

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Evaluación de “*Sternula Lorata*” en la Reserva de Paracas
mediante el modelo de dispersión de especies Maxent y
Divagis**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Juan Damaso Ascencio Pacho
Luz Natalia Vega Gavilan

Asesor:

Jackson Edgardo Pérez Carpio

Lima, 19 de noviembre del 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Jackson Edgardo Pérez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE “*STERNULA LORATA*” EN LA RESERVA DE PARACAS MEDIANTE EL MODELO DE DISPERSIÓN DE ESPECIES MAXENT Y DIVAGIS”** constituye la memoria que presentan los Bachiller(es) Juan Damaso Ascencio Pacho y Luz Natalia Vega Gavilan para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 01 días del mes de diciembre del año 2021



Jackson Edgardo Pérez Carpio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a los **19 días** día(s) del mes de **noviembre del año 2021** siendo **las 8:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario : **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** y la **Ing. Nancy Curasi Rafael** y el y el asesor **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de "*Sternula Lorata*" en la Reserva de Paracas mediante el modelo de dispersión de especies Maxent y Divagis"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **JUAN DAMASO ASCENCIO PACHO**

..... b) **LUZ NATALIA VEGA GAVILAN**

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **JUAN DAMASO ASCENCIO PACHO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b) **LUZ NATALIA VEGA GAVILAN**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	-A	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

() Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga




Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras


Asesor
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Miembro
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Ing. Nancy Curasi
Rafael



Candidato/a (a)
Juan Damaso
Ascencio Pacheco



Candidato/a (b)
Luz Natalia Vega
Gavilan

“Evaluación de “*Sternula Lorata*” en la Reserva de Paracas mediante el modelo de dispersión de especies Maxent y Divagis”

"Evaluation of " *Sternula Lorata*" in the Paracas Reserve using the Maxent and Divagis species dispersal model"

Ascencio Pacho Juan Damaso ¹ y Vega Gavilan Luz Natalia ²

1 y 2 Facultad de Ingeniería Y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

1 email: juan.ap@upeu.edu.pe

2 email: luzvega@upeu.edu.pe

Resumen

Para la evaluación de la eficiencia de Maxent y Divagis en el modelamiento de *Sternula Lorata* se trabajó con 193 puntos de presencia del Gaviotín Peruano el cual se obtuvo de las plataformas GBIF, Inaturalist y Vertnet. Se descargaron de WorldClim y Diva Gis – Climate Data 19 capas ambientales actuales y futuras y una topográfica el cual se recortó para el límite de Ica-Perú. El mapa de distribución potencial se desarrolló usando el total de los registros de puntos de presencia obtenidos de las tres bases de datos y los principales factores climáticos que afectan la distribución. Los resultados de la predicción de los dos softwares indicaron que las áreas de distribución potencial actuales de *Sternula Lorata* se concentraron en la península de Paracas. El área de reproducción óptima para *Sternula Lorata* se redujo en gran medida con las estimaciones climáticas futuras al año 2070 con un RCP 2.6. La prueba de la curva ROC mostró que los valores del área bajo la curva (AUC) para los años actuales fueron 0.982 y futuros 0.97 con una desviación estándar de 0.019 y 0.03 en Maxent, el modelado con Divagis predijo un mapa de distribución similar al Maxent con áreas apropiadas para la conservación de la especie, validando la eficiencia de Maxent y Divagis en el modelado de *Sternula Lorata*. El análisis de los componentes climáticos mostró que el (BIO 2), el (BIO 3) y el (BIO 6) fueron los principales factores climáticos que afectaron la distribución de *Sternula Lorata* con Maxent indicando que la temperatura fue el principal factor. Por lo tanto, las estrategias de investigación y protección deben llevarse a cabo basándose en áreas de distribución previstas.

Palabras Clave: *Gaviotín Peruano, MaxEnt, Divagis, Sternula Lorata, Modelo de Dispersión.*

Abstract

For the evaluation of the efficiency of Maxent and Divagis in the modeling of *Sternula Lorata*, we worked with 193 points of presence of the Peruvian Tern, which was obtained from the GBIF, Inaturalist and Vertnet platforms. 19 current and future environmental layers and a topographic one were downloaded from WorldClim and Diva Gis - Climate Data, which was cut for the Ica-Peru boundary. The potential distribution map was developed using the total of the presence point records obtained from the three databases and the main climatic factors that affect the distribution. The prediction results of the two softwares indicated that the current potential ranges of *Sternula Lorata* were concentrated in the Paracas peninsula. The optimal breeding area for *Sternula Lorata* was greatly reduced by future climate estimates to the year 2070 with a RCP 2.6. The ROC curve test showed that the values of the area under the curve (AUC) for the current years were 0.982 and future 0.97 with a standard deviation of 0.019 and 0.03 in Maxent, the modeling with Divagis predicted a distribution map similar to the Maxent with appropriate areas for the conservation of the species, validating the efficiency of Maxent and Divagis in the modeling of *Sternula Lorata*. The analysis of the climatic components showed that (BIO 2), (BIO 3) and (BIO 6) were the main climatic factors that affected the distribution of *Sternula Lorata* with Maxent indicating that temperature was the main factor. Therefore, investigation and protection strategies must be carried out based on anticipated ranges.

Key Words: *Peruvian Gaviotin, MaxEnt, Divagis, Sternula Lorata, Dispersion Model.*

1. Introducción

El “gaviotín peruano”–*Sterna Lorata* es una especie de la costa peruana, Chile y Ecuador, es un ave característica de la corriente de Humboldt su distribución se desarrolla desde el Golfo de Guayaquil por el Norte de Ecuador, hasta la localidad de Antofagasta en el Norte de Chile (Haase & Suarez, 2018). Actualmente en el Perú se han identificado cuatro sitios de reproducción de la especie: La Península de Paracas, la ciudad de Pacasmayo, las Tres Hermanas en Yanyarina y el Paraíso (Vilina, Vizcarra, & Anfruns, 2017). El ave marino *sternula lorata* es una de las especies que utiliza el desierto costero para reproducirse, debido a su característica plana y a su altitud que es menor a los 100msnm (Ramos, 2019). Sus nidos son construidos generalmente en sustratos arenosos o de grava fina con una dimensión de 10,46 cm de largo por 9,56 cm de ancho y 1,56 cm de profundidad, su cantidad de puesta de huevos varía de 1 a 2 y su tiempo de incubación dura de 2 a 3 semanas (Malinarich, 2019). La temporada de su reproducción varía desde fines de julio hasta noviembre, siendo más intenso en los meses de verano (Torres, Pinto, & Gonzalo, 2019)

La especie del gaviotín peruano de la familia Laridae de gaviota y gaviotines cuenta con aproximadamente 101 especies, donde 14 están registradas en alguna categoría de amenaza y 10 están en la categoría “casi amenazada”(Medrano & Silva, 2020; SERFOR, 2018). Dentro de las 14 especies en categoría de amenaza el “*Sterna lorata*” se encuentra en peligro de extinción (Haase & Suarez, 2018) y su población actual a nivel mundial varía entre 1 000 a 2 499 individuos que va

disminuyendo de manera significativa (Olmedo, Hernandez, & Rivero, 2020), según (SERFOR, 2018) la especie se encuentra en categoría de amenaza “En Peligro”.

Los diversos problemas que afectan a la conservación del gaviotín peruano son principalmente por las alteraciones a su ecosistema natural ocasionado por ciertas actividades como: el desarrollo urbano, la agricultura, la ganadería, la recreación irresponsable y la presencia de especies introducidas, así mismo sus lugares de reproducción se caracterizan por ser espacios abiertos, no protegidos, en áreas de planicies del desierto afectando su procreación de la especie (Cristina, Víctor, Arriola, & Ortega, 2017).

Ante el incremento progresivo de amenazas se hace necesario mejorar el conocimiento sobre el comportamiento y distribución actual del “gaviotín peruano” con la finalidad de aplicar medidas efectivas y adecuadas para evitar su extinción. Existen diversas herramientas que son muy prácticas para la evaluación, gestión y conservación de especies como los softwares de modelamiento de distribución de especies, los cuales se basan en el análisis de datos de presencia y bioclimas asociados a su reproducción (Cervantes, Serna, Salazar, & Pérez, 2018).

La necesidad de saber qué tipo de softwares es el más adecuado para un estudio de distribución de especies con lleva a realizar este estudio para verificar la efectividad de los softwares Maxent y Divagis en el análisis del gaviotín peruano en la reserva de Paracas (Mejía, Tonón, & Abad, 2018). El código Maxent está basado en un enfoque de máxima entropía

para realizar modelamiento de nichos ecológicos y analizar la distribución de especies, el cual tiene como cimiento un grupo de grillas o "rasters" georeferenciados con información de medio físico, el modelo puede calcular la distribución de probabilidad donde cada celda tiene una idoneidad predictiva de condiciones para la especie (Chávez & Tirado, 2019). El DIVA-GIS es un programa para mapeo y análisis de datos biodiversidad donde utiliza límites estatales, ríos, imagen de satélite y puntos de presencia de la especie (Vadillo, 2017). Así mismo Divagis trabaja con dos modelos integrados Bioclim y Domain para la predicción potencial de especies actuales y futuras (Qin et al., 2017).

2. Metodología

2.1. Recolección y preparación de datos de presencia del *Sternula lorata* y variables ambientales

La data de los puntos de presencia del "gaviotín peruano" se obtuvieron de la base de datos de Inaturalist, Global Biodiversity Information Facility (Gbif), y Vertnet. Los datos se procesaron desde el programa Rstudio, mediante funciones se descargó, se depuró y se guardó los puntos de presencia en formato Excel, en Excel se unió los datos de las tres plataformas con el nombre científico del ave y sus respectivas coordenadas geográficas, se realizó un filtro para que queden los datos de presencia y el modelo sea más preciso.

Los datos climáticos se descargaron de un paquete comprimido de la base de datos de WorldClim el cual contenía 19 bioclimas (temperatura y precipitación) de los años 1970 al 2000 (Ver tabla 1) con una resolución de 30 segundos (~ 1 km²), también se descargó una base

de datos futuro al año 2070, el cual se utilizó para el procedimiento de modelado en Maxent. Para el desarrollo de modelado en DivaGis se trabajó con la base de datos de la plataforma Diva Gis –Cimate Data que contenía también 19 bioclimas actuales de los años 1950 al 2000 y con una resolución de 2.5 min (1 km²).

El proceso de selección de las variables ambientales para Maxent se definió con la correlación de los puntos de presencia de "*Sternula Lorata*" con los 19 bioclimas, los cuales se procesaron en el software Rstudio, los datos de este proceso se guardaron en Excel y se determinó de acuerdo al nivel de correlación, escogiendo solo 13 bio (Bio 2, Bio 3, Bio 4, Bio 5, Bio 6, Bio 7, Bio 8, Bio 9, Bio 12, Bio 16, Bio 17, Bio 18 y Bio 19) que predominaban más en la reproducción de la especie. Se realizó una extracción por capa de mascara con los límites del borde de Ica y de la Reserva de Paracas usando el software QGis, convirtiendo las capas de las 13 variables ambientales seleccionadas a formato (. asc), puesto que Maxent ha sido diseñado para modelar datos en dicho formato. Para el proceso en DivaGis se utilizó los 19 bioclimas que se descargó de la base de datos Diva Gis –Cimate Data en formato (clm).

Tabla 1 Bioclimas de la base de datos de WorldClim a 30 segundos de resolución para el modelado de *Sternula Lorata*.

Clave	Descripción WorldClim
Bio 1	Temperatura Media Anual Rango Diurno Medio
Bio 2	(Media mensual (Temperatura Máxima - Temperatura mínima))
Bio 3	Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (× 100)
Bio 4	Estacionalidad de la Temperatura (desviación estándar × 100)
Bio 5	Temperatura Máxima del mes más Cálido

Bio 6	Temperatura Mínima del mes más Frío
Bio 7	Rango Anual de Temperatura (Bio5-Bio6)
Bio 8	Temperatura media del Trimestre más Húmedo
Bio 9	Temperatura Media del cuarto más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más Cálido
Bio 11	Temperatura Media del cuarto más Frío
Bio 12	Precipitación Anual
Bio 13	Precipitación del mes más Húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más Seco
Bio 15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16	Precipitación del cuarto más Húmedo
Bio 17	Precipitación del cuarto más Seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más Cálido
Bio 19	Precipitación del cuarto más Frío

2.2. Área de Estudio

El lugar de estudio se determinó por la cantidad significativa de especies de *Sternula Lorata* en la península de Paracas que se encuentra en la Reserva Nacional de Paracas ubicado políticamente en los distritos de Paracas y Salas, provincia de Pisco e Ica, en el departamento de Ica. La RNP se ubica entre las coordenadas de 13°47'S y 14°26'S y los 76°30'O y los 76°00'O (Figura 1)(Cervantes et al., 2018).

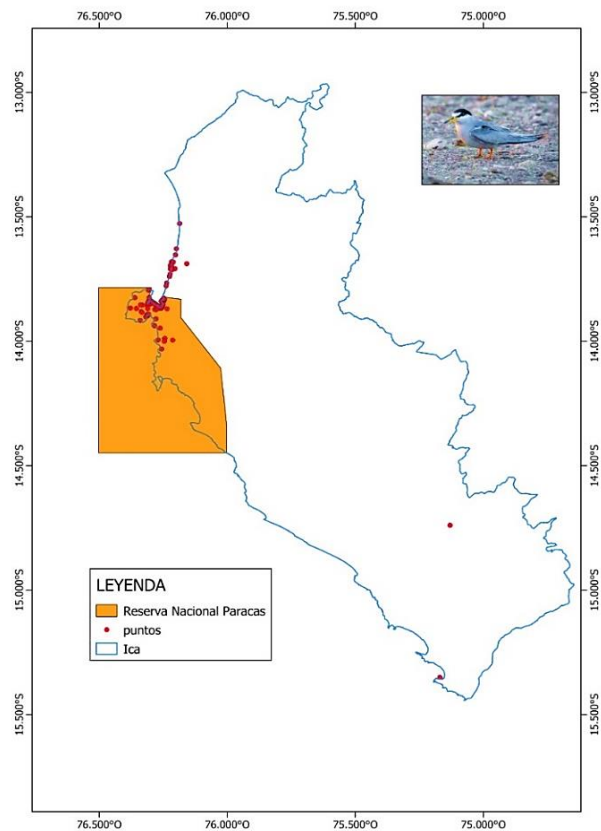


Figura 1 Mapa de distribución actual de *Sternula Lorata* en Ica.

Para trabajar el lugar de estudio se hizo el proceso de zonificación en el programa de QGIS con las bases de límite provincial y departamental de la Reserva Nacional de Paracas con respecto a la cantidad de especie “*sternula lorata*” que se localiza.

2.3. Enfoque Metodológico

Existen diversos métodos científicos de MDE que al pasar de los tiempos han logrado un soporte e interés científico creciente. El pronóstico de la distribución de especies se ha vuelto en un componente importante en el planeamiento de la conservación de especies de los últimos años y una gama amplia de técnicas han sido desarrolladas para tal propósito(Gil, 2017).

Siendo así, se aplican metodologías usadas para el MDE que tiene como modelo, herramienta de tratamiento y análisis de datos a Maxent y DivaGis respectivamente.

2.4. Modelado con Maxent

Según (Gil, 2017) MaxEnt trabaja con inteligencia artificial unido con el fundamento de máxima entropía en búsqueda de una distribución a más próximo posible a la igualdad, así mismo Maxent realiza el modelo de distribución de especies en base a datos de solo presencia y bioclimas asociados a los puntos de presencia previamente depurados (Navarrete, 2019). De una visión estadística Maxent establece vínculos explícitos de la textura del modelo con las decisiones necesarias para crear una distribución modelada y el conocimiento sobre las especies y los datos que podrían afectar esas decisiones (Barredo, 2016).

Según (Phillips, 2017) MaxEnt ofrece como configuración predeterminada seis funciones, el cual está constituido por un conjunto ampliado de transformaciones de las covariables originales de tipos: (T (umbral), H (bisagra), C (categoría L (lineal), Q (cuadrático), P (producto)), que se seleccionan automáticamente mediante funciones automáticas según el tamaño de muestra de datos de presencia (Cervantes et al., 2018).

El proceso de modelado se basa en insertar dos archivos sustanciales, en la parte “samples” se inserta el archivo con los 193 puntos de ocurrencia de la especie *Sternula lorata* en formato excel csv. En la parte “Environmental layers” se inserta los datos ambientales de los 13 bioclimas seleccionados, se ajusta los parámetros máximos y la cantidad de réplicas, como resultado se

obtiene la dispersión de la especie y variables ambientales las cuales son significativas para la reproducción de la especie, para corregir el sesgo de estimación se utilizó la prueba estadística Jackknife que se encuentra en Maxent, las cuales enseñan los requisitos ecológicos y en base a esto se determina el lugar idóneo de la distribución potencial de *Sternula Lorata* (Zeng, Low, & Yeo, 2016). Además, se obtuvo el gráfico de la curva particular operativa del receptor (ROC) que muestra el rendimiento de un clasificador binario, y el AUC que es el área bajo la curva ROC. En general, el valor mínimo del AUC es 0,5 y la capacidad predictiva se considera convincente, siendo el valor del AUC superior a 0,8 (Byeon, Jung, & Lee, 2018).

Para una mejor representación gráfica del mapa de distribución potencial de *Sternula Lorata* se usó el programa de QGIS, se cargó el resultado del gráfico del modelado con Maxent y se procesó el mapa.

2.5. Modelado con Divagis

El software DIVA-GIS trabaja con dos modelos Bioclim y Domain los cuales pueden ser empleado para analizar los datos de distribución de organismos para dilucidar patrones geográficos y ecológicos (Olivier & Aranda, 2017). Nos permite comprender la distribución de la diversidad en la escala geográfica, también tiene diferentes usos por ejemplo, para determinar las zonas de alta diversidad; para pronosticar la probabilidad de encontrar la especie en zonas que aún no están exploradas o para exploraciones futuras; para examinar la distribución de los rasgos de interés; para elegir y diseñar sitios con el objetivo de hacer conservación in situ (John et al., 2019).

El modelo bioclim trabaja con datos de solo presencia este modelo utiliza el algoritmo de “Sobre”, el cual

tiende a sobrepredecir la distribución potencial de la especie, también está establecida por superficies matemáticas ajustadas a datos meteorológicos para generar estimaciones de las temperaturas y precipitación (Booth, 2018).

Para el proceso de modelamiento se inserta los puntos de ocurrencia de la especie en Excel formato (csv. delimitado por comas) en el software DivaGis, se carga la data climatológica usando la herramienta “tolls” +” opciones” se elige el archivo con la información meteorológicas de 2.5 min de WorldClim y se guarda. Para correr el modelo se usa la herramienta “modeling” + la selección de” Bioclim o Domain” se trabajará con los 19 bioclimas. Se selecciona el método de dispersión “bioclim” y se delimita el área de estudio (Xie, Yu, Liu, & Fang, 2020).

3. Resultados

3.1. Resultado con Maxent

La figura 2 se ve la tasa de omisión de la prueba y cuál es la zona pronosticada en función del umbral acumulativo, promediado sobre las ejecuciones repetidas. La tasa de omisión debe estar más próxima de la omisión prevista, necesario a la definición del umbral acumulativo.

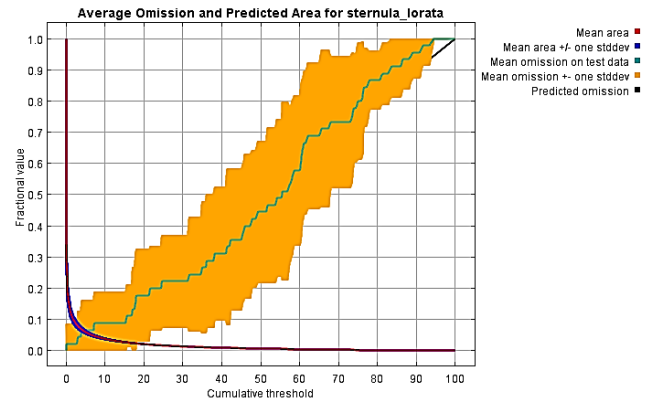


Figura 2 Tasa de omisión y el área pronosticada en función del umbral acumulativo.

La figura 3 muestra la curva (ROC) para los puntos de Sternula Lorata promediada sobre las ejecuciones replicadas. El AUC de prueba promedio para las ejecuciones replicadas es 0,982 para los años 1970 al 2000 y 0.970 para el año futuro 2070 (si los valores del AUC se aproximan a 1, tienen mayor presagio) y la desviación estándar es 0,019 mostrando que la predicción del modelo es confiable.

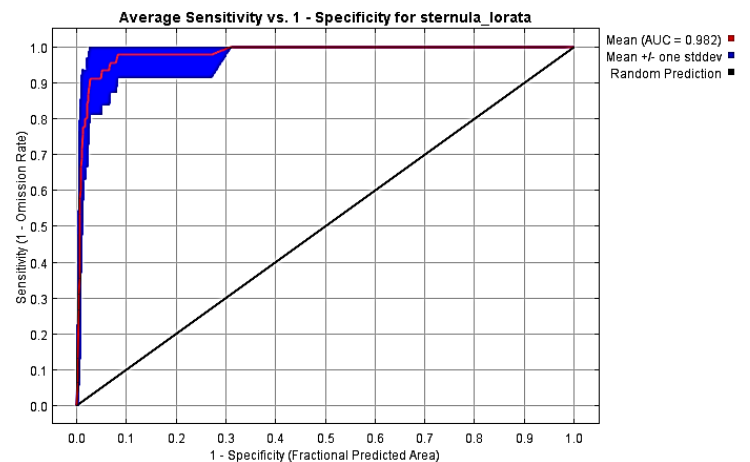


Figura 3 Curva característica operativa del receptor (ROC).

En la figura 4 se muestra al lado izquierdo la distribución potencial actual y en la derecha la distribución potencial futura al año 2070 a un RCP de 2.6, los tonos más cálidos (rojo) que señalan las zonas

con mayores aptitudes pronosticadas para la reproducción de la especie. En los mapas de distribución de sternula lorata se puede observar que el área de reproducción para el año 2070 se ha incrementado, deduciendo así que los factores climáticos tendrán una contribución significativa positiva en un futuro.

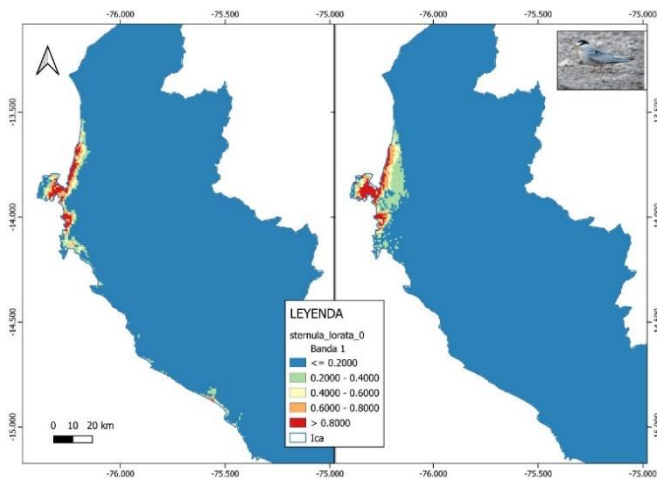


Figura 4 Distribución potencial actual y futura de Sternula Lorata con Maxent.

Las curvas de respuesta enseñan cómo cada variable ambiental altera el pronóstico de Maxent. Las curvas revelan cómo afecta la posibilidad de presencia predicha a medida que se cambia cada aspecto ambiental, conservando las otras variables ambientales en su valor enseñan promedio.

En la figura 5 la curva muestra la respuesta media de las 9 repeticiones de Maxent corridas (rojo) y la media +/- una desviación estándar (azul, dos tonos para variables categóricas).

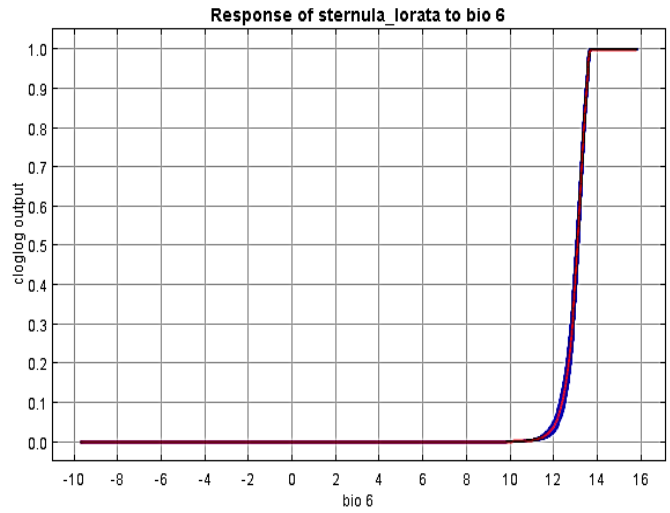


Figura 5 Curva de respuesta marginal del bio de mayor contribución relativa.

La tabla 2 muestra la contribución relativa de los bioclimas al modelo de MaxEnt en respecto a las estimaciones. En la primera estimación se suma a la contribución del bio el incremento de la ganancia regularizada o se resta si el cambio al valor absoluto de lambda es negativo. En el segundo pronóstico, para cada uno de las variables ambientales a su vez, los datos de esa variable en la presencia de preparación y los datos de fondo se permutan aleatoriamente. El modelo se reevalúa sobre los datos permutados y la caída resultante en el AUC de preparación se observa en la tabla, normalizada a porcentajes. Así como con la variable jackknife, los aportes de las variables se deben deducir con precaución cuando las variables estimadoras son correlacionadas.

Tabla 2 Estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
Bio 6	58	70.1
Bio 18	27	0
Bio 3	4.7	2.4

Bio 16	3.2	0
Bio 7	2.3	10.2
Bio 19	1.7	2.4
Bio 4	1.1	13
Bio 9	1.1	0.3
Bio 2	0.8	1.2
Bio 8	0.1	0.4
Bio 5	0	0
Bio 17	0	0

En la figura 6 se muestra la prueba de jackknife el cual proporcionó información de los bioclimas que aportan al modelo, cuando trabajan de manera aislada. La prueba confirmó que la Bio2, Bio3 y Bio6, contribuyeron 0,95 de los valores del AUC del nicho ecológico del gaviotín peruano ya que estas variables ambientales son las que muestran mayor valor predictivo.

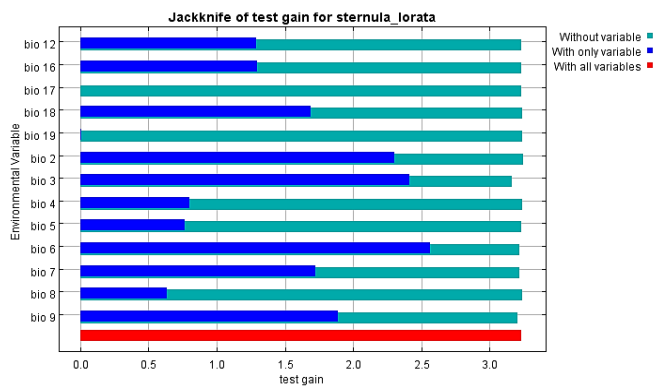


Figura 6 Importancia relativa de las variables ambientales de la prueba de Jackknife expresado en valores de ganancia.

3.2. Resultado con Divagis

Divagis-BIOCLIM

El modelado con DivaGis con el algoritmo Bioclim, se muestra el mapa de distribución potencial del gaviotín peruano, las áreas con color verde representan a las que son inapropiadas para la reproducción del gaviotín peruano y las áreas con colores cálidos (rojo) son las que mejores condiciones contienen (Figura 7 y 8). El mapa

es un conjunto de celdas que representan valores, las celdas competen a valores de 0 a 25 percentiles definiendo el valor más alto a las zonas con mayores condiciones para sternula lorata.

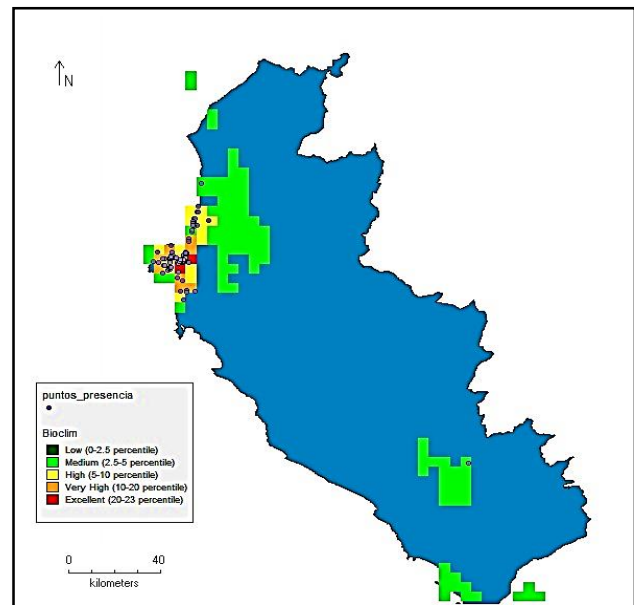


Figura 7 Mapa de Distribución potencial de sternula lorata con Divagis utilizando el algoritmo Bioclim.

La Figura 8 del mapa de distribución potencial con Bioclim al año 2070 para sternula lorata, muestra que las áreas con condiciones óptimas para el gaviotín peruano disminuyen mínimamente para el año futuro en comparación al actual de 403 km² a 352 km²

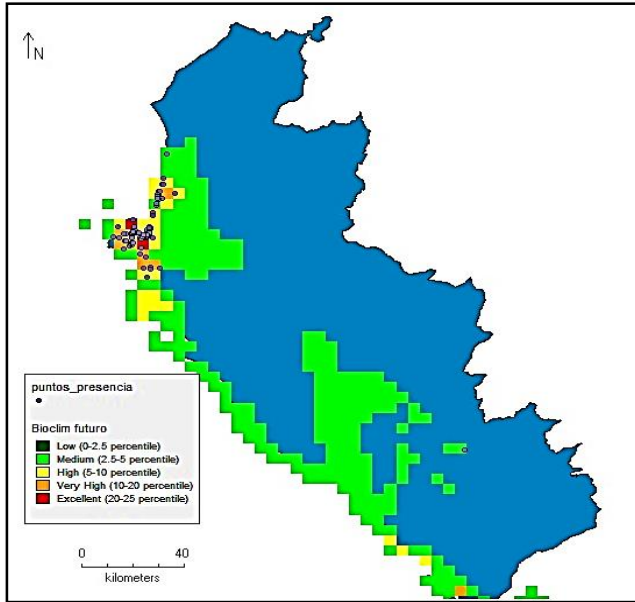


Figura 8 Mapa de distribución potencial de sternula lorata para el año 2070 con Divagis utilizando el algoritmo Bioclim.

Divagis-DOMAIN

Las zonas de color verde corresponden a las áreas con condiciones inapropiadas para la reproducción de la especie y las áreas con colores más cálidos (rojo) las condiciones óptimas para su reproducción. El mapa es un conjunto de celdas representadas por valores; en este caso, con valores de 91 a 100 siendo el valor más alto a las áreas más apropiadas para la sternula lorata (Fig. 9 y 10).

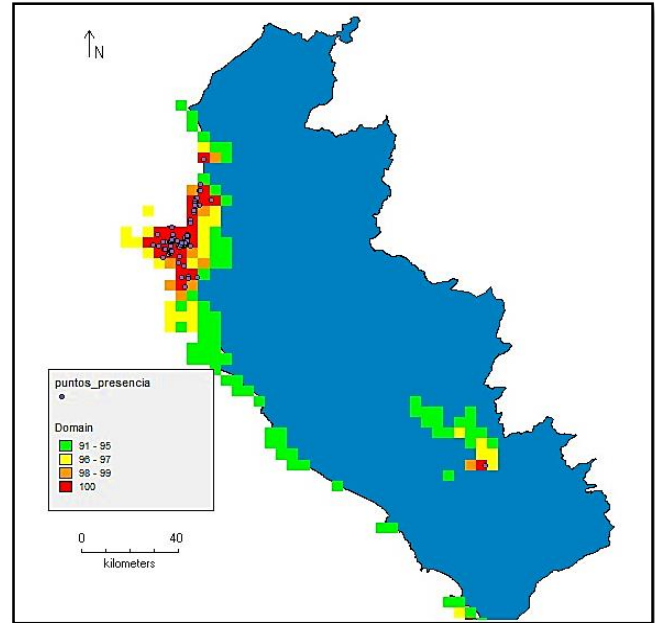


Figura 9 Distribución potencial de sternula lorata con Divagis utilizando el algoritmo Domain área potencial 928 km².

En la tabla 10 se muestra el resultado del proceso de modelado para sternula lorata con el algoritmo Domain para el año 2070, se puede deducir que las áreas con condiciones óptimas para la reproducción del ave se reducen mínimamente para el año futuro en comparación al año actual.

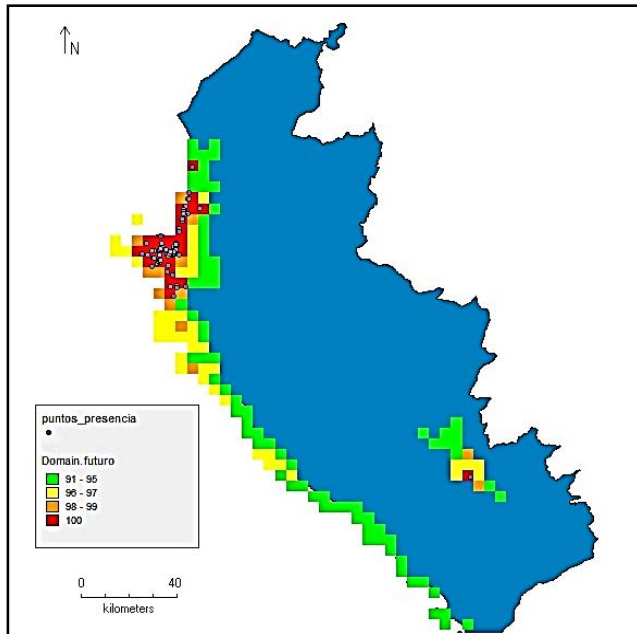


Figura 10 Distribución potencial de sternula lorata para el año 2070 con Divagis utilizando el algoritmo Domain 983 km2.

4. Discusiones

En la investigación de (Díaz Ismael, 2020) utilizó el MaxEnt para evaluar la especie *Vicugna Vicugna* se identificó la precipitación y el uso de suelos aportó en 54.7 y 33.2, se podría considerar el uso de suelos para la *sternula lorata* y hacer contraste con el resultado que obtuvimos con las bios de WorldClim. Así como evaluó (Byeon, Jung, & Lee, 2018) el MaxEnt con el Climex se cual afirmo que el software es MaxEnt es más eficiente ya que se pueden considerar más factores aparte de los climatológicos.

En la investigación de (Wang et al., 2020) evaluó el hábitat de la grulla de corona roja considerando el uso de suelo y la cobertura (LULC), determinando que esta especie es influye en su distribución y también por la actividad humana, se podría hacer una evaluación añadiendo estos factores, en contraste con el DivaGis (Cervantes et al., 2018) evaluó a la especie *Ecnomihyla*

Miotympanum con MaxEnt y DivaGis se comprobó que los factores climatológicos afectan a la distribución a ambos modelos

El modelo Maxent, que trabajo con data climatológicas a 30 seg determinó zonas más delimitadas, a diferencia que el DivaGis que trabajo con datos a 2.5 min. DivaGis da opción a elegir el logaritmo de distribución Bioclim y Domain su deficiencia es el límite de los formatos del clima que acepta el DivaGis.

Todas las áreas de distribución potencial estimadas con las condiciones actuales y futuras se compararon para identificar los lugares de distribución que el cambio climático alterara de manera significativa, así como las áreas donde el efecto será menos, y las nuevas zonas de ocurrencia natural de la especie en el futuro (Scheldeman & Zonneveld, 2011). Para encontrar el área idónea de la especie se podría trabajar mejor, con unos datos de la especie más exacto, como haciendo un censo a la especie por estaciones del año, y con datos climatológicos locales para delimitar las zonas ideales para la especie.

5. Conclusiones

La distribución obtenida para *sternula lorata* con Divagis y Maxent tuvieron similitudes muy significativas en el mapa de distribución del área potencial, las áreas con condiciones adecuadas para su reproducción coinciden con los puntos de presencia en los dos modelos, validando la eficiencia de Maxent y Divagis en el modelado de especie *sternula Lorata*. En la predicción de la distribución futura al año 2070 con RCP de 2.6 el área disminuyo de manera gradual de 119 m2 a 90 m2 con el modelo Maxent, se puede concluir que los factores con impacto significativo para la

especie sternula lorata va relacionado al cambio climático, siendo el bio 6 como mayor contribución.

Esta investigación contribuye en la identificación de zonas apropiadas para la conservación de sternula Lorata ya que en Perú el lugar con mayor cantidad de puntos de presencia de la especie sternula lorata se encuentra ubicado en la ciudad de Ica a una altitud menor a 1000 msnm. Así mismo esta información puede ayudar en los procedimientos de planificación y actualización de las políticas de conservación en Reservas Aledañas al área de estudio.

6. Recomendaciones

Existen muchos algoritmos y softwares para realizar la dispersión de especies que consideran diversos factores, en base a este artículo se puede hacer investigaciones más a fondo con el maxent y DivaGis considerando la topografía, cobertura vegetal, el clima considerando los aspectos que influyen en la reproducción y el hábitat que es necesario para la especie a investigar. Para delimitar la zona con mayor potencial se recomienda que se realice censos presenciales de la especie en las diferentes estaciones del año, para obtener un mejor resultado. Se recomienda hacer una investigación específica de la península de paracas para hacer siguiente de la especie en los próximos años.

7. Agradecimientos

Agradecemos a Dios por brindarnos salud, economía, sabiduría y fortaleza para poder culminar este proyecto que era una de nuestras metas propuestas. Así mismo a Beca 18 del programa Nacional de Becas y crédito Educativo (PRONABEC) por darnos la oportunidad de poder realizar nuestros estudios superiores en la

Universidad Peruana Unión, el cual nos inculco valores cristianos personales y profesionales para enfrentar con ética cualquier tipo de situación laboral. También queremos agradecer a nuestros padres por el apoyo incondicional y económico del proceso de titulación y a nuestro asesor el Ing. Jackson Edgardo Pérez Carpio, por brindarnos su asesoramiento, enseñanza y disponibilidad de tiempo.

8. Referencias bibliográficas

- Barredo, J. (2016). *Distribución Actual Y Potencial De Estrategias De Conservación*.
- Bezeng, B. S., Morales-Castilla, I., Van Der Bank, M., Yessoufou, K., Daru, B. H., & Davies, T. J. (2017). Climate change may reduce the spread of non-native species. *Ecosphere*, 8(3). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1694>
- Booth, T. (2018). Why understanding the pioneering and continuing contributions of BIOCLIM to species distribution modelling is important. *Austral Ecology*, 43(8), 852–860. <https://doi.org/10.1111/aec.12628>
- Byeon, D. hyeon, Jung, S., & Lee, W. H. (2018). Review of CLIMEX and MaxEnt for studying species distribution in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(3), 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.06.002>
- Cervantes, J., Serna, R., Salazar, J., & Pérez, A. (2018). Nicho ecológico fundamental de *Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863) con DIVA-GIS y MaxEnt Fundamental ecological niche of *Ecnomiohyla miotympanum* (Cope, 1863) with DIVA-GIS and MaxEnt. *Revista*

Biodiversidad Neotropical, 8(2), 84–93.

Chávez, G., & Tirado, S. (2019). *Identificación de posibles zonas potenciales de distribución de Taphrolesbia griseiventris con el uso de Maxent V3.4.1. en la región de Cajamarca*. 0–116.

Retrieved from

[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22406/Chávez Muñoz Guadalupe del](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22406/Chávez_Muñoz_Guadalupe_del_Carmen_-_Tirado_Novoa_Selene_Mayrita.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Carmen - Tirado Novoa Selene

Mayrita.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cristina, I., Víctor, E., Arriola, J., & Ortega, A. (2017). *Gestión, Manejo y Conservación*. Retrieved from http://areas-naturales-protegidas.org/renanp/pdfs/libros/GESTION_MANEJO_CONSERVACION_ANPs.pdf

Gil, G. (2017). *Modelos de distribución y su aplicación en la conservación de mamíferos terrestres sudamericanos Director de Tesis Dr . Jorge Miguel Lobo Tutor Académico*. (January).

Haase, B., & Suarez, G. (2018). *Censo Tri- Nacional de Sternula lorata Ecuador , Perú y Chile Resultados 2018*.

Hernández-herrera, J. A., Moreno-reséndez, A., Cristina, M., & Martínez, Z. (2021). *Potential distribution of*. 19(2), 1–14. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2020.19.01>

John, J., Suma, A., Elsy, C., Sivaraj, N., Padua, S., Yadav, S., & Krishnan, S. (2019). Genetic diversity and distribution of cucumber (*Cucumis sativus* L.) landraces in India: A study using DIVA-GIS approach. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(4), 1532–1540.

<https://doi.org/10.5958/0975-928X.2019.00196.0>

Malinarich, V. (2019). *Estudio Poblacional Gaviotín Chico Sternula lorata (Philippi & Landbeck , 1861) ” , Región de Tarapacá*. 46.

Medrano, F., & Silva, R. (2020). *Identificación y evaluación de amenazas en sitios de nidificación de gaviotín chico en la región de Tarapacá (ID 609102-2-LE19) Informe final*.

Mejía, D., Tonón, M., & Abad, L. (2018). Distribución Potencial del Género *Polylepis* en la Cuenca del Río Paute bajo un Escenario de Cambio Climático. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas.*, December(19), 21–37.

Navarrete, C. (2019). Distribucion potencial de especies forestales amenazadas y endemias raras mediante modelos de nicho ecológico. *Repositorio Universidad Agraria La Molina*, 1–19.

Olivier, R., & Aranda, R. (2017). Potential geographic distribution niche modeling based on bioclimatic variables of three species of *Temnomastax* Rehn and Rehn, 1942 (Orthoptera: Eumastacidae). *Journal of Natural History*, 51(21–22), 1197–1208. <https://doi.org/10.1080/00222933.2017.1324647>

Olmedo, B., Hernandez, S., & Rivero, A. (2020). La Chiricoca. *Aliso*, 45.

Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent*.

Qin, Z., Dongfang, Z., Mingli, W., Jie, G., Chengzhong, S., Caixiang, X., ... Cai-xiang, X. I. E. (2017). *Predicción de áreas potenciales*

adecuadas para Gastrodia elata basada en modelo de nicho Predecir las áreas globales para la distribución potencial de Gastrodia elata basado en modelos de nicho ecológico Resumen Objetivos Estudios previos sobre las áreas . 41, 770–778.

Ramos, L. (2019). *Actividad Antrópica Sobre La Comunidad De Aves En La Bahía De Paracas, Pisco, Perú. 2017.* 100. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3924/ramos-alarcon-leidy-milady.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Scheldeman, X., & Zonneveld, M. (2011). Modelación y análisis de distribución de especies. In *Manual de Capacitación en Análisis Espacial de Diversidad y Distribución de Plantas.*

SERFOR. (2018). *Fauna Silvestre Amenazada del Peru LIBRO ROJO.* Retrieved from <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

Torres, M., Pinto, V., & Gonzalo, M. (2019). *Plan de Seguimiento Ambiental depredadores Gaviotín Chico.* 1–22.

Vadillo, F. (2017). Modelamiento espacial aplicado al desarrollo del ecoturismo y la conservación de la avifauna en la vertiente occidental de Perú. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*, 125. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/10021>

Vilina, Y. A., Vizcarra, J., & Anfruns, K. (2017). *MONITOREO DE LA POBLACIÓN DEL GAVIOTÍN CHICO O CHIRRÍO (Sternula lorata) DE ARICA Y PROSPECCIÓN DE LAS COSTAS DE ILO , SUR DE PERÚ.*

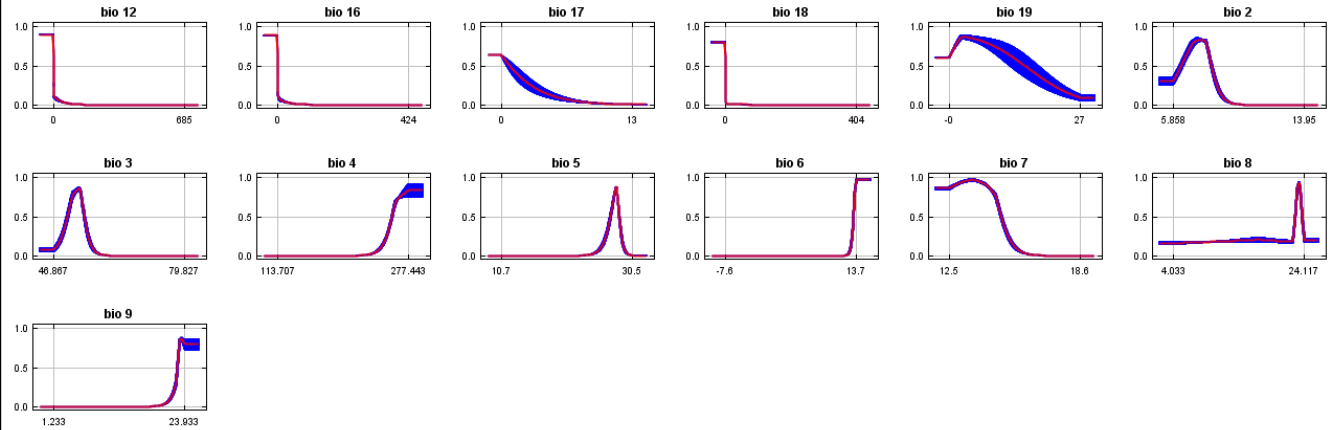
Xie, C., Yu, X., Liu, D., & Fang, Y. (2020). Modelling suitable habitat and ecological characteristics of old trees using diva-gis in anhui province, china. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1931–1943. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110346>

Zeng, Y., Low, B. W., & Yeo, D. C. J. (2016). Novel methods to select environmental variables in MaxEnt: A case study using invasive crayfish. *Ecological Modelling*, 341, 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.09.019>

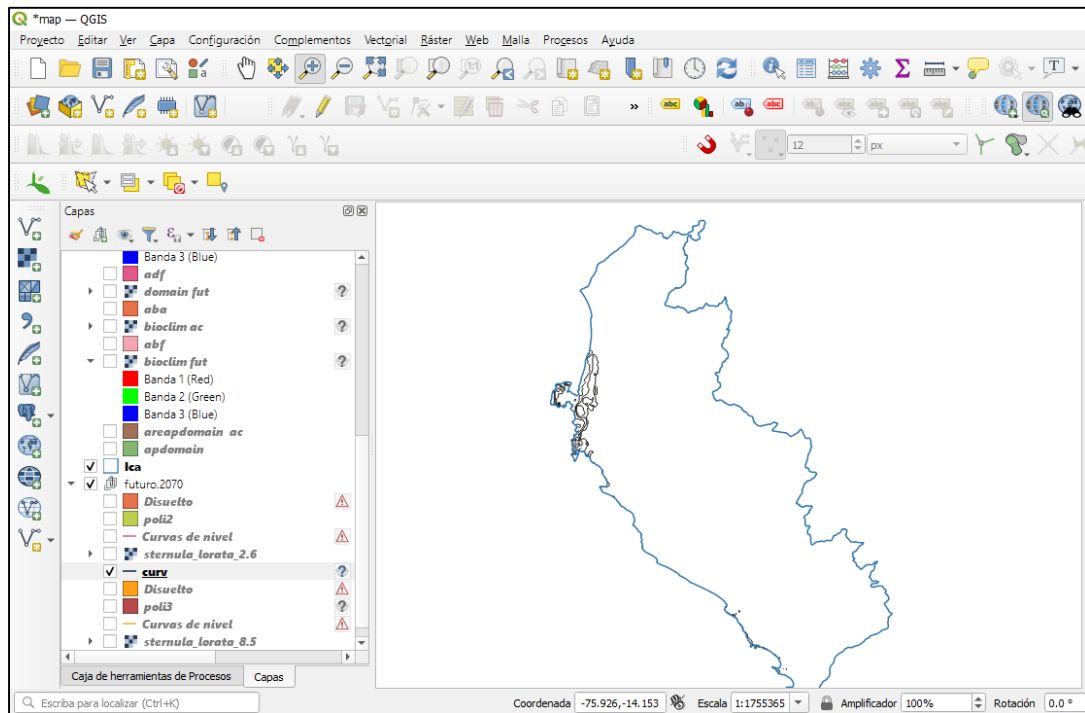
9. Anexo

Anexo 1: Modelamiento con Maxent Curvas de respuesta de los bioclimas

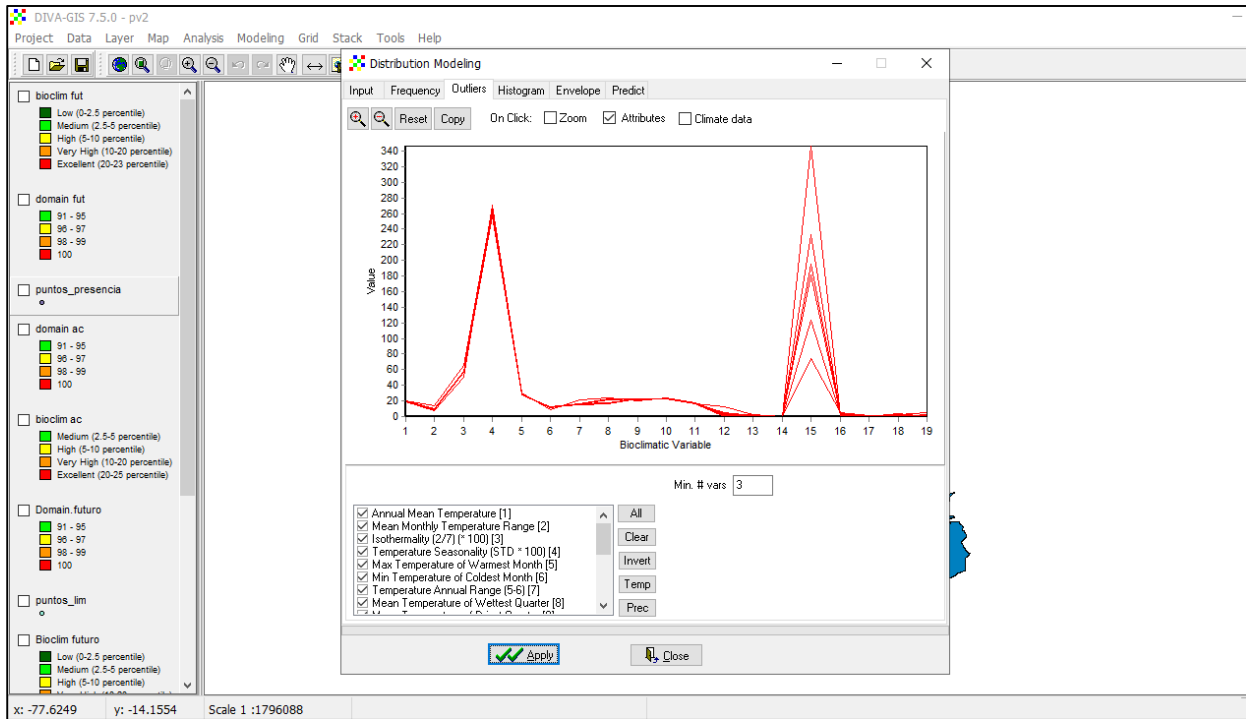
In contrast to the above marginal response curves, each of the following curves represents a different model, namely, a Maxent model created using only the corresponding variable. These plots reflect the dependence of predicted suitability both on the selected variable and on dependencies induced by correlations between the selected variable and other variables. They may be easier to interpret if there are strong correlations between variables.



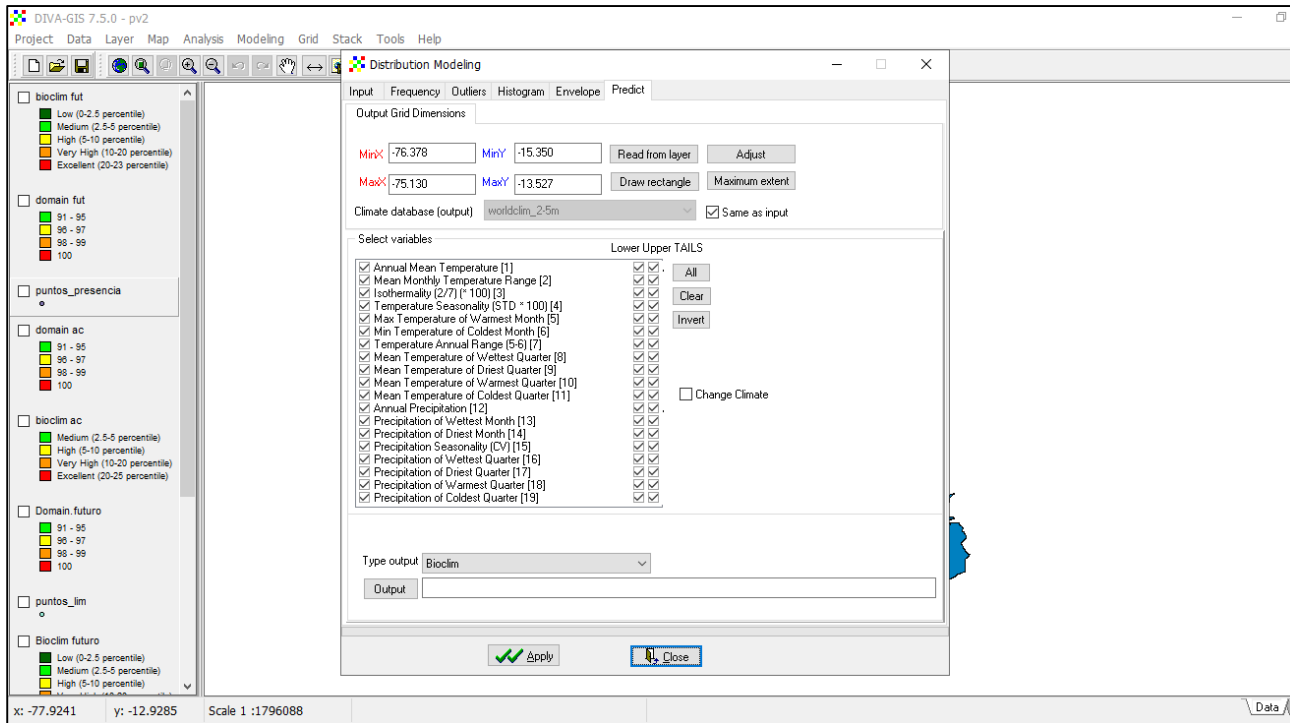
Anexo 2: Extracción de curvas de nivel de la distribución de Maxent



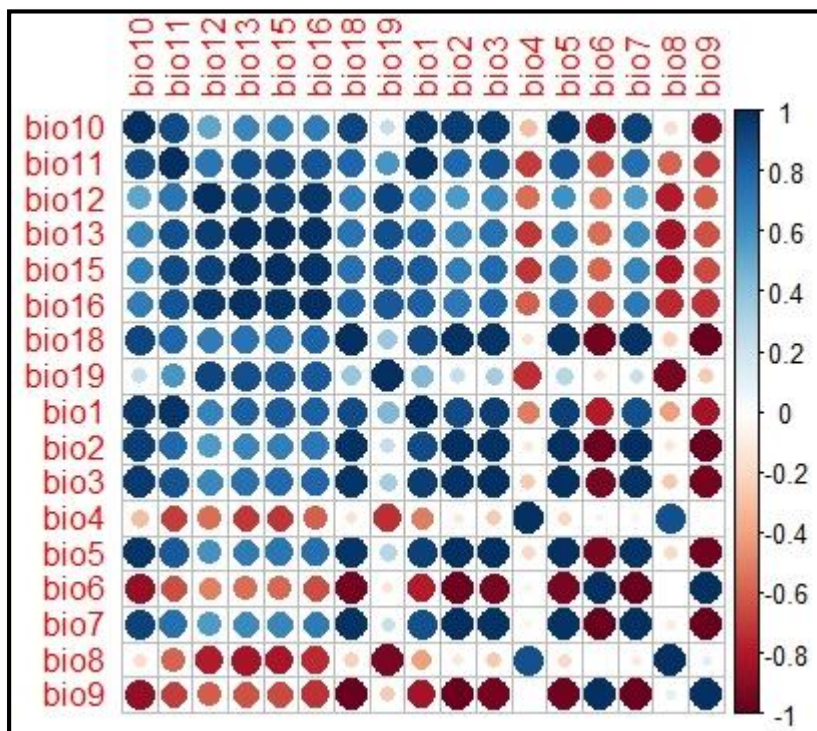
Anexo 3: Modelamiento con Divagis bioclimas



Anexo 4: Bioclimas considerados en el proceso de modelación de Divagis, algoritmo bioclim.



Anexo 5: Correlación de las variables climatológicas con los puntos de presencia de la especie “sternula lorata”



Anexo 5: Puntos de presencia de la especie “sternula Lorata”

puntos.lim.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

especie,lat,lon

sternula lorata	-13.95754	-76.307882
sternula lorata	-13.6228	-76.238736
sternula lorata	-13.798963	-76.389323
sternula lorata	-13.8344	-76.2518
sternula lorata	-13.868	-76.262
sternula lorata	-13.708	-76.2036
sternula lorata	-13.8715	-76.2828
sternula lorata	-13.8567	-76.2521
sternula lorata	-13.8978	-76.3122
sternula lorata	-13.864	-76.2694
sternula lorata	-13.8194	-76.2722
sternula lorata	-13.6524	-76.2024
sternula lorata	-13.736	-76.3951
sternula lorata	-14.739	-75.13
sternula lorata	-13.8914	-76.3113
sternula lorata	-13.9997	-76.2455
sternula lorata	-13.8318	-76.2484
sternula lorata	-13.9021	-76.318
sternula lorata	-13.7376	-76.3969
sternula lorata	-13.8352	-76.2548
sternula lorata	-13.8668	-76.2573
sternula lorata	-13.7449	-76.5362
sternula lorata	-13.8416	-76.256
sternula lorata	-13.8313	-76.2477
sternula lorata	-13.8282	-76.2483
sternula lorata	-13.7027	-76.2198
sternula lorata	-13.8548	-76.3309
sternula lorata	-13.8924	-76.3071
sternula lorata	-13.8665	-76.3782
sternula lorata	-13.7097	-76.2196
sternula lorata	-13.8303	-76.248
sternula lorata	-13.8409	-76.2508
sternula lorata	-13.9154	-76.3398
sternula lorata	-13.8692	-76.2353
sternula lorata	-15.1503	-78.5575