



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**“MODELAMIENTO DE ECOSISTEMAS DE LA PROVINCIA
DE ZAMORA CHINCHIPE BAJO EL ESCENARIO IPCC –
AR5 – 6.0”**

Trabajo de Titulación previa a la obtención
del título de Ingeniera en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTORA:

Lizbeth Cristina Guamán Calva

DIRECTOR:

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 29 de septiembre de 2023

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“MODELAMIENTO DE ECOSISTEMAS DE LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE BAJO EL ESCENARIO IPCC –AR5 – 6.0”**, de autoría de la estudiante **Lizbeth Cristina Guamán Calva**, con **cédula de identidad Nro.1150425138**, previa a la obtención del título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**. 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.

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Lizbeth Cristina Guamán Calva**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y 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:



C.I.: 1150425138

Fecha: 08 de mayo de 2024

E-mail: lizbeth.guaman@unl.edu.ec

Teléfono: 0939081902

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

Yo **Lizbeth Cristina Guamán Calva**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **MODELAMIENTO DE ECOSISTEMAS DE LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE BAJO EL ESCENARIO IPCC – AR5 – 6.0** , como requisito para optar el Título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, 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 realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los ocho días del mes de mayo del dos mil veinticuatro.

Firma: 

Autora: Lizbeth Cristina Guamán Calva

Cédula: 1150425138

Dirección: Loja, Calles Bahía blanca y La razón

Correo electrónico: lizbeth.guaman@unl.edu.ec

Teléfono: 0939081902

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca, Mg.Sc

Co-director del Trabajo de Titulación: Ing. César Bernardo Benavidez Silva, PhD (c)

Dedicatoria

Con gran amor y admiración a mis padres José Guamán y Yadira Calva, por su apoyo incondicional que me brindan cada día, por su confianza en mí, por su amor y por su bondad infinita, por ser ejemplo de lucha e inspiración, gracias por haberme dado la vida.

A mi familia y amigos, gracias por brindarme su apoyo y motivación día a día.

Lizbeth Cristina Guamán Calva

Agradecimiento

Al culminar esta etapa de mi vida quiero agradecer Dios, por darme salud, fortaleza y perseverancia para poder cumplir una de mis metas.

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja especialmente a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, a todos los docentes que me guiaron a lo largo de la carrera.

Un agradecimiento especial al Ing. Oscar Juela, Mg.Sc, que me ha sabido guiar en mi trabajo de titulación con sus conocimientos, de la misma forma agradezco a el Ing. César Benavidez, co-director de este proyecto, por su apoyo y conocimientos compartidos durante este trabajo.

A mi familia y amigos gracias infinitas.

Lizbeth Cristina Guamán Calva

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Portada	I
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	5
4.1. Ecosistemas	5
4.1.1. Tipos de ecosistemas terrestres del Ecuador.....	6
4.1.2. Funciones y servicios ecosistémicos.....	6
4.1.3. Ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe	7
4.2. Cambio climático.....	8
4.2.1. Causas del cambio climático.....	9
4.2.2. Impacto del cambio climático sobre los ecosistemas.....	10
4.2.3. Escenarios del Cambio Climático	10
4.3. Modelamiento.....	10
4.3.1. Modelo Climático IPCC-Ar5 6.0	11
4.4. Calibración de los modelos.....	11
5. Metodología	12
5.1. Área de estudio.....	12
5.2. Diseño de la investigación.....	13

5.3. Metodología para modelar los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe..	15
5.3.1. Datos de presencia y ausencia.....	15
5.3.2. Variables bioclimáticas.....	16
5.4. Metodología para determinar las proyecciones que tomaron los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe	18
5.5. Análisis estadístico	18
6. Resultados	19
6.1. Generar modelos de distribución de ecosistemas con técnicas correlativas y así conocer la situación actual y futura en la provincia de Zamora Chinchipe	19
6.2. Determinar las trayectorias que tomarán los ecosistemas bajo el escenario climático IPCC – AR5 - 6.0 para el año 2080	20
7. Discusión	23
8. Conclusiones	27
9. Recomendaciones	28
10. Bibliografía	29
11. Anexos	35

Índice de tablas:

Tabla 1. <i>Ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe</i>	7
Tabla 2. <i>Técnicas para la modelación de ecosistemas / especies</i>	15
Tabla 3. <i>Variables bioclimáticas</i>	16
Tabla 4. <i>Variables de importancia</i>	20
Tabla 5. <i>Área de ganancias, pérdidas y persistencias de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe</i>	22

Índice de figuras:

Figura 1 <i>Mapa de ubicación geográfica de Zamora Chinchipe</i>	13
Figura 2 <i>Flujograma de la metodología seguida para la presente investigación</i>	14
Figura 3 <i>Modelos de distribución de ecosistemas para el escenario actual de la provincia de Zamora Chinchipe</i>	19
Figura 4 <i>Proyecciones futuras de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe</i> .	21

Índice de anexos:

Anexo 1. Correlación de Pearson.....	35
Anexo 2. Prueba del Jackknife.....	39
Anexo 3. Evaluaciones de los ensambles de los modelos mediante los Test ROC y TSS .	40
Anexo 4. Proyección futura de los ecosistemas	41
Anexo 5. Certificación del Abstract.....	50

1. Título

**“MODELAMIENTO DE ECOSISTEMAS DE LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE
BAJO EL ESCENARIO IPCC – AR5 – 6.0”**

2. Resumen

Los modelos de distribución de especies/ecosistemas normalmente se desarrollan utilizando datos de ubicación de ecosistemas relacionándolos con variables ambientales que influyen en la distribución de éstos. El cambio climático a lo largo de los años ha constituido un gran determinante en varios aspectos de la biodiversidad del mundo, la provincia de Zamora Chinchipe es poseedora de una gran diversidad de ecosistemas, los cuales se han visto amenazados por la tala indiscriminada, incrementando de esta manera los efectos del cambio climático. Esta investigación tiene como objetivo modelar los ecosistemas terrestres de la provincia de Zamora Chinchipe mediante enfoques correlativos de modelamiento para determinar su estado actual y futuro bajo el escenario climático IPCC – AR5 - 6.0. Para generar los modelos de distribución se utilizó la librería estadística Biomod2 v4.0 implementado en R Core Team, además mediante una base de datos de presencias y ausencias se realizó la modelación de los 18 ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe. Se utilizaron 19 variables bioclimáticas y 4 variables topográficas, realizando pruebas correlativas que permitieron eliminar la colinealidad de las variables para posteriormente realizar la proyección para el año 2080. Los resultados muestran que el ecosistema Bosque siempreverde montano bajo del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsBn02) tiene una superficie de 617.745,45 ha, es decir, se trata del ecosistema con mayor extensión en la provincia de Zamora Chinchipe, seguido del ecosistema Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) con una superficie de 287.582,96 ha. Contrario a ello, los ecosistemas con menor superficie de la provincia son el Arbustal siempreverde montano alto del Páramo del sur (AsAn01) con una superficie de 27604,62 ha y el Herbazal inundable del Páramo (HsSn04) que tiene una superficie de 16.198,22 ha, siendo este el ecosistema de menor superficie. Además, los modelos de distribución de ecosistemas mostraron que la probabilidad de la superficie actual, al ser comparada con las proyecciones futuras de cada ecosistema, tiene una probabilidad de pérdida superior al 50 % en la mayoría de los ecosistemas. Esto podría deberse a que algunos de los ecosistemas con grandes pérdidas de áreas se encuentran en los límites de Ecuador y Perú, por lo que al no utilizar variables bioclimáticas del país fronterizo no se pudo observar si los ecosistemas cambiarán o modificarán sus condiciones específicas para que las especies habiten los mismos a futuro.

Palabras clave: Ecosistemas, Distribución de ecosistemas, Escenarios de cambio climático, biodiversidad

2.1. Abstract

Species/ecosystem distribution models are normally developed using ecosystem location data relating them to environmental variables that influence their distribution. Climate change over the years has been a major determinant in various aspects of the world's biodiversity. The province of Zamora Chinchipe is home to a great diversity of ecosystems, which have been threatened by indiscriminate felling, increasing this way the effects of climate change. This research aims to model the terrestrial ecosystems of the province of Zamora Chinchipe through correlative modeling approaches to determine their current and future state under the IPCC – AR5 - 6.0 climate scenario. To generate the distribution models, the Biomod2 v4.0 statistical library was used, implemented in R Core Team, and the 18 ecosystems of the province of Zamora Chinchipe were also modeled using a database of presences and absences. 19 bioclimatic variables and 4 topographic variables were used, carrying out correlative tests that allowed the collinearity of the variables to be eliminated to subsequently carry out the projection for the year 2080. The results show that the low montane evergreen forest ecosystem of the South of the Eastern Cordillera of the Andes (BsBn02) has a surface area of 617,745.45 ha, that is, it is the ecosystem with the largest extension in the province of Zamora Chinchipe, followed by the Evergreen Montane Forest ecosystem of the South of the Eastern Cordillera of the Andes (BsMn02) with a surface of 287,582.96 ha. Contrary to this, the ecosystems with the smallest surface area in the province are the high montane evergreen shrubland of the Páramo del Sur (AsAn01) with a surface area of 27,604.62 ha and the Páramo floodplain grassland (HsSn04) which has an area of 16,198.22 ha. ha, this being the ecosystem with the smallest surface area. Furthermore, ecosystem distribution models showed that the current surface probability, when compared to future projections for each ecosystem, has a probability of loss greater than 50% in most ecosystems. This could be due to the fact that some of the ecosystems with large area losses are located on the borders of Ecuador and Peru, so by not using bioclimatic variables from the border country it was not possible to observe whether the ecosystems will change or modify their specific conditions so that the species inhabit the same ones in the future.

Keywords: Ecosystems, Distribution of ecosystems, Climate change scenarios, biodiversity

3. Introducción

Los recursos naturales son esenciales para la existencia y desarrollo de la vida; por lo tanto, el ser humano depende de éstos para solventar sus necesidades básicas (Varea, 2004). Sin embargo, la mala gestión de los recursos naturales ha provocado que los ecosistemas y especies de flora y fauna se encuentren constantemente amenazados (CEPAL, 2022). Las perturbaciones constantes hacia los medios naturales pueden alterar y cambiar la composición natural de los ecosistemas, influyendo también de forma negativa en los cambios de temperatura y precipitación provocados por los efectos del cambio climático (Atilio de la Orden, 2020). Ecuador es considerado uno de los países mega biodiversos del mundo debido a su diversidad de especies y gran variedad de ecosistemas. No obstante, debido a los modelos de desarrollo de cada ciudad, la deforestación, quemas continuas, tala ilegal de especies nativas, cambio climático y minería, ponen en riesgo esta biodiversidad, principalmente en zonas de la Amazonía Ecuatoriana (Bravo, 2014).

Un factor importante de la pérdida de biodiversidad en Ecuador y a nivel global es el cambio climático que actualmente es un problema de gran magnitud (Yáñez-Moretta et al., 2011). El cambio climático que se ha evidenciado en el país y principalmente en la región amazónica durante los últimos años, ha sido un factor determinante para deducir sobre los ecosistemas que se encuentran amenazados (Suárez-Duque et al., 2009). El acelerado cambio climático registrado en los últimos 30 años ha provocado numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de especies, lo que será un factor determinante para la variabilidad ecosistémica (Delgado y Suárez-Duque, 2009). Así mismo el cambio climático afecta los servicios generados por las áreas naturales, como es el caso de la reducción de la escorrentía e inundaciones, reducen la degradación del suelo o erosión hídrica, ayudan a contener los brotes de plagas, e incluso mitigan los efectos del cambio climático (Bovarnick et al., 2010).

En la provincia de Zamora Chinchipe existe una gran cantidad y variedad de ecosistemas que brindan servicios ecosistémicos al ser humano (Maldonado Ojeda, 2018), cuya afectación principal es la deforestación que se da en esta región (Apolo, 2010). Otro de los factores determinantes de la pérdida de ecosistemas en esta provincia es la minería ilegal, expansión agrícola y ganadera que contribuyen a que los efectos del cambio climático sean más

violentos, lo que afecta no solo a los ecosistemas sino también a las especies de flora y fauna que allí habitan (Cartuche Toledo, 2016).

Esta investigación es de importancia para la región sur del Ecuador, en especial para la provincia de Zamora Chinchipe, ya que brinda insumos necesarios en el ámbito ambiental, relacionado con la biodiversidad de los ecosistemas de esta región, instaurando las pautas para la toma de decisiones futuras, en relación al accionar de las instituciones que velan por el cuidado del ambiente y la mitigación del cambio climático (Benavidez-Silva et al., 2021). En la presente investigación se modelizaron los ecosistemas terrestres de la provincia de Zamora Chinchipe mediante enfoques correlativos para determinar su estado actual y futuro bajo el escenario climático IPCC – AR5 - 6.0, para lo que primero se generaron modelos de distribución de ecosistemas con técnicas correlativas y así conocer la situación actual y futura en la provincia de Zamora Chinchipe y determinar las posibles proyecciones en pérdidas o ganancias que tendrán los ecosistemas bajo el escenario climático IPCC – AR5 - 6.0 para el año 2080.

4. Marco Teórico

4.1. Ecosistemas

Un ecosistema está conformado por el conjunto de organismos que se encuentran relacionados íntimamente con los factores físicos en el medio ambiente y situado en un lugar determinado (Armenteras et al., 2016). En los ecosistemas existe una interacción entre los seres vivos y el ambiente físico en el tiempo y espacio determinados (Badii y Landeros, 2007). Desde una perspectiva de la filosofía estos ecosistemas no son unidades que sean discretas en la naturaleza que se puedan identificar simplemente usando un enfoque para su clasificación, según Tansley, quien fue uno de los primeros científicos en utilizar este término “cualquier propósito de definir o catalogar a los ecosistemas debería ser explícito para la asignación de una clasificación” (Willis, 1997) .

De manera que, los ecosistemas se consideran un elemento importante de la regulación climática (Valladares et al., s. f.), así mismo una parte fundamental de la supervivencia del ser humano, ya que brindan los servicios ecosistémicos (Mendoza et al., 2014). Sin embargo, algunos factores como el cambio de uso de suelo, la fragmentación de hábitats, etc., hace que

estos servicios sean explotados excesivamente, teniendo un impacto negativo en la composición de los ecosistemas (Medina et al., 2016).

4.1.1. Tipos de ecosistemas terrestres del Ecuador

Ecuador es considerado un país rico en biodiversidad, en el cual se puede encontrar una gran variedad tanto de especies (flora y fauna) como de ecosistemas (Barragán y Orcés, 2019). Existen algunos factores que determinan la existencia de gran diversidad de ecosistemas en Ecuador como la presencia de la cordillera de Los Andes, el callejón interandino, las corrientes marinas, la actividad volcánica, entre otros (Velásquez, 2014). La cantidad de ecosistemas y especies en nuestro país es impresionante, de forma que deben existir distintas condiciones dependiendo de cada región lo que hace que Ecuador sea conocido como un país Mega diverso (Mena, 2021), para referirse a los ecosistemas específicos de la Sierra Ecuatoriana, éstos cumplen algunas cualidades entre las que constan altitudes de 1000/1300 msnm, alta humedad en los ecosistemas, temperaturas cambiantes que varían entre 10 °C a 20 °C (Peralvo, 2019).

La gran diversidad de Ecuador también está relacionada con la combinación de factores geográficos, geológicos ecológicos y evolutivos, adicional a esto nuestro país se encuentra en el cinturón tropical de la Tierra haciéndolo una zona con un gran índice de productividad en el mundo (Burneo, 2009). Así mismo, el ser humano ha aprovechado la biodiversidad con la que Ecuador cuenta utilizando en la vida diaria los servicios eco sistémicos de los mismos (Maldonado y Moreno-Sánchez, 2023).

4.1.2. Funciones y servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios que pueden ser tangibles e intangibles que provienen de la naturaleza para el beneficio de los seres vivos. Estos, por lo general, son valorados económicamente con el fin de equiparlos con actividades económicas que implican cambios en los usos de suelo (Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de la Nación, 2007). Entre los servicios ecosistémicos o ambientales se puede citar la purificación del agua, mitigación de la sequía e inundaciones, desintoxicación y descomposición, polinización, control de plagas, mantenimiento de la biodiversidad, amortiguamiento de cambios climáticos, aprovisionamiento de belleza estética, entre otros (FAO, 2021).

Los servicios ecosistémicos, al ser una gran ayuda para el ser humano, pueden llegar a ser utilizados de manera excesiva, lo cual va a llevar a una reducción considerable de éstos (Maldonado y Moreno-Sánchez, 2023). Dicha reducción de servicios se verá derivada de la degradación de los ecosistemas de los que se obtienen, dándonos consecuencias ambientales (Meurer, 2017).

4.1.3. Ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe (2019), el Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes con 152.918,90 ha (18,41 %) es el ecosistema que ocupa mayor superficie en la provincia de Zamora Chinchipe, seguido del Bosque siempreverde montano bajo de las Cordilleras del Condor-Kutukú con 120.435,55 ha (15,50 %) y el Bosque siempreverde montano bajo del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes con 106.857,09 ha (12,87 %). A continuación, en la tabla 1, se detallan los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe, así como el área, porcentaje que cubre y su estado de fragilidad (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora, 2019).

Tabla 1
Ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Ecosistema	Área (ha)	Porcentaje (%)	Fragilidad
Bosque semideciduo piemontano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	9.663,11	1,16	Alta
Bosque siempreverde montano bajo Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	106.857,09	12,87	Alta
Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	152.918,90	18,41	Alta
Bosque siempreverde piemontano sobre afloramiento de roca caliza de las Cordilleras Amazónicas	16.124,04	1,94	Alta
Bosque siempreverde piemontano sobre las mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú	7.153,34	0,86	Alta
Herbazal del Páramo	25.587,42	3,08	Alta
Arbustal siempreverde y Herbazal montano de la Cordillera del Cóndor	19.832,89	2,39	Baja

Bosque siempreverde montano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú	77.373,09	9,32	Baja
Bosque siempreverde montano sobre masetas de arenisca de la Cordillera del Cóndor	17.685,52	2,13	Baja
Arbustal siempreverde y Herbazal del Páramo	42.104,69	5,07	Media
Bosque siempreverde montano alto del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	21.867,79	2,63	Media
Bosque siempreverde montano bajo sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú	31.713,62	3,82	Media
Bosque siempreverde montano alto del Catamayo-Alamor	3,26	0,00	Muy alta
Bosque siempreverde piemontano bajo de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú	120.554,78	14,50	Muy alta
Bosque siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú	101.554,78	12,23	Muy alta
Bosque siempreverde piemontano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes	79.343,49	9,55	Muy alta
Arbustal siempreverde montano alto del Páramo del Sur	210,42	0,03	Muy baja
Herbazal inundable del Páramo	153,27	0,02	Muy baja
Total	1.056.498,62	100,00	

Los ecosistemas montañosos y de páramo se ven afectados generalmente por las variaciones de temperatura o precipitación debido a su sensibilidad ante estos cambios (Carbajal Medina, 2021). Siendo, por ende, el cambio climático un determinante para la pérdida o disminución de los ecosistemas en Ecuador (Toulkeridis et al., 2020).

4.2. Cambio climático

El cambio climático puede ser ocasionado por causas naturales o por causas antropogénicas; este último se relaciona netamente con el uso de suelo o las actividades productivas que son la base para el desarrollo de los países (Borge et al., 2020). El ser humano es en parte, uno de los mayores contribuyentes del cambio climático, debido a que la industrialización ha afectado muchos aspectos de la cubierta terrestre a gran escala, pues las

diversas actividades humanas provocan altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que provoca un efecto de calentamiento sobre la superficie de la Tierra (García Fernández, 2011).

El cambio climático representa una amenaza global tanto para la biodiversidad como para los ecosistemas. Las especies están respondiendo al cambio climático de manera diferenciada, ya sea por medio de cambios en la morfología, comportamiento, fenología y en el rango de distribución geográfica. El cambio climático afecta a las especies de forma individual y conjunta, además, en la forma en que interactúan con otros organismos en sus habitantes, lo que altera la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, así como los bienes y servicios que éstos brindan (Díaz et al., 2019). Los servicios ecosistémicos son importantes para las personas; sin embargo, los cambios en las temperaturas afectan los mismos (Weiskopf et al., 2020).

En América Latina, una de las notables consecuencias del aumento de temperatura es la falta de humedad de los suelos (Aguirre et al., 2015). Es decir, influye también que las precipitaciones hayan disminuido, ya que la temperatura y la precipitación en conjunto forman un ambiente óptimo para el suelo y por ende para los ecosistemas y especies, especialmente para las especies de flora ya que estos factores interactúan fuertemente a través de la pérdida de agua por transpiración y las respuestas de los ecosistemas ante el cambio climático dependerán totalmente de los cambios futuros que la temperatura y la precipitación tengan (Colwell et al., 2008).

4.2.1. Causas del cambio climático

Poder observar un cambio o evolución en el clima dependerá de la suma de factores naturales y factores antropogénicos o humanos, especialmente los gases de efecto invernadero que representan un gran daño al ambiente (Useros, 2012). Algunos informes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) mencionan que entre 1970 y 2004, un aumento importante de emisiones provino de los sectores de suministros energético, creciendo notablemente la expansión urbana, así mismo la silvicultura y la agricultura (Díaz Cordero, 2012).

4.2.2. Impacto del cambio climático sobre los ecosistemas

Según Uribe Botero (2015) existe escasa información donde se observe los efectos del cambio climático sobre la flora y fauna del mundo y por ende sobre los ecosistemas de la Tierra. Siendo así, el cambio climático afecta los ecosistemas por medio de cambios en las condiciones medias y variabilidad climática, al interactuar con las presiones sobre los ecosistemas, incluyendo la degradación, y fragmentación (IPCC 2014).

El cambio climático puede provocar cambios en los ecosistemas terrestres, acuáticos y marítimos, lo que amenaza la biodiversidad a nivel global y pone en riesgo la producción mundial de alimentos. Los efectos del cambio climático sobre las características de los ecosistemas se centran en la diversidad biológica, redes tróficas o flujos de energía, ciclos de nutrientes o flujo de materiales o en diferentes comunidades ecológicas como: plantas terrestres, invertebrados en los sedimentos marinos y microorganismos del suelo. Esto ocasiona la pérdida de la biodiversidad terrestre y afecta también la capacidad de almacenamiento de carbono en los ecosistemas de forma directa o indirecta, por medio del cambio en el uso del suelo (Yadvinder et al., 2020).

4.2.3. Escenarios del Cambio Climático

Las proyecciones de concentración representativas (RCP), suelen contener un conjunto de predicciones de las emisiones y su concentración. Estos deben basarse en escenarios previamente publicados al respecto en términos de emisiones y sus concentraciones (Van Vuuren et al., 2011). Se conoce que existen cuatro RCP definidas por su forzamiento radiactivo total (Barredo, 2016). Estas trayectorias incluirán algunos escenarios de los cuales el escenario RCP 2.6 es de mitigación estricto, los RCP 4.5 y RCP 6.0 tienen un nivel intermedio, y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es el RCP 8.5, todo esto según el IPCC (2014).

4.3. Modelamiento

El modelamiento permite determinar patrones espaciales y temporales de distribución de organismos vivos, por lo tanto se han desarrollado métodos estadísticos y programas informáticos para predecir la distribución espacial de especies y ecosistemas (Guisan y Thuiller, 2005). Estos modelos predictivos de distribución de ecosistemas/especies han

transformado el campo de la biogeografía porque tienen la capacidad de predecir la ecología geoespacial tanto en el pasado como en el futuro (Mateo et al., 2011).

El Modelo de Nicho Ecológico (ENM) es un proceso de caracterización en una región definida (área de estudio), y se trata probablemente del método más adecuado para estimar la distribución geográfica real y potencial de especies. Los modelos predictivos de nicho ecológico, pueden usar métodos y datos que proporcionan predicciones óptimas, pero de la misma forma proporcionan poca información para explicar la relación entre las variables ambientales y la idoneidad ambiental. Por otro lado, los modelos de nicho orientados a explicar las variables ambientales, pueden producir información que muestre las interacciones entre las variables, aunque no necesariamente producirán las mejores predicciones geográficas (Peterson, 2006).

4.3.1. Modelo Climático IPCC-Ar5 6.0

En el quinto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se dedica exclusivamente a resumir los conocimientos científicos sobre el cambio climático a nivel global, donde se menciona que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y la influencia humana en el sistema climático es evidente. Además, está la información relacionada al cambio climático antropogénico y el calentamiento global continuo, la concentración de CO₂, el presupuesto del carbono, el aumento de la temperatura a futuro, la pérdida de nieve y hielo, el aumento del nivel de mar, la sensibilidad climática y el retraso del sistema climático. En conclusión, no existe falta de conocimiento, sino más bien la falta de acción (IPCC, 2014).

4.4. Calibración de los modelos

Se debe empezar definiendo lo que es la calibración de los modelos, que se refiere al análisis estadístico para buscar el mejor ajuste del modelo, lo que posteriormente se proyectará en el espacio geográfico, y dependerá totalmente de la técnica que se utilice (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Para la calibración existen distintas técnicas y softwares que permiten la evaluación e interpretación de los modelos de distribución de ecosistema / especies. Según Guisan y Thuiller (2005), es de gran ayuda utilizar un software que calibre de manera automática los modelos para un conjunto de distintas técnicas, como BIOMOD, este permitirá un mejor análisis de los resultados de las calibraciones de los modelos.

La calibración es el ajuste de los parámetros y constantes del modelo para incrementar la coherencia entre los datos de entrada y los resultados (Benito y Peñas, 2007). En este sentido, es posible influir en la calibración de los distintos modelos desde los datos de entrada, preparando convenientemente la muestra de localizaciones de la especie y seleccionando cuidadosamente las variables ambientales, y a través de los parámetros internos de cada algoritmo (Benito y Peñas, 2007).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

Esta investigación fue realizada en la provincia de Zamora Chinchipe ubicada entre la Cordillera del Cóndor y la selva Amazónica, se localiza entre los meridianos 79°30'07" W y 78°15'07" W de longitud Oeste y los paralelos 3°15'12" S y 5°05'12" S de latitud Sur, en la región Sur de la Amazonía Ecuatoriana. Limita al norte con la provincia de Morona Santiago y parte del Azuay, al sur y al este con Perú y al oeste con Loja. Zamora Chinchipe, ocupa una superficie de 10.752,03 km², posee una orografía montañosa única, que la distingue del resto de las provincias amazónicas y su capital es la ciudad de Zamora. Se encuentra a unos 970 m.s.n.m, entre la confluencia de los ríos Zamora, Bombuscaro y Jamboé. Esta provincia amazónica cuenta con 8 cantones, 9 parroquias urbanas y 22 parroquias rurales (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora, 2019).

Su temperatura media es de 22°C, su humedad relativa llega a superar el 78 %. Además, el índice ultravioleta (UV) es de 5 que es considerado un nivel alto de intensidad de radiación solar, mientras que la precipitación de la provincia es de 2000 mm/año (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora, 2019).

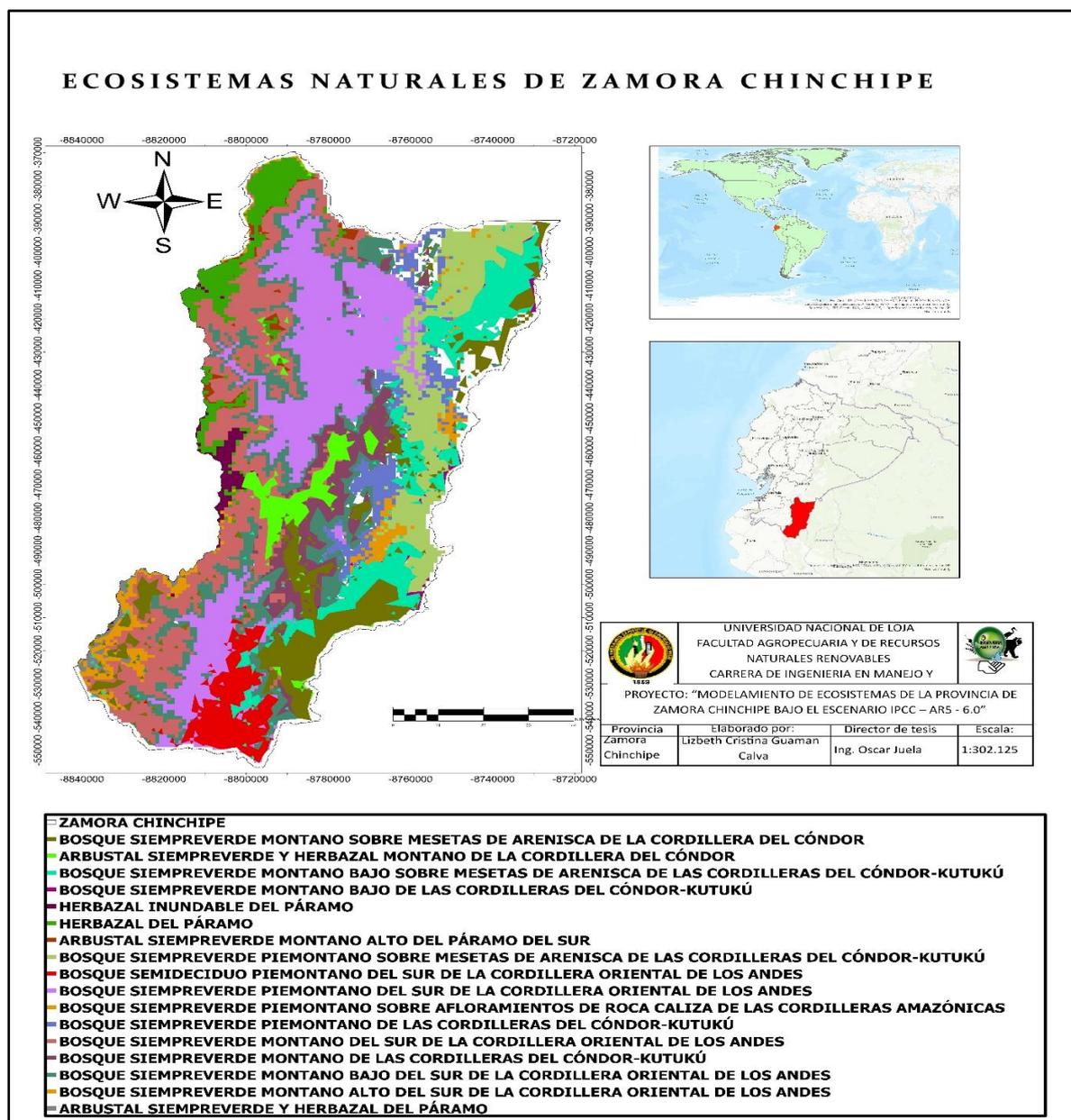


Figura 1
Mapa de ubicación geográfica de Zamora Chinchipe

5.2. Diseño de investigación

La presente investigación tiene un enfoque de correlación cuantitativa, donde se mide la relación entre dos o más variables cuantitativas, es decir, se relaciona la presencia de un ecosistema de la provincia de Zamora Chinchipe en específico, con las variables bioclimáticas y topográficas (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). El método utilizado en esta investigación tiene un enfoque no experimental, con el cual se analizó la correlación existente entre dos o

más variables (Mateo et al., 2011). Los modelos de distribución de ecosistemas se generaron a partir de dos tipos de fuentes de información: datos de presencia/ausencia de ecosistemas modelados y variables ambientales (Benavidez-Silva et al., 2021).

Los datos se tomaron de los 17 ecosistemas que conforman la zona de estudio, estos datos se los transformó a formato ráster y luego se procedió a convertirlos en un shapefile de puntos que contendrá toda la información sintetizada de cada ecosistema, considerando al centroide de cada pixel como el punto de presencia/ocurrencia (Benavidez-Silva et al., 2021). Se tomó en cuenta el esquema presentado en la Figura 2 para la obtención de los objetivos específicos los cuales permitieron el cumplimiento del objetivo general propuesto.

Se consideró la presencia y ausencia de los datos, los cuales fueron representativos del entorno y precisos para la escala de la investigación, así como las capacidades de la técnica y el modelo de análisis estadístico elegido (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). El criterio que se tomó en cuenta fue cantidad de datos, los cuales fueron mayores a 50 registros para que los modelos sean estadísticamente representativos.

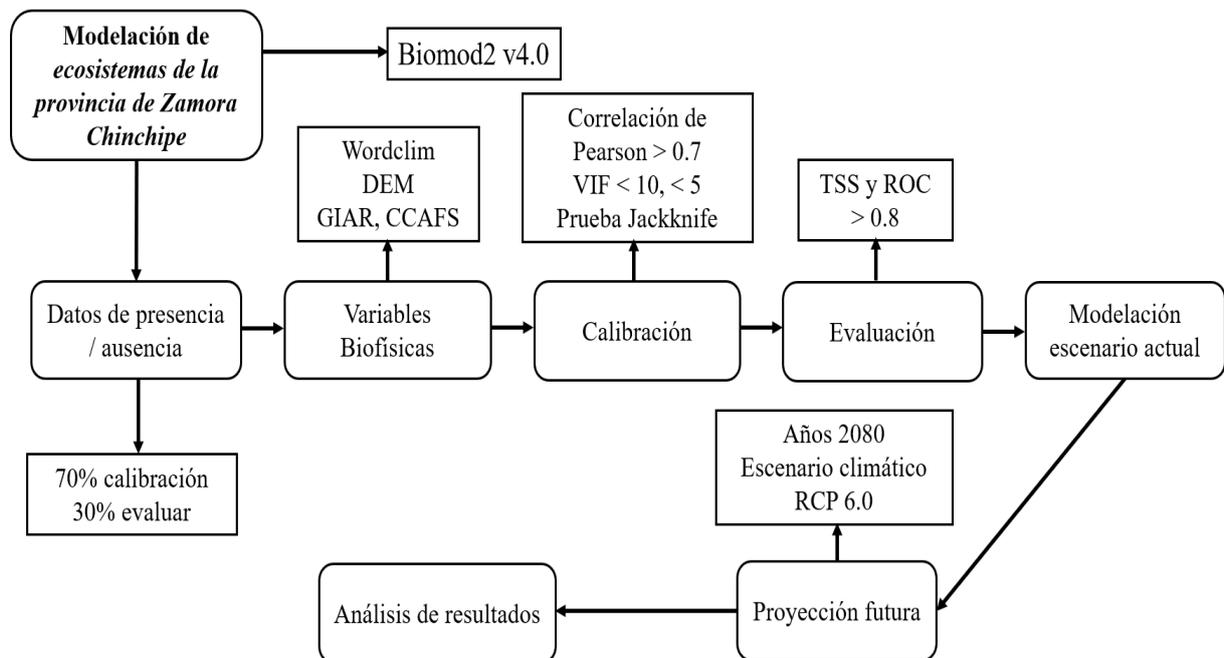


Figura 2
Flujograma de la metodología seguida para la presente investigación

5.3. Metodología para modelar los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Para el cumplimiento de este objetivo se utilizó Biomod2 v4.0 implementado en el software R Core Team 2021, cuya librería permitió ejecutar 10 modelos (Tabla 2). Se utilizaron los modelos que mostraron una evaluación individual (ROC y Kappa) superior a 0.8 (Benavidez-Silva et al., 2021). Para el modelamiento se consideraron tres etapas: calibración, simulación y validación (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

Tabla 2

Técnicas para la modelación de ecosistemas / especies

Métodos de modelación presentes en BIOMOD2	
Técnica	Nombre
ANN	Artificial Neural Networks
SER	Surface Range Envelop or usually called BIOCLIM
CTA	Classification Tree Analysis
FDA	Flexible Discriminant Analysis
GAM	Generalized Additive Models
GBM	Generalized Boosting Model or usually called Boosted Regression Trees
GLM	Generalized Lineal Models
MARS	Multivariate Adaptive Regression Splines
MAXENT PHILLIPS	Maximum Entropy
RF	Random Forest

Fuente. Thuiller et al., (2016).

Nota: La Tabla 2 muestra los métodos/técnicas utilizadas para el modelamiento de ecosistemas

5.3.1. Datos de presencia y ausencia

Los datos de presencia de los ecosistemas se obtuvieron a partir de las observaciones que dispone el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Para realizar la modelación de los 17 ecosistemas se obtuvo un vector que contiene los ecosistemas de la región sur del Ecuador, de los cuales para esta investigación se consideraron únicamente los ecosistemas que se encuentran dentro de la superficie de la provincia de Zamora Chinchipe. Mediante el software Qgis v3.14, se generó una malla de 10 000 puntos los cuales fueron

considerados como pseudoausencias. Además, los puntos de presencia para los ecosistemas pequeños tuvieron una base mínima de 50 puntos mientras que para los ecosistemas grandes se tuvo una base de 200 puntos.

Para la generación de los modelos de distribución con los datos de presencia y ausencia que se obtuvo, se creó un archivo CSV, donde se especificaron tres campos: nombre del ecosistema, longitud (X) y latitud (Y). El nombre del ecosistema para las presencias se representó con el número 1 y las ausencias con el número 0 y las coordenadas longitud (X) y coordenadas latitud (Y), fueron expresadas en el sistema de coordenadas geográficas WGS 84.

5.3.2. Variables bioclimáticas

Las variables bioclimáticas (Tabla 3) que se utilizaron permitieron representar la distribución de los ecosistemas en lo que sería el espacio geográfico y el espacio climático de cada ecosistema estudiado (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

Tabla 3
Variables bioclimáticas

	Variables Bioclimáticas	Unidades
BIO1	Temperatura media anual	°C
BIO2	Rango medio de temperatura diurna	°C
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$)	%
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)	
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
BIO9	Temperatura media del cuarto más seco	°C
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C
BIO11	Temperatura media del cuarto más frío	°C
BIO12	Precipitación anual	Mm
BIO13	Precipitación del mes más húmedo	Mm
BIO14	Precipitación del mes más seco	Mm

BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	%
BIO16	Precipitación del cuarto más húmedo	Mm
BIO17	Precipitación del cuarto más seco	Mm
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido	Mm
BIO19	Precipitación del cuarto más frío	Mm

Fuente: worldclim.org

Nota: En la Tabla 3 se muestran las variables necesarias utilizadas para modelar cada ecosistema de la provincia de Zamora Chinchipe.

5.3.3. Calibración y evaluación de los modelos

Para la realización del modelo de distribución se combinó los registros de presencias y ausencias de cada ecosistema con las variables bioclimáticas y topográficas. Para esto se realizó un análisis de correlación de Pearson con la finalidad de seleccionar las variables explicativas, para seguidamente realizar la validación de datos. Luego, mediante la ejecución de un algoritmo, se utilizó las 10 técnicas de modelación (Tabla 2) que Biomod2 ofrece con la finalidad de obtener modelos más robustos y de mejor calidad al momento de realizar los ensambles finales. Adicionalmente se realizó la prueba de Jackknife que analizó las contribuciones individuales de cada variable para los 18 ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe de manera individual.

Para la evaluación de cada modelo en la etapa de simulación, se implementaron dos métodos: i) El Área Bajo la Curva (ROC, por sus siglas en ingles) y ii) Verdadero Estadístico de Habilidad (TSS, por sus siglas en ingles), para lo que se utilizó el 70 % de los registros totales de presencia para la calibración y el 30 % para la evaluación de los modelos. Los valores de las salidas tanto de ROC como de TSS debían mostrar valores superiores a 0.8 en cada técnica de evaluación donde aquellos modelos que no superaron este umbral, fueron descartados para la construcción de los ensambles finales.

Mediante el estadístico ROC es posible calcular la sensibilidad y especificidad de los valores de las ocurrencias de la especie/ecosistema al interceptar las presencias con las capas de cada uno de los modelamientos obtenidos (Yáñez-Cajo et al., 2015). Para esto tenemos la siguiente formula:

$$\text{TSS} = \text{TPR (sensibilidad)} + \text{TNR (especificidad)} - 1$$

esta va variar de -1 a $+1$, donde valores cercanos a $+1$ indica concordancia perfecta y valores de cero o menor indican un desempeño no mejor que el aleatorio (Allouche et al., 2006; Ruete y Leynaud, 2015).

5.4. Metodología para determinar las proyecciones que tomaron los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Para determinar las trayectorias que probablemente ocurran a futuro bajo el escenario climático 6.0, se utilizó el software R Studio para la generación de los modelos de distribución de cada ecosistema de la provincia de Zamora Chinchipe. Aquí se implementó un umbral específico que permitió identificar los valores inferiores al umbral como ausencia y valores superiores al umbral fueron considerados como presencias. Se realizó un ensamble de todos aquellos modelos que superaron el umbral de 0.8 en los Test ROC y TSS, lo que permitió obtener mejores resultados. Posteriormente se modeló la distribución de cada ecosistema al año 2080 bajo el escenario climático RCP 6.0, luego de obtener estas proyecciones se utilizó el software Qgis v3.14 para poder realizar el conteo de persistencias, pérdidas y ganancias de cada ecosistema, para seguidamente realizar un gráfico que permita visualizar estos datos por ecosistema.

5.5. Análisis estadístico

Con la finalidad de eliminar la multicolinealidad y sobre ajuste de los modelos se implementaron dos procedimientos para elegir las variables explicativas de la distribución de los ecosistemas presentes en la provincia de Zamora Chinchipe. El primer método utilizado fue por medio del procedimiento de correlación de Pearson por pares de variables con un umbral de 0.7, eliminando aquellas variables que superaron este umbral. Y el segundo método que se implementó fue el Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés) el cual proporciona una medida que permite estimar las variables menos colineales, dicho valor debe ser $VIF < 10$ en primera instancia y $VIF < 5$ en un segundo análisis. Con estos dos análisis se logró elegir las variables bioclimáticas y topográficas que permitieron explicar de mejor manera la distribución actual y futura de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe bajo el escenario de cambio climático AR5 – RCP 6.0.

6. Resultados

6.1. Generar modelos de distribución de ecosistemas con técnicas correlativas y así conocer la situación actual y futura en la provincia de Zamora Chinchipe

La provincia de Zamora Chinchipe tiene una gran diversidad ecosistémica la cual al ser modelada se evidenció la situación actual de los mismos. Al realizar la metodología propuesta para el primer objetivo se observó la superficie actual (modelada) la misma se muestra en la figura 3.

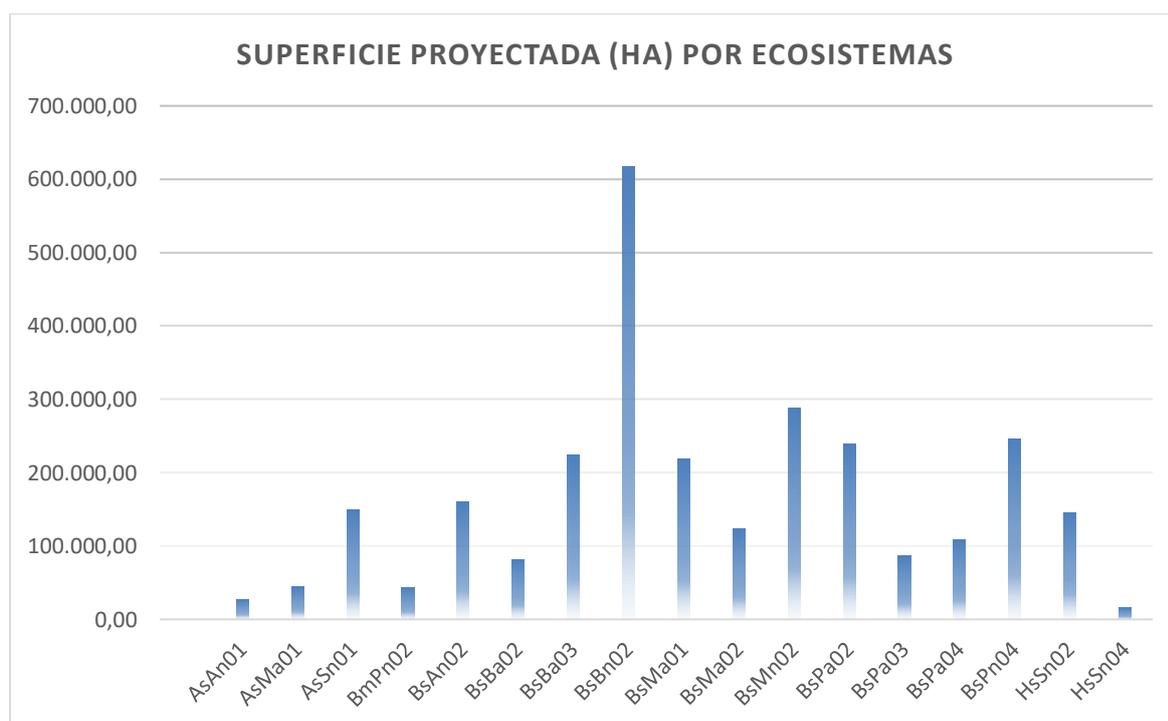


Figura 3

Modelos de distribución de ecosistemas para el escenario actual de la provincia de Zamora Chinchipe

El ecosistema Bosque siempreverde montano bajo del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsBn02) tiene una superficie de 617.745,45 ha, es decir, se trata del ecosistema con mayor extensión en la provincia de Zamora Chinchipe, seguido del ecosistema Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsMn02) con una superficie de 287.582,96 ha. Por otro lado, los ecosistemas con menor superficie de la provincia de Zamora Chinchipe fueron el Arbustal siempreverde montano alto del Páramo del sur (AsAn01), con una superficie de 27.604,62 ha y el Herbazal inundable del Páramo (HsSn04)

que tiene una superficie de 16.198,22 ha, siendo este el ecosistema con menor superficie de la provincia. En la tabla 4 se muestran las variables biofísicas con mayor importancia para cada ecosistema, siendo las variables del rango anual de temperatura (Bio 7), la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18), sombreado de laderas (hillshade) y pendiente (slope), las variables más representativas en los 17 ecosistemas modelados de la provincia de Zamora Chinchipe.

Tabla 4
Variables de importancia para cada ecosistema

ECOSISTEMAS DE ZAMORA CHINCHIPE	Variables Biofísicas																						
	Bio 1	Bio 2	Bio 3	Bio 4	Bio 5	Bio 6	Bio 7	Bio 8	Bio 9	Bio 10	Bio 11	Bio 12	Bio 13	Bio 14	Bio 15	Bio 16	Bio 17	Bio 18	Bio 19	DEM	ASPECT	HILLSHA	SLOPE
AsAn01							+		+			+						+			+		+
AsMa01				+			+							+	+				+		+	+	+
AsSn01				+			+		+			+							+		+	+	+
BmPn02		+	+	+										+				+					+
BsAn02				+			+					+						+		+	+		+
BsBa02	+	+					+					+						+			+		+
BsBa03		+					+	+										+			+	+	+
BsBn02		+		+					+					+				+					+
BsMa01		+								+			+					+					+
BsMa02			+				+		+						+			+	+				+
BsMn02				+			+					+		+				+		+	+		+
BsPa02		+					+	+						+	+			+			+	+	+
BsPa03				+			+								+			+		+		+	+
BsPa04		+					+				+				+			+	+		+		+
BsPn04		+	+						+			+						+					+
HsSn02				+			+					+		+				+		+		+	+
HsSn04		+	+		+								+					+					+

6.2. Determinar las trayectorias que tomarán los ecosistemas bajo el escenario climático IPCC – AR5 - 6.0 para el año 2080

Los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe, en su mayoría están fragmentados, los cuales tienen mayor posibilidad de sufrir una pérdida en superficie total a futuro; en consecuencia, la pérdida de áreas de los ecosistemas conllevaría en la disminución de las poblaciones de especies tanto de flora como de fauna, así como de sus hábitats naturales.

Luego de que los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe fueron modelados, se obtuvieron los siguientes datos: el ecosistema Bosque Siempreverde Montano Bajo del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsBn02) tiene un alto porcentaje de ganancia en área modelada, aunque así mismo tiene un porcentaje alto de pérdida de superficie, mientras que el ecosistema Bosque Siempre verde piemontano de las Cordilleras Del Cóndor-Kutukú (BsPa02) tienen el mayor porcentaje de persistencia en lo que respecta al año 2080 con respecto a la distribución del escenario actual.

Se debe tomar en cuenta que los ecosistemas fueron modelados tres veces; para la primera modelación se consideraron las variables biofísicas para la zona sur del Ecuador y en las dos siguientes modelaciones se consideraron variables biofísicas a nivel global, con diferentes extensiones de superficie. Es así que las ganancias se consideraron como presencias en otros países/ciudades.

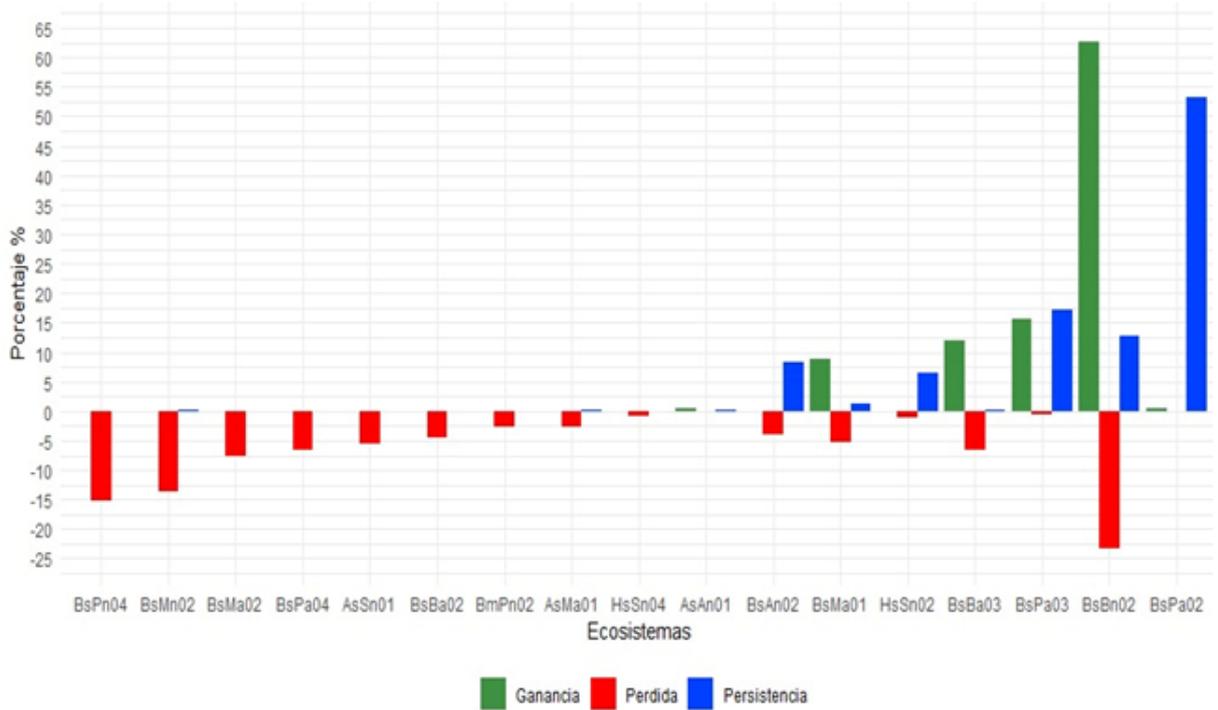


Figura 4
Proyecciones futuras de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Por otro lado, con las superficies proyectadas y datos en porcentajes de pérdidas y ganancias se realizó una tabla con las respuestas del movimiento y del rango de cambio de la dirección de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe a futuro.

Al observar el rango de cambio de los 17 ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe se puede decir que estos ecosistemas son bastante vulnerables con respecto al escenario con el que se trabajó, y pese a que se modeló un tres veces el mismo escenario, la proyección de posibles pérdidas es notable en los porcentajes presentados en la Tabla 5. La vulnerabilidad de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe es notable frente a los efectos del cambio climático bajo el escenario AR5 – RCP 6.0 tanto para el escenario actual como hacia el futuro (año 2080). Por tanto, existe la probabilidad que bajo el escenario climático AR5 – RCP 6.0, la fragmentación de los ecosistemas sea aún mayor.

Tabla 5

Área de ganancias, pérdidas y persistencias de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe

Formación Vegetal	Superficie proyectada (Ha)	Persistencias (Ha)	Ganancias (Ha)	Pérdidas (%)	Rango de cambio (%)	Dirección RCP 6.0 2080
AsAn01	27.604,62	724,64	12538,69	0,92	12537,77	● ↑ ↓
AsMa01	44.611,70	1.091,88	7,32	97,55	-90,24	↓
AsSn01	149.940,22	0	0,39	60,55	-60,16	↓
BmPn02	43.906,23	0	0,00	100,00	-100,00	
BsAn02	160.127,60	37.044,00	39,60	39,36	0,24	● ↘
BsBa02	81.988,50	0	192,82	91,04	101,78	↖ ↑
BsBa03	224.462,06	913,7055384	41789,90	48,52	41741,37	↖ ↓ →
BsBn02	617.745,45	58.058,81	79009,97	61,36	78948,61	↗ ↓
BsMa01	218.201,69	5.163,50	31588,88	38,70	31550,18	↖ →
BsMa02	123.830,30	0	0,09	100,00	-99,91	●
BsMn02	287.582,96	1365,117857	0,00	77,83	-77,83	●
BsPa02	239.548,20	240.742,18	1106,25	0,00	1106,25	↓
BsPa03	86.202,16	78.275,22	141902,28	9,20	141893,08	↑ →
BsPa04	108.900,75	85,22271303	168,17	99,92	68,25	● →
BsPn04	246.391,45	0	0,00	100,00	-100,00	
HsSn02	145.013,82	29.434,49	17,87	12,80	5,07	● ↓
HsSn04	16.198,23	0	112,10	73,59	4149.32	↓

Nota: Tonos cálidos (color rojo) indican contracción de la distribución futura y los tonos fríos (color azul) indican expansión. Color verde indica estabilidad de la distribución futura. Las flechas señalan la dirección del movimiento de la distribución futura y el círculo cuenta la estabilidad del ecosistema.

7. Discusión

Los resultados expuestos en la presente investigación muestran que bajo un contexto de cambio climático bajo el escenario climático IPCC AR5 – RCP 6.0, existe la probabilidad de tener efectos adversos en la distribución potencial actual y futura (2080), de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe. Según Vaca y Jaramillo (2019), la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2014 tuvo distintos ecosistemas ocupados por remanentes de vegetación de tipo bosque nativo con 67,46 %, en segundo lugar la cobertura pastizal con 22,23 % y con un 6,94 % se encuentra la cobertura de páramo. Finalmente, con un valor relativamente bajo se encuentran las demás categorías con apenas un 3,37 % de cobertura.

Una prueba de este escenario climático IPCC AR5 – RCP 6.0 se refleja en investigaciones donde se asegura que los ecosistemas también se ven sometidos a diversas presiones del ambiente, tales como variaciones en los cambios de temperatura y humedad que generalmente delimitan la distribución de las especies y de los ecosistemas (Thuiller, 2007). Este problema se puede ver agravado debido a la tala indiscriminada de especies vegetales que afectará en gran medida los ecosistemas terrestres en Ecuador (Aguirre Mendoza, 2018).

La vulnerabilidad de los ecosistemas frente al cambio climático se debe a los cambios en la temperatura y precipitación, esto ligado a los asentamientos humanos y demás actividades que conllevan a la fragmentación de un área natural o ecosistema (Rodríguez-Pacheco et al., 2021). Lo descrito concuerda con la presente investigación en donde se menciona que las variables biofísicas con mayor importancia para cada ecosistema son el rango anual de temperatura (Bio 7), la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18), sombreado de laderas (hillshade) y pendiente (slope), es decir, éstas son las variables más representativas en los 17 ecosistemas modelados de la provincia de Zamora Chinchipe. De acuerdo con la investigación de Poma (2023) un factor de importancia a mencionar es que las distintas variables bioclimáticas están en función de la temperatura (Bio1) y de la precipitación (Bio12), por lo que un cambio significativo en éstas, alteraría las demás variables. En Latinoamérica los ecosistemas sometidos a diferentes cambios de temperatura y precipitación se ven afectados en gran magnitud, alterando sus funciones ecosistémicas como: el secuestro y almacenamiento de carbono, la modelación de fenómenos naturales, el tratamiento de aguas residuales, la prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo, el control de plagas, la polinización y regulación de los flujos de agua, la conservación de la flora y fauna (Balvanera

et al., 2017). Para América del Sur los bosques son los ecosistemas que más afectados y vulnerables se encuentran, así mismo, éstos tienen menos capacidades de adaptarse al cambio climático que las sabanas y pastizales (Anjos y Toledo, 2018).

En Latinoamérica, uno de los efectos más relevantes del cambio climático es el decrecimiento de la humedad del suelo debido al incremento de temperatura y disminuciones en las tasas de precipitación anuales, lo que podría traer como consecuencia la transformación de los bosques tropicales-amazónicos por sabanas (Aguirre et al., 2015). Y de acuerdo con Seppälä et al. (2009), quienes señalan que los ecosistemas forestales serán potencialmente afectados en su capacidad para generar bienes y servicios ecosistémicos, mismos que son fundamentales para el ser humano, así como para la conservación de la biodiversidad de plantas y animales. Por otro lado, los modelos de distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe bajo el escenario climático IPCC AR5 – RCP 6.0 indican que existe una alta probabilidad de que el ecosistema Bosque Siempreverde Montano Bajo del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsBn02) tenga una ganancia en área, aunque así mismo tiene un porcentaje alto de pérdida de superficie, mientras que el ecosistema Bosque Siempreverde piemontano de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú (BsPa02) posee una mayor probabilidad de persistencia en superficie que respecta al año 2080 con respecto a la distribución del escenario actual.

La alta probabilidad de pérdida en área de los ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe ocurre en mayor medida en el Bosque semidecídulo piemontano del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BmPn02) con un 100 %, así mismo con 99,92 %, en el Bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú (BsPa04), el Arbustal siempreverde y herbazal montano de la Cordillera del Cóndor (AsMa01) con 97,55 % y Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Andes (BsMn02) con 77,83 %. Estas pérdidas en los modelos de distribución potencial presentados en la presente investigación son ratificadas por Seppälä et al. (2009), quienes manifiestan que el clima es un gran determinante en la expansión, contracción y fragmentación de los ecosistemas; sin embargo, los ecosistemas que pueden verse afectados en mayor medida, es decir, los ecosistemas vulnerables, serían los situados en los extremos altitudinales como los páramos y zonas naturales de las tierras bajas. Frente a un escenario de incremento de temperatura, las especies de las regiones de menores altitudes, tenderán a migrar a altas

elevaciones (p.ej. los páramos) con la posibilidad de mover a otras especies que no tendrían un ecosistema más frío al cual migrar (Aguirre et al., 2015).

De manera que los resultados obtenidos en esta investigación muestran la pérdida total de algunos ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe, como el Bosque semidecidual piemontano del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BmPn02) con 100 % y una pérdida casi total de algunos ecosistemas como el Bosque siempreverde piemontano sobre mesetas de arenisca de las Cordilleras del Cóndor-Kutukú (BsPa04) con 99,92 % y el ecosistema Arbustal siempreverde y herbazal montano de la Cordillera del Cóndor (AsMa01) con 97,55 %, existiendo una alta probabilidad de que los efectos del cambio climático sean significativos hacia el futuro bajo el escenario climático IPCC AR5 – RCP 6.0: sin embargo, se debe considerar las variables bioclimáticas pertenecientes a la zona geográfica del Perú, ya que los ecosistemas que tienden a perder mayor superficie son aquellos que están en las fronteras con el país vecino hacia el sur del Ecuador. Lo que quiere decir que existe la probabilidad de que aquellos ecosistemas que se encuentran en zonas fronterizas se expandan hacia zonas peruanas debido a las variaciones climáticas que existen al considerar el escenario climático IPCC AR5 – RCP 6.0.

Por otro lado según Aguirre et al. (2015) en Ecuador los contenidos de biomasa de bosques semideciduals y el bosque húmedo tropical serían los más impactados en un contexto de pérdida por cambio climático, más que nada esos que están localizados en la parte alta de El Oro (Piñas, Portovelo, Zaruma), en el centro norte de Loja (Paltas) y el sector norte y sur de Zamora Chinchipe (El Pangui, Yantzaza, Chinchipe y Palanda).

Las variables ambientales empleadas en los modelos de distribución de ecosistemas de la provincia de Zamora Chinchipe fueron 4 topográficas y 19 bioclimáticas, siendo los predictores más utilizados en los modelos de distribución de especies / ecosistemas (Miller, 2010). Debido a que las 19 variables bioclimáticas descargadas están correlacionadas entre sí, se procedió a eliminar la autocorrelación espacial mediante un análisis de multicolinealidad (Manzanilla-Quñones et al., 2019), para de esta forma descartar aquellas variables con un coeficiente de correlación mayor o igual a 0.70, lo que permitió maximizar la contribución de las variables en los modelos de distribución de ecosistemas. Es así que en la presente investigación las variables que mayormente contribuyeron a la generación de los modelos de

distribución de ecosistemas actual y futura para la provincia de Zamora Chinchipe fueron la BIO 18 (precipitación del trimestre más cálido), BIO 7 (rango anual de temperatura, BIO 5-BIO6), BIO 2 (rango medio de temperatura diurna) y la BIO 4 (estacionalidad de la temperatura), descartando BIO 17 (precipitación del cuarto más seco) por su alto grado de colinearidad y debido a que la provincia de Zamora Chinchipe posee una temperatura media anual de 22 °C con un alto índice de lluvias comparado con el resto de país y de la región amazónica, la humedad de esta provincia es constante llegando a superar el 78 %, siendo poco probable que se registren trimestres secos o de sequía.

Los resultados de la evaluación de la capacidad predictiva de las técnicas de modelación, obtuvieron valores mayores a 0.80 con un buen desempeño y con un alto grado de concordancia dentro del test TSS (Allouche et al., 2006; Ruete y Leynaud, 2015). Y para el test ROC de igual forma todos los modelos obtuvieron valores superiores a 0.80. Esto indica que los modelos generados bajo el índice ROC, se clasifica como “buenos” con gran capacidad predictiva (Mateo et al., 2012; Yáñez-Cajo et al., 2015). Estos resultados indica que el rendimiento de los modelos para representar la distribución potencial de los ecosistemas de Zamora Chinchipe para el período y para el año 2080 bajo el escenario climático RCP 6.0, es bastante bueno, por lo que existe una alta probabilidad de que se obtuvieron resultados acordes a la realidad.

En el presente estudio no se tomó en cuenta el uso de suelo existente en la provincia de Zamora Chinchipe; sin embargo, al realizar la revisión bibliográfica se podría denotar que este componente influiría en los resultados, ya que, en Zamora Chinchipe la deforestación es el principal causante de la pérdida de ecosistemas; esto, sumado al cambio climático serían un gran detonante de pérdida de ecosistemas en toda el área (Cartuche Toledo, 2016).

8. Conclusiones

- Los modelos para la actualidad muestran ecosistemas altamente fragmentados, lo que influye directamente en su proyección a futuro. El ecosistema Bosque siempreverde montano bajo del Sur de la Cordillera Oriental de los Los Andes (BsBn02) tiene una superficie de 617.745,45 ha, seguido del ecosistema Bosque siempreverde montano del Sur de la Cordillera Oriental de los Los Andes (BsMn02) con una superficie de 287.582,96 ha. Por otro lado, los ecosistemas con menor superficie de la provincia de Zamora Chinchipe son fueron el Arbustal siempreverde montano alto del Páramo del sur (AsAn01), con una superficie de 27.604,62 ha y el Herbazal inundable del Páramo (HsSn04) que tiene una superficie de 16.198,22 ha, siendo este el ecosistema con menor superficie de la provincia. Además, de acuerdo a las variables biofísicas se puede determinar que las variables del rango anual de temperatura (Bio 7), la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18), sombreado de laderas hillshade (hillshade sombreado de laderas) y pendiente SLOPE (pendienteslope), las variables más representativas en los 17 ecosistemas modelados de la provincia de Zamora Chinchipe.
- El área de distribución potencial bajo el escenario climático RCP 6.0 para los años 2080, con respecto a la distribución actual mostró que la probabilidad de pérdidas es mayor al 60 %, con muy bajos porcentajes de ganancias y persistencias. De esta forma, el ecosistema Bosque Siempreverde Montano Bajo del Sur de la Cordillera Oriental de Los Andes (BsBn02) tiene un porcentaje alto de pérdida de superficie, mientras que el ecosistema Bosque Siempre verde piemontano de las Cordilleras Del Cóndor-Kutukú (BsPa02) tienen el mayor porcentaje de persistencia en lo que respecta al año 2080 con respecto a la distribución del escenario actual.

9. Recomendaciones

- Monitorizar la biodiversidad a largo plazo, porque esta variable puede contribuir como una herramienta que permita proporcionar información relevante sobre los diversos cambios que se producirán en los ecosistemas a largo plazo, y de esta forma proporcionar una alerta sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas ante cambios significativos.
- Desarrollar investigaciones donde se correlacionen las variables climáticas con los ecosistemas, bajo la perspectiva del cambio climático, permitiendo realizar proyecciones considerando diversos escenarios.
- Por otro lado, se debería analizar lo que sucede con los ecosistemas que pierden una gran superficie al ser modelados al futuro ya que éstos podrían cambiar sus condiciones habituales necesarias para que las especies lo habiten, dando lugar a nuevos ecosistemas.

10. Bibliografía

- Aguirre Mendoza, Z. (2018). Estructura y composición florística del bosque siempreverde montano bajo de la parroquia San Andrés, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3), 923-938. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25306>
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., y Aguirre, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Aguirre, N., Ojeda, T., Eguiguren, P., & Aguirre, Z. (2015). *Cambio climático y Biodiversidad: Estudio de caso de los páramos del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*. Programa de biodiversidad y servicios Ecosistémicos. Universidad Nacional de Loja. <https://redgloria.condesan.org/recursos/cambio-climatico-biodiversidad-estudio-del-caso-los-paramos-del-parque-nacional-podocarpus-ecuador/#>
- Allouche, O., Tsoar, A., y Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Anjos, L. J. S., y Toledo, P. M. (2018). Measuring resilience and assessing vulnerability of terrestrial ecosystems to climate change in South America. *PLoS ONE*, 13(3), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194654>
- Apolo, W. (2010). Investigación para proveer servicios ecosistémicos a la provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 1.
- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., y Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como «unidad de la naturaleza» 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25(1), 83-89. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12>
- Atilio de la Orden, E. (2020). Los Recursos Naturales – Degradación de Ecosistemas. *Científica Universitaria*, 1, 24.

- Badii, P. D. M. H., y Landeros, J. (2007). *CULCyT // Ecología Papel de los Ecosistemas en la Sustentabilidad*. 21, 19-28.
- Balvanera, P., Astier, M., Gurri, F. D., & Zermeño-Hernández, I. (2017). Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Barragán, M. E., & Orcés, G. (2019). *Análisis de la biodiversidad en Ecuador | Universidad de Las Américas*.
- Benavidez-Silva, C., Jensen, M., y Pliscoff, P. (2021). Future Scenarios for Land Use in Chile: Identifying Drivers of Change and Impacts over Protected Area System. *Land*, 10(4), 408. <https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Benito, B., & Peñas, J. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 7, 100-119.
- Borge, R., Dunlop, K., Gerter, D., Herzog, H., Juanes, R., Lera St-Claire, A., Linares, P., Losada, I., Lumbreras, J., y Moreno, J. (2020). *Cambio climático Bases científicas y cuestiones a debate*.
- Bovarnick, A., Alpizar, F., y Schnell, C. (2010). La Importancia de la Biodiversidad y de los Ecosistemas para el Crecimiento Económico y la Equidad en América Latina y el Caribe: Una Valoración Económica de los Ecosistemas. En PNUD (Ed.), *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo* (Primera ed). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. www.undp.org
- Bravo, E. (2014). *Biodiversidad del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Cartuche Toledo, N. N. (2016). *Identificación de tipos de bosques y análisis de riqueza, diversidad y productividad en la provincia de Zamora Chinchipe*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- CEPAL. (s. f.). *Daño y pérdida de biodiversidad | Static Page | Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. 2018.

- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C., Longino, J. T., Cardelus, C. L., Gilman, A. C., y Longino, J. T. (2008). in the Wet Tropics. *Science*, 322(October), 258-261.
- CREAF. (2020). *¿Qué son los servicios ecosistémicos? - Blog CREAMF.*
- Delgado, T., y Suárez-Duque, D. (2009). Efectos Del Cambio Climático En La Diversidad Vegetal Del Corredor De Conservación Comunitaria Reserva Ecológica El Ángel- Bosque Protector Golondrinas En El Norte Del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 27. <https://doi.org/10.21704/rea.v8i1-2.379>
- Díaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240. <https://doi.org/10.22206/cys.2012.v37i2.pp227-240>
- FAO. (2021). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.*
- García Fernández, C. (2011). El cambio climático: Los aspectos científicos y económicos mas relevantes. Nómadas. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 32(4). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5209/rev_NOMA.2011.v32.n4.38052
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe.*
- González Sánchez, Y., Fernández Díaz, Y., y Gutiérrez Soto, T. (2013). El cambio climático y sus efectos en la Biodiversidad. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(3), 331-337.
- Guisan, A., y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993-1009. <https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2005.00792.X>
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. En IPCC (Ed.), *Contribución de los Grupos de trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Primera ed). https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

- Maldonado Ojeda, S. (2018). Estructura y composición florística de un bosque siempreverde montano bajo en Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(2). <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.252.25216>
- Manzanilla-Quñones, U., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., y Yereña-Yamallel, J. I. (2019). Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. *Madera y bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521804>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., y Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., y Muñoz, J. (2012). Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar. *Reduca (Biología)*, 5(1).
- Medina, R., Machado, L., & Vivanco, G. (2016). Naturaleza, Medioambiente Y Los Ecosistemas Boscosos Secos Desde El Derecho Público. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 108.
- Mena, P. (2021). La biodiversidad del Ecuador. *La Biodiversidad del Ecuador*, 1.
- Mendoza, A., Passariño, S., Quiroga, C., y Suárez, F. (2014). La perspectiva espacio-temporal de los ecosistemas terrestres. *Ecosistemas Terrestres*, 19-37.
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>
- Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología de la Nación. (2007). *La biodiversidad en los sistemas* (C. y T. de la N. Ministerio de Educación (ed.); Primera ed, Vol. 1). <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002707.pdf>
- Peralvo, A. P. G. (2019). *Ecosistemas del Ecuador / Transcripciones de Biología - Docsity*. UCE.
- Peterson, A. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related

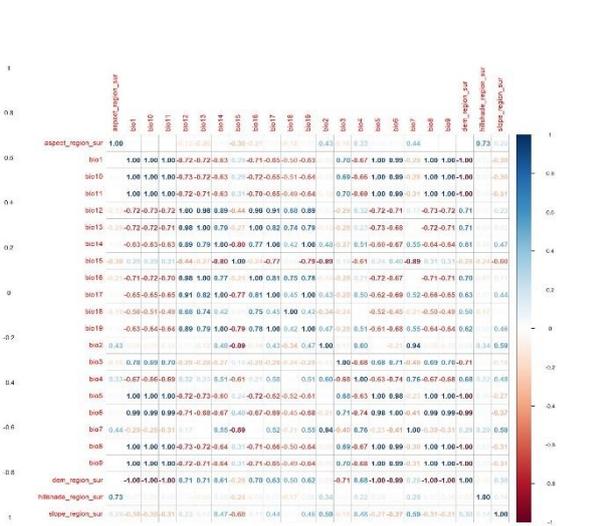
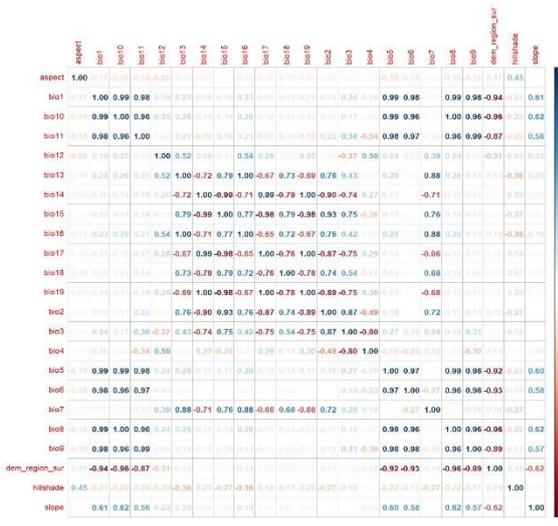
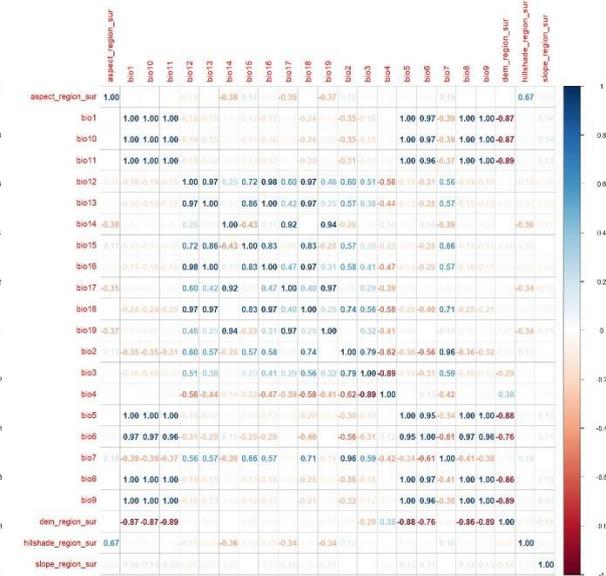
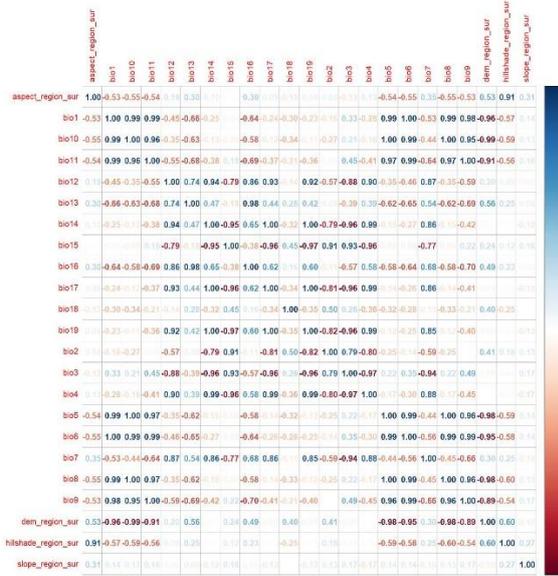
- distributional models. *Biodiversity Informatics*, 3(8), 59-72.
<https://journals.ku.edu/index.php/jbi/article/view/29/18>
- Pliscoff, P., y Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: Una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2011(48), 61-79.
<https://doi.org/10.4067/s0718-34022011000100005>
- Poma, M. (2023). Modelamiento futuro y cambio climático: Proyección de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro bajo un escenario de cambio climático IPCC – AR5 – RCP 6.0. [Universidad Nacional de Loja]. En *Universidad Nacional De Loja*.
[http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf)
- Rodríguez-Pacheco, F. L., Mejía-Rodríguez, D. L., y Sánchez-Buitrago, J. O. (2021). Climate change and strategic ecosystems: perceptions of university students. *Formacion Universitaria*, 14(6), 165-174. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000600165>
- Ruete, A., y Leynaud, G. C. (2015). Goal-oriented evaluation of species distribution models' accuracy and precision: True Skill Statistic profile and uncertainty maps. *PeerJ PrePrints*, 3, e1208v1.
- Seppälä, R., Buck, A., y Katila, P. (2009). ADAPTATION OF FORESTS AND PEOPLE TO CLIMATE CHANGE-A Global Assessment Report Prepared by the Global Forest Expert Panel on Adaptation of Forests to Climate Change IUFRO World Series Vol. 22. *International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)*, 22.
- Thuiller, W. (2007). Climate change and the ecologist. *Nature*, 448(7153), 550-552.
<https://doi.org/10.1038/448550a>
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M. D., y Thuiller, C. W. (2016). Package 'biomod2'. *Species Distrib. Model. within an ensemble Forecast. Framew.*
- Users, L. J. (2012). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50(1), 71-98.

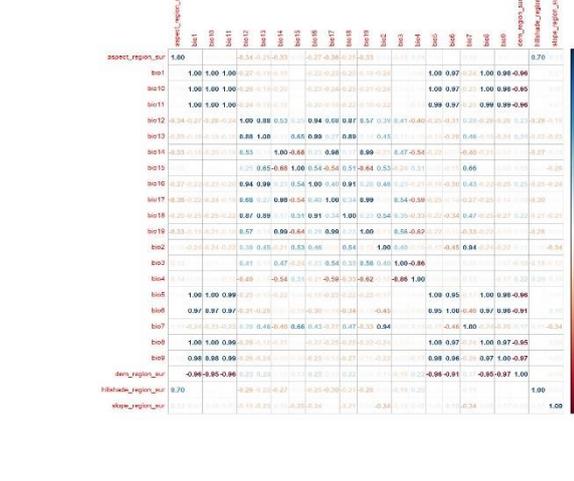
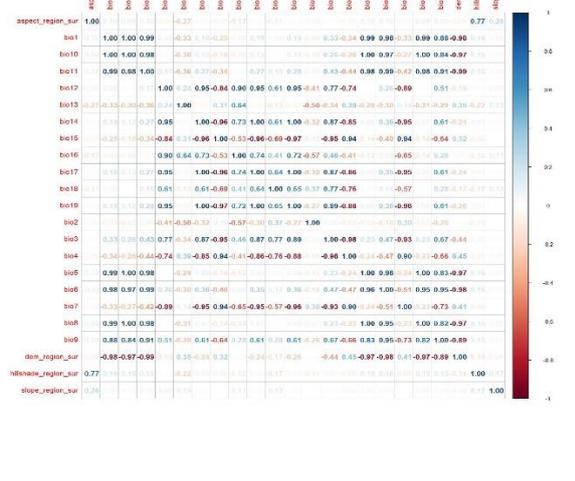
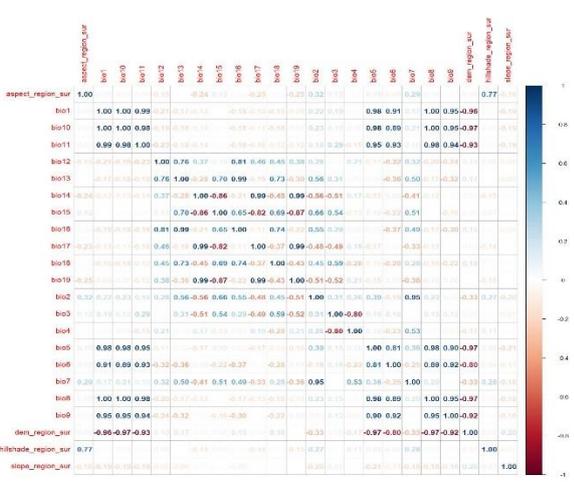
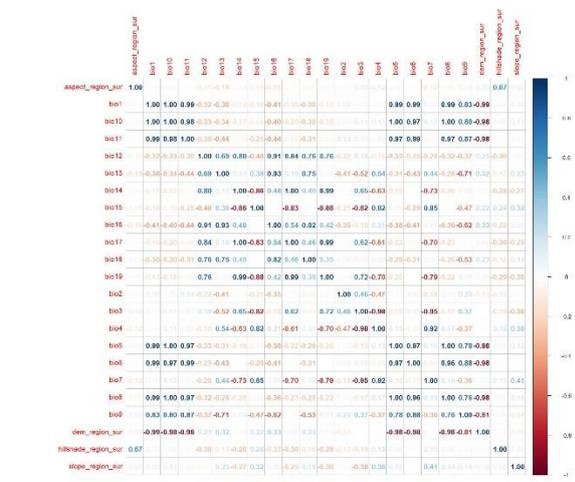
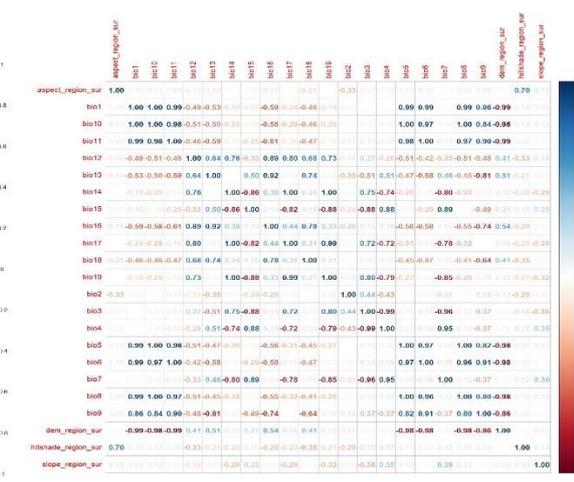
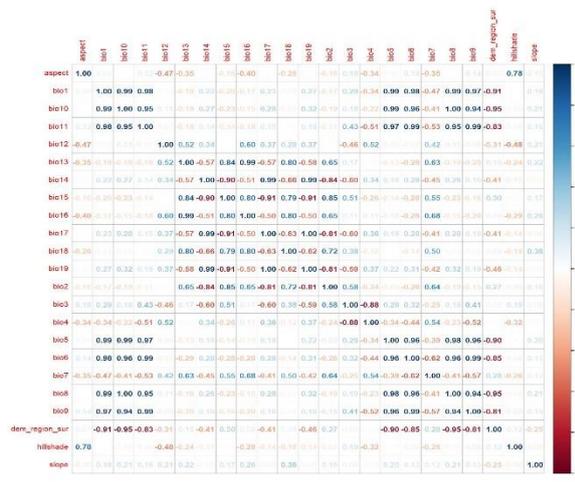
<https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>

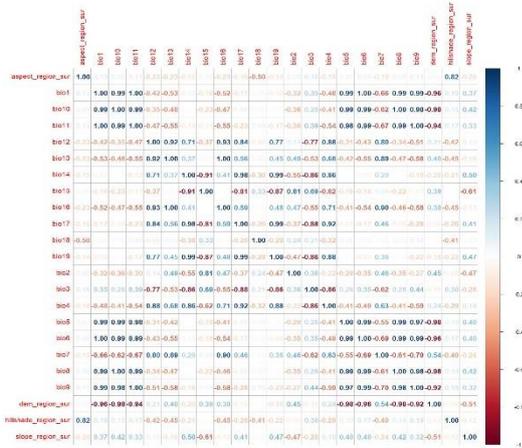
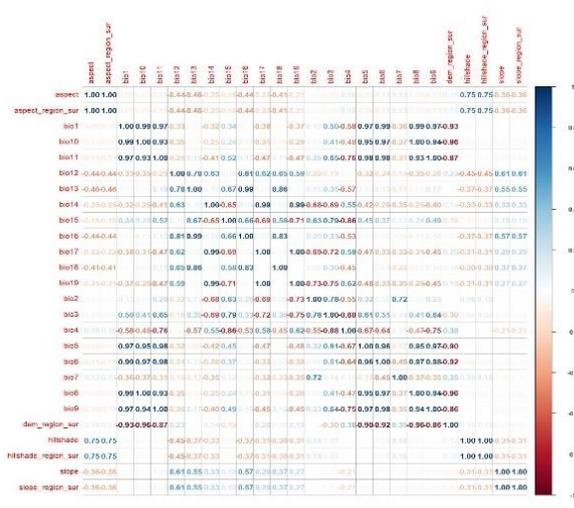
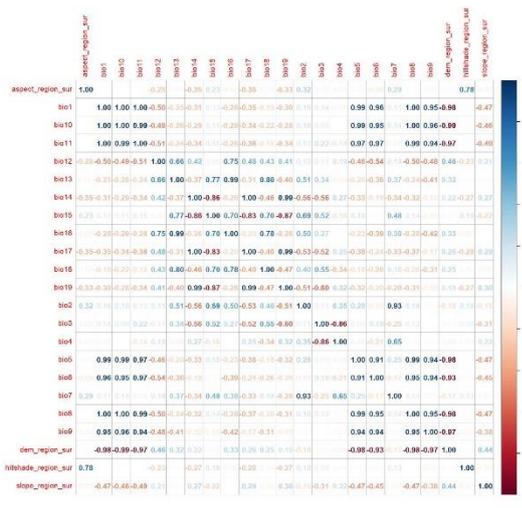
- Vaca, D., y Jaramillo, P. (2019). Descentralizado Provincial De Zamora Chinchipe Plan De Desarrollo Y Ordenamiento. *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial*, 1-258.
- Valladares, F., Peñuelas, J., De Luis, E., Contribuyentes, C., Camarero, J. J., Estiarte, M., Filella, I., Gracia, C., Lloret, F., Merino, E. G., Ogaya, R., Pérez-Obiol, R., Sabaté, S., Sebastián, M. T., Alonso, R. I., Carrión, J. S., Castro, P., Cortina, J., Escudero, A., ... Canadell, P. (s. f.). Impactos Del Cambio Climatico En España 2. Impactos Sobre Los Ecosistemas Terrestres. En *IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN ESPAÑA* (pp. 65-112).
- Varea, A. (2004). Redalyc.Iniciativas para conservar la biodiversidad. *Universitas, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, núm. 4, 7-43.
- Velásquez, E. B. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*.
- Willis, A. J. (1997). The ecosystem: An evolving concept viewed historically. *Functional Ecology*, 11(2), 268-271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.1997.00081.x>
- Yáñez-Cajo, D. J., Vaca, M. E., y Lobo, D. (2015). Aplicación del modelamiento de distribución de *Bradypus variegatus*, para la conservación del nicho ecológico. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 12(10-11).
- Yáñez-Moreta, P., Núñez, M., Carrera, F., y Martínez, C. (2011). Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la Zona Andina de Ecuador. *La Granja*, 14(2), 24. <https://doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.03>

11. Anexos

Anexo 1. Correlación de Pearson

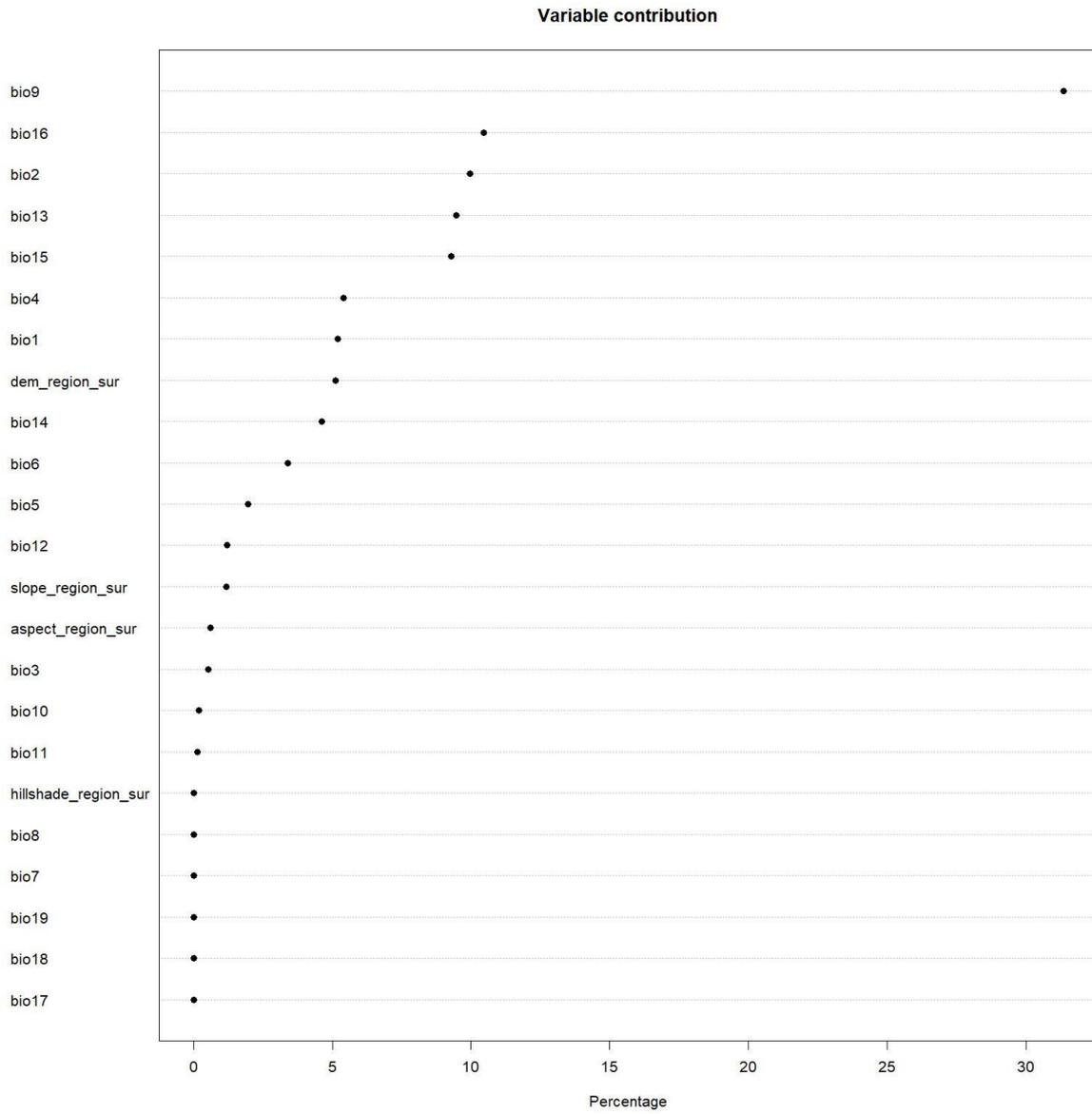




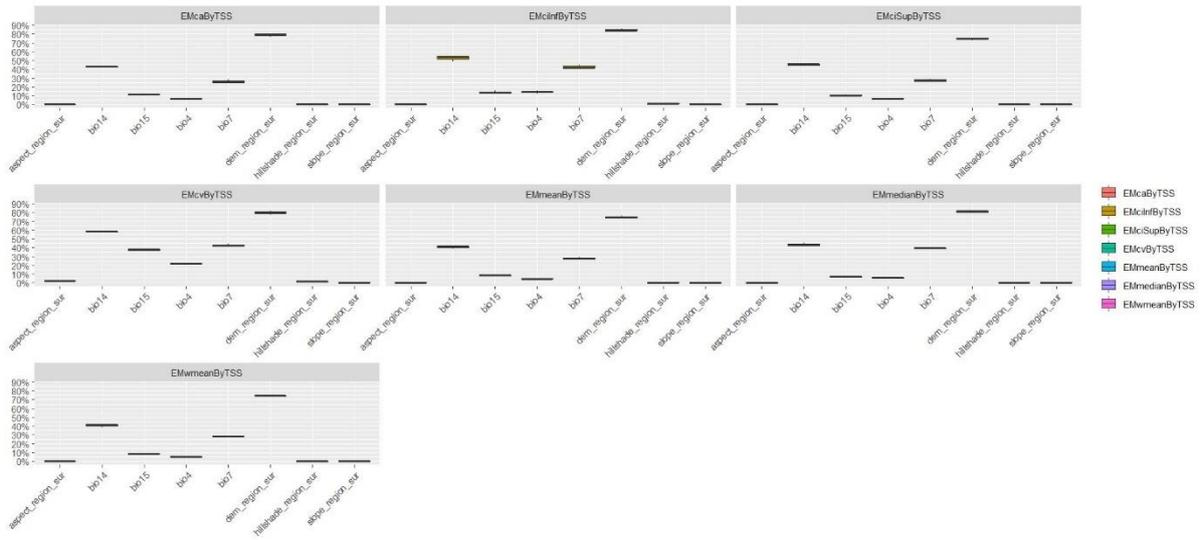


AsAn01, AsMa01, AsSn01, BmPn02, BsAn02, BsBa02, BsBa03, BsBn02, BsMa01, BsMa02, BsMn02, BsPa02, BsPa03, BsPa04, BsPn04, HsSn02, HsSn0

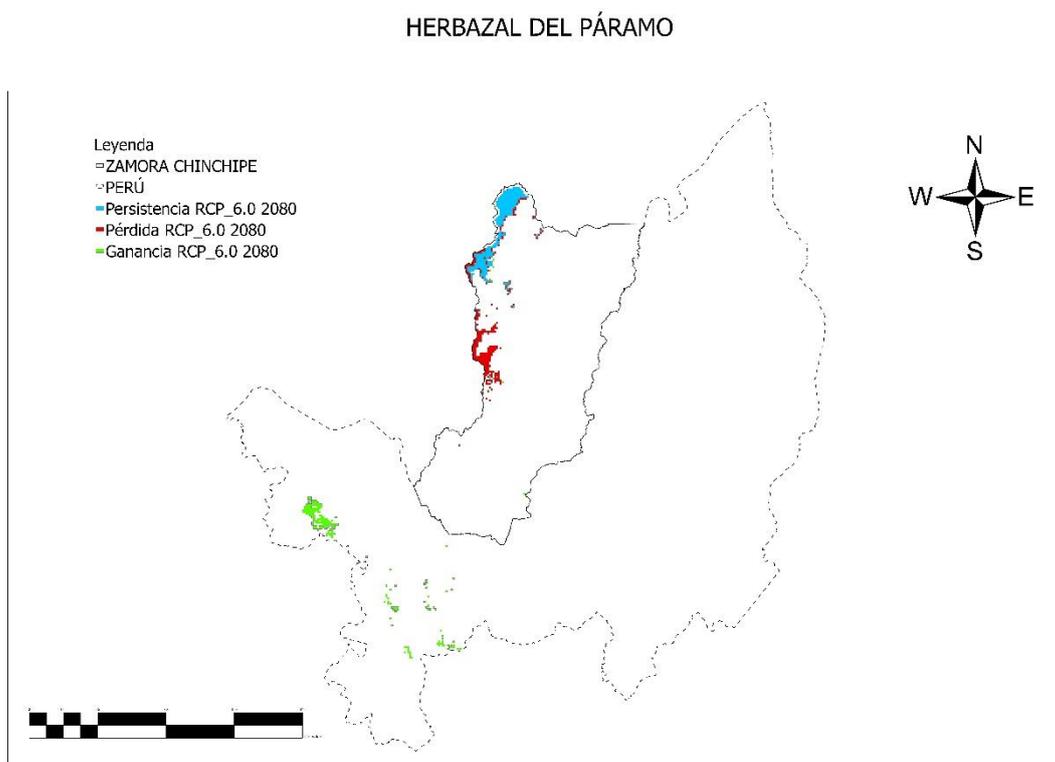
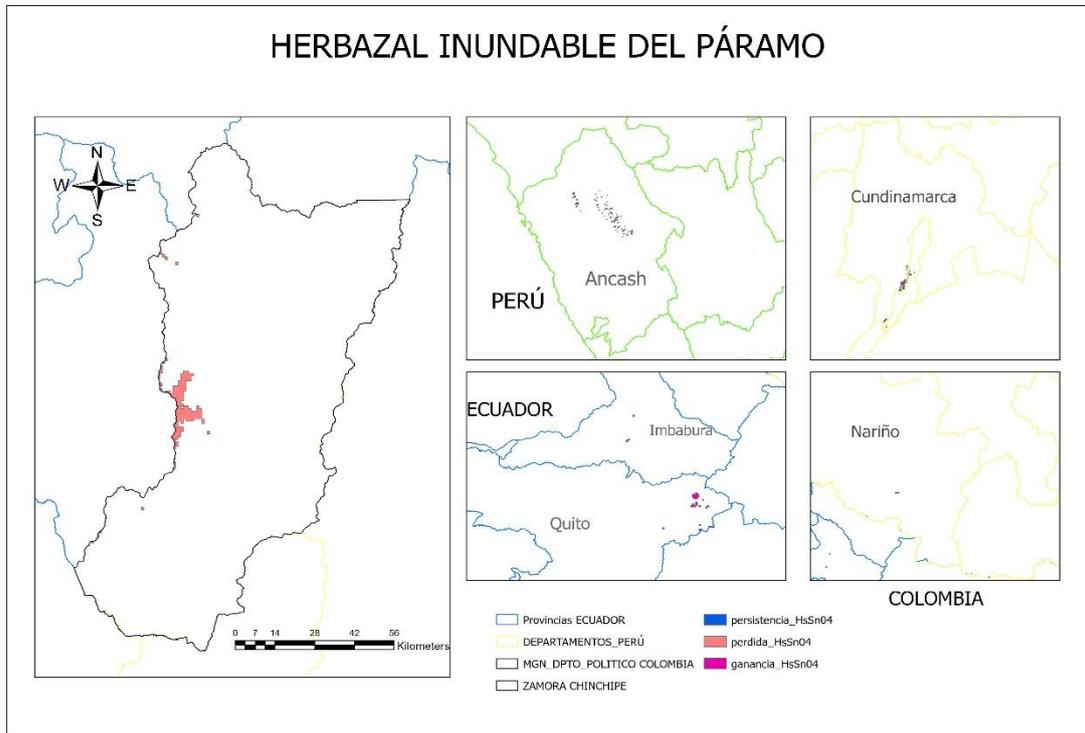
Anexo 2. Prueba del Jackknife



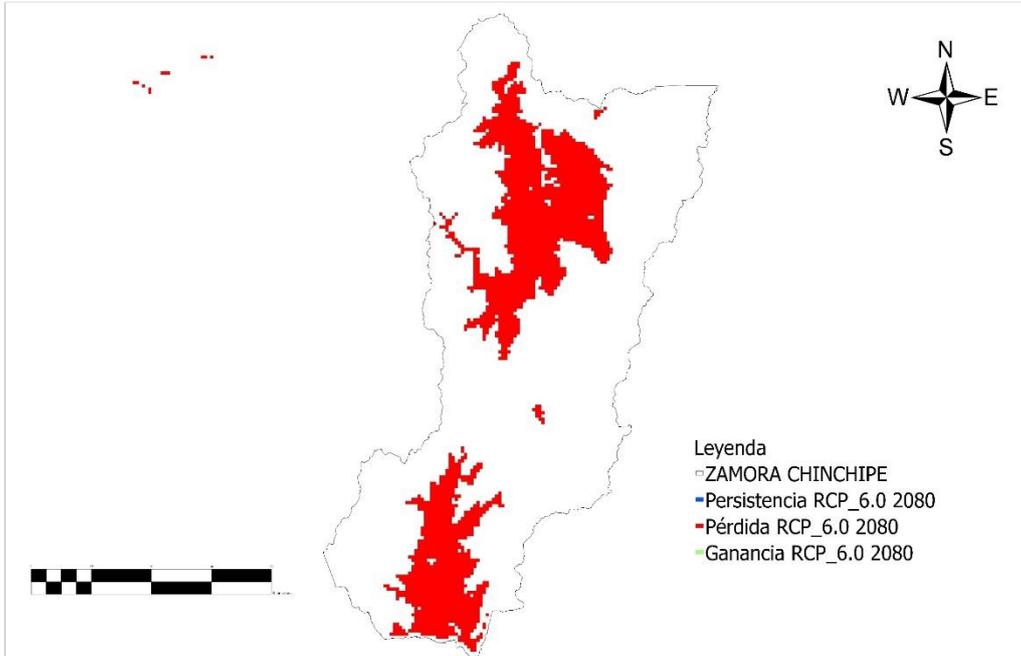
Anexo 3. Evaluaciones de los ensambles de los modelos mediante los Test ROC y TSS



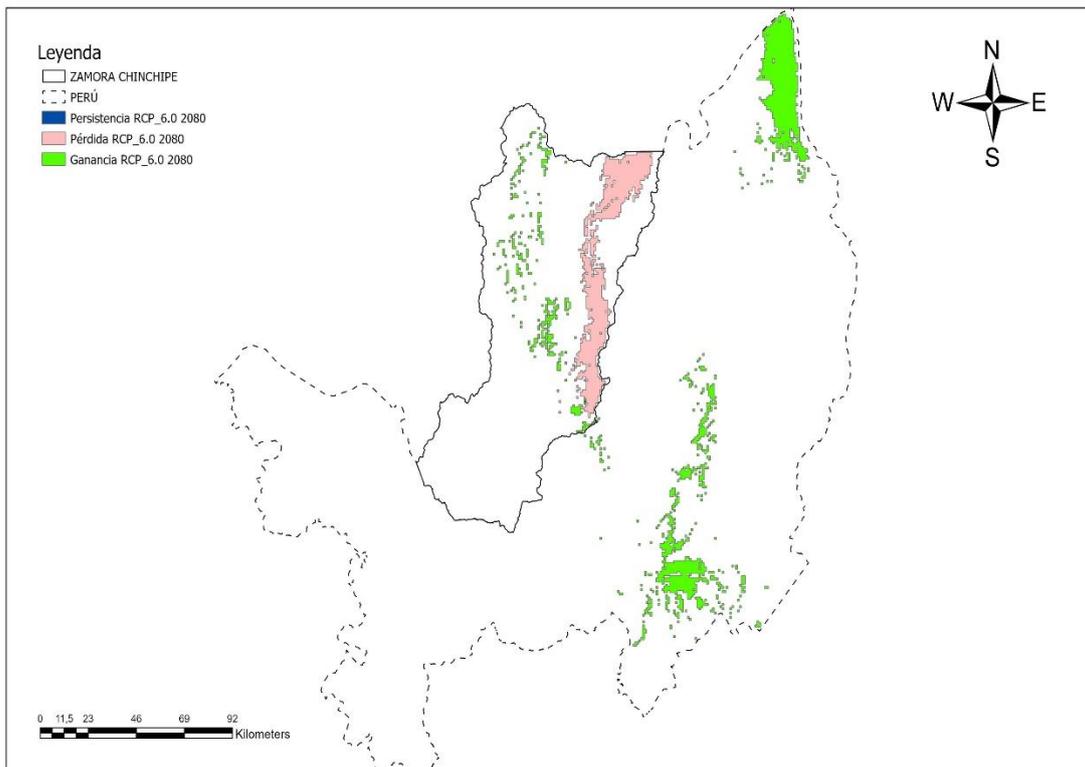
Anexo 4. Proyección futura de los ecosistemas



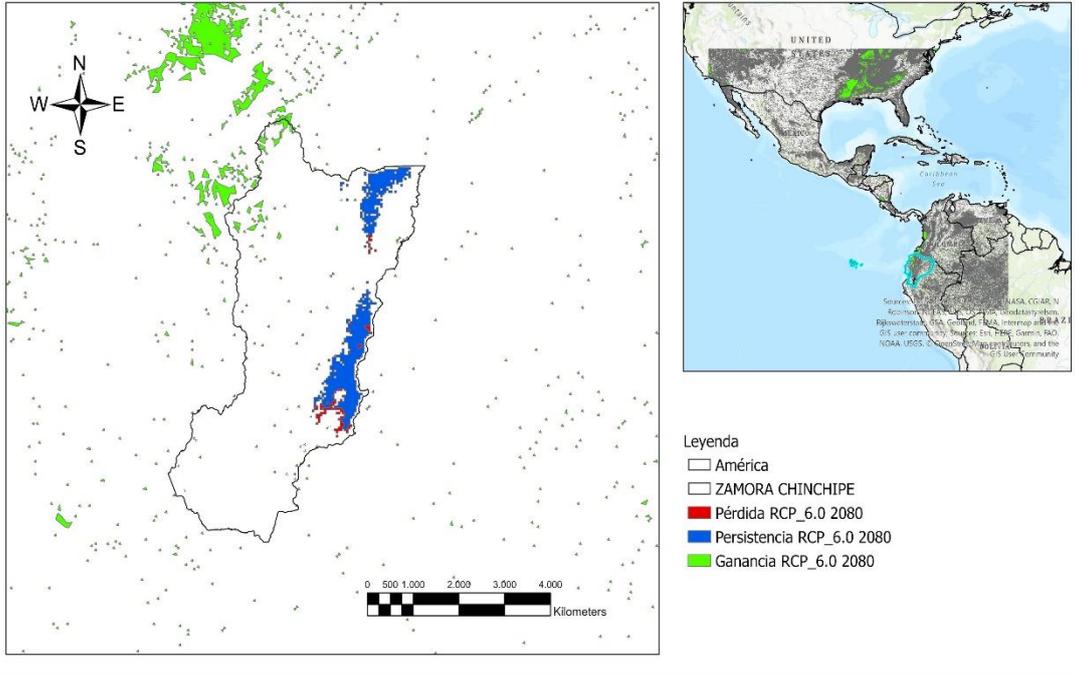
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO DEL SUR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES



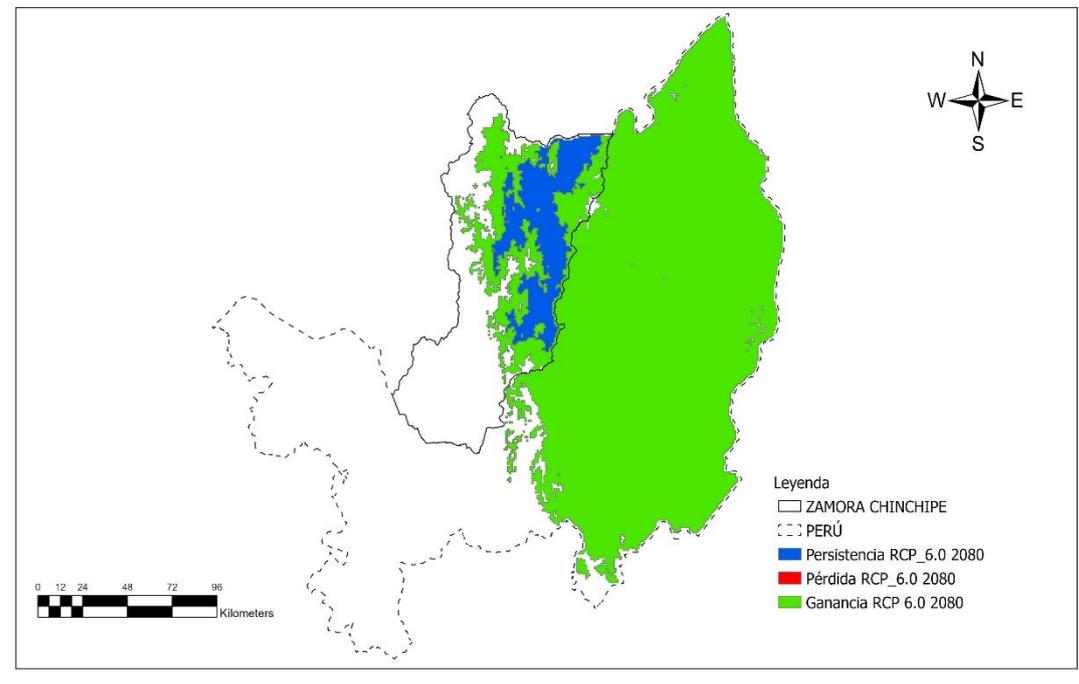
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO SOBRE MESETAS DE ARENISCA DE LAS CORDILLERAS DEL CÓNDOR-KUTUKÚ



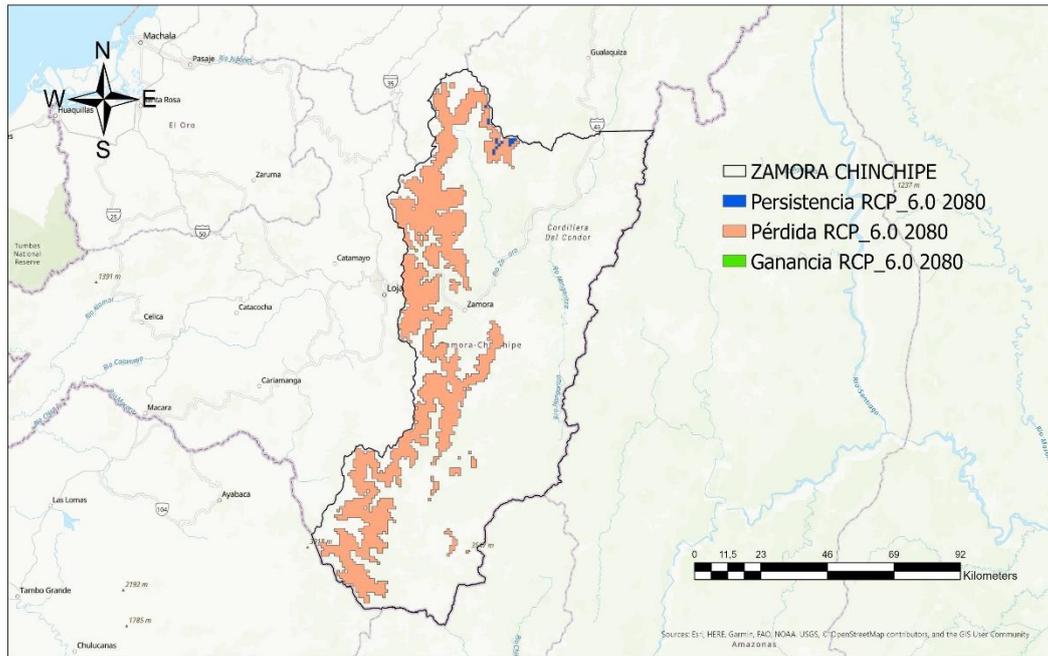
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO SOBRE AFLORAMIENTOS DE ROCA CALIZA DE LAS CORDILLERAS AMAZÓNICAS



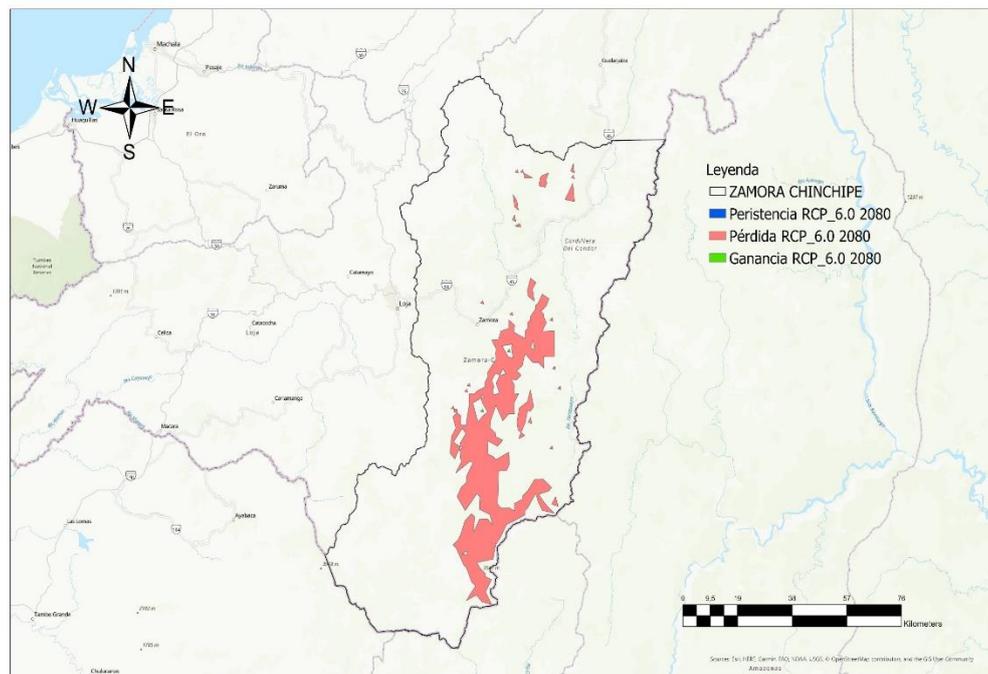
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO DE LAS CORDILLERAS DEL CÓNDOR-KUTUKÚ



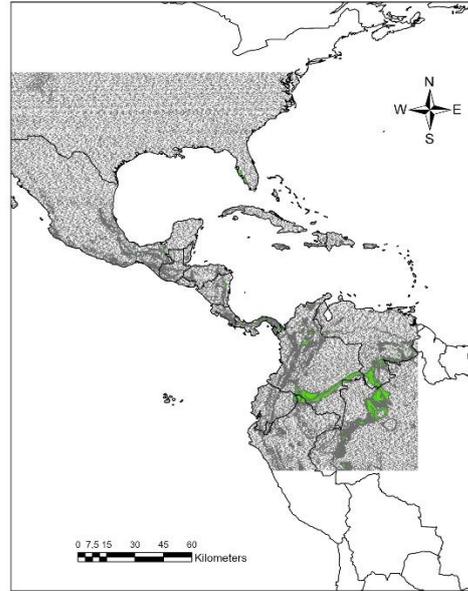
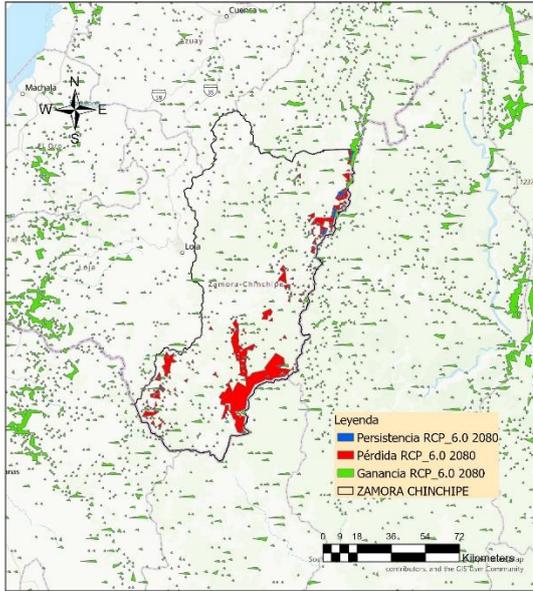
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DEL SUR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES



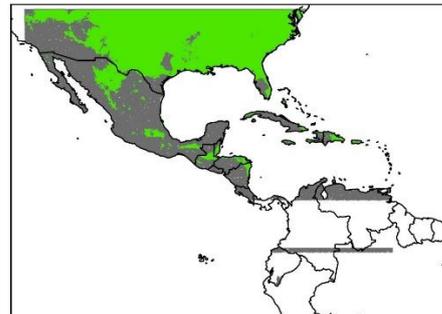
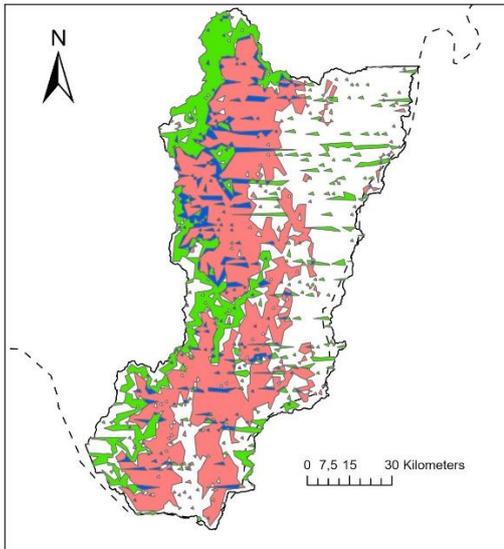
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DE LAS CORDILLERAS DEL CÓNDOR-KUTUKÚ



BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO SOBRE MESETAS DE ARENISCA DE LA CORDILLERA DEL CÓNDOR



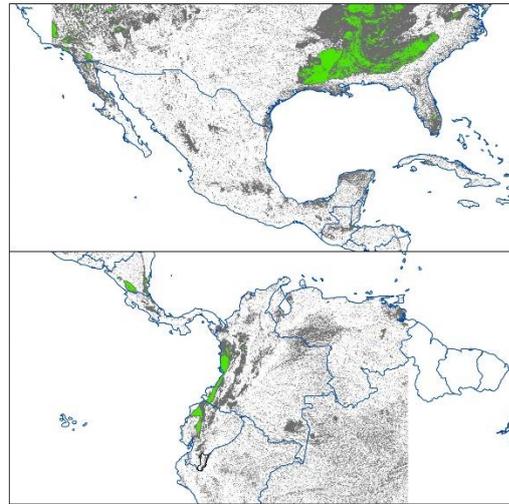
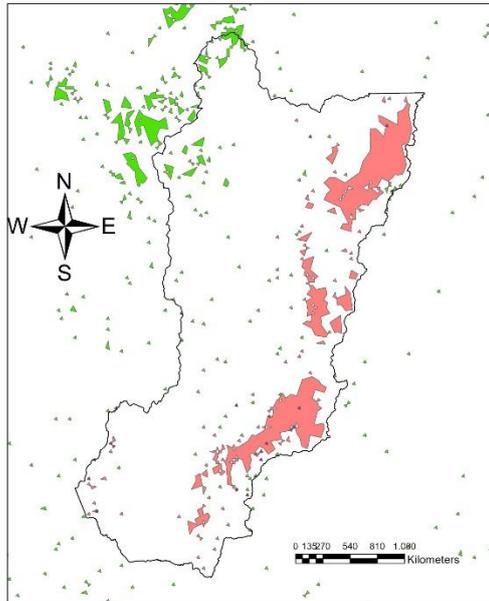
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DEL SUR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES



Leyenda

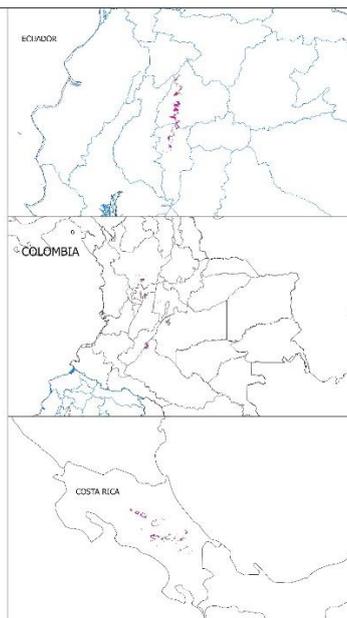
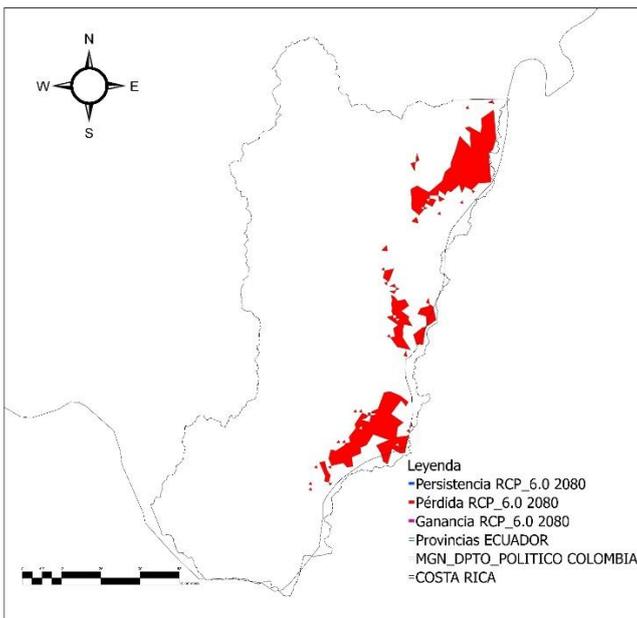
- Ganancia RCP_6.0 2080
- Persistencia RCP_6.0 2080
- Perdida RCP_6.0 2080
- América
- ZAMORA CHINCHIPE

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO SOBRE MESETAS DE ARENISCA DE LAS CORDILLERAS DEL CÓNDOR-KUTUKÚ



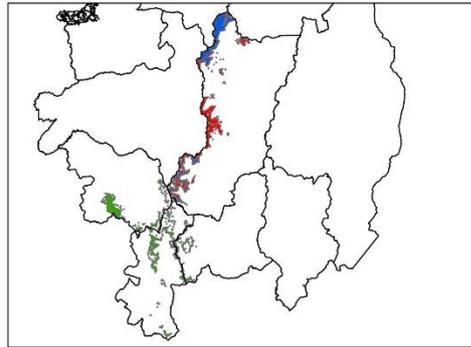
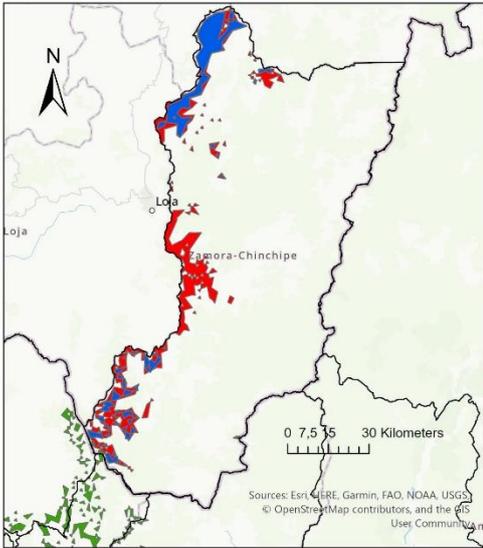
- Leyenda
- América
 - persistencia_BsBa03
 - perdida_BsBa03
 - ZAMORA CHINCHIPE
 - ganancias_BsBa03

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DE LAS CORDILLERAS DEL CÓNDOR-KUTUKÚ



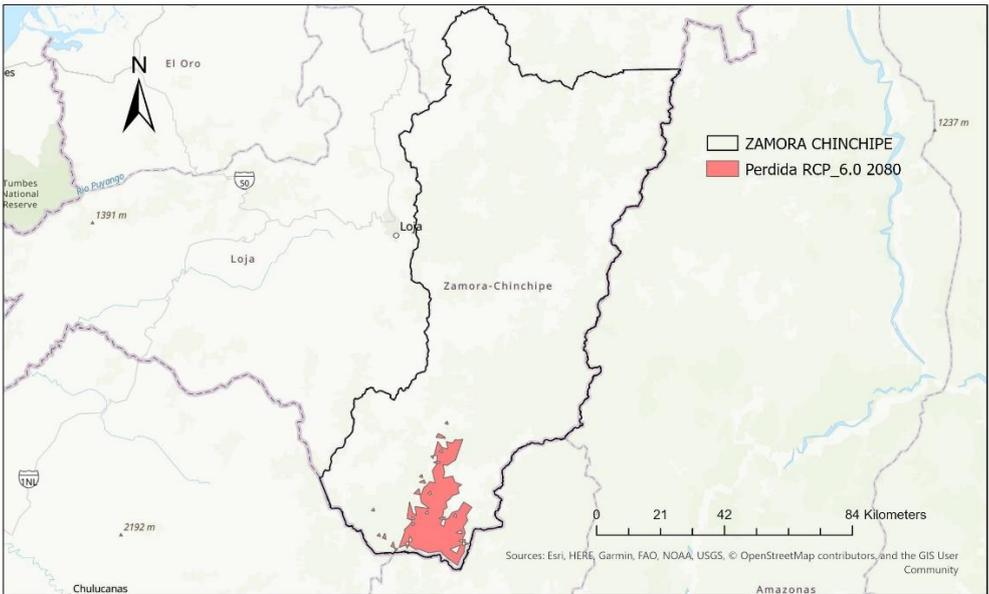
- Leyenda
- Persistencia RCP_6.0 2080
 - Pérdida RCP_6.0 2080
 - Ganancia RCP_6.0 2080
 - Provincias ECUADOR
 - MGN_DPTO_POLITICO COLOMBIA
 - COSTA RICA

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO ALTO DEL SUR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES

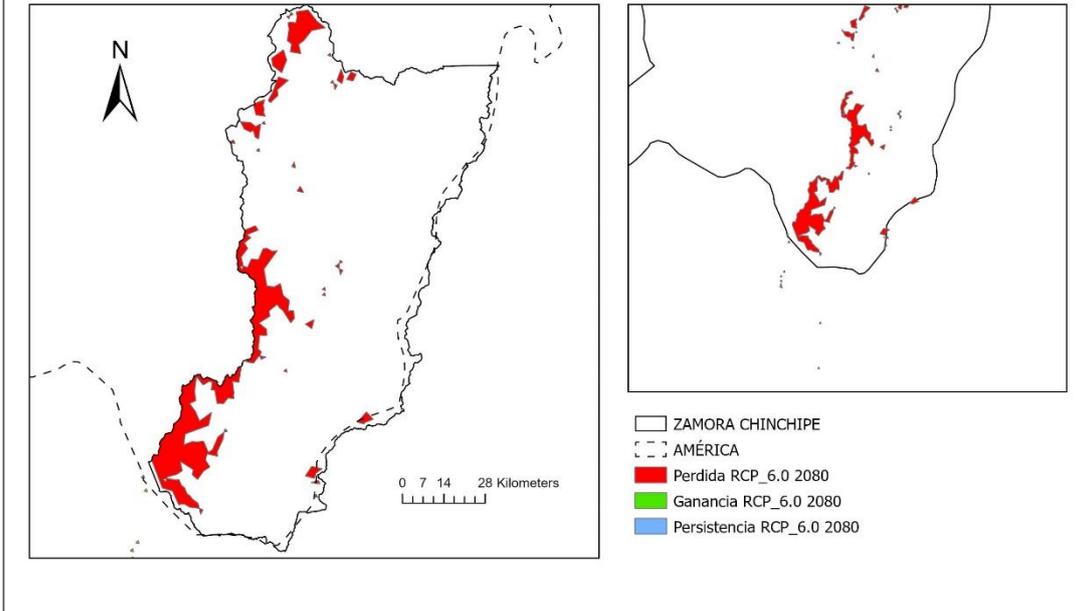


- PERÚ
- ZAMORA CHINCHIPE
- Ganancia RCP_6.0 2080
- Perdida RCP_6.0 2080
- Persistencia RCP_6.0 2080

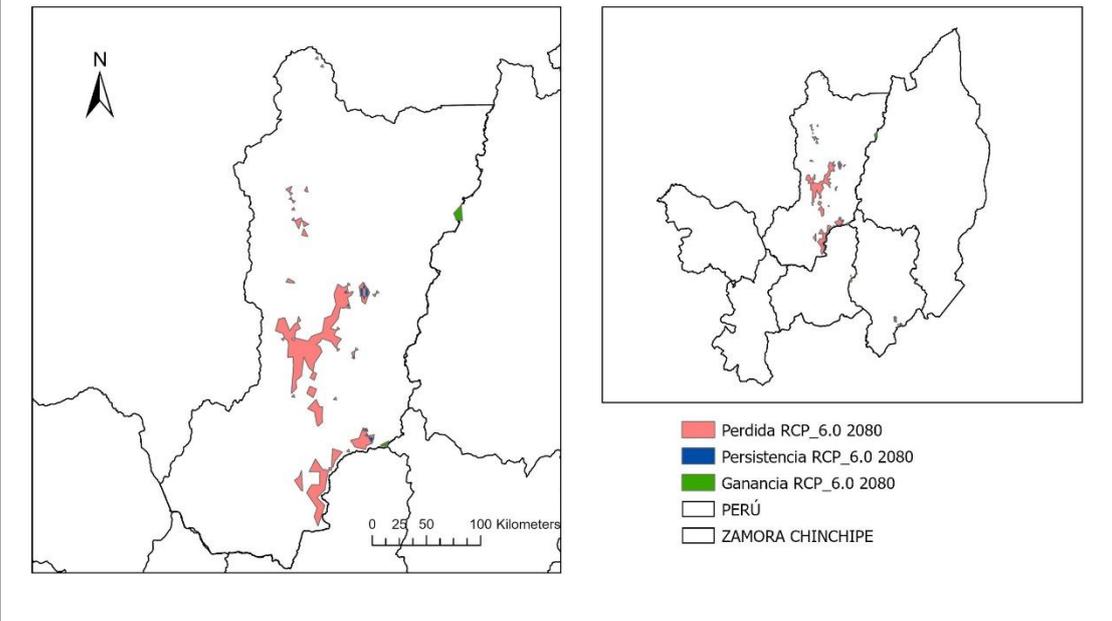
BOSQUE SEMIDECIDUO PIEMONTANO DEL SUR DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE LOS ANDES



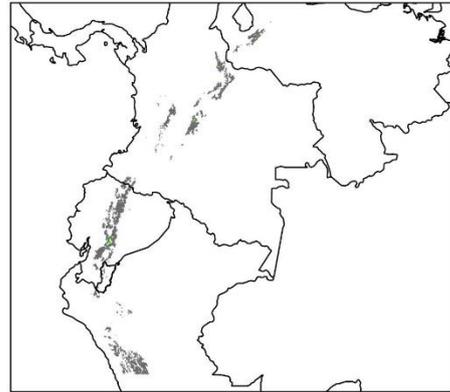
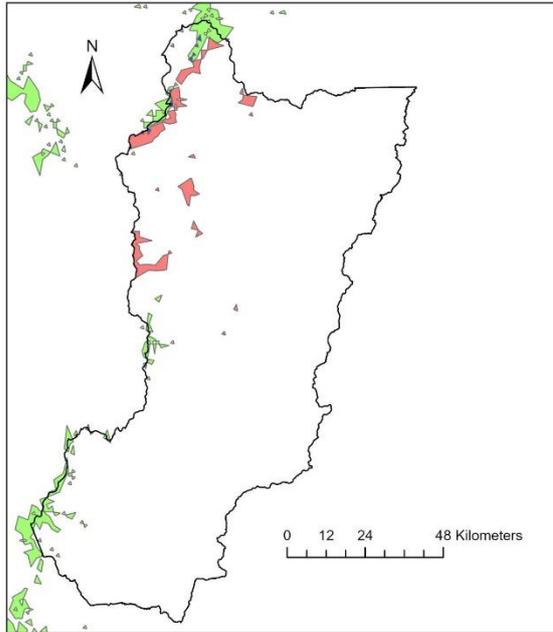
ARBUSTAL SIEMPREVERDE Y HERBAZAL DEL PARAMO



ARBUSTAL SIEMPRE VERDE Y HERBAZAL MONTANO DE LA CORDILLERA DEL CONDOR



ARBUSTAL SIEMPREVERDE MONTANO ALTO DEL PÁRAMO DEL SUR



- ZAMORA CHINCHIPE
- América
- Perdida RCP_6.0 2080
- Ganancia RCP_6.0 2080
- Persistencia RCP_6.0 2080

Anexo 5. Certificación de traducción del Abstract.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN DEL RESUMEN

Loja, 27 de abril del 2024

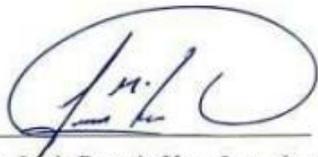
Yo, Livia Rosario Vega Luzuriaga, con número de cédula **1103259428** y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad de idioma inglés, registrado en el SENESCYT con número **1008-15-1403516**.

CERTIFICO:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de investigación titulado: **"MODELAMIENTO DE ECOSISTEMAS DE LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE BAJO EL ESCENARIO IPCC – AR5 – 6.0"**, de autoría de la estudiante: **Lizbeth Cristina Guaman Calva**, portador de la cédula de identidad: **1150425138**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, de la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente para fines pertinentes.

Atentamente



Lic. Livia Rosario Vega Luzuriaga

C.I. 1103259428

Celular: 0988513538

Correo: liviavega10@gmail.com