", full.names = T)  
shp_list <- lapply(files, st_read)  
shp_list[[1]]$geometry <- NULL  
shp_list[[2]]$geometry <- NULL  
shp_list[[3]]$geometry <- NULL  
shp_list[[4]]$geometry <- NULL  
shp_list[[5]]$geometry <- NULL
```

```
#INICIO Y FINAL DE SERIE TEMPORAL
```

```
inicio <- as.Date("2001-01-01")  
final <- as.Date("2021-12-01")  
data.rell <- data.frame(date_month=seq(floor_date(inicio, unit = "month"),  
                                     floor_date(final, unit = "month"),  
                                     by="month"))
```

```
##### SP 1 #####
```

```
df_sp <- 1  
nm_sp <- "cab_can"
```

```
# 5. CONTEO DE FUEGOS ACTIVOS #####
```

```
#FORMATO FECHA
```

```
shp_list[[df_sp]]$ACQ_DATE <- ymd(shp_list[[df_sp]]$ACQ_DATE)  
shp_list[[df_sp]]$date_month <- format(shp_list[[df_sp]]$ACQ_DATE, '%Y/%m')
```

```
#CONTEO
```

```
wf_data_sp <- shp_list[[df_sp]] %>%  
  dplyr::group_by(date_month) %>%  
  dplyr::summarise(wf_count = n())
```

```
# 6. RELLENO DE DATOS FALTANTES #####
```

```

#FORMATO FECHA
wf_data_sp$date_month <- ym(wf_data_sp$date_month)

#UNIR DATOS RELLENOS con WF Y RELLENO
data_wf_sp <- data.rell %>%
  group_by(month_rell = floor_date(date_month, unit = "month")) %>%
  left_join(wf_data_sp) %>%
  mutate(wf_count=ifelse(is.na(wf_count), 0, wf_count))

#GUARDAR TABLA
write.csv(data_wf_sp, paste0("10_incendios/wf_", nm_sp, "_ts.csv"),
          row.names = F)

# 7. SERIE TEMPORAL #####

#CARGAR DATOS
files <- list.files(path= "10_incendios/", pattern = "_ts.csv$", full.names = T)
csv_files <- lapply(files, read.csv, header = T)

#ST SP
ts_sp1 <- ts(csv_files[[1]]$wf_count, start=c(2001,01), end = c(2021,12),
             frequency = 12)
plot(ts_sp1)
ts_sp2 <- ts(csv_files[[2]]$wf_count, start=c(2001,01), end = c(2021,12),
             frequency = 12)
plot(ts_sp2)
ts_sp3 <- ts(csv_files[[3]]$wf_count, start=c(2001,01), end = c(2021,12),
             frequency = 12)
plot(ts_sp3)
ts_sp4 <- ts(csv_files[[4]]$wf_count, start=c(2001,01), end = c(2021,12),
             frequency = 12)
plot(ts_sp4)
ts_sp5 <- ts(csv_files[[5]]$wf_count, start=c(2001,01), end = c(2021,12),
             frequency = 12)
plot(ts_sp5)
# 8. ST PLOT #####

png("9_graficos/Ts_sp.png", width = 550, height = 575, units = "px")
par(mfrow=c(5,1))
tsplot(ts_sp1, main=list(paste0(name_sp1), cex=1.4), col="firebrick1", type="o",
       pch=20, ylab=list("Frecuencia", cex=1.4), xlab="")
tsplot(ts_sp2, main=list(paste0(name_sp2), cex=1.4), col="firebrick1", type="o",
       pch=20, ylab=list("Frecuencia", cex=1.4), xlab="")
tsplot(ts_sp3, main=list(paste0(name_sp3), cex=1.4), col="firebrick1", type="o",
       pch=20, ylab=list("Frecuencia", cex=1.4), xlab="")
tsplot(ts_sp4, main=list(paste0(name_sp4), cex=1.4), col="firebrick1", type="o",
       pch=20, ylab=list("Frecuencia", cex=1.4), xlab="")
tsplot(ts_sp5, main=list(paste0(name_sp5), cex=1.4), col="firebrick1", type="o",
       pch=20, ylab=list("Frecuencia", cex=1.4), xlab="")
dev.off()

# 9. DESCOMPOST (STL) #####

```

```

png(paste0("9_graficos/descp_", inc_sp1, ".png"), width = 600, height = 350,
     units = "px")
plot(stl(ts_sp1, "per"), main=list(paste0(name_sp1)))
dev.off()

png(paste0("9_graficos/descp_", inc_sp2, ".png"), width = 600, height = 350,
     units = "px")
plot(stl(ts_sp2, "per"), main=list(paste0(name_sp2)))
dev.off()

png(paste0("9_graficos/descp_", inc_sp3, ".png"), width = 600, height = 350,
     units = "px")
plot(stl(ts_sp3, "per"), main=list(paste0(name_sp3)))
dev.off()

png(paste0("9_graficos/descp_", inc_sp4, ".png"), width = 600, height = 350,
     units = "px")
plot(stl(ts_sp4, "per"), main=list(paste0(name_sp4)))
dev.off()

png(paste0("9_graficos/descp_", inc_sp5, ".png"), width = 600, height = 350,
     units = "px")
plot(stl(ts_sp5, "per"), main=list(paste0(name_sp5)))
dev.off()

# 10. CALCULO TENDENCIA #####

mk.test(ts_sp1)
mk.test(ts_sp2)
mk.test(ts_sp3)
mk.test(ts_sp4)
mk.test(ts_sp5)

# 11. MAGNITUD DE TENDENCIA #####

sens.slope(ts_sp1, conf.level = 0.95)
sens.slope(ts_sp2, conf.level = 0.95)
sens.slope(ts_sp3, conf.level = 0.95)
sens.slope(ts_sp4, conf.level = 0.95)
sens.slope(ts_sp5, conf.level = 0.95)

# 12. TENDENCIA ESTACIONALIDAD (PRUEBA) #####

smk.test(ts_sp1)
smk.test(ts_sp2)
smk.test(ts_sp3)
smk.test(ts_sp4)
smk.test(ts_sp5)

# 13. ESTACIONALIDAD (PRUEBA) #####

adf.test(ts_sp1) # p-value < 0.05 indicates the TS is stationary

```

```
adf.test(ts_sp2)
adf.test(ts_sp3)
adf.test(ts_sp4)
adf.test(ts_sp5)
```

14. PLOT ESTACIONALIDAD (PRUEBA)

```
seasonplot(ts_sp1, 12, col=rainbow(18), year.labels=T,
            main=paste0(name_sp1))
seasonplot(ts_sp2, 12, col=rainbow(18), year.labels=T,
            main=paste0(name_sp2))
seasonplot(ts_sp3, 12, col=rainbow(18), year.labels=T,
            main=paste0(name_sp3))
seasonplot(ts_sp4, 12, col=rainbow(18), year.labels=T,
            main=paste0(name_sp4))
seasonplot(ts_sp5, 12, col=rainbow(18), year.labels=T,
            main=paste0(name_sp5))
```

Anexo 16. Certificado de traducción del Resumen/abstract.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

María del Cisne Chicaiza Espinoza


Licenciada en Ciencias de la Educación: Mención Inglés

CERTIFICO

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen derivado de la tesis denominada: "**Estimación de los efectos de la deforestación e incendios forestales en la distribución potencial de especies forestales amenazadas del bosque húmedo ecuatoriano**" de autoría de Oscar Eduardo Ortega Ortiz, portador de la cedula de identidad: 1105774408, egresado de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, la misma que se encuentra bajo la dirección del Ing. Juan Maita Chamba Mg. Sc., previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que considere conveniente.

Loja, 20 de enero del 2022



.....
María del Cisne Chicaiza Espinoza

Licenciada en Ciencias de la Educación: Mención Inglés

C.I. 1104248882