



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

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.

**Trabajo de Integración Curricular
previa a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Marco Antonio Poma Sarango

DIRECTOR:

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 29 de agosto de 2023

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg.Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **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.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental**, de la autoría del estudiante **Marco Antonio Poma Sarango**, con **cédula de identidad Nro. 1150239315**, 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.



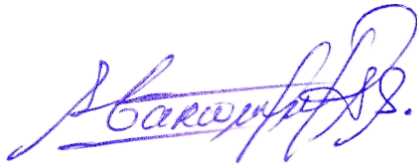
Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Marco Antonio Poma Sarango**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a 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 Integración Curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150239315

Fecha: 30 de agosto de 2023

Correo electrónico: marco.poma@unl.edu.ec

Teléfono: 0989355603

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

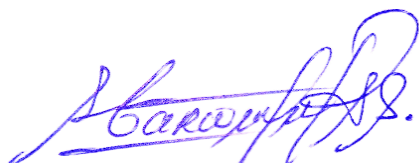
Yo, **Marco Antonio Poma Sarango**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Modelamiento futuro y cambio climático: Proyección de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro bajo un escenario de cambio climático IPCC – AR5 – RCP 6.0**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Ambiental**, 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de agosto del dos mil veinte y tres.

Firma:



Autor: Marco Antonio Poma Sarango

Cédula: 1150239315

Dirección: Daniel Álvarez Burneo

Correo electrónico: marco.poma@unl.edu.ec

Teléfono: 0989355603

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho
Mg.Sc

Dedicatoria

A mis padres, Carmen y Nelson, que, a pesar de las dificultades presentadas, tuvieron los argumentos necesarios para impulsarme y motivarme a lo largo de mi formación académica y personal. Su constante sacrificio, apoyo, bondad y lealtad, han hecho que lo sacrificado del proceso se notara menos. Son ejemplo de humildad, empatía, superación y mucho más. A ustedes, que han invertido sus vidas para que yo pudiera construir los cimientos de la mía, dedico cada uno de los pequeños logros de mi vida. Es un honor contar con ustedes como maestros de vida.

A mis hermanos Diego, Darío, Cristina, Elías, María, Alejandra y Paola, por siempre estar, por ser mi ejemplo y forjar mi personalidad.

Marco Antonio Poma Sarango

Agradecimiento

A Dios, por el maravilloso don de la vida y las bendiciones recibidas. A mi familia por el inmenso amor, apoyo y bondad brindada, de manera especial a mis padres, Nelson y Carmen, por ser mi ejemplo de dedicación y superación, han inculcado en mí valores inquebrantables, que han forjado mi carácter e impulsado en mi formación académica y personal.

Expongo mis más sinceros agradecimientos al Ing. César Bernardo Benavidez Silva, ilustre profesional y ser humano, por su la confianza y apoyo desinteresado para formar parte del proyecto de investigación y por su paciencia y sabiduría para inculcarme sus conocimientos. Al Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, director de mi proyecto de investigación, por su predisposición para guiarme en la ejecución de mi proyecto, que además de mentor, un amigo y consejero durante mi formación académica.

A Christian Mendoza, por su rol de docente guía, por las enseñanzas y consejos brindados durante la ejecución de mi trabajo de integración curricular, han contribuido para mejorar significativamente la presentación de mi proyecto.

A la planta docente de la carrera de Ingeniería Ambiental y compañeros. ¡GRACIAS INFINITAS!

Marco Antonio Poma Sarango

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	7
4.1. Ecosistemas naturales: potencialidades, amenazas y consecuencias	7
4.2. Cambio climático: Causas y consecuencias sobre los ecosistemas naturales	8
4.3. Drivers del clima futuro y escenarios de cambio climático	12
4.3.1. <i>Trayectorias de Concentración Representativa (Representative Concentration Pathways, RCP)</i>	12
4.3.2. <i>Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (Shared Socioeconomic Pathways, SSP)</i>	14
4.4. Modelos de distribución de especies	14
4.4.1. <i>Pasos para generar los modelos de distribución de especies</i>	16
4.5. Ecosistemas de la provincia de El Oro	18
5. Metodología	20

5.1.	Diseño de la investigación.....	21
5.2.	Área de estudio.....	21
5.3.	Fuentes para la obtención de la información.....	22
5.3.1.	<i>Ecosistemas</i>	22
5.3.2.	<i>Variables biofísicas (bioclimáticas y topográficas)</i>	24
5.4.	Modelamiento de la distribución potencial de los ecosistemas.....	25
5.4.1.	<i>Calibración: Objetivo 1</i>	26
5.4.2.	<i>Evaluación/validación</i>	28
5.4.3.	<i>Proyección: Objetivo 2</i>	28
6.	Resultados	29
6.1.	Calibración: Variables explicativas.....	31
6.2.	Evaluación: Rendimiento de los modelos de Biomod2.....	33
6.3.	Proyección: Zonas de distribución potencial.....	35
7.	Discusión	42
8.	Conclusiones	47
9.	Recomendaciones	48
10.	Bibliografía	48
11.	Anexos	58

Índice de tablas

Tabla 1. Ecosistemas naturales de la provincia de El Oro.	20
Tabla 2. Variables bioclimáticas implementadas en la presente investigación.....	24
Tabla 3. Técnicas de modelado de última generación implementadas por Biomod2	26
Tabla 4. Variables explicativas para los ecosistemas de la provincia de El Oro.....	32
Tabla 5. Rendimiento de los modelos implementados por Biomod2.....	34
Tabla 6. Respuestas de los ecosistemas provinciales al cambio climático (escenario RCP6.0).	41

Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio (Provincia de El Oro) y distribución de los remanentes de los ecosistemas naturales provinciales.	22
Figura 2. Esquema metodológico para el modelamiento de ecosistemas.	26
Figura 3. Distribución altitudinal de los ecosistemas de la provincia de El Oro	30
Figura 4. Zonas de distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro: áreas de recambio.....	37
Figura 5. Ganancias, pérdidas y persistencias (superficie) de los ecosistemas de la provincia de El Oro.....	38

Índice de anexos

Anexo 1. Orografía (biomas) y perfil altitudinal de la provincia de El Oro.	58
Anexo 2. Esquema metodológico para el modelamiento de ecosistemas.	59
Anexo 3. Temperatura actual y futura (año 2080, escenario RCP 6.0) para los ecosistemas de la provincia de El Oro.	60
Anexo 4. Precipitación actual y futura (año 2080, escenario RCP 6.0) para los ecosistemas de la provincia de El Oro.	60
Anexo 5. Respuestas AdBn01.	61
Anexo 6. Respuestas BdTc01.	61
Anexo 7. Respuestas BdTc02.	62
Anexo 8. Respuestas BeBn01.	62
Anexo 9. Respuestas BePn01.	63
Anexo 10. Respuestas BePn02.	63
Anexo 11. Respuestas BeTc02.	64
Anexo 12. Respuestas BmBn02.	64
Anexo 13. Respuestas BmPn01.	65
Anexo 14. Respuestas BmTc01.	65
Anexo 15. Respuestas BsAn04.	66
Anexo 16. Respuestas BsBn04.	66
Anexo 17. Respuestas BsBn05.	67
Anexo 18. Respuestas BsMn03.	67
Anexo 19. Respuestas BsMn04.	68
Anexo 20. Respuestas BsPn02.	68
Anexo 21. Respuestas BsTc05.	69

Anexo 22. Respuestas HsSn02.....	69
Anexo 23. Respuestas HsTc03.....	70
Anexo 24. Respuestas de los ecosistemas provinciales bajo la influencia del cambio climático.	70
Anexo 25. Certificado de traducción del Abstract.	72

1. Título

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.

2. Resumen

Debido al consumo de combustibles fósiles y a la deforestación, la actividad antropogénica ha agravado el cambio climático, un fenómeno natural. Esto ha dado lugar a fenómenos como la variación climática. Tanto a escala global como en nuestra zona de estudio (El Oro), las presiones antropogénicas asociadas al cambio de uso del suelo están afectando a los ecosistemas naturales, lo que se traduce en una mayor vulnerabilidad al cambio climático y en cambios en los rangos de distribución. Los ecosistemas naturales son cada vez más vulnerables al cambio climático y pueden incluso cambiar sus rangos de distribución como resultado de las presiones antropogénicas asociadas al cambio de uso del suelo. Evaluamos la distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro hacia el año 2080 (2061 -2080), empleando como escenario de cambio climático una de las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP), propuesta por el IPCC en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) – RCP 6.0, con el desarrollo de modelos de distribución de especies (SDM) Biomod2. Los resultados evidenciaron la vulnerabilidad de los ecosistemas de la provincia de El Oro ante el cambio climático, debido a que la mayoría de los 19 ecosistemas analizados (15) podrían presentar una contracción de sus rangos de distribución, variando tanto en latitud como en longitud, en busca de áreas climática y topográficamente adecuadas para recuperar su funcionalidad ecológica. El ecosistema más vulnerable es el Bosque siempreverde estacional montano bajo del Catamayo-Alamor (BeBn01), que podría desaparecer bajo la influencia del cambio climático, debido a la ausencia de idoneidad en las condiciones biofísicas analizadas dentro del territorio provincial; en contraste, los ecosistemas Arbustal desértico del sur de los Valles (AdBn01) y Bosque deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo (BdTc01), ampliarían sus rangos de distribución.

Palabras clave: cambio climático, ecosistemas, Modelos de distribución de especies, biomod2, El Oro.

2.1. Abstract

Due to fossil fuel consumption and deforestation, anthropogenic activity has aggravated climate change, a natural phenomenon. This has resulted in phenomena such as climate variation. Throughout the world and in our study area (El Oro), anthropogenic pressures associated with land use change are affecting natural ecosystems, resulting in increased vulnerability to climate change and changes to distribution ranges. Natural ecosystems are increasingly vulnerable to climate change and may even change distribution ranges as a result of anthropogenic pressures associated with land use change. We evaluated the potential distribution of ecosystems in the province of El Oro by the year 2080 (2061 -2080), using as a climate change scenario one of the Representative Concentration Pathways (RCP), proposed by the IPCC in the Fifth Assessment Report (AR5) - RCP 6.0, with the development of Biomod2 species distribution models (SDM). The results showed that the ecosystems of the province of El Oro are vulnerable to climate change, as the majority of the 19 ecosystems analyzed (15) could present a contraction of their distribution ranges, varying both in latitude and longitude, in search of areas that are climatically and topographically suitable for recovering its ecological functionality. The most vulnerable ecosystem is the Catamayo-Alamor low montane seasonal evergreen forest (BeBn01), which could disappear under the influence of climate change, due to the lack of suitability in the biophysical conditions analyzed within the provincial territory; in contrast, the ecosystems Southern Valleys desert shrubland (AdBn01) and Jama-Zapotillo lowland deciduous forest (BdTc01), would expand their distribution ranges.

Keywords: climate change, ecosystems, species distribution models, biomod2, El Oro.

3. Introducción

El clima es el resultado de un proceso de complejas interacciones entre factores atmosféricos, geográficos y meteorológicos, que inciden sobre procesos ecológicos, económicos y socio-productivos a nivel del planeta (Samaniego-Rojas et al., 2015). De acuerdo al Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el clima es uno de los factores que se ha visto alterado a lo largo de la historia del planeta, obedeciendo a ciclos dinámicos naturales (Benavides y León, 2007; IPCC, 2014; Lorente et al., 2004), dando como resultado un fenómeno conocido como el cambio climático donde el ser humano, en el último siglo, ha tomado protagonismo (IPCC, 2014), y es considerado por la comunidad científica como responsable de manera parcial o total, debido a las emisiones de carbono derivadas del consumo de combustibles fósiles y a la deforestación (González E et al., 2003). A partir de la revolución industrial, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han incrementado paulatinamente (IPCC, 2014) y han impulsado el cambio climático, amenazando la viabilidad y resistencia de los ecosistemas naturales y las poblaciones humanas (Malhi et al., 2020). El calentamiento del planeta es una realidad científica indiscutible (Barrón et al., 2009) y las variaciones causadas por las emisiones antropogénicas desde el periodo preindustrial, durarán de siglos a milenios y continuarán causando nuevos cambios a largo plazo en el sistema climático (IPCC, 2018).

El cambio climático se establece como una de las principales amenazas para la diversidad biológica en el mundo, pues este cambio en el clima y sus fenómenos asociados, amenazan de extinción a muchas especies animales y vegetales (Cuesta et al., 2015). Sumado a esto, el incremento de las presiones antrópicas pueden causar transiciones críticas en la función y estructura de los ecosistemas (Rocha, 2022), alterando además la distribución geográfica de los biomas (Emanuel et al., 1985). Para América Latina, los principales efectos evidenciados a raíz del cambio climático son la disminución de la humedad de los suelos consecuencia del incremento de la temperatura y la disminución de la precipitación, efectos que en el largo plazo podrían provocar el reemplazo de bosques tropicales-amazónicos por sabanas (Colwell et al., 2008; Hylander et al., 2022).

El territorio ecuatoriano presenta un alto índice de vulnerabilidad ante cambios ambientales vinculados al cambio climático global (Cáceres y Núñez, 2011), no obstante, la información conocida sobre los efectos de este fenómeno, en las diferentes escalas, es poca y

restringida. De manera particular, la Zona 7 (Z7) del Ecuador o también conocida como Zona Sur, conformada por las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, albergan un mosaico de 40 ecosistemas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013) y gran biodiversidad, motivo por el cual, es considerada una de las regiones más biodiversas no solo del Ecuador, sino del mundo (Samaniego-Rojas et al., 2015). Estos ecosistemas representan la principal fuente proveedora de recursos genéticos y servicios ecosistémicos, que permiten el desarrollo de actividades económicas de los habitantes de la Zona Sur (agricultura, ganadería, minería, turismo, etc); sin embargo, pese a su importancia ambiental y social, han sufrido altos grados de fragmentación que han reducido su extensión, siendo la principal causa las actividades antrópicas y el cambio global (Aguirre et al., 2015; Samaniego-Rojas et al., 2015).

La provincia de El Oro, a pesar de contar con bosques y vegetación protectora dentro del Sistema Nacional de Área Protegidas, resguardados bajo un mecanismo legal de conservación, han sufrido procesos de degradación; en consecuencia, el territorio provincial únicamente conserva el 30 % de su cobertura vegetal original, siendo las principales causas de la pérdida de ecosistemas las presiones antrópicas, el poco control por parte de las autoridades competentes y su total abandono (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de El Oro e Instituto Nacional de Biodiversidad [GADPEO y INABIO], 2019). Los ecosistemas alterados por la actividad antrópica, son más propensos a sufrir los efectos del cambio climático, influyendo directamente sobre los rangos de distribución de los ecosistemas (CEPAL, 2017). Por ello, es importante avanzar con estudios que definan la distribución espacial potencial de áreas prioritarias para la conservación, considerando la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al cambio climático (Aguirre et al., 2015).

De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), la importancia económica, social y ambiental de la conservación de la biodiversidad decae sobre los bienes y servicios que aporta (servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte), que contribuyen al bienestar social y económico de la población y estabilidad de los ecosistemas (CEPAL, 2017); así mismo, contribuye a reforzar la capacidad de los ecosistemas para retener carbono y mejorar su resistencia ecológica al cambio climático (Malhi et al., 2020). Con el fin de contribuir en temas de conservación de la biodiversidad, en los últimos años se han generado y aplicado de manera eficiente los Modelos de Distribución de Especies (SDM, por sus siglas en inglés), contribuyendo como una herramienta para el establecimiento de planes de conservación de la biodiversidad y planes de gestión ambiental (Aguirre et al., 2017; De

Pando y De Giles, 2007), mediante la estimación de la distribución potencial futura de los ecosistemas naturales dados por la influencia del cambio climático (Quesada-Quirós et al., 2016). Para las estimaciones se combina los SDM con los escenarios de emisiones, que representan un futuro probable de las emisiones radiativamente activas, basada en supuestos sobre los factores que las impulsan y las principales relaciones entre ellos (IPCC, 2014). En la actualidad se conocen algunos escenarios, entre ellos las Trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés) propuestas en el quinto informe de evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) del IPCC, y las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), establecidas en el sexto informe de evaluación (AR6, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2023). En el presente estudio se optó por los RCP del quinto informe, debido a la disponibilidad de información calibrada a la línea base, para la fecha de realización del mismo.

Se conoce los efectos de la presión antrópica sobre los ecosistemas naturales, sin embargo, los impactos del cambio climático aún no se han abordado. Bajo este enfoque surge la interrogante de: ¿cuál será la distribución potencial de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro a futuro (hacia el año 2080) bajo la influencia del cambio climático (IPCC – AR5 – RCP 6.0) y cómo este afecta su rango de distribución? Con miras a un desarrollo sostenible en un futuro próspero, el desarrollo de la investigación contribuye como una herramienta para la gestión y la toma de decisiones encaminadas a asegurar el bienestar de la sociedad sin generar escasez, sin degradar el medio ambiente e impulsando su cuidado y conservación, evitando la destrucción de los medios de vida, asegurando una buena calidad de vida para las actuales y futuras generaciones.

Con base a los fundamentos mencionados, la presente investigación tiene por objetivo general “Evaluar la distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro hacia el año 2080, bajo un escenario de cambio climático IPCC – AR5 – RCP 6.0”. Para ello se han planteado los siguientes objetivos específicos: (i) Identificar las principales variables bioclimáticas y topográficas que influyen sobre la distribución de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro, y (ii) Modelar zonas de distribución potencial a futuro (hacia el año 2080) de los distintos ecosistemas de la provincia de El Oro bajo un escenario de cambio climático IPCC – AR5 – RCP 6.0.

4. Marco teórico

4.1. Ecosistemas naturales: potencialidades, amenazas y consecuencias

Un ecosistema natural refiere a una unidad funcional que consta de organismos vivos (factores bióticos), su entorno no vivo (factores abióticos) y sus interacciones (IPCC, 2014). Constituyen el capital natural que el ser humano debe conservar para disponer, en el largo plazo, de los cuantiosos servicios ecosistémicos que proveen (Olalde, 2010), debido a que, el amplio rango de condiciones y procesos que engloban, contribuyen a mantener la vida humana en el planeta (Daily et al., 1997), e influyen directamente sobre la prosperidad de las sociedades humanas en ámbitos de salud, economía, seguridad, relaciones sociales, valores estéticos y espirituales, entre otros (Olalde, 2010). Son incontables los beneficios, tanto tangibles como intangibles, que obtenemos los seres humanos de los ecosistemas naturales, comúnmente conocidos como servicios ecosistémicos; entre los principales se encuentran la regulación del clima, producción de bienes y servicios, generación y mantenimiento de la biodiversidad, la purificación del aire y agua, fijación de carbono, belleza estética y estímulo intelectual y espiritual, entre otros (Daily et al., 1997; Olalde, 2010).

Sin embargo, desatendiendo la contribución de los ecosistemas al mantenimiento y mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos, las tres redes de ecosistemas (marinos, de agua dulce y terrestres) (Williams et al., 2020), han sido alterados gravemente a escala global. A partir de la revolución industrial las actividades antrópicas han alterado aproximadamente el 75 % de la litósfera (ecosistemas terrestres: bosques, praderas, tundra, desiertos, etc.), los ecosistemas acuáticos han presentado niveles de contaminación sin precedentes y los humedales han perdido más del 85 % de su superficie (World Wildlife Found [WWF], 2020). El cambio en los usos del suelo ha sido uno de los principales factores causantes de la pérdida de cobertura forestal y consecuentemente la pérdida de la biodiversidad, donde los principales síndromes han sido la conversión de los ecosistemas naturales a otros usos de suelo como los monocultivos agrícolas, a fin de cumplir con la demanda de recursos alimenticios para la población; además, pastizales, tala de bosques para la obtención de leña, actividad minera y construcción de infraestructura, presiones que han incrementado en los últimos años debido al aumento de la población (Jiménez, 2011; Olalde, 2010; Pérez-García, 2020; WWF, 2020).

Los cambios en los usos del suelo causan efectos como la pérdida de biodiversidad nativa, simplificación excesiva de los hábitats, alteraciones de las funciones de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos, la regulación de los procesos hidrológicos y ambientales y la condición del planeta a límites ambientales y ecológicos sin precedentes, que afectan principalmente los procesos biofísicos que regulan la superficie terrestre y la atmósfera (Benavidez-Silva et al., 2021). A medida que los ecosistemas se han transformado por la influencia antrópica, se ha reducido su capacidad para apoyar y mantener la adaptación humana (Malhi et al., 2020; Pecl et al., 2017), pues se ha reducido considerablemente, tanto en cantidad como en calidad, los servicios ecosistémicos que proveen, condicionando la disponibilidad de bienes y servicios, y con ello la calidad de vida de los seres humanos en el corto, mediano y largo plazo.

Con estas bases, la gestión y conservación de los ecosistemas naturales es de gran importancia para mantener la calidad de vida de los seres humanos. Para gestionar los ecosistemas naturales y sus servicios, bajo un clima cambiante, se deben adoptar enfoques de carácter político, flexibles en tema de gestión y proactivos, basados en conocimientos existentes; por ello es recomendable aplicar un seguimiento ambiental continuo y a largo plazo, potenciado por investigaciones estratégicamente priorizadas para colmar las lagunas de conocimiento; y una síntesis y comunicación de la ciencia a las partes interesadas (Williams et al., 2020).

4.2. Cambio climático: Causas y consecuencias sobre los ecosistemas naturales

El cambio climático definido como un cambio en el clima, atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, que alteran la composición de la atmósfera mundial y se suma a la variabilidad natural del clima (Naciones Unidas, 1992), desde los inicios del planeta tierra obedecía a ciclos dinámicos naturales, no obstante, en el último siglo se le atribuye a causas antrópicas por su contribución al incremento de emisiones de GEI (Lorente et al., 2004) y el consecuente incremento de la Temperatura Media Global (TMG); describiendo así una relación directa entre el aumento de dichas emisiones y el incremento de la TMG, que deriva en fenómenos como el calentamiento de la atmósfera y los océanos, disminución del volumen de los glaciares y el incremento del nivel medio del mar (IPCC, 2014; Lorente et al., 2004; Quesada-Quirós et al., 2016).

De acuerdo al IPCC, las concentraciones atmosféricas de los principales GEI han variado. Para el año 2011 se reportó un incremento del 40 % en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), un 150 % para el metano (CH₄) y un 20 % para el óxido nitroso (N₂O), las cuales han contribuido al incremento de la temperatura superficial entre 0,5 a 1,3 °C, provocando el calentamiento del sistema climático a niveles sin precedentes en los últimos decenios a milenios (Aguirre et al., 2015). Algunos factores causantes de dichas emisiones son el desarrollo económico, desarrollo industrial, los patrones de producción y consumo (economía lineal), los adelantos tecnológicos y la evolución demográfica, que ha mostrado una tendencia creciente (Pérez-García, 2020; Useros, 2013). Este último ha incrementado la demanda de bienes y servicios, resultando en un mayor consumo de combustibles fósiles, intensificación de la agricultura, el transporte, el cambio de usos de suelo, la generación de energía y el sector industrial, actividades que generan e incrementan la concentración de GEI en la atmósfera (Raynal-Villaseñor, 2011), así mismo, la tala de bosques, tratamiento de residuos, uso de fertilizantes y la ganadería (Pérez-García, 2020).

Estos cambios en el clima generan fenómenos asociados al cambio climático, el cual es considerado como uno de los factores causantes de la redistribución de la vida en el planeta (Benavides y León, 2007; Benavidez-Silva et al., 2021; Lorente et al., 2004; Pecl et al., 2017), de modo que, tanto especies como ecosistemas, asociados a rangos óptimos de temperatura, humedad, radiación, precipitación, entre otras variables que conforman el espacio climático, que obedecen a su fenología y fisiología, modifican su rango de distribución, derivando en cambios, movimientos o simplemente la extinción o desaparición de estas especies y ecosistemas (Pérez-García, 2020), condicionando su conservación (Quesada-Quirós et al., 2016).

A inicios del siglo XXI se ha experimentado un rápido cambio climático que ha alterado la duración, magnitud y frecuencia de fenómenos extremos, como sequías, incendios forestales y olas de calor; muchos de estos fenómenos tienen un impacto significativo en los ecosistemas (salud y funcionamiento), reduciendo su resiliencia ecológica (Malhi et al., 2020; Weiskopf et al., 2020). Los cambios en las condiciones medias y la variabilidad en el clima resultan en fenómenos como la acidificación de los océanos y el aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Malhi et al., 2020). Se estima que, a futuro, este cambio podría alterar las condiciones ambientales de los distintos ecosistemas en respuesta a las actividades antrópicas (Benavidez-Silva et al., 2021) y esto a su vez, afectaría significativamente las comunidades

biológicas y humanas en todos los continentes y océanos (Malhi et al., 2020; Pecl et al., 2017), debido a que cambios drásticos acelerarían la pérdida de especies de flora y fauna, y con ello, el deterioro de los ecosistemas y los servicios que estos proveen, siendo más vulnerables aquellos ecosistemas alterados por las actividades humanas (CEPAL, 2017).

Los seres vivos y los ecosistemas naturales, responden de manera diferenciada a los cambios en las condiciones climáticas y ambientales, en función de sus características (rangos óptimos de temperatura, precipitación, altitud respecto al nivel del mar, entre otras), interacciones entre los organismos, perturbaciones y otros factores de estrés (deforestación, sobrepesca, fragmentación, degradación directa del hábitat, especies invasoras) (Anderson et al., 2012; Malhi et al., 2020). Para los ecosistemas de los andes del norte (Colombia, Venezuela y Ecuador hasta el Golfo de Guayaquil) y centrales (desde el golfo de Guayaquil, atravesando Perú, Bolivia, Argentina y Chile), Anderson et al. (2012) describen una serie de respuestas evidenciadas en los ecosistemas:

- a)** En los páramos, cuyo rango altitudinal está sobre los 3 000 m, se han evidenciado incrementos en la temperatura y elevación del límite inferior de la precipitación sólida (granizo, nieve, copos de agua congelada), provocando efectos en los suelos como saturación de agua, lixiviación nutrientes y erosión.
- b)** En los humedales y lagos andinos se ha reportado incrementos en la temperatura, cambios en el balance hídrico, elevación del límite inferior de la precipitación sólida, disminución del nivel de los lagos y secado de los bofedales en todo el Altiplano, desplazamiento de especies hacia arriba (anfibios), disminución de la población de ciertas especies y extinción de especies locales.
- c)** En los bosques nublados algunos de los efectos han sido cambios en los regímenes de precipitación con aumentos o disminuciones en diferentes áreas, estacionalidad cambiante (precipitación), afectando a especies, provocando eventos de sequías, incremento de la erosión y deslizamiento de laderas e inundaciones.
- d)** Para los bosques andinos secos y estacionales, se han reportado cambios en los regímenes de precipitación, lo que ha conducido a la migración de especies pioneras (ascendiendo altitudinalmente), deslizamientos de tierra y erosión de tierras bajas con mayor precipitación (se ha evidenciado principalmente al oeste de Ecuador) y variaciones en las temperaturas del agua en los distintos ambientes acuáticos.

- e) En los valles interandinos se han evidenciados regímenes de precipitación cambiantes, ya sea incrementos o disminución de la misma; cambios en la estacionalidad, aumento de la heterogeneidad de las condiciones climáticas entre áreas geográficas. Estos factores climáticos evidenciados han provocado un incremento de las amenazas para las actividades humanas, disminución de la productividad agrícola e incrementos en la incidencia de vectores transmisores de enfermedades como malaria y dengue.

En cuanto a los ecosistemas de las regiones litorales, los impactos del cambio climático en la costa pacífica de Sudamérica, se han visto reflejados en alteraciones en los regímenes de precipitación y temperatura. De acuerdo al IPCC los fenómenos climáticos para América Latina comprenden: el incremento de la temperatura media y la disminución de la humedad del suelo; la pérdida de diversidad biológica con la extinción de especies en muchos ecosistemas; disminución en la productividad de cultivos y la actividad pecuaria; alteración en los patrones de precipitación y desaparición de los glaciares; y, el incremento del nivel del mar (Comisión Europea, 2009). Para Ecuador, al estar bajo la influencia de las corrientes marinas de Humboldt y El Niño, y la dinámica de los vientos alisios con la cordillera andina, se han reportado tendencias positivas en la temperatura, similares a la situación global, mientras que la precipitación ha mostrado comportamientos mucho más heterogéneos tanto espacial como temporalmente, con un incremento de los eventos extremos (elevada precipitación) (García-Garizábal et al., 2017).

Las investigaciones relacionadas al cambio climático en la Región Sur del Ecuador, de manera general muestran una estrecha relación entre las actividades antrópicas y las anomalías en los patrones de precipitación y temperaturas (Aguirre et al., 2015). Un posible efecto relacionado al cambio de temperaturas, es el desplazamiento de ecosistemas hacia mayores altitudes debido a un incremento en la evapotranspiración (Colwell et al., 2008), lo que deriva en mayores impactos para los ecosistemas y especies de páramo, que podrían perecer (Aguirre et al., 2015). Estas anomalías repercuten directamente sobre los ecosistemas y su funcionamiento, afectando la interacción entre organismos vivos y el medio abiótico, alterando la función de los ecosistemas (Aguirre et al., 2015; Samaniego-Rojas et al., 2015).

4.3. Drivers del clima futuro y escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático representan un futuro climático potencial. El IPCC es la principal entidad que analiza los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Para proponer los escenarios de referencia se analizan las emisiones de sustancias radiativas (GEI, aerosoles) basándose en un conjunto de supuestos sobre los factores que impulsan dichas emisiones (desarrollo demográfico y socioeconómico, uso del suelo, etc). Estos escenarios tienen el potencial de realizar proyecciones futuras, introduciéndolos en un modelo climático (IPCC, 2014, 2023).

Los primeros escenarios propuestos fueron los IS92, publicados en el año de 1992; para el año 2000 se publicaron los escenarios del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE, SRES escenarios, por sus siglas en inglés). Los más recientes son las Trayectorias de concentración representativas (RCP, publicadas en el quinto informe de evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) sobre el cambio climático del IPCC) y las Trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), resultado del sexto informe de evaluación (AR6, por sus siglas en inglés).

4.3.1. Trayectorias de Concentración Representativa (Representative Concentration

Pathways, RCP)

Las RCPs, resultantes del quinto informe de evaluación (AR5, por sus siglas en inglés) sobre el cambio climático del 2014, abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de gama completa de GEI, aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre. De esta manera ayudan a representar la incertidumbre que habrá en el futuro respecto al incremento de temperatura, precipitación y otras variabilidades climáticas. Para el IPCC las emisiones de GEI van de la mano con el tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida de los habitantes, el consumo de energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática; las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) se emplean para realizar proyecciones en función de estos factores (IPCC, 2014).

Existe una gran relación entre las actividades antropogénicas, el cambio climático y su impacto sobre los ecosistemas; al punto de que se considera al cambio climático como un impulsor esencial de la distribución de biomas en la Tierra, y de acuerdo a estudios, podría alterar las condiciones ambientales de distintos ecosistemas en respuesta de las actividades

humanas (Manzoor et al., 2021). Este fenómeno podría causar efectos indirectos en el cambio de uso del suelo y distribución de los ecosistemas, alterando así las propiedades físicas de la superficie terrestre como el albedo, la rugosidad y la evapotranspiración (Cui et al., 2020).

Las trayectorias de concentración representativas son escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de todos los GEI y aerosoles terrestres. Una “trayectoria” hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido para llegar al resultado en cuestión; son “representativas” ya que cada trayectoria de concentración ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo (IPCC, 2014). Por su parte, el forzamiento radiativo es una medida de la influencia que un factor ejerce en la modificación del equilibrio entre la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-atmósfera y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Se expresa en vatios por metro cuadrado (W/m^2) (IPCC, 2001).

El IPCC describe cuatro trayectorias distintas para el siglo XXI de las emisiones y las concentraciones atmosféricas de GEI, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo. Estas refieren a la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para las cuales, los modelos de evaluación integrados han generado los correspondientes escenarios de emisiones para las predicciones y las proyecciones climáticas (IPCC, 2014). Las trayectorias de concentración se caracterizan por su forzamiento radiativo total para el año 2100, variando desde 2,6 a 8,5 W/m^2 ; además, estos escenarios contemplan efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales encaminados a mitigar las emisiones (Rodríguez Camino et al., 2014).

Dichas trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP 2.6), dos escenarios intermedios (RCP 4.5 y RCP 6.0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de GEI (RCP 8.5). Los escenarios sin esfuerzos adicionales para limitar las emisiones (‘escenarios de referencia’) dan lugar a trayectorias que se sitúan entre RCP 6.0 y RCP 8.5; mientras que RCP 2.6 representa un escenario que tiene por objetivo que sea probable mantener el calentamiento global a menos de 2 °C por encima de las temperaturas preindustriales (IPCC, 2014):

- a) **RCP 2.6:** es una trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza un valor máximo de aproximadamente 3 W/m^2 antes del 2100 y posteriormente disminuye.

- b) **RCP 4.5 y RCP 6.0:** son dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza en aproximadamente 4,5 y 6,0 W/m² después del 2100.
- c) **RCP 8.5:** trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores > 8,5 W/m² en 2100 y sigue aumentado durante un lapso de tiempo.

4.3.2. Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (*Shared Socioeconomic Pathways, SSP*)

Las SSPs describen futuros alternativos de desarrollo socioeconómico y representan como podría evolucionar el mundo. Asumen la ausencia de efectos del cambio climático pues no incluyen variables ambientales ni políticas climáticas sobre mitigación y adaptación (Castillo et al., 2017). Estas trayectorias se desarrollaron con la finalidad de complementar las RCP, debido a que estas desvincularon un determinado desarrollo socioeconómico. Para suplir este déficit, los escenarios SSP abarcan las dimensiones social, medioambiental y económico del desarrollo sostenible, la adaptación y mitigación, y la transformación, en un sentido genérico o desde una perspectiva metodológica concreta, como los modelos de evaluación integrada y las simulaciones de escenarios (IPCC, 2023).

Entre los escenarios tenemos: SSP1, bajo la narrativa de sustentabilidad asume un bajo crecimiento de la población, alto crecimiento económico, altos niveles de educación, gobernabilidad, una sociedad globalizada, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental. SSP3, descrita como de fragmentación, asume un alto crecimiento poblacional y bajo desarrollo económico, niveles de educación bajos, y una sociedad regionalizada y con poca conciencia ambiental, representado así un nivel alto de desafíos para la adaptación y mitigación. SSP4, bajo la narrativa de desigualdad, la tecnología avanza en los países desarrollados, pero no toda la población puede beneficiarse de ello, representando un nivel alto para la adaptación. SSP5, asumen un bajo crecimiento poblacional, elevado crecimiento económico y un alto desarrollo humano, con alta dependencia a los combustibles fósiles, derivando en un elevado nivel de desafío para la mitigación (Castillo et al., 2017).

4.4. Modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies (SDM, por sus siglas en inglés) son herramientas estadísticas que relacionan observaciones u ocurrencias de especies, con las condiciones ambientales (Chauvier et al., 2022) y representan cartográficamente, de manera

parcial, la realidad con algunas de sus propiedades (Mateo et al., 2011). De esta manera, indican la idoneidad del hábitat para el desarrollo de poblaciones de una especie concreta o de una comunidad, calculada a partir de observaciones de campo y una serie de variables ambientales que actúan como variables predictoras (De Pando y De Giles, 2007; Ferrier y Guisan, 2006; Guisan y Zimmermann, 2000; Mateo et al., 2011).

Los SDM son una de las principales áreas de investigación en el campo de la biogeografía de la conservación, se centra en la aplicación de principios, teorías y análisis de la biogeografía, a problemas concernientes a la conservación de la biodiversidad (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011), permiten explicar la distribución de animales y plantas en combinación con factores ambientales, y, recientemente, ha tomado importancia la implementación de estos para la modelación geográfica predictiva, para evaluar los impactos del uso del suelo y otros cambios ambientales en la distribución de la biodiversidad (Guisan y Zimmermann, 2000).

Las herramientas de modelación, en los últimos años, se han convertido en herramientas útiles y eficaces en temas de conservación de la biodiversidad, gestión de los recursos naturales y la gestión de riesgos (Aguirre et al., 2017; De Pando y De Giles, 2007), evaluación del potencial de propagación de las especies invasoras, identificación y manejo de especies amenazadas, priorización de lugares para la conservación de la biodiversidad y para evaluar el impacto potencial del cambio global en los patrones de distribución de la biodiversidad (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016), recuperación de nichos ecológicos y predicción potencial de la distribución geográfica de la biodiversidad (Chauvier et al., 2022).

Los SDM relacionan estadísticamente (mediante modelos de regresión, de clasificación o de aprendizaje automatizado) los registros de información biológica (presencia/ausencia) conocida de las especies/ecosistemas y variables biofísicas (generalmente variables climáticas tales como temperatura, precipitación y horas de radiación solar; no obstante, también se pueden emplear variables ambientales como la altitud, clima, geología, etc); donde la variable dependiente (dicotómica) son los datos de presencia/ausencia y las variables independientes (cuantitativas) son las variables biofísicas (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016; Guisan y Zimmermann, 2000; Illoldi-Rengel y Escalante, 2008; Lobo y Hortal, 2003; Mateo et al., 2011). Dichas relaciones obtenidas se pueden extrapolar a otros contextos espaciales o temporales, por ejemplo, se puede implementar para un contexto climático previsto para el futuro, que a su vez permitirá predecir zonas óptimas para la especie/ecosistema en cuestión, bajo un contexto de cambio climático (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016).

La información biológica (presencias/ocurrencias, ausencias) y variables biofísicas (variables bioclimáticas, topográficas, etc) implementadas para la generación de los SDM se pueden obtener de diversas fuentes. Las presencias/ocurrencias y ausencias de las especies se pueden obtener mediante la toma de información en campo o en bases de datos de la web como Global Biodiversity Information Facility (GBIF), no obstante, debemos considerar que estas bases de datos pueden presentar errores de tipo taxonómico (correcta identificación), como geográfico (errores de localización), que pueden generar errores independientes en las técnicas de modelación utilizadas (Edwards et al., 2006; Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Para la obtención de las variables biofísicas, en tema de modelamiento de especies se emplea variables bioclimáticas, variables topográficas, entre otras, que se pueden obtener de distintos portales web como Worldclim, CHELSA, etc (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

La importancia de emplear las variables bioclimáticas radica en que estas afectan el periodo y la duración de un evento fenológico en todo el ciclo de vida de las plantas, haciendo que estas respondan de diferente manera al cambio climático, sufriendo cambios estacionales relacionados con la idoneidad del hábitat y modificando sus patrones de distribución geográfica; esto afecta las relaciones interespecíficas con otros seres vivos y modifica la composición y funcionalidad de los ecosistemas (Correa-Lima et al., 2019). Además, son de gran importancia ya que algunas variables como la temperatura y la precipitación tienen fuertes correlaciones en cuanto a la distribución de flora y es muy probable que el cambio climático afecte estas variables (Breslin et al., 2020).

4.4.1. Pasos para generar los modelos de distribución de especies

a) Calibración del modelo

En esta se realizan distintos análisis estadísticos con el fin de ajustar el modelo para posteriormente proyectar al espacio geográfico (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). En la calibración se ajustan los parámetros y constantes del modelo mediante procesos de selección analizando la correlación entre las variables predictoras que se vaya a implementar (De Pando y De Giles, 2007). La aplicación de métodos correlativos a puntos de presencias de una especie para identificar variables ambientales asociadas, se realiza debido a su potencial para permitir la creación de mapas que se pueden interpretar de diversas maneras, incluyendo distribuciones potenciales o actuales de una especie (Soberón et al., 2017).

b) Evaluación/validación del modelo

Los modelos de distribución basados en datos de presencia-ausencia generalmente se evalúan empleando una muestra de evaluación independiente a la utilizada para entrenar/calibrar los modelos, compuesta por registros de presencia-ausencia. De acuerdo a De Pando y De Giles (2007), la fase de evaluación nos permite calcular:

- Los casos correctamente clasificados, que son verdaderos positivos cuando el modelo predice presencia y ésta se confirma por las presencias de la muestra de evaluación, y verdaderos negativos cuando el modelo predice ausencia y ésta se confirma por las ausencias de la muestra de evaluación;
- Los casos erróneamente clasificados, que son falsos positivos cuando el modelo predice presencia y la muestra indica ausencia (error de comisión), falsos negativos cuando el modelo predice ausencia y la muestra indica presencia (error de omisión). Estos datos se clasifican en una matriz de confusión a partir de la cual se pueden calcular distintos índices de evaluación.

Según De Pando y De Giles (2007), el error de comisión o los falsos positivos no se pueden calcular para modelos basados en presencias. Dado que nuestro conjunto de datos solo contenía datos de presencias, se generaron aleatoriamente 10 000 puntos (Plissock et al., 2014) conocidas como pseudoausencias. De este modo se obtiene una matriz de confusión modificada, a partir de la cual puede calcularse la capacidad del modelo para discriminar entre registros de presencia y puntos generados aleatoriamente. Para ello se recomienda implementar ROC que es una técnica de Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés), que ha sido aplicada con éxito para la evaluación de modelos de distribución basados en algoritmos de presencia-ausencia (De Pando y De Giles, 2007; Plissock y Fuentes-Castillo, 2011). ROC evalúa las probabilidades de presencia frente a las observaciones de presencia-ausencia (Hanley y McNeil, 1982). En función de los valores de evaluación del AUC, los modelos se clasifican de la siguiente manera: $AUC > 0,9$ (modelos muy buenos), $AUC > 0,7$ y $< 0,9$ (modelos razonables) y $AUC < 0,7$ (modelos poco precisos) (Araújo y Pearson, 2005).

c) Proyección espacial

Corresponde al paso final del proceso de la generación de SDM, y en este se proyecta en el espacio geográfico el modelo que ha sido calibrado y evaluado. Mediante esta, los valores continuos de probabilidad o valores obtenidos de un umbral son transferidos al espacio geográfico. Se puede proyectar tanto a la actualidad como al futuro, empleando variables

descriptoras que correspondan a los tiempos que se quiere analizar (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

4.5. Ecosistemas de la provincia de El Oro

La provincia de El Oro representa una pequeña fracción del territorio ecuatoriano (2.15%) (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de El Oro y Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [GADPEO y SEMPLADES], 2010), sin embargo, es considerada como una de las áreas críticas para la conservación de la biodiversidad, ya que en esta fracción del territorio nacional se han descrito 19 sistemas ecológicos o ecosistemas, que albergan más de 629 especies de aves, 139 especies de mamíferos, 50 especies de anfibios, 87 especies de reptiles, 304 especies de orquídeas y más de 1 000 especies de plantas (GADPEO y INABIO, 2019; Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2013). La compleja orografía provincial (Anexo 1) ha sido un factor clave para el desarrollo de estos 19 ecosistemas; no obstante, gran parte del territorio provincial (62%) se ha visto alterado por las presiones antrópicas, predominando las áreas intervenidas, pues su ubicación geográfica también potencia las actividades económico-productivas, siendo una de las provincias más importantes para el desarrollo del país (GADPEO y INABIO, 2019).

El Oro es una provincia inminentemente agrícola, actividad potenciada por las condiciones climáticas, las tierras fértiles y la mano de obra abundante, con predominio de productos como el banano, cacao, café, camarón y oro en la industria extractivista (Capa Benítez et al., 2018). El GADPEO en cooperación con el INABIO y el Museo Ecuatoriano de ciencias naturales del INABIO (MECN-INB), describen que la explotación de los recursos naturales de los ecosistemas provinciales ha provocado la fragmentación, pérdida de hábitat y contaminación de los ecosistemas, resultado de las actividades humanas asociadas al cambio de uso de suelo (áreas de pasto, cultivos, vegetación en regeneración, áreas urbanizadas y concesiones extractivistas como actividades mineras), que han provocado la reducción de su área, arriesgando el bienestar humano y el desarrollo económico y social de la región (GADPEO y INABIO, 2019; MECN-INB y GADPEO, 2015).

En base a estudios integrales de Estado-Presión-Respuesta de los ecosistemas y partiendo de la premisa de que las actividades antrópicas ejercen presión sobre el ambiente y modifican la disponibilidad de recursos naturales, en Ecuador se han priorizado zonas para la implementación de mecanismos de conservación, una de las cuales atraviesa la provincia de El

Oro. La implementación de estas medidas tiene beneficios significativos en temas de mitigación de impactos ambientales como la pérdida de la biodiversidad, pérdida de cobertura vegetal natural, fragmentación del hábitat, presión sobre los recursos naturales, entre otras (GADPEO y INABIO, 2019), aumentando significativamente la disponibilidad de recursos naturales, provisión de servicios ecosistémicos y consecuentemente, contribuirán al mantenimiento de la calidad de vida de los habitantes de la Provincia.

Si bien se conoce los impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales y los recursos que estos proveen; aún no se ha analizado el impacto que genera el cambio climático sobre los ecosistemas a pequeña escala. Cabe recalcar que las presiones antrópicas incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas ante el cambio climático, además, autores estiman que los ecosistemas podrían reducir sus rangos de distribución como respuesta ante el cambio climático (CEPAL, 2017). No obstante, no se han realizado estudios que describan detalladamente los efectos que este fenómeno podría causar sobre los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro. En temas de conservación la implementación de modelos predictivos, permite analizar el impacto que el cambio climático podría causar sobre distribución de los ecosistemas naturales y con ello, contribuye como una herramienta para la toma de decisiones, como la implementación de áreas de conservación de manera estratégica, considerando la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante el cambio climático (García-Valdés y Morales-Castilla, 2016).

Los ecosistemas presentes en la provincia de El Oro se presentan en la Tabla 1, junto con su código único de identificación en función de lo descrito por el ex Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) en el año 2013, actualmente Ministerio del Ambiental, Agua y Transición Ecológica (MAATE), y su área en función del territorio provincial. Los ecosistemas más representativos a nivel provincial son el BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR, MANGLAR DEL JAMA-ZAPOTILLO y BOSQUE SEMIDECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO, ya que juntos suman ~63.23 % de la superficie provincial ocupada por los ecosistemas. Todos estos ecosistemas serán considerados como unidades muestrales a modelar mediante la implementación de los SDM descritos anteriormente.

Tabla 1. Ecosistemas naturales de la provincia de El Oro.

Nombre del ecosistema	Código	Área (km²)	Proporción (%)
ARBUSTAL DESÉRTICO DEL SUR DE LOS VALLES	AdBn01	0,90	0,05
BOSQUE BAJO Y ARBUSTAL DECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO	BdTc02	134,56	8,07
BOSQUE DECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO	BdTc01	83,90	5,03
BOSQUE SEMIDECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO	BmTc01	186,80	11,20
BOSQUE SEMIDECIDUO PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BmPn01	0,48	0,03
BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO	BeTc02	66,30	3,98
BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL MONTANO BAJO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BeBn01	10,41	0,62
BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL PIEMONTANO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE LOS ANDES	BePn01	70,12	4,21
BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BePn02	637,08	38,20
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO ALTO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BsAn04	41,46	2,49
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE LOS ANDES	BsBn04	0,17	0,01
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BsBn05	58,39	3,50
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE LOS ANDES	BsMn03	2,93	0,18
BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BsMn04	92,86	5,57
BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR	BsPn02	33,41	2,00
BOSQUE Y ARBUSTAL SEMIDECIDUO DEL SUR DE LOS VALLES	BmBn02	14,73	0,88
HERBAZAL DEL PÁRAMO	HsSn02	0,46	0,03
HERBAZAL INUNDABLE RIPARIO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO	HsTc03	2,17	0,13
MANGLAR DEL JAMA-ZAPOTILLO	BsTc05	230,49	13,82

5. Metodología

En el presente apartado se describen los métodos implementados para el desarrollo de la presente investigación, desde el diseño de investigación, área de estudio y la metodología para cada uno de los objetivos, detallando las fuentes de las que se ha obtenido la información base para llevar a cabo la misma.

5.1. Diseño de la investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo de tipo correlacional. Es cuantitativo debido a que se emplearon variables cuantificables, con un proceso secuencial y deductivo, es decir que se debe seguir un orden o secuencia lógica y en base a los resultados obtenidos nos permitirá emitir razonamientos, proposiciones o principios (Hernández Sampieri et al., 2010). Es de alcance correlacional, porque se analizó la relación o grado de asociación que hay entre las variables bioclimáticas (Hernández Sampieri et al., 2010) y como estas influyen en la distribución de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro.

Por otra parte, la investigación empleará un diseño no experimental, porque se centró en medir la relación entre las variables cuantitativas, es decir, la colinealidad que existe entre estas, sin emplear ningún grado de manipulación a las variables independientes (Hernández Sampieri et al., 2010), que en el caso de esta investigación son las variables biofísicas (bioclimáticas y topográficas).

5.2. Área de estudio

El área de estudio de la presente investigación comprende todo el límite político de la provincia de El Oro (Figura 1). Se encuentra ubicada al suroeste de la República del Ecuador, en la frontera con la República del Perú, en las coordenadas geográficas 3° 02' y 3° 53' de Latitud Norte y 80° 20' y 79° 21' de Latitud Oeste. Es la provincia más meridional de la Costa ecuatoriana y debido a su posición geográfica (extremo sur occidental del Ecuador), su superficie abarca regiones de costa, sierra e insular; es decir, una parte del territorio provincial se localiza en las faldas de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, otra parte, y mayoritaria, en la región costa, y, por último, una tercera parte en la región insular (GADPEO y SENPLADES, 2010). La provincia de El Oro, junto a las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, pertenecen a la zona administrativa de planificación número 7 (Zona 7) (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural [INPC], 2010).

La provincia de El Oro posee una superficie de 5 791,85 km² (GADPEO y SENPLADES, 2010), con distintos pisos altitudinales que van desde los 0 a los 3 900 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) (GADPEO y INABIO, 2019); se divide en dos grandes zonas que son la occidental o costera y la zona oriental. Las condiciones climáticas están determinadas por sus dos regiones, siendo templado para la zona alta o de la cordillera, con rangos entre 14 y 22 °C; mientras que en la zona baja el clima es cálido y la temperatura promedio está entre

los 18 hasta los 30 °C (INPC, 2010). Debido a su amplio gradiente altitudinal provincial se han originado una diversidad de climas que comprenden desde tropical semiárido en la costa, tropical seco en la zona piedemonte y semihúmedo en la parte alta de la provincia (GADPEO y INABIO, 2019).

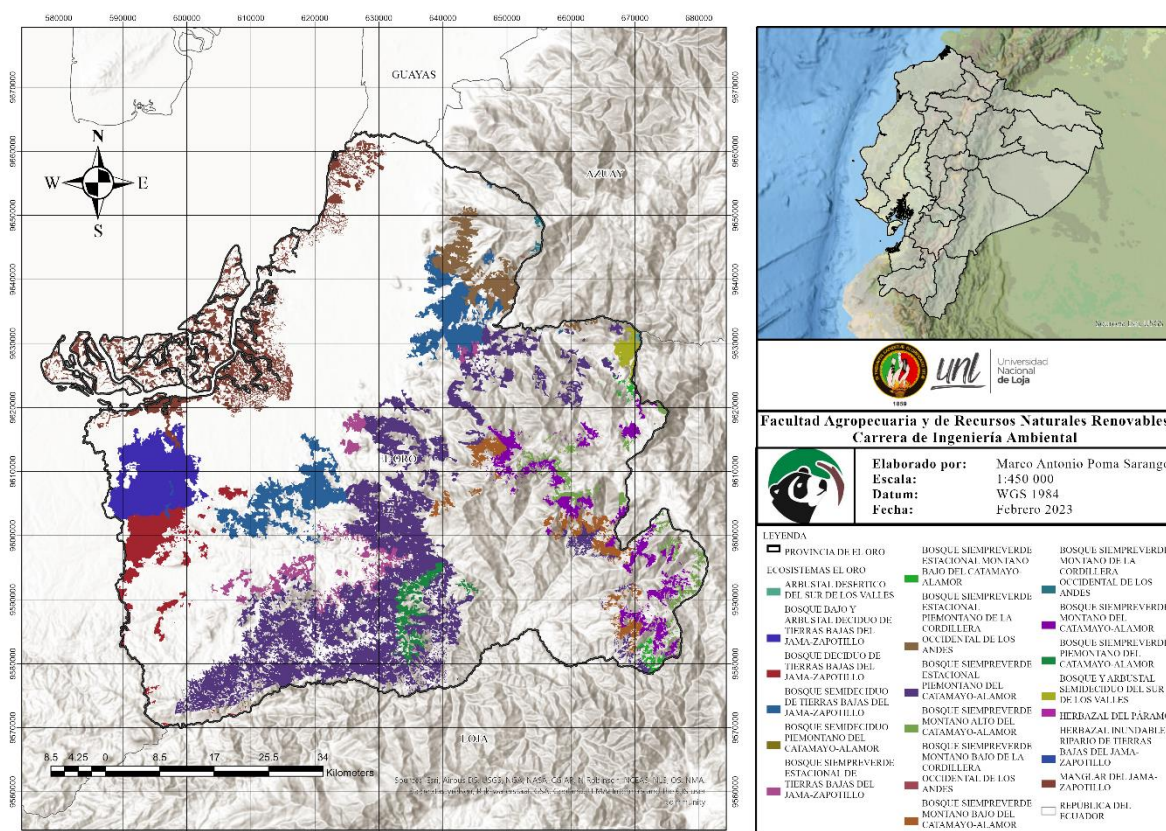


Figura 1. Área de estudio (Provincia de El Oro) y distribución de los remanentes de los ecosistemas naturales provinciales.

5.3. Fuentes para la obtención de la información

5.3.1. Ecosistemas

En la presente investigación se modelaron los sistemas naturales descritos por el ex Ministerio del Ambiental en el año 2013 (Sistema de clasificación de ecosistemas del Ecuador continental), presentes en la provincia de El Oro, la misma que cuenta con 19 ecosistemas. En la Tabla 1 se describen los distintos ecosistemas con su código único de identificación y su área y porcentaje que ocupan en relación con la superficie provincial ocupada por los ecosistemas, los mismos que se consideraron como unidades muestrales a modelar. En total, los 19 ecosistemas presentes ocupan un área de 1 667,62 km², que corresponde al 28,79 % del

territorio provincial (5 791,85 km²). La Figura 1 representa la distribución de los distintos ecosistemas en la provincia de El Oro.

A partir de los mapas de distribución de los ecosistemas obtenida del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013), se generaron los datos de presencia/ocurrencia de los ecosistemas. Inicialmente fue necesario analizar la distribución altitudinal de los ecosistemas, para ello se empleó el Modelo Digital de Elevación (DEM) y los mapas de distribución de los ecosistemas. Mediante técnicas de análisis espacial, los polígonos en formato shape, se transformaron a ráster, para luego, cada centroide de los ráster convertirlo a putos y así extraer la información relacionada con la distribución altitudinal de los ecosistemas.

Posteriormente se generaron puntos aleatorios dentro del área de distribución observada de cada ecosistema, considerando el rango altitudinal de distribución del mismo. De acuerdo a Kadmon et al. (2003), el mínimo de puntos de presencias necesario para obtener modelos estadísticamente válidos está entre 30 y 50 puntos, por lo que se consideró el siguiente criterio: para ecosistemas cuya distribución en el perfil altitudinal comprenda un rango de 0 a 1 000 m s.n.m, se generó un número de 50 puntos de ocurrencia; de 0 a 2 000 m s.n.m, el número de puntos de ocurrencia generado fue de 100; y, de 0 a $\geq 3\ 600$ m s.n.m, el número de ocurrencias generado fue de 150 puntos.

Finalmente se generaron las ausencias, considerando que la distribución de los ecosistemas no obedece los límites territoriales impuestos por el ser humano, la proyección de los ecosistemas bajo estudio se realizó para toda la Zona Sur (Zona 7), por lo que las ausencias también se generaron para toda la Zona Sur y posteriormente se procesó la información para presentar los resultados únicamente para la provincia bajo análisis. Al no contar con datos de ausencia reales, se generaron puntos aleatorios (pseudausencia), haciendo uso de herramientas SIG (Buckland et al., 2022; De Pando y De Giles, 2007), en la misma proporción para todos los ecosistemas (Benavidez-Silva et al., 2021), sin considerar las zonas de distribución donde los ecosistemas están presentes (Figura 1). Mediante un muestreo aleatorio estratificado se generaron 10 000 puntos distribuidos al azar dentro del área de estudio, para cada ecosistema a analizar. Esto debido a que es necesario considerar que los puntos de ocurrencia de los ecosistemas (presencia) y las pseudausencias deben ser representativos para la escala de trabajo elegida (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011), además que contribuye a incrementar la precisión de los modelos de distribución (De Pando y De Giles, 2007).

5.3.2. Variables biofísicas (bioclimáticas y topográficas)

Las variables bioclimáticas, debido a su facilidad de obtención y a alta resolución de los datos de libre acceso y uso, son las más empleadas en los SDM (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Para este estudio se optó por el set de variables bioclimáticas predefinidas del portal web Climatology at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA) (<https://chelsa-climate.org/>), que ofrece una mejor calidad de datos (Brun et al., 2022). Este set consta de un total de 19 variables bioclimáticas que se describen en la Tabla 2. Así mismo se utilizaron variables topográficas como altitud, pendiente (slope), mapa de sombras (hillshade) y aspecto (aspecto), estos últimos tres se obtienen mediante procesamiento del DEM, haciendo uso de un software SIG. El DEM se lo obtuvo del portal web Worldclim (<https://www.worldclim.org/data/index.html>).

Tabla 2. Variables bioclimáticas implementadas en la presente investigación

Variables Bioclimáticas	
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango diurno medio (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Estacionalidad de la 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 la 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 cuarto más frío

Es necesario recalcar que el uso de las variables bioclimáticas en los SDM contribuye a determinar la influencia de los patrones de precipitación y temperatura en la determinación de la idoneidad del hábitat, mientras que las variables topográficas se consideran en los modelos con la finalidad de permitir una representación de las características del paisaje (Gama et al., 2016).

La resolución de las variables es un factor de importancia en el modelamiento de los ecosistemas y va a depender del área de distribución de las especies (Guisan y Thuiller, 2005)

y en este caso de los ecosistemas; pues influye directamente en la obtención de resultados predictivos sólidos (Chauvier et al., 2022). Por ello, la resolución de las variables bioclimáticas y topográficas fue de 1 km, siendo esta una resolución adecuada para el modelamiento de cuestiones como el uso del suelo (Chauvier et al., 2022).

Las variables bioclimáticas empleadas para las distintas escalas temporales a las que se proyectó (actualidad y futuro), corresponden a los tiempos en análisis (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Es decir, se implementó variables actuales para las proyecciones a la actualidad y variables futuras, que corresponden a las extrapoladas del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplado fase 5 (CMIP-5, por sus siglas en inglés), para el 2080 (ventana temporal 2061 – 2080), bajo el escenario RCP 6.0 para las proyecciones a futuro. Las variables topográficas fueron las mismas tanto para las proyecciones a la actualidad como al futuro, esto debido a que se considera que algunos predictores, como las variables del suelo (topografía), permanecen constantes a lo largo de las escalas temporales (Brun et al., 2020), a menos que se susciten eventos sísmicos de gran magnitud, que alteren significativamente estas variables estáticas.

5.4. Modelamiento de la distribución potencial de los ecosistemas

El proceso de modelamiento o proyección se desarrolló en el software R versión 4.2.0 (R Core Team, 2022), empleando el paquete Biomod2 que requiere versiones de R superiores a la versión 3.4.0 (Thuiller et al., 2021). Este es un paquete orientado a objetos que se implementa en R y nos ofrece la posibilidad de ejecutar 10 técnicas de modelado de última generación (Tabla 3) para describir y modelar las relaciones entre una especie determinada y su entorno, para predecir posibles distribuciones geográficas de la especie (Chauvier et al., 2022; Thuiller et al., 2021).

Biomod2 es una herramienta que intenta definir el nicho ecológico de una determinada especie, empleando variables ambientales (temperatura, precipitación, entre otras variables), con el uso potencial de realizar proyecciones a futuro, bajo escenarios de cambio climático y uso de la tierra; así mismo, se puede emplear para predecir la distribución de especies, o cualquier dato binomial como genes, marcadores, ecosistemas, en función de cualquier variable explicativa (Thuiller et al., 2021).

Tabla 3. Técnicas de modelado de última generación implementadas por Biomod2

Técnicas	Descripción
GLM	Generalized Linear Model
GBM	Generalized Boosting Model o usualmente llamado Boosted Regression Tress
GAM	Generalized Additive Model
CTA	Classification Tree Analysis
ANN	Artificial Neural Network
SRE	Surface Range Envelop o usualmente llamado BIOCLIM
FDA	Flexible Discriminant Analysis
MARS	Multiple Adaptive Regression Splines
RF	Random Forest
MAXENT.Phillips	Maximum Entropy

El proceso de modelamiento de la distribución potencial de los ecosistemas se desarrolla en 3 fases, las cuales han sido descritas por Pliscoff y Fuentes-Castillo (2011) y han sido implementadas por Benavidez-Silva et al. (2021), quienes realizaron el modelamiento de ecosistemas del área geográfica de Chile en estas tres fases (Anexo 2); estas son: calibración o también llamada fase de entrenamiento, evaluación y proyección (Figura 2).

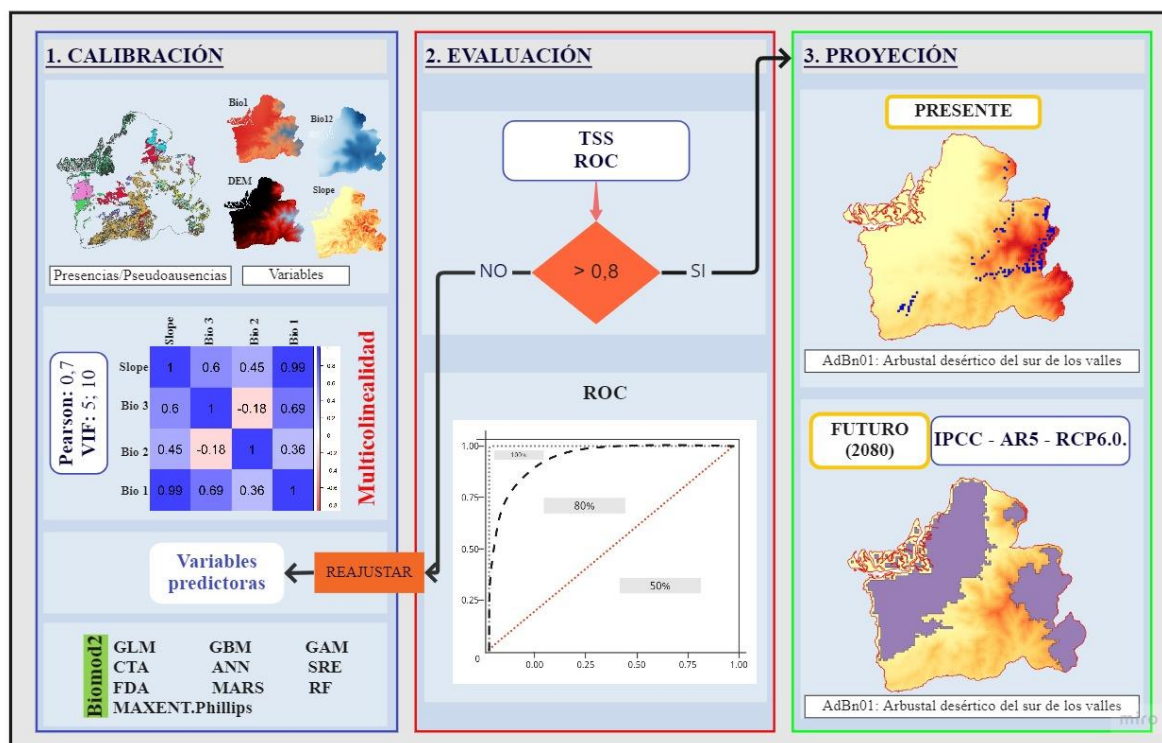


Figura 2. Esquema metodológico para el modelamiento de ecosistemas.

5.4.1. Calibración: Objetivo 1

Corresponde la primera fase del proceso de modelación y consiste en ajustar los parámetros y constantes del modelo para incrementar la coherencia entre los datos de entrada y

los resultados. En esta etapa se ha intervenido en los distintos modelos preparando/seleccionando la muestra de localizaciones del ecosistema y/o seleccionando cuidadosamente las variables predictoras, que son aquellas que describen o explican de mejor manera la distribución del ecosistema en el espacio geográfico (De Pando y De Giles, 2007). Con ello damos cumplimiento al primer objetivo específico de la presente investigación que consiste en identificar las variables bioclimáticas y topográficas que influyen sobre la distribución de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro.

Para seleccionar las variables de mayor influencia se realizó análisis estadísticos que nos permitieron seleccionar las variables que más información aportan al modelo (Ferran, 2017). Inicialmente se analizó la relación o dependencia que tiene la variable respuesta (distribución de los ecosistemas) con las variables independientes, empleando el análisis de Jackknife, permitiéndonos conocer las variables que más influyen sobre la distribución del ecosistema. Seguidamente se analizó la correlación que existe entre las variables independientes, empleando el método de correlación de Pearson por pares de variables, con un umbral de 0,7, eliminando así las variables que estén muy correlacionadas y que solo aportan información redundante al modelo; es decir, se consideró variables con mayor capacidad explicativa (en la distribución del ecosistema) y con menor correlación (Aguirre et al., 2017; Ferran, 2017; Muñoz y Felicísimo, 2004); con el umbral establecido se pudo descartar una de las variables de aquellos pares que superaron este valor (Ferran, 2017). Además, se implementó el método de Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés, Variance Inflation Factor), que nos permite conocer el grado o intensidad de correlación de las variables (multicolinealidad). En este análisis se consideró un umbral de 5 en un primer análisis y 10 en un segundo análisis (Benavidez-Silva et al., 2021). Mediante esta fase se disminuye la multicolinealidad entre las variables y se reduce la información redundante que se proporciona a los algoritmos (De Pando y De Giles, 2007).

Para la correlación de Pearson se utilizó la librería *corrplot* y *maxent*, mientras que para el método VIF se utilizó la librería *usdm* y *rio*, implementadas en R. De esta forma se evaluó las variables bioclimáticas que permiten explicar de forma cercana la distribución de los ecosistemas y se eligió qué variables utilizar para modelar cada ecosistema (Benavidez-Silva et al., 2021).

5.4.2. Evaluación/validación

Una vez definidas las variables de mayor relevancia, se modeló. Para la distribución actual de los ecosistemas, se realizó proyecciones Biomod2 y posteriormente se evaluó (segunda fase del proceso de modelación) partiendo del conjunto de datos puntuales en subconjuntos, para la calibración (70 %) y la evaluación (30 %) (Benavidez-Silva et al., 2021). Es decir, cada modelo genera datos independientes, considerando el 70 % de los datos para calibrar y para la evaluación considera el 30 % restante.

El proceso de evaluación es una cuestión fundamental en el desarrollo de modelos de distribución para evaluar la precisión predictiva (Allouche et al., 2006). Nos permitió conocer el poder predictivo, o, dicho de otra forma, la confiabilidad de los resultados de los modelos implementados por Biomod2, y esta se hace mediante la realización de una matriz confusión o error, donde las ausencias y presencias predichas se comparan con las ausencias y presencias reales (Plissock y Fuentes-Castillo, 2011).

Existen análisis estadísticos que nos permiten evaluar los modelos, son llamados umbral-independiente, que se aplican para evaluar la precisión del modelo sobre el mapa de valores continuos sin la necesidad de establecer un valor de corte o umbral (Plissock y Fuentes-Castillo, 2011). En este estudio, para evaluar el poder predictivo de cada modelo, se utilizaron los métodos de la estadística de habilidad verdadera (TSS, por sus siglas en inglés True Skill Statistics > 0,8) y la característica operativa del receptor (ROC, por sus siglas en inglés, Receiver Operating Characteristic > 0,8) (Benavidez-Silva et al., 2021), los modelos debían presentar un valor de evaluación que supere el 0,8 tanto para TSS como para ROC. Aquellos modelos que presentaron evaluaciones menores al valor establecido no fueron considerados para los ensambles finales (Benavidez-Silva et al., 2021).

Cabe recalcar que ROC es un método cuya precisión aumenta cuanto mayor es el número de muestras aleatorias utilizadas y podría estar influenciado por el tamaño de la muestra de evaluación, por lo que resulta necesario investigar a fondo las posibilidades de esta técnica (De Pando y De Giles, 2007).

5.4.3. Proyección: Objetivo 2

La fase de proyección corresponde a la última fase del proceso de modelación y mediante esta se da cumplimiento al segundo objetivo específico de la presente investigación y nos permitió identificar la influencia del cambio climático sobre la distribución de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro. Para ello, después de haber evaluado los

modelos, la plataforma de ensamblaje Biomod2 consideró aquellos modelos con mejor poder predictivo para realizar la proyección al espacio geográfico y climático actual y posteriormente se proyectó al espacio geográfico y climático futuro (hacia el año 2080) para cada ecosistema. Para la proyección a futuro se implementó una Trayectoria de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), la RCP6.0, propuesta por el IPCC en el quinto Informe de Evaluación del cambio climático (AR5, por sus siglas en inglés). Es necesario recalcar que la disponibilidad de la información, bajo estos escenarios, calibrada a la línea base, fue un factor determinante en la elección de los escenarios de cambio climático.

En el proceso de proyección los valores binarios obtenidos de un umbral son transferidos al espacio geográfico, por lo que se pueden representar en forma cartográfica (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011). Los ensambles generados también se evaluaron por los métodos de ROC y TSS ($>0,8$).

Se realizó la proyección únicamente para el escenario RCP 6.0, ya que este es un escenario de estabilización que supone que las emisiones de GEI no incrementarán, ni disminuirán, es decir se mantendrán constantes en el tiempo (similares a las emisiones evidenciadas históricamente), siendo la más realista. Así mismo, la disponibilidad de recursos tecnológicos limita la posibilidad de poder realizar la proyección para los distintos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC, ya que la técnica de modelación implementada en el estudio (Biomod2), es una técnica de ensamblado de diferentes algoritmos de predicción, con el objetivo de mejorar la precisión en las predicciones y reducir los sesgos asociados a cada uno de los modelos por separado (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011), que tiene un coste computacional muy alto (Sainz Villegas, 2019). El horizonte temporal de este estudio (hacia el 2080), se consideró con la finalidad de analizar los resultados desde un punto de vista más conservador que si se hubiese realizado las proyecciones a horizontes temporales más a corto plazo (por ejemplo 2050) (Sainz Villegas, 2019).

Finalmente, se procesó la información obtenida de la modelación y se realizó los mapas de la distribución actual y futura de ecosistemas de la provincia de El Oro y se analizó la influencia del cambio climático sobre su distribución.

6. Resultados

Una vez analizada la distribución altitudinal de cada ecosistema (Figura 3) se pudo evidenciar que los ecosistemas están distribuidos en los distintos pisos altitudinales que

presenta la provincia de El Oro: los ecosistemas BsTc05, BmTc01, BeTc02, BdTc02 y BdTc01, están distribuidos entre los 0 a los 500 m s.n.m; los ecosistemas AdBn01, BsBn01, BePn01, BePn02, BmBn02, BmPn01, BsBn05 y BsPn02, presentan rangos de distribución que van desde los ≤ 500 hasta los $\geq 2\ 000$ m s.n.m; y, los ecosistemas BsAn04, BsMn03, BsMn04 y HsSn02 están distribuidos sobre los 2 000 hasta los 3 600 m s.n.m. Para los ecosistemas HsTc03 y BsBn04, no se logró obtener datos suficientes para degenerar una curva de frecuencia de su distribución en los distintos pisos altitudinales.

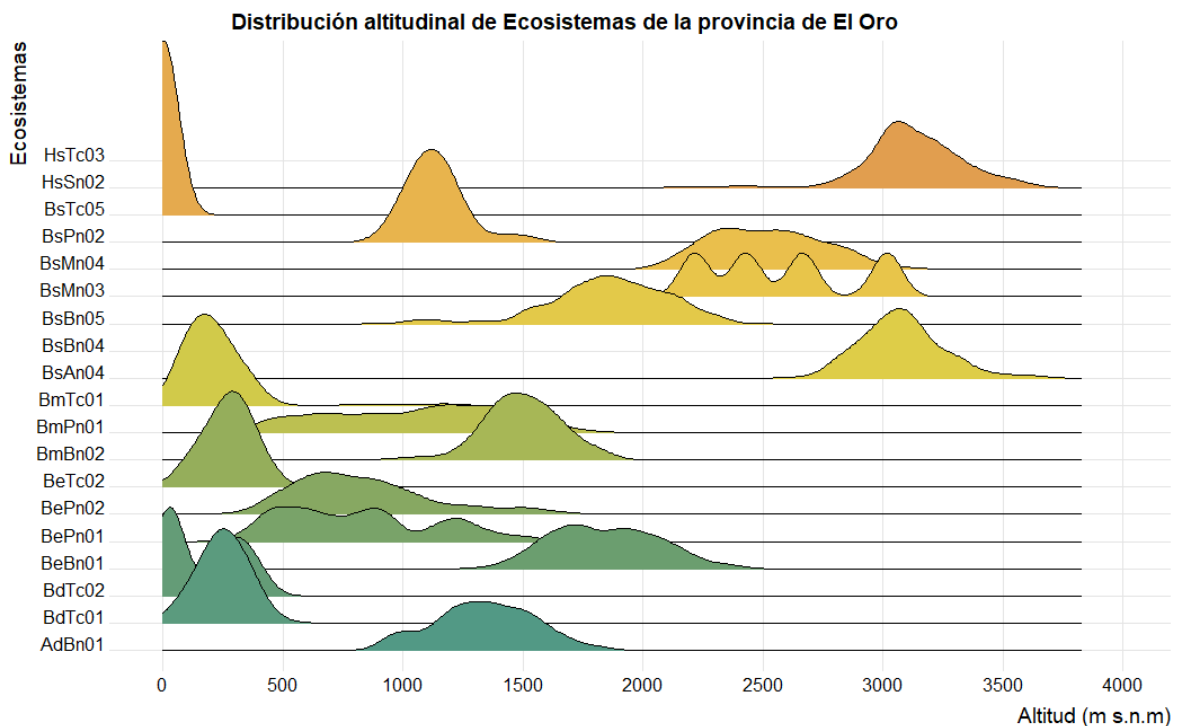


Figura 3. Distribución altitudinal de los ecosistemas de la provincia de El Oro

Nota: **AbBn01:** Arbustal desértico del sur de los valles; **BdTc01:** Bosque deciduos de tierras bajas del Jama-Zapotillo; **BdTc02:** Bosque bajo y arbustal decidido de tierras bajas del Jama-Zapotillo; **BeBn01:** Bosque siempreverde estacional montano bajo del Catamayo-Alamor; **BePn01:** Bosque siempreverde estacional piemontano de la cordillera occidental de los Andes; **BePn02:** Bosque siempreverde estacional piemontano del Catamayo-Alamor; **BeTc02:** Bosque siempreverde estacional de tierras bajas del Jama-Zapotillo; **BmBn02:** Bosque y arbustal semideciduo del sur de los Valles; **BmPn01:** Bosque semideciduo piemontano del Catamayo-Alamor; **BmTc01:** Bosque semideciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo; **BsAn04:** Bosque siempreverde montano alto del Catamayo-Alamor; **BsBn04:** Bosque siempreverde montano bajo de la cordillera occidental de los Andes; **BsBn05:** Bosque siempreverde montano bajo del Catamayo-Alamor; **BsMn03:** Bosque siempreverde montano de la cordillera occidental de los Andes; **BsMn04:** Bosque siempreverde montano del Catamayo-Alamor; **BsPn02:** Bosque siempreverde piemontano del Catamayo-Alamor; **BsTc05:** Manglar del Jama-Zapotillo; **HsSn02:** Herbazal del páramo; **HsTc03:** Herbazal inundable ripario de tierras bajas del Jama-Zapotillo.

En función de la distribución de los ecosistemas en el perfil altitudinal y siguiendo los criterios establecidos, se generaron los puntos de presencias para cada ecosistema. Por presentar una distribución comprendida entre 0 y 1 000 m s.n.m, se generaron 50 puntos para los

ecosistemas AdBn01, BdTc01, BdTc02, BeTc02, BsMn03, BsPn02, BmBn02, BsTc05, HsTc03 y BsBn04; mientras que los ecosistemas BmTc01, BmPn01, BeBn01, BePn01, BePn02, BsAn04, BsBn05, BsMn04 y HsSn02, presentaron un rango de distribución en el perfil altitudinal entre 0 y 2 000 m s.n.m, por lo que se generaron 100 puntos de ocurrencia distribuidos dentro del área de distribución observada de los mismos.

6.1. Calibración: Variables explicativas

Realizado el proceso de modelamiento de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro empleando las variables bioclimáticas (19) y topográficas (4) como variables biofísicas, se logró determinar que son distintas las variables, para cada ecosistema, que explican la presencia de estos en el espacio geográfico. De la etapa de calibración se logró obtener las variables explicativas; la Tabla 4 muestra cuales son las variables que tienen mayor contribución en los modelos de distribución y, por ende, que explican de mejor manera la distribución de los ecosistemas, y, han sido empleadas para realizar el modelamiento de los mismos, tanto al presente como al futuro, este último bajo un escenario de cambio climático.

La variable Bio17, correspondiente a la precipitación del cuarto más seco, es la única variable que no se ha empleado como variable explicativa para modelar ningún ecosistema (Tabla 4). Una de las razones es que durante el proceso de modelamiento (calibración), presentó una elevada correlación con otras variables, por lo que mediante el uso de la correlación Pearson y el método VIF se excluyó para evitar problemas de multicolinealidad de las variables explicativas, que surgen cuando las variables están muy correlacionadas entre sí.

Por el contrario, las variables que se emplearon en mayor medida para el modelamiento de los distintos ecosistemas corresponden a las siguientes variables topográficas y bioclimáticas en el siguiente orden: 1) Slope: 18 ecosistemas, 2) Aspect: 15 ecosistemas, 3) Hillshade: 14 ecosistemas, 4) Bio4 (Estacionalidad de la temperatura): 11 ecosistemas y, 5) Bio3 (Isotermalidad): 10 ecosistemas (Tabla 4).

El grupo de variables que más se implementó para el modelamiento de los ecosistemas corresponde a las variables topográficas. De las 4 variables implementadas, la pendiente (Slope) es la variable que se implementó en la mayoría de los modelos de los ecosistemas como variable explicativa, permitiendo describir la distribución potencial de 18 ecosistemas naturales de la provincia de El Oro (excepto el ecosistema BdTc02), pertenecientes a los 7 biomas de la

provincia de El Oro (Anexo 1). Mientras que la altitud (DEM) fue la variable que se empleó en menos modelos predictivos (6 ecosistemas).

En el caso de las variables bioclimáticas, de las 19 variables implementadas, la Bio4 correspondiente a la Estacionalidad de la temperatura, es la que más veces se implementó en el proceso de modelamiento, permitiendo estimar la distribución potencial de 11 ecosistemas, entre ellos AdBn01, BdTc02, BmTc01, BmPn01, BeBn01, BePn02, BsAn04, BsBn04, BsMn03, BsMn04 y HsSn02. Las variables Bio10 (Temperatura media del trimestre más cálido), Bio16 (Precipitación del cuarto más húmedo), fueron las menos empleadas, únicamente en un modelo, en los ecosistemas HsTc03 y BmTc01 respectivamente.

Tabla 4. Variables explicativas para los ecosistemas de la provincia de El Oro.

Variables explicativas	Ecosistemas naturales de la provincia de El Oro																		
	AdBn01	BdTc02	BdTc01	BmTc01	BmPn01	BeTc02	BeBn01	BePn01	BePn02	BsAn04	BsBn04	BsBn05	BsMn03	BsMn04	BsPn02	BmBn02	HsSn02	HsTc03	BsTc05
BIO			0.30																0.68
BIO2	0.06					0.39		0.24				0.07	0.14	0.05		0.13			
BIO3	0.63	0.25	0.05		0.13		0.19		0.54	0.07	0.01		0.12	0.05					
BIO4	0.31	0.47		0.73	0.55		0.68		0.21	0.67	0.17		0.30	0.63			0.11		
BIO5		0.78							0.47		0.71		0.75		0.28				
BIO6						0.89					0.62							0.10	0.03
BIO7				0.38						0.06						0.26	0.11		
BIO8								0.20								0.42			
BIO9					0.60							0.36							
BIO10																			0.44
BIO11			0.08	0.53															
BIO12	0.55								0.37	0.06		0.84					0.23	0.37	0.07
BIO13					0.15	0.13	0.08							0.07					
BIO14					0.46								0.16	0.15			0.23		
BIO15								0.48								0.67	0.73		
BIO16				0.53															
BIO17																			
BIO18	0.08							0.25		0.17	0.16			0.03	0.59	0.20	0.13		
BIO19	0.05		0.76				0.23		0.40		0.07	0.49	0.06	0.09		0.27			
DEM	0.06						0.50			0.88				0.82			0.90		0.91
Hillshade	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.08	0.03	0.02	0.03		0.03		0.01			0.03	0.03		0.02
Slope	0.00		0.11	0.07	0.02	0.08	0.03	0.07	0.01	0.03	0.05	0.22	0.07	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01
Aspect		0.13	0.03	0.02	0.05	0.02	0.06		0.06	0.01	0.01	0.16	0.01	0.01	0.08	0.02			0.02

Nota: La intersección marcada en cada celda me indica las variables que se han empleado en los modelos de distribución para cada uno de los ecosistemas. Mientras que las tonalidades me indican la contribución de cada variable a los distintos modelos, donde colores cálidos indican mayor contribución y colores fríos menor contribución.

El número de variables explicativas utilizadas como drivers para modelar los distintos ecosistemas de la provincia de El Oro ha sido de 7 en promedio de los 23 predictores ambientales evaluados (variables biofísicas). El máximo de predictores ambientales utilizados fue de 10 para el modelamiento del ecosistema BsMn04. Mientras que el mínimo corresponde a 5, que se empleó en los modelos de los ecosistemas BdTc02, BsPn02 y HsTc03 (Tabla 4).

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 estas, alteraría las demás variables. Por ello es importante analizar cómo se distribuyen estas dos variables en la zona de estudio y cuáles son los cambios que podrían sufrir bajo la influencia del cambio climático. En los Anexos 3 y 4, se puede evidenciar que los rangos de temperatura y precipitación varían de un ecosistema a otro. Así mismo, bajo la influencia del cambio climático se prevé un incremento de la temperatura en $\sim 3,3$ °C para todos los ecosistemas presentes en la zona de estudio (media actual: 19,2 °C; media futuro: 22,4 °C), con mayor pronunciamiento en los ecosistemas BsBn04, BsMn03 y BsPn02 (Anexo 3).

Para la precipitación, los cambios son más heterogéneos. De manera general, en todos los ecosistemas de la provincia de El Oro se espera una disminución de $\sim 7,4$ mm (5,35 %) con respecto al escenario de referencia. No obstante, analizando con mayor detenimiento, en 11 de los 19 ecosistemas, se prevé un incremento en promedio de $\sim 26,6$ mm, siendo más notorio en los ecosistemas AdBn01 y BmPn01. Mientras que para los 8 ecosistemas restantes (BeBn01, BePn01, BsAn04, BsBn04, BsBn05, BsMn03, BsMn04 y HsSn02), probablemente haya una disminución en promedio de $\sim 54,2$ mm, siendo más evidente en los ecosistemas BsBn04 y BsMn03 (Anexo 4).

6.2. Evaluación: Rendimiento de los modelos de Biomod2

En este apartado se describe la confiabilidad de los resultados obtenidos en cada uno de los modelos implementados por Biomod2, para cada ecosistema, mediante las dos métricas establecidas. La Tabla 5 nos permite evidenciar, de manera general, que los modelos con mejor capacidad predictiva son GBM, CTA, MARS y RF, debido a que son de los más empleados en los ensambles para determinar la distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro (18 ecosistemas cada uno).

Tabla 5. Rendimiento de los modelos implementados por Biomod2

Ecosistema	Métrica de evaluación	Técnicas de modelamiento (Biomod2)									
		GLM	GBM	GAM	CTA	ANN	SRE	FDA	MARS	RF	MAXENT
AdBn01	TSS	0.99	0.93	0.78	0.93	0.86	0.57	0.92	0.99	0.93	0.95
	ROC	1.00	0.96	0.89	0.96	0.93	0.79	0.99	1.00	0.96	1.00
BdTc02	TSS	0.98	0.97	0.88	0.93		0.54	0.96	0.98	0.94	0.97
	ROC	1.00	0.99	0.94	0.97		0.77	0.98	1.00	0.99	1.00
BdTc01	TSS	0.98	0.96	0.70	0.81	0.82	0.70	0.97	0.99	0.97	0.99
	ROC	0.99	0.99	0.85	0.91	0.91	0.85	0.98	0.99	0.99	1.00
BmTc01	TSS	0.99	0.94	0.90	0.89	0.98	0.70	0.97	1.00	0.99	0.95
	ROC	1.00	1.00	0.95	0.95	0.99	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00
BmPn01	TSS	0.95	0.88	0.82	0.85	0.81	0.67	0.93	0.97	0.88	0.91
	ROC	0.99	0.98	0.92	0.91	0.97	0.84	0.99	0.99	0.99	0.97
BeTc02	TSS			0.60	0.97	0.86		0.98			
	ROC			0.80	0.99	0.94		0.99			
BeBn01	TSS	0.93	0.98	0.84	0.94	0.77	0.72	0.85	0.80	0.94	0.89
	ROC	0.99	0.99	0.92	0.97	0.92	0.86	0.96	0.90	0.99	0.96
BePn01	TSS	1.00	1.00	1.00	0.94	0.92	0.65	0.96	0.94	1.00	0.70
	ROC	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.82	0.99	0.97	1.00	0.85
BePn02	TSS	0.89	0.94	0.63	0.72	0.85	0.56	0.84	0.92	0.93	0.85
	ROC	0.98	0.99	0.82	0.86	0.92	0.78	0.97	0.98	0.99	0.96
BsAn04	TSS	0.99	0.99	0.94	0.98	0.98	0.84	0.97	0.99	0.99	0.83
	ROC	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99	0.92	0.99	1.00	1.00	0.92
BsBn04	TSS	0.98	0.99	0.69	0.88	0.78	0.69	0.97	0.98	0.98	0.98
	ROC	1.00	1.00	0.85	0.94	0.96	0.84	0.99	1.00	1.00	1.00
BsBn05	TSS	0.92	0.92	0.80	0.84	0.60	0.63	0.80	0.89	0.93	0.84
	ROC	0.99	0.97	0.90	0.91	0.80	0.82	0.94	0.99	0.97	0.92
BsMn03	TSS	0.98	0.98	0.77	0.92		0.49	0.92	0.96	0.95	0.77
	ROC	0.99	0.99	0.89	0.96		0.75	0.98	0.99	0.99	0.89
BsMn04	TSS	0.96	0.95	0.89	0.92	0.90	0.38	0.38	0.91	0.96	0.79
	ROC	0.99	0.99	0.95	0.96	0.97	0.69	0.69	0.98	0.99	0.90
BsPn02	TSS	1.00	0.90	1.00	0.89	0.84	0.80	0.98	0.99	0.93	1.00
	ROC	1.00	0.95	1.00	0.95	0.92	0.90	0.99	1.00	1.00	1.00
BmBn02	TSS	0.99	0.98	0.80	0.89	0.48	0.50	0.93	0.98	0.97	0.60
	ROC	1.00	1.00	0.90	0.94	0.74	0.75	0.99	1.00	1.00	0.80
HsSn02	TSS	0.94	0.89	0.89	0.90	0.87	0.73	0.89	0.88	0.89	0.84
	ROC	0.99	0.99	0.95	0.97	0.97	0.86	0.97	0.98	0.98	0.94
HsTc03	TSS	0.69	1.00	1.00	1.00	0.94	0.80	0.99	1.00	1.00	1.00
	ROC	0.85	1.00	1.00	1.00	0.97	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00
BsTc05	TSS	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	0.67		1.00	1.00	1.00
	ROC	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	0.83		1.00	1.00	1.00

Por el contrario, aquellos modelos que han presentado un poder predictivo bajo, motivo por el cual han sido descartado de los ensambles finales para determinar la distribución potencial de algunos ecosistemas son GAM, ANN, SRE y MAXENT. Cabe destacar que los modelos que se han considerado para los ensambles finales, la mayoría presentan un poder predictivo mayor al 0,9, lo que nos da a conocer que son modelos muy buenos o excelentes.

6.3. Proyección: Zonas de distribución potencial

Realizado el proceso de modelamiento y habiendo procesado la información obtenida mediante el uso de SIG, se obtuvieron las zonas de distribución potencial para cada ecosistema de la provincia de El Oro, tanto para el presente como para el futuro (hacia el año 2080), bajo el escenario de emisión del IPCC – RCP 6.0. Posteriormente se comparó las proyecciones de las áreas de distribución potencial actuales con las futuras, lo que nos permitió generar información de importancia para cada ecosistema, tales como las ganancias, pérdidas y persistencias, que no es más que la superficie que el ecosistema podría ganar, perder o conservar (se mantiene en el tiempo y en el espacio). Toda esta información se presenta en Anexos (5 al 23) para cada ecosistema de la provincia de El Oro.

Estos análisis nos permitieron evidenciar que los distintos ecosistemas comparten algunas características climáticas y topográficas similares, prueba de ello es la superposición de las áreas de distribución en el espacio geográfico en las proyecciones realizadas para los distintos ecosistemas. La Figura 4 nos permite evidenciar las áreas de recambio, o, dicho de otra manera, la presencia de uno o varios ecosistemas (superposición) en un área determinada (espacio geográfico).

Estas áreas de recambio se generaron empleando la herramienta Análisis de imagen de ArcMap (10.4.1). Para ello se ingresa las proyecciones generadas a futuro de cada ecosistema (mapas booleanos: 1 = presencia, 0 = ausencia) y lo que hace el programa es generar un nuevo mapa con una escala que me indica mediante un gradiente de colores, las áreas de distribución potencial donde los ecosistemas podrían llegar a coincidir. En el caso de nuestro estudio, como se puede evidenciar en la Figura 4, la escala va del 1 al 5, es decir que hay un mínimo de 1 ecosistema y un máximo de 5 ecosistemas que podrían coincidir, a futuro, en un espacio geográfico.

Para la provincia de El Oro, las zonas de mayor convergencia (hasta 5 ecosistemas), corresponde a la zona Norte de la Provincia, en el cantón El Guabo, donde los ecosistemas que

podrían llegar a compartir el espacio geográfico son AdBn01, BdTc01, BmTc01, BsTc05, BdTc02 y BeTc02. En menor proporción, parte de los cantones Machala, Santa Rosa, El Guabo, ubicadas entre el Norte y Oeste de la Provincia, podría presentar una convergencia de hasta 4 ecosistemas, entre ellos AdBn01, BdTc01, BsTc05, BeTc02 y BmTc01 (Figura 4).

En zonas correspondientes a las estribaciones de la cordillera de Los Andes, en parte de los cantones Zaruma y Portovelo (límites provinciales) y Chila, existe la posibilidad que se dé la convergencia de hasta 3 ecosistemas, entre ellos AdBn01, BdTc01, BsMn04 y BsAn04. De igual manera, las zonas bajas correspondientes a los cantones Arenillas, Santa Rosa, Machala y El Guabo, presentarían condiciones óptimas para que se desarrollen 3 ecosistemas, entre ellos AdBn01, BdTc01, BdTc02 y BmTc01; al igual que los cantones Marcabelí y Balsas, la mayoría de su territorio presentaría las condiciones adecuadas para que se dé la convergencia de hasta 3 ecosistemas (BdTc01, BmPn01 y BsBn05) (Figura 4).

Las zonas donde podría existir una menor convergencia, pudiendo presentarse únicamente 1 ecosistema (zonas azules en la Figura 4), corresponden a partes de las zonas centro, Sureste, Suroeste y Noreste de la Provincia. Atravesando la provincia diagonalmente desde el Suroeste hasta el Noreste, en parte de los cantones Las Lajas, Arenillas, Piñas, Santa Rosa, Pasaje y El Guabo, el ecosistema BdTc01 podría ocupar estas zonas; mientras que en la zona Sureste en parte de los cantones Piñas, Portovelo, Zaruma, Atahualpa y Chila, el ecosistema que podría predominar es el BmPn01.

Como era de esperar y como se ha mencionado en la literatura, los ecosistemas responden de manera diferenciada a los cambios en las condiciones climáticas de su entorno, en función de sus características. Para los ecosistemas de la provincia de El Oro, las principales respuestas a futuro, bajo el escenario del cambio climático RCP 6.0, son la ganancia, pérdida o persistencia de su área de distribución actual; lo que implica también un cambio en los rangos de distribución de los mismos, variando tanto latitudinal como longitudinalmente. Todas estas variaciones podrían ocurrir hacia espacios geográficos que presenten condiciones similares a su espacio climático actual (áreas adecuadas para los ecosistemas).

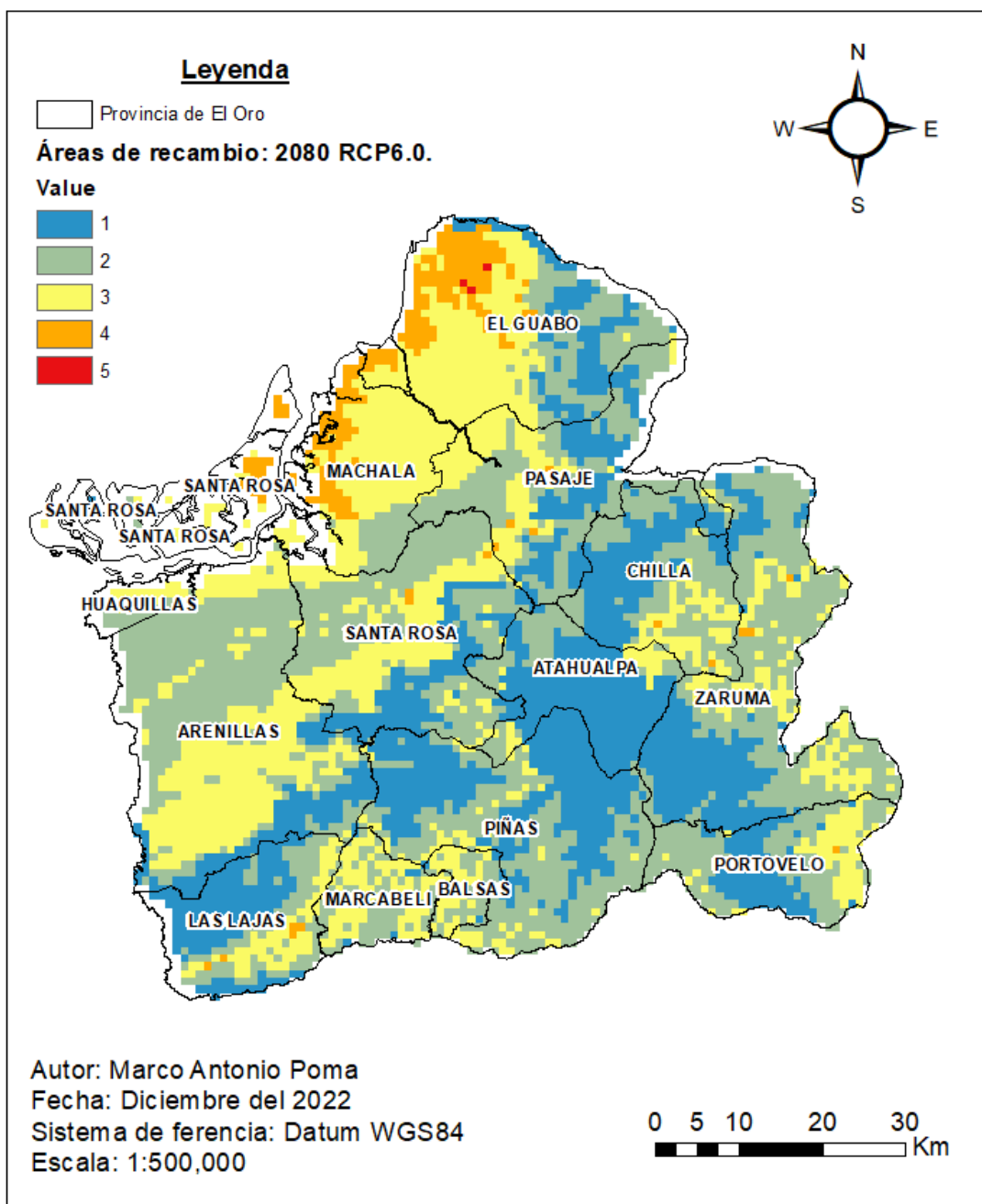


Figura 4. Zonas de distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro: áreas de recambio.

La Figura 5 resume las posibles respuestas de los ecosistemas de la provincia de El Oro, hacia el año 2080, bajo el escenario en análisis. Cabe señalar que estas respuestas son independientes de la superficie proyectada actual dentro del territorio provincial, por lo que, para un mayor entendimiento y para un análisis más representativo se ha considerado las áreas proyectadas al presente dentro del territorio provincial y en función de estas se ha calculado el porcentaje de superficie que gana, pierde o conserva cada ecosistema, en función de las áreas

obtenidas para cada respuesta (para mayor entendimiento ver Anexo 24), estas respuestas se resumen en la Tabla 5 y se describen con mayor detalle a continuación.

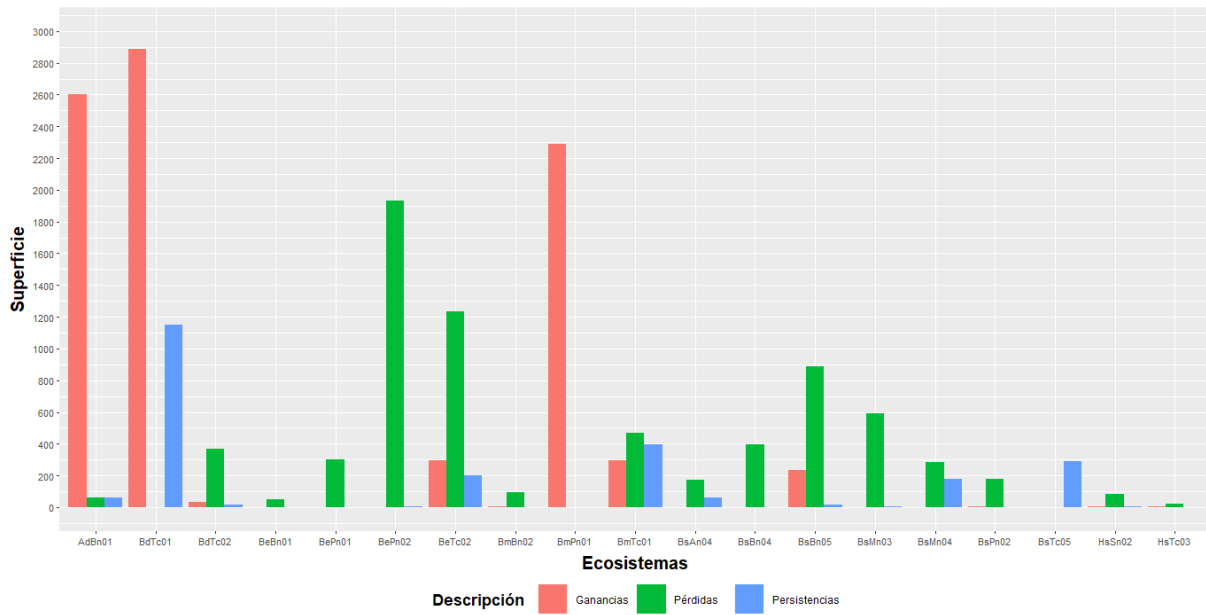


Figura 5. Ganancias, pérdidas y persistencias (superficie) de los ecosistemas de la provincia de El Oro.

Todos los ecosistemas responderían a los cambios en las condiciones climáticas de su entorno, pero estas respuestas serían diferenciadas, pudiendo presentar una o todas las respuestas, pero en distinta proporción (distinta superficie). En función de ello, los ecosistemas que podrían presentar ganancias o ampliarían su rango de distribución en mayor proporción, como respuesta al cambio climático, son:

- a) Arbustal desértico del sur de los valles (AdBn01) con 2 600,82 km² de ganancias (Figura 5), que equivale al 2 171,84 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5);
- b) Bosque deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo (BdTc01) con 2 889,19 km² (Figura 5), que equivale a una ganancia del 251,70 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5), este sería el ecosistema con mayor superficie dentro del territorio provincial en el futuro;
- c) Bosque semideciduo piemontano del Catamayo-Alamor (BmPn01) con 2 289,03 km² de ganancia. Si bien el modelo de distribución potencial no generó una proyección a la actualidad para este ecosistema dentro de la provincia de El Oro, el ecosistema está presente (aunque con un área relativamente pequeña), como se puede evidenciar en la Tabla 1; a pesar de ello, la proyección hacia el futuro generó una gran área de distribución para este ecosistema, siendo de 2 289,03 km² (Figura

5); no obstante, esta no se puede evidenciar en la Tabla 5 ya que esta representa el porcentaje de una posible ganancia en función de la Superficie Proyectada Actual dentro de la provincia de El Oro (columna 2 en la Tabla 5).

- d)** Bosque semidecíduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo (BmTc01) podría ganar 195,93 km², equivalentes al 34,13 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5).
- e)** El resto de los ecosistemas podrían tener ganancias significativas, pues la mayoría de estos no alcanzan ni el 10 % de ganancias como se puede evidenciar en la Tabla 5. Para mayor detalle ver Anexos del 3 al 21.

En cuanto a las pérdidas como respuestas al cambio climático, los ecosistemas que podrían verse más afectados por una potencial reducción de su área de distribución (Figura 5 y Tabla 5), bajo la influencia del cambio climático, son:

- a)** Bosque siempreverde estacional montano bajo del Catamayo-Alamor (BeBn01) que podría perder 48,99 km², equivalente al 100 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5), sin ninguna ganancia ni persistencia, por lo que, básicamente, este ecosistema podría desaparecer;
- b)** Bosque siempreverde piemontano del Catamayo-Alamor (BsPn02) podría perder 178,29 km², equivalente al 100 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5), sin ninguna persistencia, pero con una ganancia significativa del 2,39 % de su superficie proyectada actual;
- c)** Bosque y arbustal semidecíduo del sur de los valles (BmBn02) con 94,46 km², podría perder el 100 % de su superficie proyectada actual, sin persistencias, pero con ganancias significativas equivalentes al 4,52 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5);
- d)** Herbazal inundable ripario de tierras bajas del Jama-Zapotillo (HsTc03) con 23,04 km², podría presentar una pérdida del 100 % de su superficie proyectada actual, con una ganancia equivalente al 11,81 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5);
- e)** Bosque siempreverde estacional piemontano del Catamayo-Alamor (BePn02) podría perder 1 930,32 km², que equivale al 99,77 % de su superficie proyectada actual, con ganancias y persistencias mínimas del 0,05 % y 0,23 % de su superficie proyectada actual (Tabla 5);
- f)** En los ecosistemas BdTc01, BmPn01 y BsTc05, las pérdidas serían nulas.

- g)** El resto de los ecosistemas (AdBn01, BdTc02, BmTc01, BeTc02, BePn01, BsAn04, BsBn04, BsBn05, BsMn03, BsMn04, HsSn02) podrían presentar pérdidas importantes que superan el 50 % de su superficie proyectada actual dentro del territorio provincial. Por este motivo, las pérdidas son la respuesta más importante de los ecosistemas de la provincia de El Oro, a futuro, bajo la influencia del cambio climático.

Por último, las persistencias como respuesta al cambio climático en los ecosistemas de la provincia de El Oro son menores (Tabla 5). Los ecosistemas que podrían conservar la totalidad de su área de distribución proyectada actual son:

- a)** Bosque deciduo de tierras bajas del Jama-Zapotillo (BdTc01) con 1 147,87 km², que equivale al 100 % de su área proyectada actual; y,
- b)** Manglar del Jama-Zapotillo (BsTc05) con un área de 289,31 km², equivalente al 100 % de su área proyectada actual.
- c)** El resto de los ecosistemas podrían presentar persistencias menores al 50 % de su área de distribución actual, tendiendo a ganar nuevos espacios geográficos o simplemente a desaparecer (mayor tendencia).

La dirección hacia donde los ecosistemas podrían migrar en el futuro, debido principalmente a las ganancias de territorio, se pueden evidenciar en las dos últimas columnas de la Tabla 5. De ella podemos inferir que los ecosistemas podrían migrar hacia los distintos puntos cardinales sin predominancia alguna, hacia áreas adecuadas para el desarrollo de los distintos ecosistemas. Por ejemplo, el ecosistema BdTc01, que es el que presentaría una mayor área de distribución a futuro dentro del territorio provincial, conservaría parte de su territorio y las ganancias de superficie ocasionarían que el ecosistema migre hacia el Norte y el Este de la provincia.

Cabe destacar que los ecosistemas BePn01, BePn02, BsAn04 y BsMn04, a pesar de que los ecosistemas claramente se contraen o pierden superficie, las pocas persistencias que presentan se mantienen en el espacio geográfico de la distribución proyectada actual, por lo que se ha denotado con el punto negro (BePn01, BsAn04), mientras que las ganancias significativas que presentan (BsPn02, BsMn04) tienen lugar hacia las direcciones que se indica en la Tabla 5.

Tabla 6. Respuestas de los ecosistemas provinciales al cambio climático (escenario RCP6.0).

Ecosistema	SP Actual EO (km ²)	SP Futuro EO (km ²)	Ganancia (%)	Pérdida (%)	Persistencia (%)	Dirección RCP 6.0. (2080)	Descripción dirección
AdBn01	119,75	2 660,45	2171,84	50,20	49,80	←↓	W, S
BdTc02	381,37	45,23	8,28	96,42	3,58	↗	NE
BdTc01	1 147,87	4 037,06	251,70	0,00	100,00	●↑→	N, E
BmTc01	866,95	692,72	34,13	54,23	45,77	↑↙	N, SW
BmPn01	0,00	2 289,03	0,00	0,00	0,00	→↗	E, NE
BeTc02	1 431,54	492,38	20,56	86,17	13,83	↑	N
BeBn01	48,99	0,00	0,00	100,00	0,00	NaP	NaP
BePn01	302,14	0,85	0,00	99,72	0,28	●	
BePn02	1 934,76	5,31	0,05	99,77	0,23	●↙	SW
BsAn04	236,36	62,92	0,00	73,38	26,62	●	
BsBn04	398,36	1,71	0,21	99,79	0,21	↖↘	NW, SE
BsBn05	899,68	247,27	25,87	98,39	1,61	←	W
BsMn03	594,97	4,27	0,00	99,28	0,72	↓	S
BsMn04	461,05	179,05	0,46	61,62	38,38	●↑	N
BsPn02	178,29	4,26	2,39	100,00	0,00	↙	SW
BmBn02	94,46	4,27	4,52	100,00	0,00	←	W
HsSn02	89,80	11,12	6,65	94,27	5,73	↓↑	S, N
HsTc03	23,04	2,72	11,81	100,00	0,00	↖	NW
BsTc05	289,31	289,31	0,00	0,00	100,00	●	

Nota: SP Actual EO, SP Futuro EO (km²): Superficie proyectada actual y a futuro dentro de la provincia de El Oro, ambas en kilómetros cuadrados (km²). NaP = Sin proyección alguna. La dirección bajo el escenario RCP 6.0, representa hacia donde el ecosistema podría migrar en el futuro, considerado las siguientes premisas: punto negro me indica estabilidad parcial o total del ecosistema, y cada una de las flechas me indica la dirección Norte (↑), Sur (↓), Este (→) y Oeste (←), y los derivados de estos puntos cardinales, hacia donde el ecosistema podría migrar. Así mismo las tonalidades cálidas (rojo) me indican una contracción del ecosistema en el futuro (esto en función del AP Actual EO), tonalidades frías (azul) me indican expansión del ecosistema en el futuro, mientras que la tonalidad verde me indica la estabilidad total del ecosistema.

Realizando una comparación entre el total de superficies proyectadas tanto a la actualidad como a futuro, obtenemos que el área total ocupada por los ecosistemas en el futuro (11 029,93 km²) será mayor que en la actualidad (9 498,69 km²), no obstante, se debe recalcar que se está considerando la totalidad de las superficies proyectadas, sin considerar la superposición de las áreas. Así mismo, no se está considerando aspectos como usos de suelo, asentamientos humanos y la evolución que estos podrían tener hacia el futuro, entre otros aspectos que podrían estar presentes dentro de las áreas proyectadas tanto a la actualidad como el futuro. En la superficie proyectada al futuro, son tres los ecosistemas que ocupan gran parte de esta (AdBn01, BdTc01 y BmPn01), que juntos suman ~81,47 % del total de la superficie proyectada, esto radica en que gran parte del territorio provincial presentaría las condiciones

adecuadas para que se desarrollen estos ecosistemas (para mayor entendimiento ver Anexos 5, 6 y 13).

7. Discusión

La implementación de los SDM como una herramienta para la estimación de la distribución potencial de la biodiversidad bajo la influencia del cambio climático, es muy útil en la biogeografía de la conservación; sin embargo, la precisión al estimar la distribución del hábitat idóneo de las especies, funciona de modo diferente y depende de la cantidad de registros de presencia y del número de predictores implementados (variables predictoras) (De Pando y De Giles, 2007). A pesar de ello, la predicción de los cambios de régimen es un esfuerzo político relevante, que incluso predicciones imperfectas pueden ayudar a la sociedad a prepararse para enfrentar o evitar algunas transiciones cuando sea posible (Rocha, 2022).

En el presente estudio se ha recurrido a los SDM, con la plataforma de ensamblaje Biomod2, junto a una de las RCP (RCP 6.0) propuestas por el IPCC, para modelar las zonas de distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro, empleando las variables bioclimáticas (19) y topográficas (4) como variables biofísicas, correlacionándolas con datos de presencias y pseudoausencias (puntos aleatorios) de los ecosistemas provinciales, con un proceso de evaluación del rendimiento de los modelos empleando las métricas ROC y TSS (p.e. Benavidez-Silva et al., 2021). Los resultados obtenidos nos permiten evidenciar que el cambio climático afectará los rangos de distribución de los ecosistemas naturales de la provincia de El Oro a futuro, los cuales se orientarían hacia zonas con características climáticas y topográficas similares a las presentes en su rango de distribución actual, es decir hacia áreas adecuadas para los ecosistemas (Pliscoff, 2022), que permitan el desarrollo de las especies que estos albergan (Benavidez-Silva et al., 2021).

Las principales respuestas evidenciadas en los ecosistemas provinciales al cambio climático (RCP 6.0), son la ganancia, pérdida o persistencia de su área de distribución proyectada actual, esta última de manera parcial o total. Cabe recalcar las posibles ganancias de superficie de los ecosistemas implican una modificación de su rango de distribución, pudiendo variar tanto latitudinal como longitudinalmente. Estos resultados son similares a los obtenidos por Benavidez-Silva et al. (2021), en sus proyecciones realizadas para los ecosistemas de Chile empleando la misma metodología, bajo distintos escenarios de cambio climático. La contracción de la distribución de los ecosistemas, dado por las pérdidas de

superficie, es la respuesta de mayor relevancia en este estudio, pues la mayoría de los 19 ecosistemas analizados (15) podrían perder superficie (contraerse), con potenciales riesgos de extinción para las especies animales y vegetales que estos albergan.

Los ecosistemas distribuidos en rangos altitudinales más elevados, presentarían una reducción en su área de distribución. Las proyecciones muestran que los ecosistemas HsSn02, BsMn04, BsMn03, BsAn04, distribuidos sobre los 2 000 m s.n.m, se contraerían a futuro bajo la influencia del cambio climático. Aguirre et al. (2015), señalan que los incrementos en los regímenes de precipitación y temperatura afectarán fuertemente a las especies y ecosistemas de páramos, llegando a presentar riesgo de extinción; además, el cambio climático ocasionaría una reducción del área adecuada para los ecosistemas andinos debido al desplazamiento en altitud (Pliscoff, 2022). Así mismo, ecosistemas distribuidos sobre los ~1 250 m s.n.m., como BeBn01 y BsBn05, correspondientes al bioma de Bosque Montano Bajo (Anexo 1) (GADPEO y INABIO, 2019), también presentarían una contracción de su área de distribución. El primero de estos (BeBn01) a futuro podría desaparecer debido a que el territorio provincial no presentaría las condiciones climáticas y topográficas idóneas para su desarrollo. Mientras que el ecosistema BsBn05 presentaría una contracción en gran proporción de su superficie de distribución proyectada actual.

Las proyecciones bajo el escenario RCP 6.0, indican que la superficie total ocupada por los ecosistemas a futuro será mayor a la superficie ocupada por la proyección actual, lo que indica la idoneidad de las condiciones climáticas y topográficas a futuro en el territorio provincial para el desarrollo de estos ecosistemas, no obstante, esta superficie es ocupada en su mayoría por los ecosistemas BmPn01, AdBn01 y BdTc01, con ~81,47 % de la superficie proyectada a futuro.

Por otra parte, las métricas de evaluación implementadas en este estudio (ROC y TSS), se han seleccionado debido a su amplio uso en diversos estudios de modelación de ecosistemas y especies, con excelentes resultados (p.e. Benavidez-Silva et al., 2021; De Pando y De Giles, 2007). Estos autores consideran que la precisión en la evaluación, para la métrica ROC, incrementa cuando el número de muestras aleatorias implementadas es mayor (De Pando y De Giles, 2007). En el presente estudio se generaron 10 000 pseudoausencias, desestimando de este modo que represente un factor de riesgo en la precisión de los resultados. Por su parte, la métrica TSS no es afectada por la prevalencia como Kappa, que se empleaba comúnmente para la evaluación de los SDM y ha sido ampliamente criticada (Allouche et al., 2006). De la misma

manera, el uso de pseudoausencias o muestras aleatorias, se ha empleado con anterioridad y ha arrojado resultados más potentes en la predicción de distribuciones potenciales, en lugar de ausencias reales que pueden dar lugar a problemas de subestimación (Gama et al., 2016).

Los predictores ambientales implementados en el estudio han sido seleccionados considerando su importancia en los procesos de modelación; por ejemplo, la importancia del uso de las variables climáticas radica en que son consideradas el factor principal para explicar la distribución de las especies en grandes extensiones espaciales; así mismo, variables como el hábitat y la topografía sólo se consideran modificadores de la distribución de las especies vegetales en extensiones menores (Beck et al., 2018); por lo que su uso como variables predictoras en este estudio a pequeña escala, contribuye a potenciar la certeza de los resultados obtenidos.

La resolución de los predictoras es un factor que también influye en la certeza de los resultados obtenidos, de acuerdo a Chauvier et al. (2022) el rendimiento predictivo de los modelos generalmente disminuye al disminuir la resolución de las variables predictoras. Para nuestro estudio, la resolución empleada (1 km) se considera adecuada para el modelamiento de cuestiones como el uso del suelo (Chauvier et al., 2022). Esto es respaldado en los mapas globales de clasificación de Köppen-Geiger, donde el uso de variables predictoras de alta resolución (1 km) confirmó una precisión de clasificación del 80 %; no obstante, los niveles de certeza son bajos en las proximidades de fronteras entre zonas climáticas, de manera particular en latitudes altas, donde los datos climáticos muestran mayor incertidumbre (Beck et al., 2018). Así mismo, las fuentes de las que se obtiene la información deben ser confiables, en nuestro estudio se implementó variables de la plataforma CHELSA, que ofrecen datos de alta resolución y de buena calidad. De igual manera, Beck et al. (2018) en los mapas globales de clasificación climática Köppen-Geiger, aseguran que estas fuentes emplean datos climáticos de temperatura y precipitación de varias fuentes independientes, esto con la finalidad de maximizar la precisión en las clasificaciones de los mapas. El conjunto de datos del CHELSA son basados en un gran número de estaciones ($\geq 34\ 542$ para la precipitación y $\geq 20\ 268$ para la temperatura), lo que asegura una mejor calidad de los datos y, por lo tanto, resultados predictivos sólidos (mayor certeza) (Beck et al., 2018).

De las variables predictoras implementadas en el estudio, las variables topográficas son las que se implementaron con mayor frecuencia en los modelos. La razón puede deberse a la compleja orografía que presenta el territorio provincial, en función de la cual se describen 7

Biomás (Anexo 1), dentro de los cuales se encuentran los distintos ecosistemas provinciales (GADPEO y INABIO, 2019), que se encuentran fuertemente influenciados por las condiciones climáticas y topográficas de la región (Aguirre et al., 2015). El número de predictores seleccionados ha sido de 7 en promedio para cada ecosistema (mínimo 5 y máximo 10), esto muy probablemente debido a la escala utilizada y a las características de cada uno de los ecosistemas (p.e. Sainz Villegas, 2019).

Del grupo de variables bioclimáticas la variable Bio4 (Estacionalidad de la temperatura), es la que se ocupó en mayor medida para el proceso de modelamiento, permitiendo estimar la distribución potencial de 11 ecosistemas. Mientras que, de las variables topográficas, la variable Slope (pendiente), es que se implementó en mayor medida, esto debido a su alta contribución en la explicación de la distribución de los ecosistemas y su baja correlación con el resto de variables independientes implementadas como variables biofísicas (Aguirre et al., 2017).

Las variables bioclimáticas de mayor relevancia son la Bio1 y Bio12, que corresponden a la temperatura y a la precipitación respectivamente. Bajo el escenario en análisis, la temperatura muestra una tendencia creciente, es decir que podría aumentar $\sim 3,3$ °C hacia el año 2080 bajo el escenario RCP 6.0; mientras que la precipitación muestra un comportamiento irregular, disminuyendo en algunos ecosistemas y aumentando en otros, con un promedio general que indica una disminución de los índices de precipitación en $\sim 7,4$ mm (5,35 %), en los ecosistemas de la provincia de El Oro, con respecto al escenario de referencia. El incremento en los índices de temperatura es respaldado por el IPCC en los escenarios RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, quienes estiman incrementos entre 1,5 °C y superiores para el final del siglo XXI, con un nivel de certeza muy alto, y más probable que sea superior a 2 °C para los escenarios RCP 6.0 y RCP 8.5; para el escenario RCP 6.0, es probable (≥ 66 %) que la temperatura incremente entre 1,4 a 3,1 °C (IPCC, 2014). De la misma manera, el IPCC prevé que la precipitación presentará comportamientos irregulares, con incrementos en la precipitación media anual para zonas de latitudes altas y en el océano pacífico ecuatorial, mientras que para regiones secas de latitud media y subtropicales, una disminución (IPCC, 2014). En este mismo aspecto, Aguirre et al. (2015) es su estudio de vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador empleando Modelos Climáticos Globales (GCM) simularon la concentración de GEI para la Región Sur del Ecuador bajo dos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (RCP 2.6 y RCP 8.5) hacia el año 2050, logrando estimar un aumento de la temperatura a nivel de

toda la Región Sur, para el escenario optimista (RCP 2.6) se prevé un aumento entre 1,21 a 1,46 °C, mientras que para el escenario pesimista (RCP 8.5) un incremento entre 2,01 a 2,37 °C. En cuanto a la precipitación en toda la zona de estudio estimaron un incremento en un 2,4 a 17 % para el escenario RCP2.6.; y un incremento entre 5,2 a 31,2 % para el escenario RCP 8.5, donde los cantones de la provincia de El Oro (Huaquillas, Santa Rosa, Arenillas y Las Lajas), presentarán mayores incrementos.

Por otra parte, García-Garizábal et al., (2017) emplearon 24 modelos climáticos y sus diferentes escenarios de evolución desarrollados por 16 instituciones de investigación (disponibles en la web Canadian Climate Change Scenarios Network), bajo la cuales lograron estimar un incremento de la temperatura y la precipitación hacia el año 2099 con una media de 1,6 °C y 6,2 % respectivamente, para la provincia de Santa Elena en la costa ecuatoriana.

En cuanto a las “áreas de recambio” identificadas para la provincia de El Oro (Figura 6), bajo el escenario RCP 6.0 hacia el año 2080, las zonas de mayor recambio potencial o superposición en las proyecciones a futuro, nos muestra un máximo de hasta 5 ecosistemas que podrían llegar a coincidir en el espacio geográfico. Esta situación genera cierta incertidumbre pues no se sabe cuál de los ecosistemas predominará en el área en cuestión; situación similar a lo descrito por Marquet et al. (2010), para unidades de vegetación o ecosistemas de Chile, bajo escenarios de cambio climático empleando MaxEnt (modelo general para realizar predicciones). Además, esta superposición de los ecosistemas de la provincia de El Oro, da cumplimiento a la premisa propuesta por Soberón et al. (2017), la cual anuncia que “para cada punto en el espacio geográfico le corresponde un único punto del espacio ambiental (espacio climático); mientras que el inverso no es cierto, ya que puede haber dos o más regiones del planeta con valores de las variables ambientales iguales o similares”, situación evidenciada para algunos de los ecosistemas provinciales, que podrían compartir territorio.

Desde el punto de vista de la conservación, las proyecciones para los distintos ecosistemas de la provincia de El Oro bajo el escenario de cambio climático RCP 6.0., hacia el año 2080 son muy desfavorables, debido a que la mayoría de ecosistemas presentaría una contracción de su área de distribución a futuro, incluso el ecosistema BeBn01 podría desaparecer, y otros, contarían con un área de distribución relativamente pequeña: BePn01, BePn02, BsBn04, BsMn03, BsPn02, BmBn02 y HsTc03 (ver Tabla 5). Sumado al impacto del cambio climático tenemos las distintas presiones antropogénicas que han sufrido históricamente y que vienen sufriendo los ecosistemas, que agravan los efectos del cambio climático sobre sus

rangos de distribución (Quesada-Quirós et al., 2016). Los resultados obtenidos nos permiten evidenciar la vulnerabilidad de los ecosistemas de la provincia de El Oro ante el cambio climático, lo cual recalca la importancia de establecer estrategias de conservación y la necesidad de implementar estrategias de restauración de los ecosistemas, con la finalidad asegurar la disponibilidad de los servicios ecosistémicos que proveen en el largo plazo.

8. Conclusiones

Las variables topográficas son las de mayor uso y por ende las de mayor importancia en la estimación de la distribución potencial de los ecosistemas de la provincia de El Oro. De manera particular, la pendiente (slope) ha sido la más empleada en los modelos para generar los mapas de distribución potencial.

Las zonas de distribución potencial de los ecosistemas se caracterizan por la idoneidad en las condiciones climáticas y topográficas de cada uno de estos. Se pudo verificar que algunos ecosistemas compartirán territorio a futuro, bajo la influencia del cambio climático, debido a que presentarían similitud en sus condiciones climáticas y topográficas. Dentro del territorio provincial, el cantón El Guabo presentaría las condiciones climáticas y topográficas adecuadas para que se desarrollen hasta 5 ecosistemas (AdBn01, BdTc01, BmTc01, BsTc05, BdTc02 y BeTc02).

Las pérdidas de superficie (áreas de distribución) son las respuestas de mayor relevancia para los ecosistemas de la provincia de El Oro bajo la influencia del cambio climático. La mayoría de los 19 ecosistemas estudiados (16) podrían presentar pérdidas que superan el 50% de su superficie proyectada a la actualidad. Incluso, ecosistemas como BePn01, BePn02, BsBn04, BsMn03, BsPn02, BmBn02 y HsTc03, presentarían, a futuro, áreas de distribución relativamente pequeñas, y el ecosistema BeBn01 desaparecería.

Se evidenció que los rangos de distribución de los distintos ecosistemas podrían verse afectados por las variaciones en las condiciones climáticas, llegando a presentar contracciones de su rango de distribución. Así mismo, los ecosistemas podrían migrar, tanto en latitud como en longitud, hacia zonas climática y topográficamente adecuadas para recuperar su funcionalidad ecológica.

Los ecosistemas distribuidos en rango altitudinales más elevados (HsSn02, BsMn04, BsMn03, BsAn04) serían más afectados por el cambio climático, presentando reducciones de su área adecuada, debido al desplazamiento en altitud.

9. Recomendaciones

Aplicar un seguimiento a largo plazo de la biodiversidad (especies, ecosistemas), puede contribuir como una herramienta para proporcionar información sobre los cambios a largo plazo y proporcionar una alerta temprana sobre la vulnerabilidad de especies en particular o el declive de todo el ecosistema o los puntos de inflexión.

La realización de estudios que combinen modelos correlativos de especies/ecosistemas con modelos de cambio en los usos de suelo para hacer proyecciones considerando diferentes factores que pueden afectar las distribuciones potenciales de los ecosistemas.

Resulta de gran importancia la planificación e implementación de medidas que contribuyan a reducir los impactos del cambio climático y las distintas presiones antrópicas sobre los ecosistemas, a fin de asegurar su presencia en el largo plazo, con especial enfoque en aquellos ecosistemas más vulnerables ante el cambio climático.

Las proyecciones realizadas se deben interpretar desde el punto de vista de la idoneidad en condiciones climáticas y topográficas para los ecosistemas de la provincia de El Oro, esto debido a que los cambios en la vegetación al largo plazo pueden ir en función de los cambios en las zonas climáticas. Así mismo, los SDM tratan de modelar objetos en el espacio geográfico, por lo que pueden ser considerados como áreas potenciales, donde la implementación de más predictores contribuirá a incrementar la certeza de los modelos de distribución.

10. Bibliografía

Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T., & Aguirre, Z.

- (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. In *Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de los Estados Unidos* (Vol. 53, Issue 9).
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Ojeda, T., Sanamiego, N., Furniss, M., & Aguirre, Z. (2017). Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 18–29. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1258867>
- Allouche, O., Tsoar, A., & 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>
- Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., Cordero, D., Gast, F., Jaimes, E., & Ruiz, D. (2012). Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y servicios ecosistémicos de los Andes Tropicales. *Cambio Climático y Biodiversidad En Los Andes Tropicales*, 426.
- Araújo, M. B., & Pearson, R. G. (2005). Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, 28(5), 693–695. <https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04253.x>
- Barrón, L. G., Murillo, P. G., Doña, V. J., Gonzáles, J. M., Luna, J. N., & Martín, A. S. (2009). *Cambios climáticos y efectos ambientales* (Universidad Internacional de Andalucía (ed.)). <https://www.researchgate.net/publication/260417035>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. <https://n9.cl/i9c73>
- Benavidez-Silva, C., Jensen, M., & Pliscoff, P. (2021). Future scenarios for land use in Chile: Identifying drivers of change and impacts over protected area system. *Land*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/land10040408>
- Breslin, P. B., Wojciechowski, M. F., & Albuquerque, F. (2020). Projected climate change threatens significant range contraction of *Cochemia halei* (Cactaceae), an island endemic, serpentine-adapted plant species at risk of extinction. *Ecology and Evolution*, 10(23), 13211–13224. <https://doi.org/10.1002/ece3.6914>
- Brun, P., Thuiller, W., Chauvier, Y., Pellissier, L., Wüest, R. O., Wang, Z., & Zimmermann,

- N. E. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, 47(1), 130–142. <https://doi.org/10.1111/jbi.13734>
- Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). Climatologies at High resolution for the Earth Land Surface Areas CHELSA-BIOCLIM+. A novel set of global climate-related predictors at kilometre-resolution : Technical specification. In *Swiss Federal Research Institute WSL*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/essd-2022-212>
- Buckland, C. E., Smith, A. J. A. C., & Thomas, D. S. G. (2022). A comparison in species distribution model performance of succulents using key species and subsets of environmental predictors. *Ecology and Evolution*, 12(6), 1–16. <https://doi.org/10.1002/ece3.8981>
- Cáceres, L., & Núñez, A. (2011). *Segunda Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático, Ecuador 2011. Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>
- Capa Benítez, L., Sotomayor Pereira, J., & Vega Jaramillo, Fl. (2018). *La provincia de El Oro. Algunas consideraciones de los sectores productivos y empresariales (UTMACH)*. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14300/1/Cap.1-Estructura social y económica de la provincia de El Oro.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14300/1/Cap.1-Estructura%20social%20y%20econ%C3%B3mica%20de%20la%20provincia%20de%20El%20Oro.pdf)
- Castillo, A. E., Peña, L. S., & Delgado, S. G. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(96), 669–693. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>
- CEPAL. (2017). *Síntesis de políticas públicas sobre cambio climático. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad de América Latina*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45692>
- Chauvier, Y., Descombes, P., Guéguen, M., Boulangeat, L., Thuiller, W., & Zimmermann, N. (2022). Resolution in species distribution models shapes spatial patterns of plant multifaceted diversity. *Ecography*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/ecog.05973>
- Colwell, R. K., Brehm, G., Cardelús, C. L., Gilman, A. C., & Longino, J. T. (2008). Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the Wet Tropics. *Science*, 322, 258–261. <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1162547>
- Comisión Europea. (2009). *Cambio Climático en América Latina*. http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/climate_change_in_lati

n_america_es.pdf

- Correa-Lima, A. P. A., Varassin, I. G., Barve, N., & Zwiener, V. P. (2019). Spatiotemporal effects of climate change on the geographical distribution and flowering phenology of hummingbird-pollinated plants. *Annals of Botany*, *124*(3), 389–398. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz079>
- Cuesta, F., Merino-Viteri, A., Muriel, P., Baquero, F., Freile, J., Torres, O., & Peralvo, M. (2015). *Escenarios de impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en el Ecuador continental y sus implicaciones en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas*. http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/IT/Escenarios_CC_Bio_SNAP_Ecuador_2015.pdf
- Cui, F., Wang, B., Zhang, Q., Tang, H., De Maeyer, P., Hamdi, R., & Dai, L. (2020). Climate change versus land-use change. What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone? *Science of the Total Environment*, *759*, 143525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143525>
- Daily, G., Alexander, S., Ehrlich, P., Goulder, L., Lubchenco, J., Marson, P., Mooney, H., Postel, S., Schneider, S., Tilman, D., & Woodwell, G. (1997). Servicios de los Ecosistemas: Beneficios que la Sociedad Recibe de los Ecosistemas Naturales. *Tópicos En Ecología*, *2*, 18. <https://www.esa.org/wp-content/uploads/2013/03/numero2.pdf>
- De Pando, B. B., & De Giles, J. P. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus*, *7*, 100–119. http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo6_2007.pdf
- Edwards, T. C., Cutler, D. R., Zimmermann, N. E., Geiser, L., & Moisen, G. G. (2006). Effects of sample survey design on the accuracy of classification tree models in species distribution models. *Ecological Modelling*, *199*(2), 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.016>
- Emanuel, W. R., Shugart, H. H., & Stevenson, M. P. (1985). Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. *Climatic Change*, *7*(1), 29–43. <https://doi.org/10.1007/BF00139439>
- Ferran, I. V. (2017). *Modelización del hábitat potencial actual y futuro del datilero del desierto (Balanites aegyptiaca (L.) Delile) en África*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Ferrier, S., & Guisan, A. (2006). Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, *43*, 393–404. <https://doi.org/10.1111/j.1365->

2664.2006.01149.x

- GADPEO, & INABIO. (2019). *Propuesta para el establecimiento del subsistema de área naturales de conservación y diseño del corredor ecológico de la provincia de El Oro: Una guía para el desarrollo de estrategias de investigación, conservación y manejo de la biodiversidad orense*. (C. Garzón-Santomaro, F. Priero-Albuja, J. Brito, & J. Mena-Jaén (eds.)).
- GADPEO, & SENPLADES. (2010). *Prioridades para el desarrollo integral. El Oro, Ecuador. Programa de Articulación de Redes Territoriales del Programa de las Naciones Unidas (ART/PNUD), con apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)*.
- Gama, M., Crespo, D., Dolbeth, M., & Anastácio, P. (2016). Predicting global habitat suitability for *Corbicula fluminea* using species distribution models: The importance of different environmental datasets. *Ecological Modelling*, 319, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.001>
- García-Garizábal, I., Romero, P., Jiménez, S., & Jordá, L. (2017). Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. *DYNA (Colombia)*, 84(203), 37–44. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.59600>
- García-Valdés, R., & Morales-Castilla, I. (2016). Efectos del cambio climático en los ecosistemas forestales: integrando inventarios y modelos. *Ecosistemas*, 25(3), 51–59. <https://doi.org/10.7818/ecos.2016.25-3.06>
- González E, M., Jurado, E., González E, S., Aguirre C, Ó., Jiménez P, J., & Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia Uanl*, 3, 377–385.
- Guisan, A., & 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>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147–186. www.elsevier.com/locate/ecolmodel
- Hanley, J., & McNeil, B. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143(1), 29–36. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). *Metodología de la Investigación* (S. . Interamericana Editores (ed.); Quinta edi).

- <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Hylander, K., Greiser, C., Christiansen, D. M., & Koelemeijer, I. A. (2022). Climate adaptation of biodiversity conservation in managed forest landscapes. *Conservation Biology*, 36(3), 1–9. <https://doi.org/10.1111/cobi.13847>
- Illoldi-Rengel, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3, 7–12. https://www.researchgate.net/profile/Escalante-Tania/publication/286336295_De_los_modelos_de_nicho_ecologico_a_las_areas_de_distribucion_geografica/links/568a9b4008aebccc4e1a0c38/De-los-modelos-de-nicho-ecologico-a-las-areas-de-distribucion-geografica.pdf
- INPC. (2010). *Guía de bienes culturales del Ecuador. El Oro*. (I. N. de P. Cultural (ed.)). <https://downloads.arqueo-ecuatoriana.ec/ayhpwxgv/noticias/publicaciones/INPC-X-GuiaElOro.pdf>
- IPCC. (2001). *Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. La base científica. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/scientific_spm_ts_sp.pdf
- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC. (2018). *Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir*. www.ipcc.ch
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jiménez, C. L. (2011). Nuestro cambiante mundo y la pérdida de diversidad biológica. *Revista Digital Univeritaria*, 12(1), 1–13. <https://www.ru.tic.unam.mx/handle/123456789/1841>
- Kadmon, R., Farber, O., & Danin, A. (2003). A systematic analysis of factors affecting the performance of climatic envelope models. *Ecological Applications*, 13(3), 853–867. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013\[0853:ASAOFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0853:ASAOFA]2.0.CO;2)

- Lobo, J., & Hortal, J. (2003). Modelos predictivos: Un atajo para describir la distribución de la diversidad biológica. *Ecosistemas*, *1*.
http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/540/54012119/54012119_1.html
- Lorente, I., Gamon, D., Gómez, J. L., Santos, R., Flores, L., Camacho, A., Galindo, L., & Navarro, J. (2004). Los efectos biológicos del cambio climático. *Ecosistemas*, *13*(1), 103–110. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/587>
- Malhi, Y., Franklin, J., Seddon, N., Solan, M., Turner, M. G., Field, C. B., & Knowlton, N. (2020). Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *375*(1794). <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0104>
- Manzoor, S. A., Griffiths, G., & Lukac, M. (2021). Land use and climate change interaction triggers contrasting trajectories of biological invasion. *Ecological Indicators*, *120*(August 2020), 106936. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106936>
- Marquet, P., Abades, S., Armesto, J., Barria, I., Arroyo, M., Cavieres, L., Gajardo, R., Garin, C., Labra, F., Meza, F., Prado, C., Ramirez, P., & Vicuña, S. (2010). *Estudio de vulnerabilidad de la biodiversidad terrestre en la Eco-región Mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26033>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, *84*, 217–240. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v84n2/art08.pdf>
- MECN-INB, & GADPEO. (2015). *Anfibios Reptiles y aves de la provincia de El Oro: Una guía para ecosistemas Andino-Costeros. Publicación miscelánea N° 7. Serie de publicaciones MECN-INB-GADPEO*. (P. Mena-Valenzuela & C. Garzón-Santomaro (eds.)). [http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Anfibios, reptiles y aves de la provincia de El Oro. Primera Edición.pdf](http://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Anfibios_reptiles_y_aves_de_la_provincia_de_El_Oro_Primer_Edici%3F)
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema Nacional De Control Forestal. *Secretaria De Planificación Y Desarrollo*, *593* 2, 60. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/CONTROL-FORESTAL.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaria de Patrimonio Natural. Quito*. (R. Galeas, J. Guevara, B. Medina-Torres, M. Á. Chinchero, & X. Herrera (eds.)). <http://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PDOT/NIVEL

NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf

Muñoz, J., & Felicísimo, Á. M. (2004). Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15(2), 285–292. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02263.x>

Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.

http://www.acnu.org.cu/sites/default/files/ficheros/convencion_marco_cambio_climatico.pdf

Olalde, O. M. (2010). *Servicios de los ecosistemas y bienestar humano*. https://biblioteca.hegoa.ehu.es/downloads/18650/%2Fsystem%2Fpdf%2F2747%2FEcosistemas_bienestar.pdf#page=8

Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., ... Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355(6332). <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>

Pérez-García, J. N. (2020). Causas de la pérdida global de biodiversidad. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 32, 183–198. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.vli32.219>

Plissock, P. (2022). *Actualización de las áreas protegidas de Chile: análisis de representatividad y riesgo climático*. Centro de estudios público CEP. <https://www.cepchile.cl/investigacion/actualizacion-de-las-areas-protegidas-de-chile-analisis-de/>

Plissock, P., & 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>

Plissock, P., Luebert, F., Hilger, H. H., & Guisan, A. (2014). Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling*, 288, 166–177.

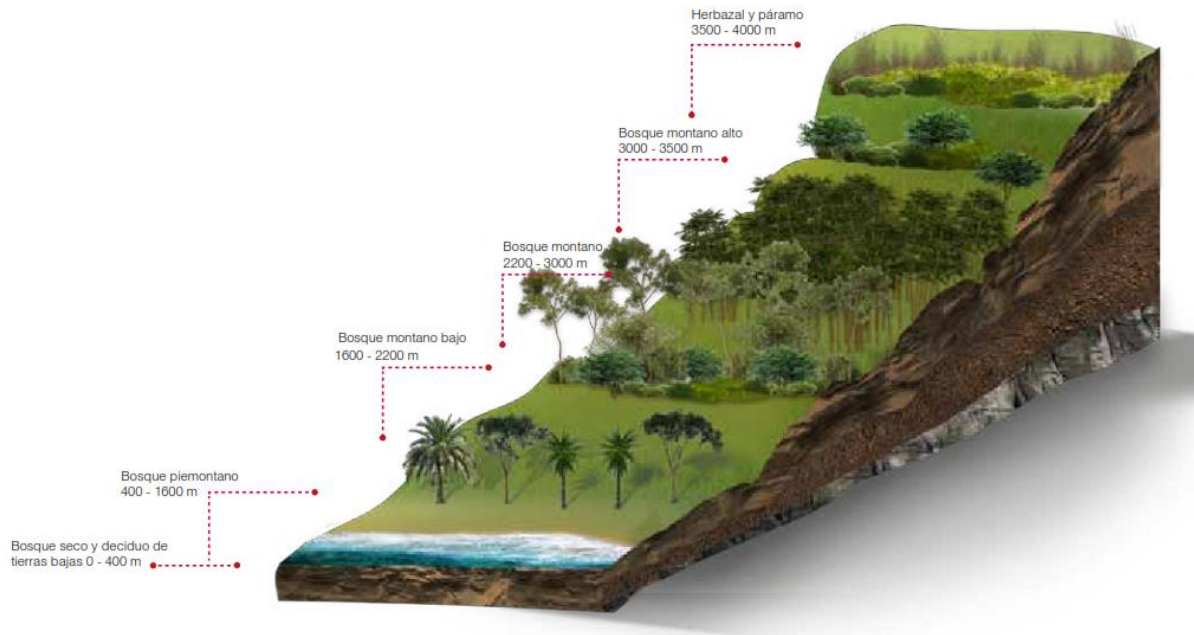
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.06.003>

- Quesada-Quirós, M., Acosta-Vargas, L. G., Arias-Aguilar, D., & 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), 01–12. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Raynal-Villaseñor, J. . (2011). Global Climate Change : An Unequivocal Reality. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 12(4), 421–427. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000400006&script=sci_abstract&tlng=en
- Rocha, J. C. (2022). Ecosystems are showing symptoms of resilience loss. *Environmental Research Letters*, 17(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac73a8>
- Rodríguez Camino, E., Picatoste Ruggeroni, J., & Heras Hernández, F. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC. Bases físicas. *Tiempo y Clima*, 5(43). <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3430207>
- Sainz Villegas, S. (2019). *Efectos del cambio climático en la distribución geográfica de la especie invasora Asparagopsis armata Harvey, 1855*. [Tesis fin de máster, Máster Universitario en Gestión Integrada de Sistemas Hídricos]. Universidad de Cantabria.
- Samaniego-Rojas, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. In Aguirre et al. (Editores). *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, Ecuador*. (pp. 43–63).
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., & 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>
- Thuiller, W., Georges, D., & Engler, R. (2021). *Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. Package “Biomod2.”* https://r-forge.r-project.org/forum/forum.php?eforum_id=995&group_id=302
- Users, L. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.

- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733(xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- Williams, S. E., Hobday, A. J., Falconi, L., Hero, J. M., Holbrook, N. J., Capon, S., Bond, N. R., Ling, S. D., & Hughes, L. (2020). Research priorities for natural ecosystems in a changing global climate. *Global Change Biology*, 26(2), 410–416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14856>
- WWF. (2020). *Informe Planeta Vivo 2020: Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad. Resumen.* https://wwf.panda.org/es/campanas_ambientales/ipv2020/#:~:text=Las conclusiones del Informe Planeta,bienestar son cada vez mayores.

11. Anexos

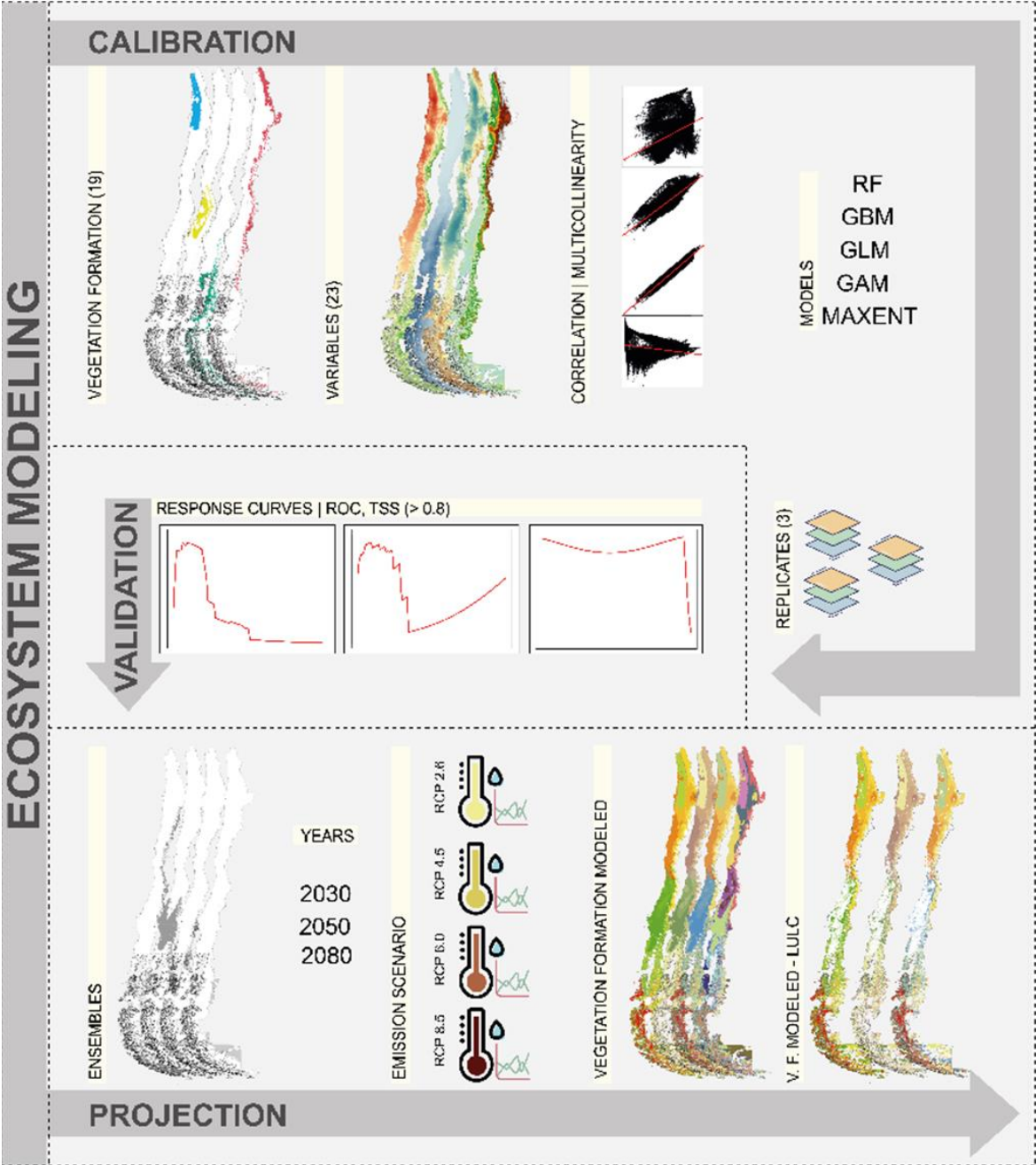
Anexo 1. Orografía (biomas) y perfil altitudinal de la provincia de El Oro.



Nota: Sumado a estos 6 se encuentra el bioma Manglar y zona marino costera, con rangos altitudinales que van desde los 0 hasta los 10 m s.n.m (GADPEO & INABIO, 2019).

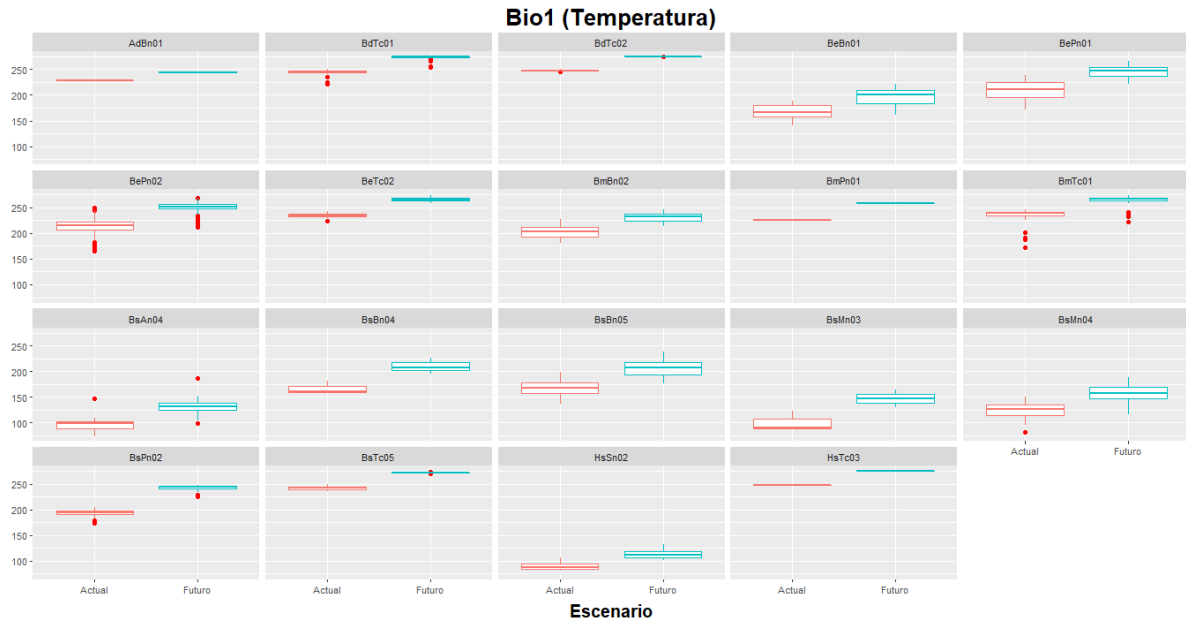
Fuente: (GADPEO & INABIO, 2019).

Anexo 2. Esquema metodológico para el modelamiento de ecosistemas.



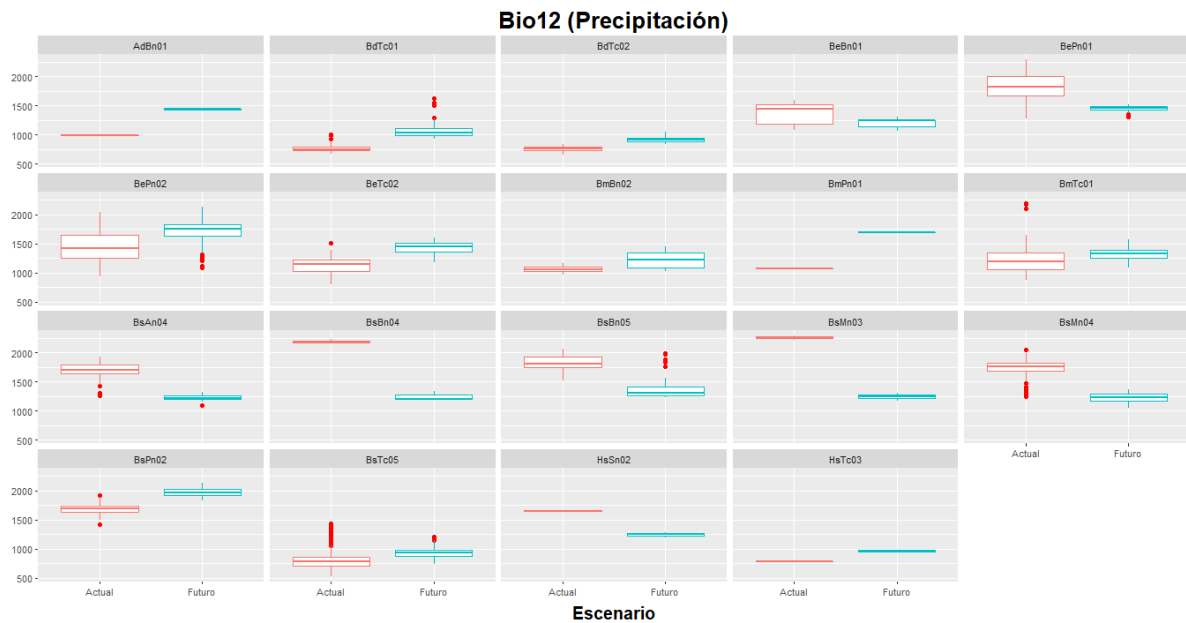
Fuente: (Benavidez-Silva et al., 2021).

Anexo 3. Temperatura actual y futura (año 2080, escenario RCP 6.0) para los ecosistemas de la provincia de El Oro.



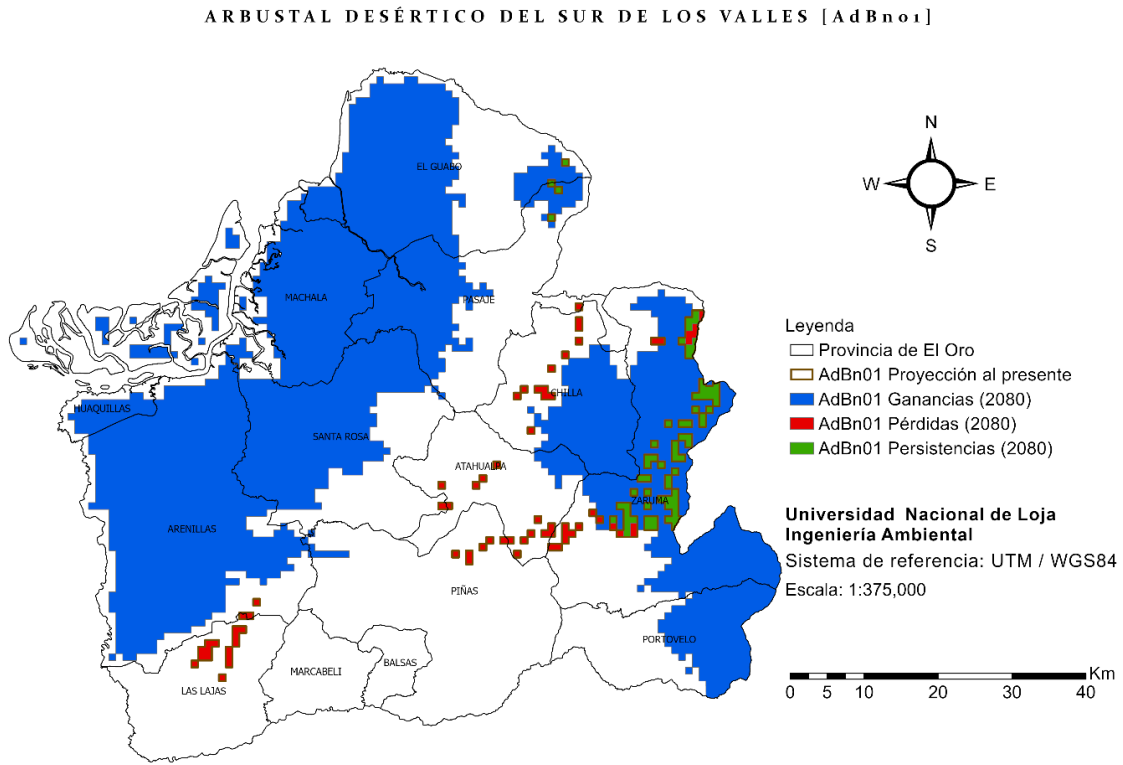
Nota: las unidades de la temperatura son °C, no obstante, los portales web de donde se obtuvieron realizan un procedimiento que consiste en multiplicar por 10 cada uno de los valores para evitar los decimales, por tanto, para obtener la temperatura real se debe multiplicar por 0,1.

Anexo 4. Precipitación actual y futura (año 2080, escenario RCP 6.0) para los ecosistemas de la provincia de El Oro.

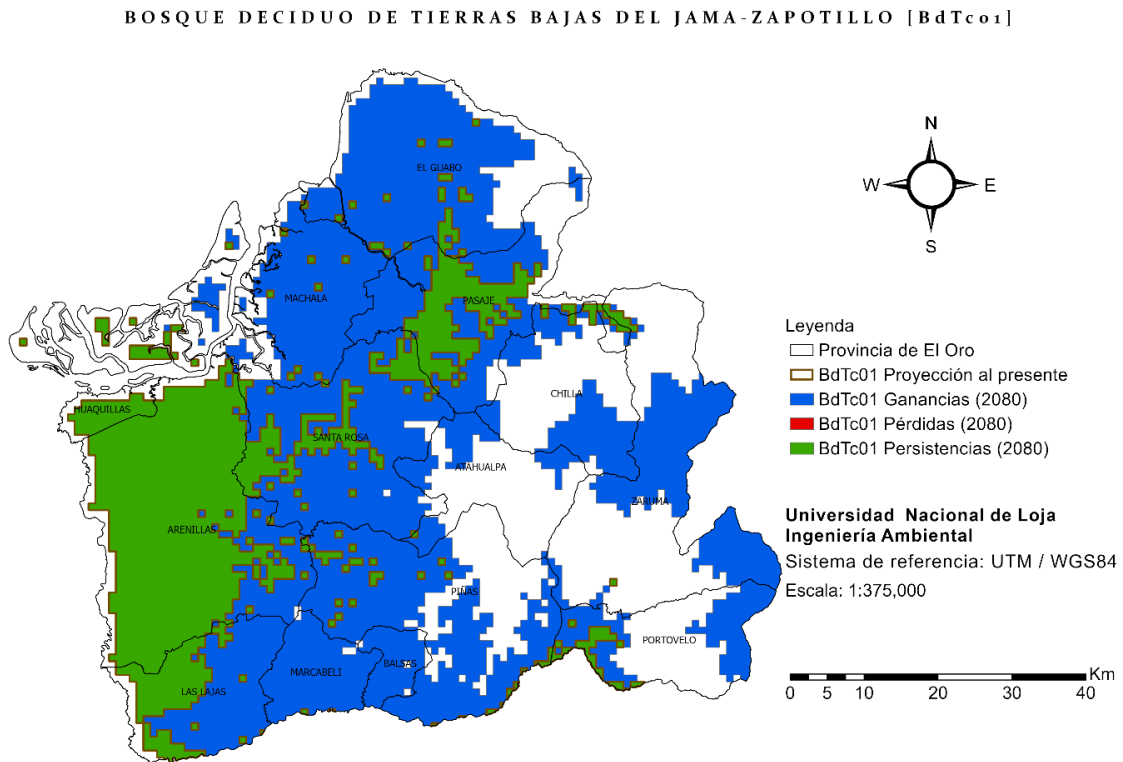


Nota: las unidades de la precipitación son mm, no obstante, los portales web de donde se obtuvieron realizan un procedimiento que consiste en multiplicar por 10 cada uno de los valores para evitar los decimales, por tanto, para obtener la precipitación real se debe multiplicar por 0,1.

Anexo 5. Respuestas AdBn01.

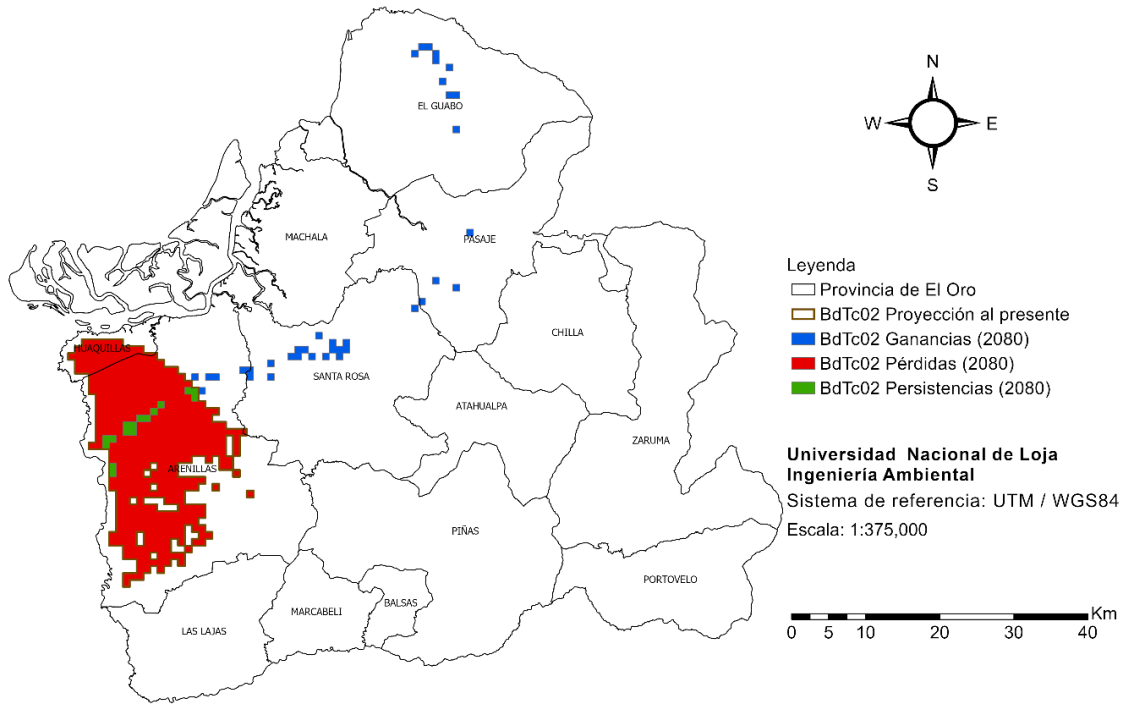


Anexo 6. Respuestas BdTc01.



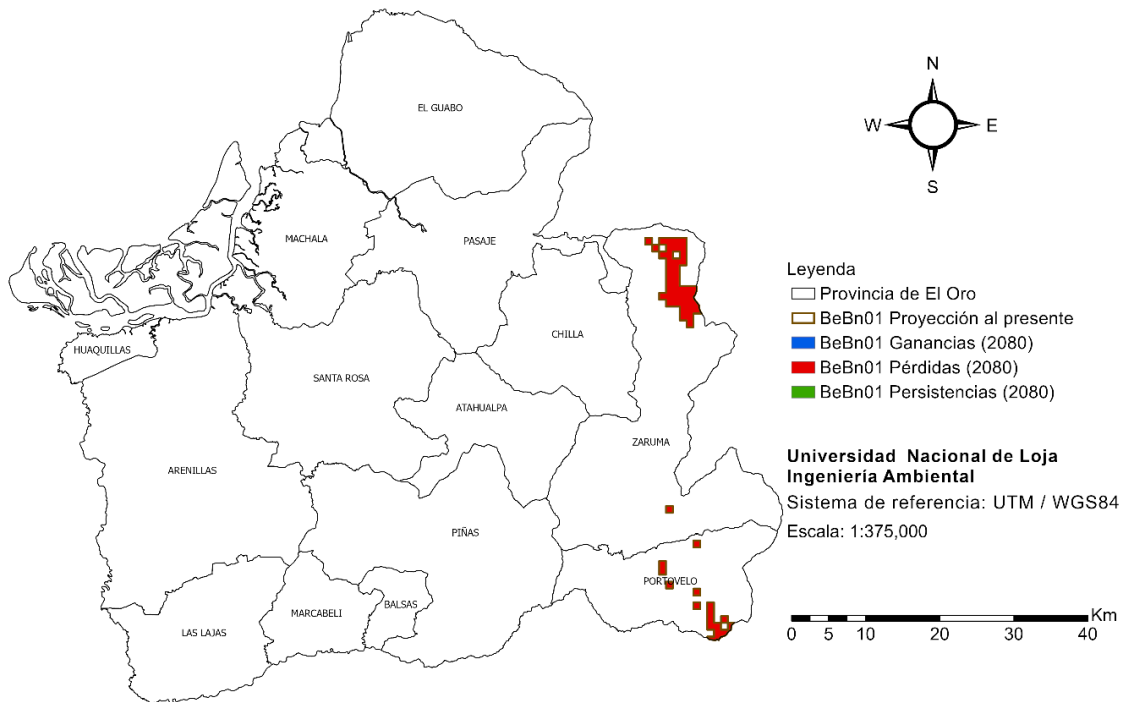
Anexo 7. Respuestas BdTc02.

BOSQUE BAJO Y ARBUSTAL DECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO [BdTc02]

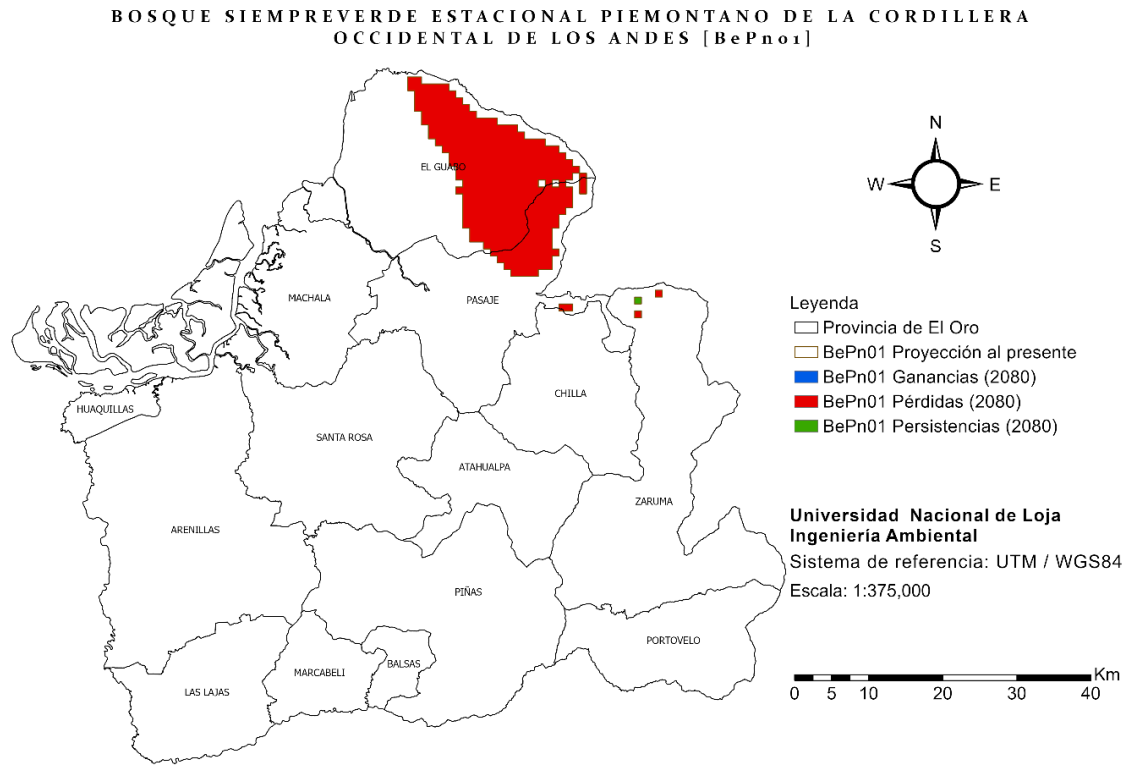


Anexo 8. Respuestas BeBn01.

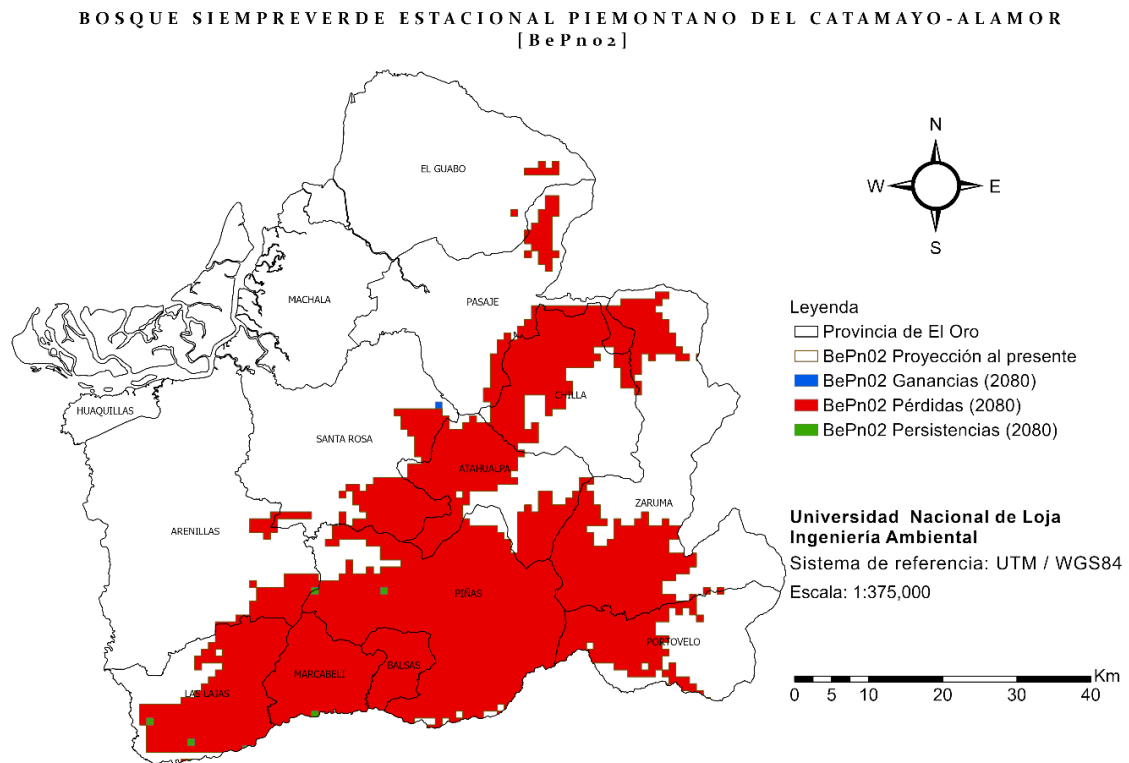
BOSQUE SIEMPREVERDE ESTACIONAL MONTANO BAJO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BeBn01]



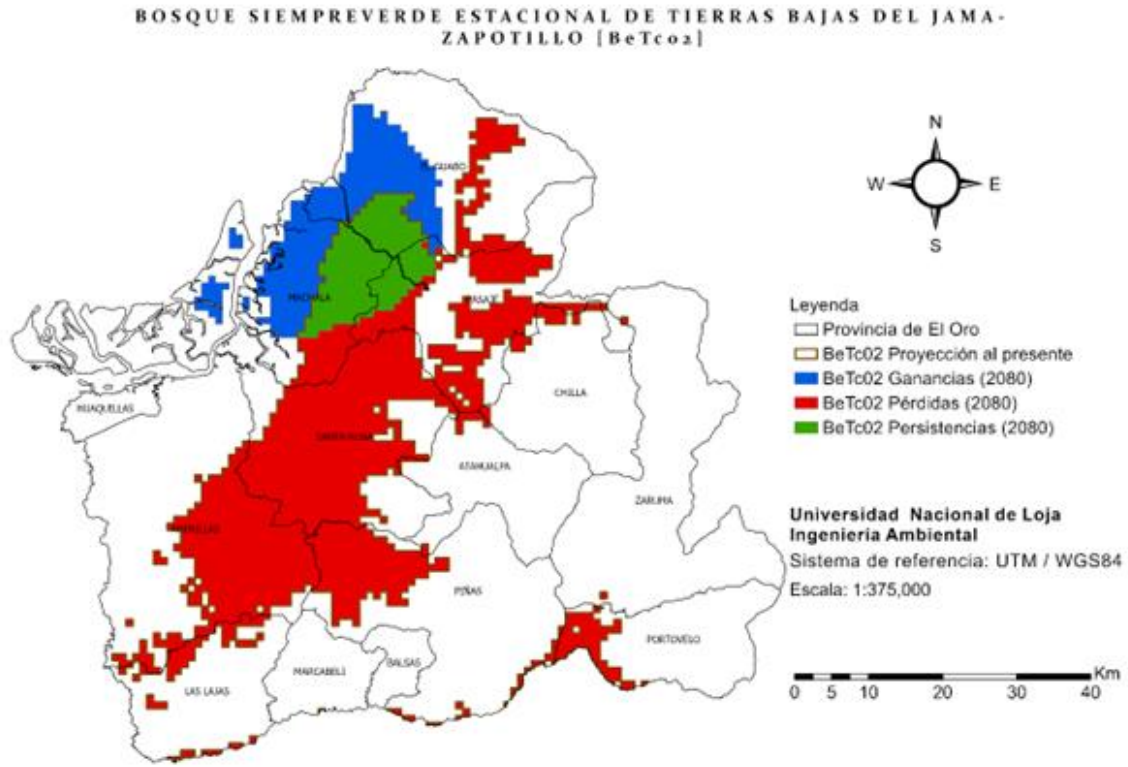
Anexo 9. Respuestas BePn01.



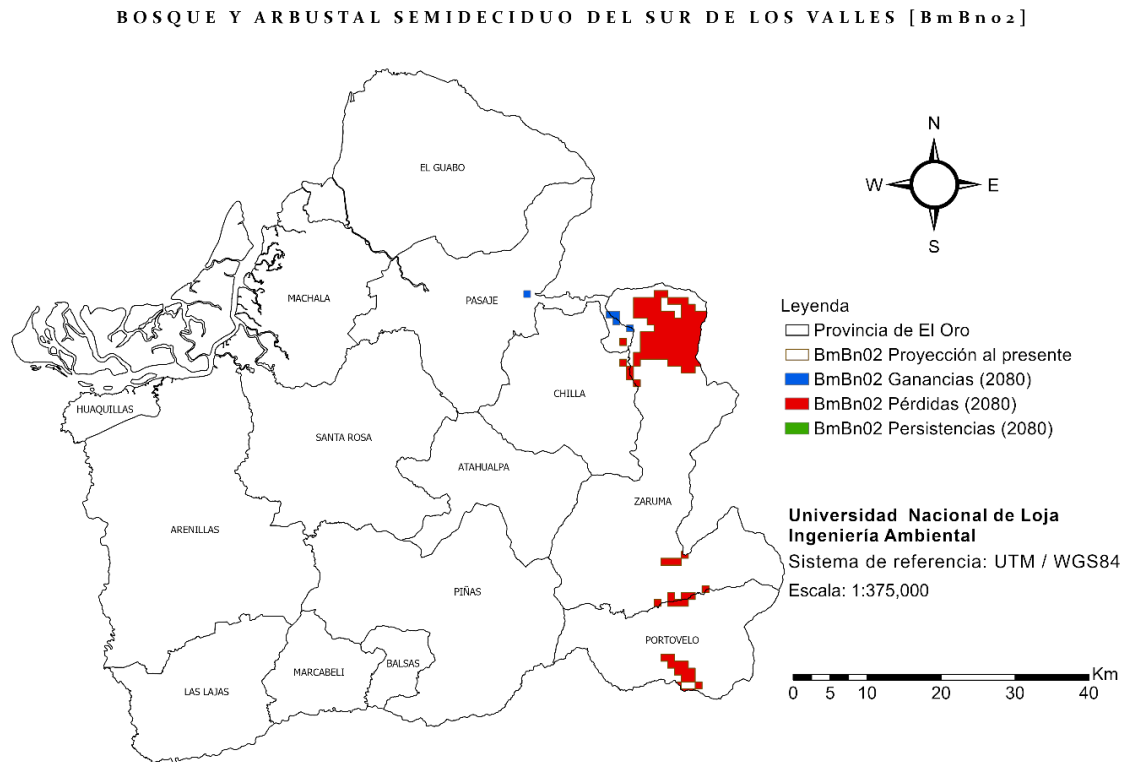
Anexo 10. Respuestas BePn02.



Anexo 11. Respuestas BeTc02.

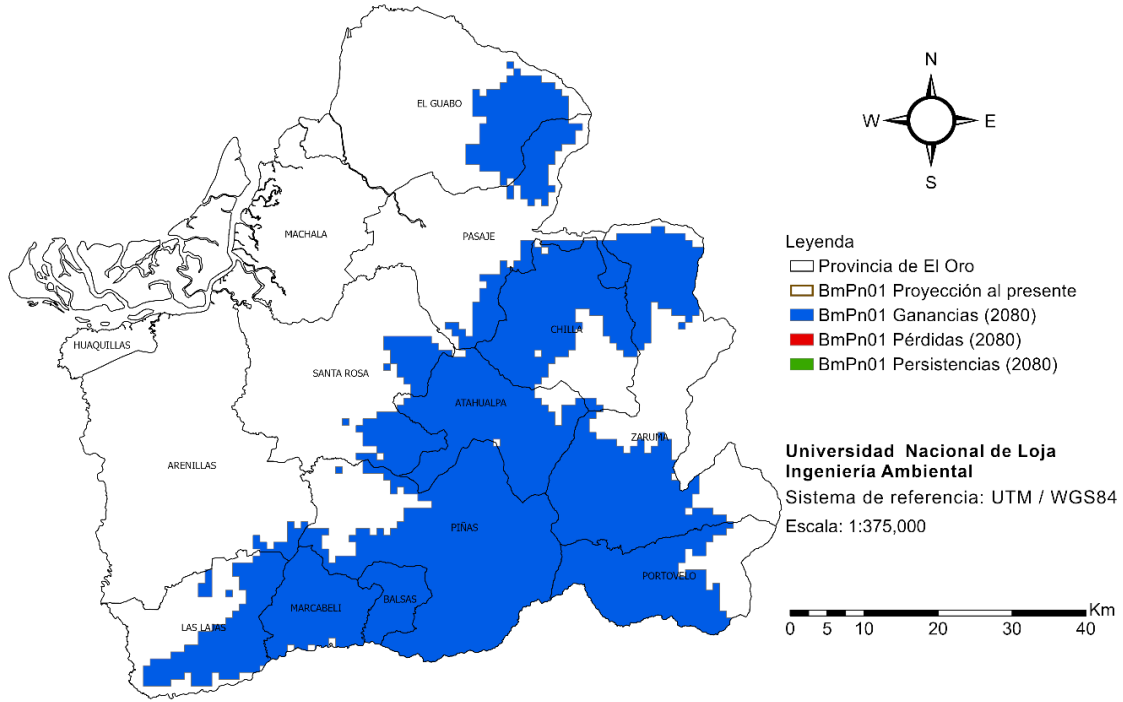


Anexo 12. Respuestas BmBn02.



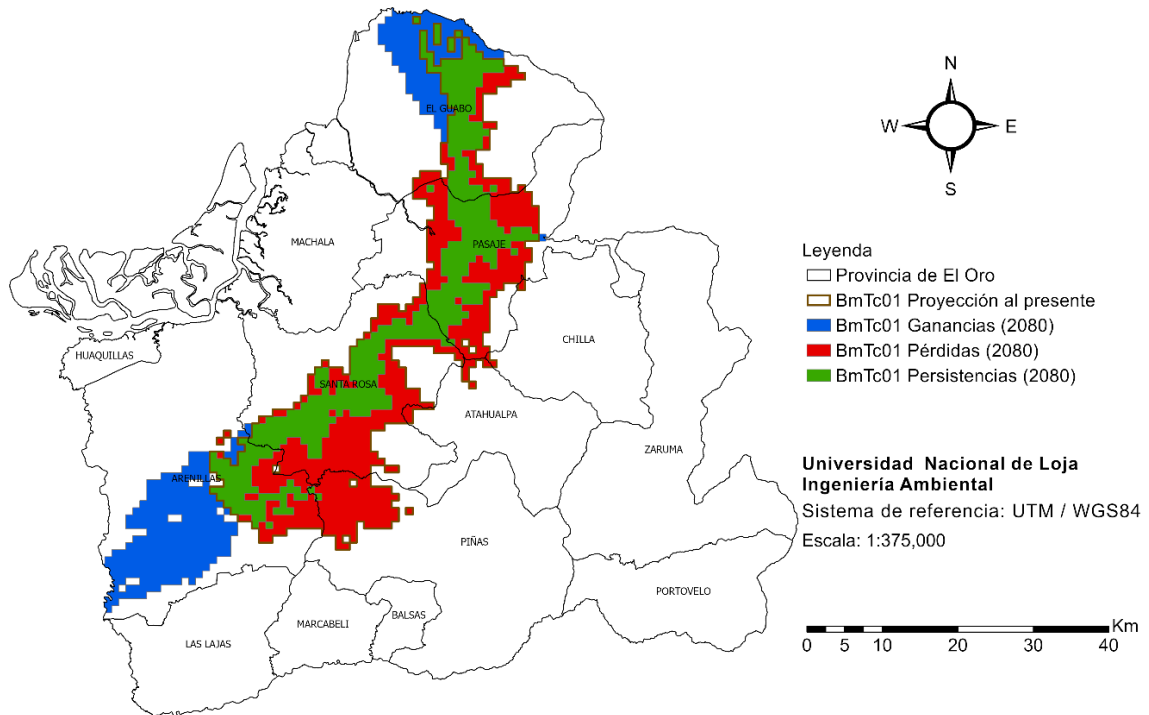
Anexo 13. Respuestas BmPn01.

BOSQUE SEMIDECIDUO PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BmPn01]



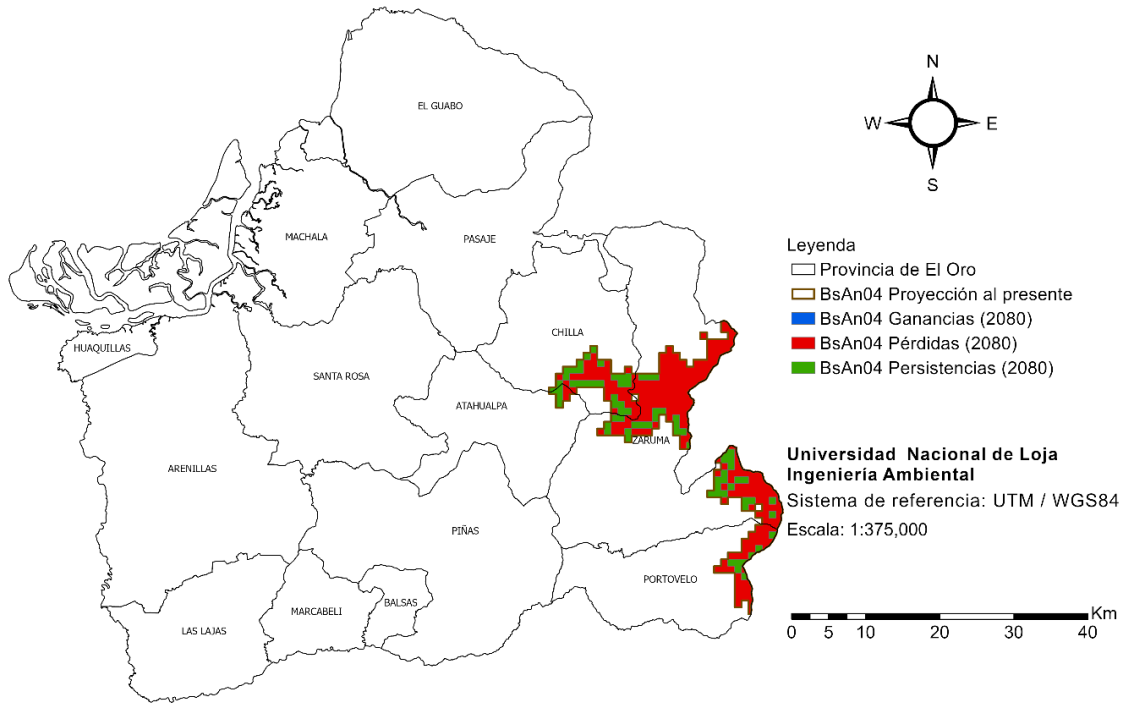
Anexo 14. Respuestas BmTc01.

BOSQUE SEMIDECIDUO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO [BmTc01]



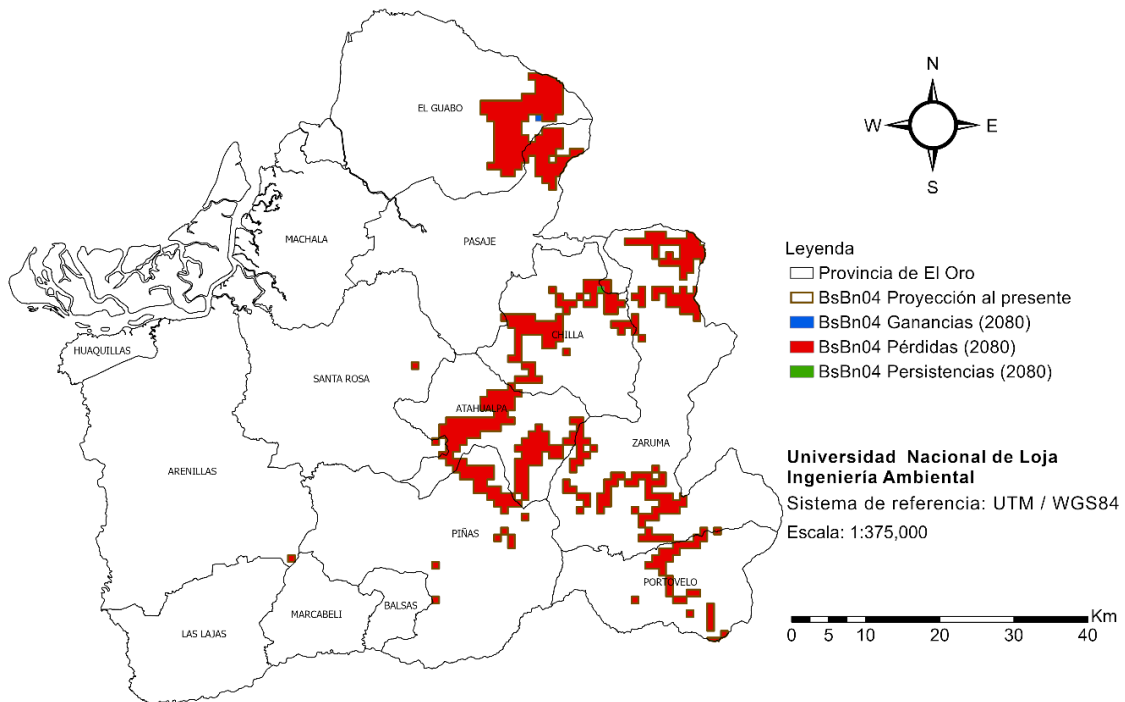
Anexo 15. Respuestas BsAn04.

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO ALTO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BsAn04]



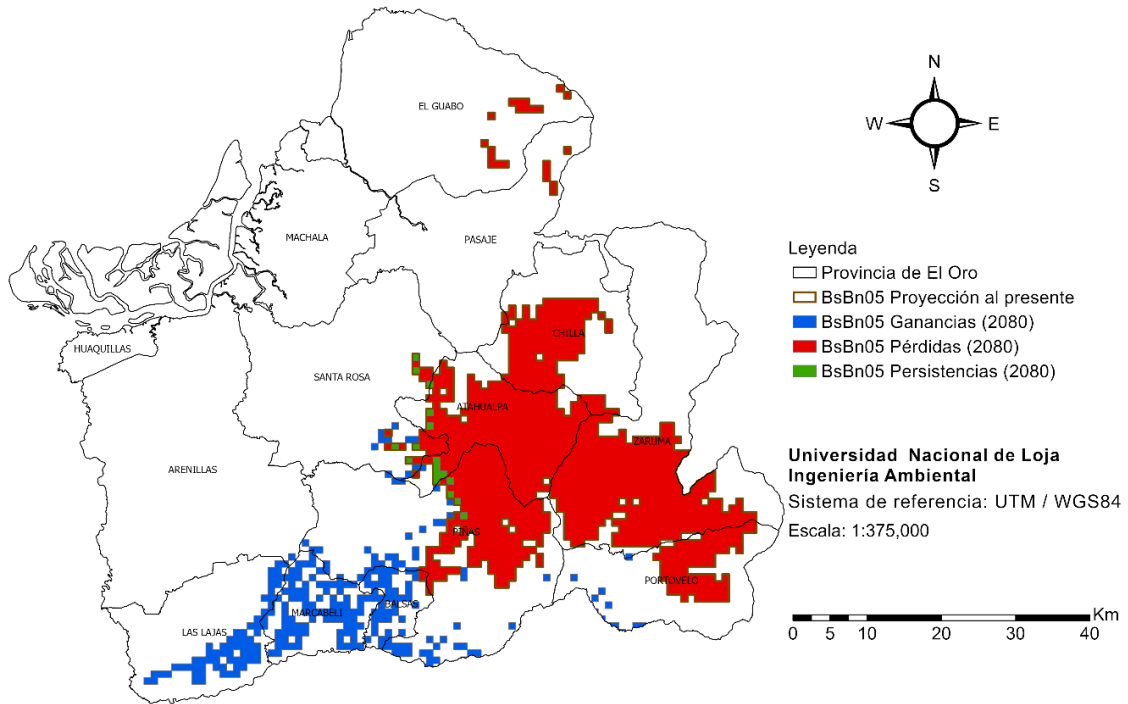
Anexo 16. Respuestas BsBn04.

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE LOS ANDES [BsBn04]



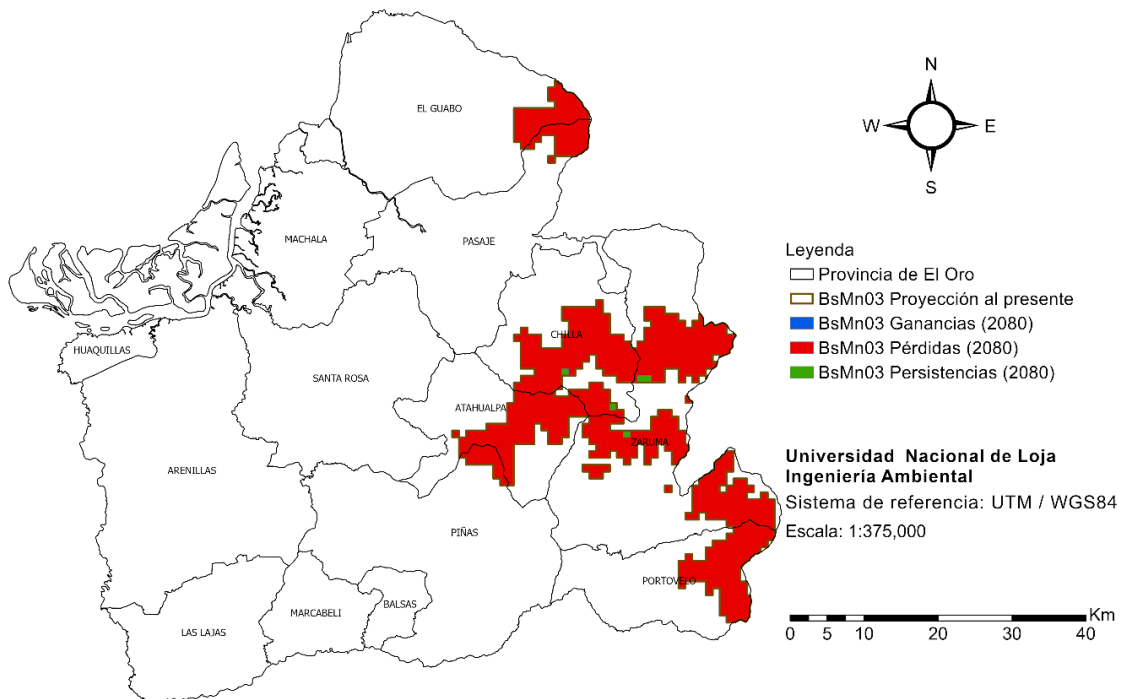
Anexo 17. Respuestas BsBn05.

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO BAJO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BsBn05]



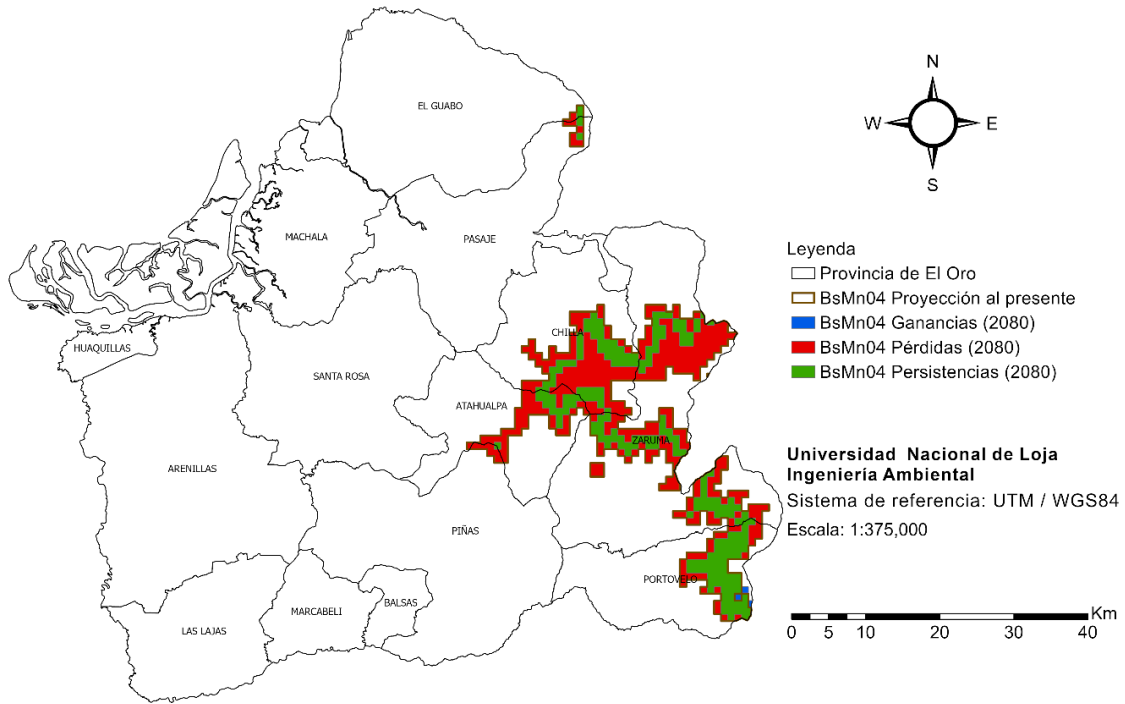
Anexo 18. Respuestas BsMn03.

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE LOS ANDES [BsMn03]



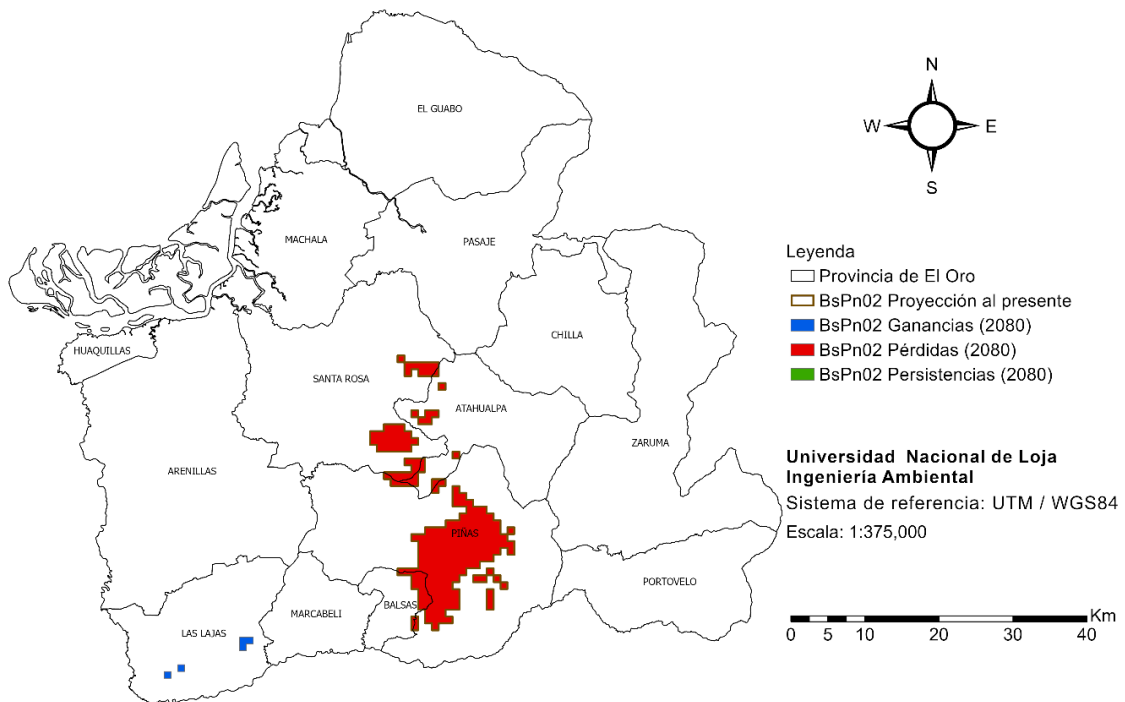
Anexo 19. Respuestas BsMn04.

BOSQUE SIEMPREVERDE MONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BsMn04]



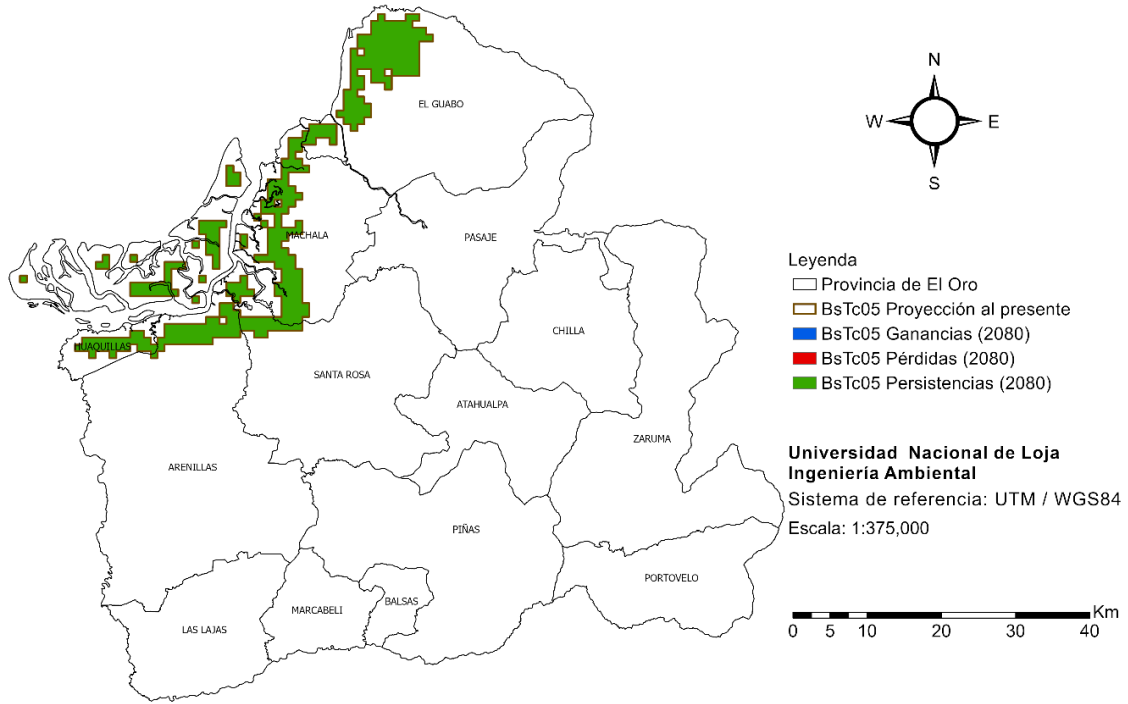
Anexo 20. Respuestas BsPn02.

BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO DEL CATAMAYO-ALAMOR [BsPn02]



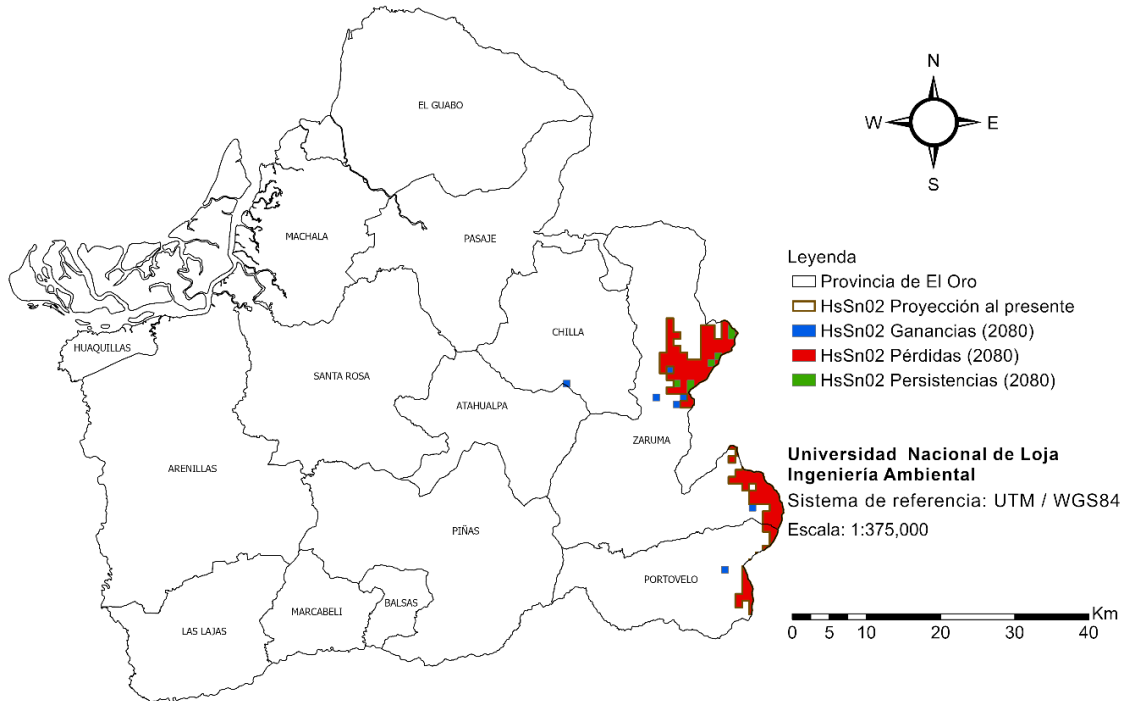
Anexo 21. Respuestas BsTc05.

MANGLAR DEL JAMA-ZAPOTILLO [BsTc05]



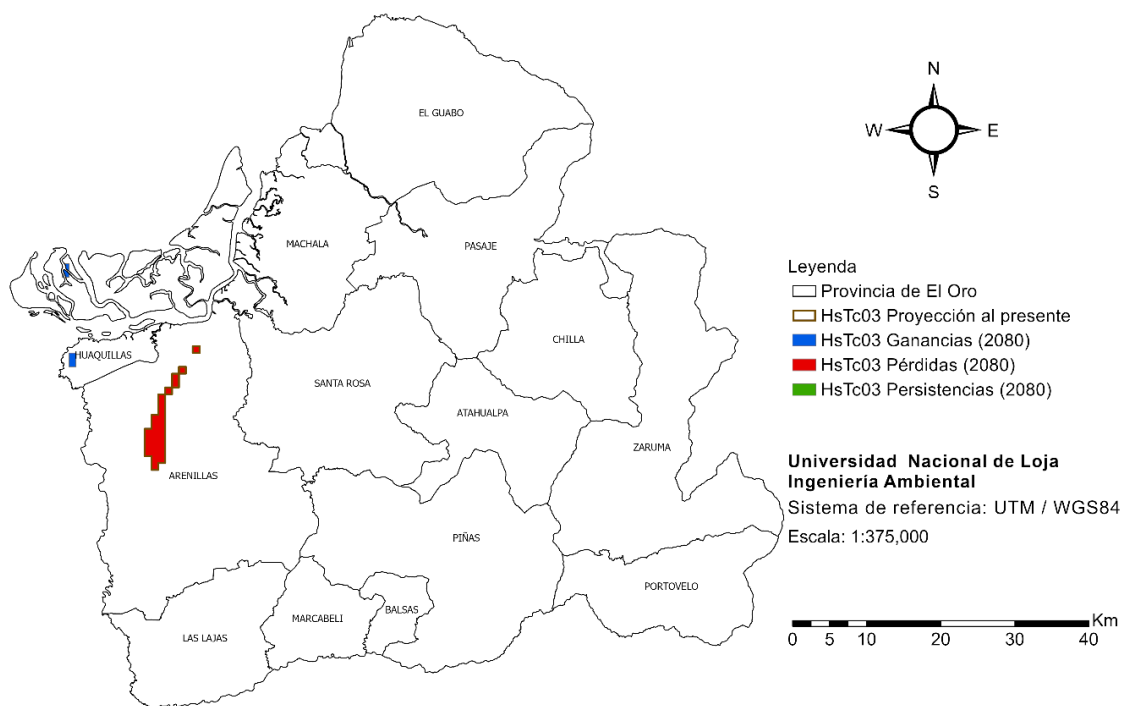
Anexo 22. Respuestas HsSn02.

HERBAZAL DEL PÁRAMO [HsSn02]



Anexo 23. Respuestas HsTc03.

HERBAZAL INUNDABLE RIPARIO DE TIERRAS BAJAS DEL JAMA-ZAPOTILLO [HsTc03]



Anexo 24. Respuestas de los ecosistemas provinciales bajo la influencia del cambio climático.

Ecosistema	Descripción	Área (km ²) El Oro	Escenario	Proporción (%)
AdBn01	Ganancias	2600.82	2080_RCP6.0	2171.84
AdBn01	Pérdidas	60.12	2080_RCP6.0	50.20
AdBn01	Persistencias	59.63	2080_RCP6.0	49.80
BdTc02	Ganancias	31.57	2080_RCP6.0	8.28
BdTc02	Pérdidas	367.72	2080_RCP6.0	96.42
BdTc02	Persistencias	13.65	2080_RCP6.0	3.58
BdTc01	Ganancias	2889.19	2080_RCP6.0	251.70
BdTc01	Pérdidas	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BdTc01	Persistencias	1147.87	2080_RCP6.0	100.00
BmTc01	Ganancias	295.93	2080_RCP6.0	34.13
BmTc01	Pérdidas	470.15	2080_RCP6.0	54.23
BmTc01	Persistencias	396.80	2080_RCP6.0	45.77
BmPn01	Ganancias	2289.03	2080_RCP6.0	0
BmPn01	Pérdidas	0.00	2080_RCP6.0	0
BmPn01	Persistencias	0.00	2080_RCP6.0	0
BeTc02	Ganancias	294.39	2080_RCP6.0	20.56
BeTc02	Pérdidas	1233.55	2080_RCP6.0	86.17
BeTc02	Persistencias	198.00	2080_RCP6.0	13.83
BeBn01	Ganancias	0.00	2080_RCP6.0	0.00

BeBn01	Pérdidas	48.99	2080_RCP6.0	100.00
BeBn01	Persistencias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BePn01	Ganancias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BePn01	Pérdidas	301.29	2080_RCP6.0	99.72
BePn01	Persistencias	0.85	2080_RCP6.0	0.28
BePn02	Ganancias	0.87	2080_RCP6.0	0.05
BePn02	Pérdidas	1930.32	2080_RCP6.0	99.77
BePn02	Persistencias	4.44	2080_RCP6.0	0.23
BsAn04	Ganancias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BsAn04	Pérdidas	173.45	2080_RCP6.0	73.38
BsAn04	Persistencias	62.92	2080_RCP6.0	26.62
BsBn04	Ganancias	0.85	2080_RCP6.0	0.21
BsBn04	Pérdidas	397.51	2080_RCP6.0	99.79
BsBn04	Persistencias	0.85	2080_RCP6.0	0.21
BsBn05	Ganancias	232.77	2080_RCP6.0	25.87
BsBn05	Pérdidas	885.18	2080_RCP6.0	98.39
BsBn05	Persistencias	14.50	2080_RCP6.0	1.61
BsMn03	Ganancias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BsMn03	Pérdidas	590.70	2080_RCP6.0	99.28
BsMn03	Persistencias	4.27	2080_RCP6.0	0.72
BsMn04	Ganancias	2.11	2080_RCP6.0	0.46
BsMn04	Pérdidas	284.10	2080_RCP6.0	61.62
BsMn04	Persistencias	176.95	2080_RCP6.0	38.38
BsPn02	Ganancias	4.26	2080_RCP6.0	2.39
BsPn02	Pérdidas	178.29	2080_RCP6.0	100.00
BsPn02	Persistencias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BmBn02	Ganancias	4.27	2080_RCP6.0	4.52
BmBn02	Pérdidas	94.46	2080_RCP6.0	100.00
BmBn02	Persistencias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
HsSn02	Ganancias	5.97	2080_RCP6.0	6.65
HsSn02	Pérdidas	84.66	2080_RCP6.0	94.27
HsSn02	Persistencias	5.14	2080_RCP6.0	5.73
HsTc03	Ganancias	2.72	2080_RCP6.0	11.81
HsTc03	Pérdidas	23.04	2080_RCP6.0	100.00
HsTc03	Persistencias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BsTc05	Ganancias	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BsTc05	Pérdidas	0.00	2080_RCP6.0	0.00
BsTc05	Persistencias	289.31	2080_RCP6.0	100.00

Anexo 25. Certificado de traducción del Abstract.



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza
Licenciada en Ciencias de Educación mención Inglés
Magíster en Traducción y mediación cultural

Celular: 0989805087
Email: yaniges@icloud.com
Loja, Ecuador 110104

Loja, 28 de febrero de 2023

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro **MDT-3104-CCL-252640**, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de trabajo de integración curricular **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**, cuya autoría del estudiante Marco Antonio Poma Sarango, con cédula 1150239315, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA
BELEN
QUIZHPE
ESPINOZA

Formado
digitalmente por
YANINA BELLEN
QUIZHPE
ESPINOZA
Fecha: 2023/02/28
11:30:00 -0500

Yanina Quizhpe Espinoza.

Traductora

Full text translator: servicios de traducción