UNIVERSIDAD DEL MAR

***Campus* Puerto Ángel**

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE *Sula leucogaster* (SULIFORMES: SULIDAE) EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de

Licenciada en Biología Marina

PRESENTA

Verónica Alejandra Sánchez Rebolledo

DIRECTOR:

Dr. Juan Francisco Meraz Hernando

CO-DIRECTOR:

M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2025

Resumen

El modelado de distribución potencial es una herramienta de suma importancia para comprender como las variables ambientales pueden afectar la distribución y el hábitat de la especie. El bobo café, *Sula leucogaster*, es una ave marina con un ciclo de vida que se restringe al mar y la costa, su distribución está limitada a la zona pantropical (entre los 30°N y 30° S), encontrándose en zonas cercanas a costas e islas que le sirven como lugar de anidación. En este estudio se determinó la distribución potencial del bobo café mediante el modelado nicho ecológico en las ecorregiones marinas del Pacífico Oriental Tropical con el objetivo de obtener las áreas idóneas para la especie. El análisis fue realizado mediante el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt) utilizando variables ambientales (distancia a la costa, clorofila, nitratos, silicatos, hierro, fosfatos, temperatura superficial del mar, temperatura del aire, salinidad y batimetría), obteniendo un AUC de 0.947 indicando así un modelo con excelente capacidad predictiva. Los resultados muestran que las variables con mayor contribución al modelo fueron batimetría, distancia a la costa y hierro y las zonas con mayor idoneidad para la especie incluyen la franja costera de México y Centroamérica, agregando también las islas oceánicas Archipiélago de Revillagigedo, Isla Clipperton, Isla de Coco, Isla Malpelo y las Islas Galápagos. Estos datos ayudarán a la conservación y manejo para futuras investigaciones sobre la ecología y distribución de bobo café, sumando además la importancia del uso de herramientas algorítmicas para los escenarios posibles de una especie.

Palabras claves: AUC, Ecorregiones marinas, Idoneidad ambiental, MaxEnt, Nicho ecológico.

Abstract

Potential distribution modeling is a crucial tool for understanding how environmental variables can affect the distribution and habitat of a species. The Bobby Brown, *Sula leucogaster*, is a seabird with a life cycle restricted to the sea and coast, with its distribution limited to the pantropical zone (between 30°N and 30°S), occurring in areas near coasts and islands that serve as nesting sites. In this study, the potential distribution of the brown booby was determined using ecological niche modeling in the marine ecoregions of the Tropical Eastern Pacific to identify suitable areas for the species. The analysis was performed using the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm with environmental variables (distance to the coast, chlorophyll, nitrates, silicates, iron, phosphates, sea surface temperature, air temperature, salinity, and bathymetry), obtaining an AUC of 0.947, indicating an excellent predictive model. The results show that the variables with the greatest contribution to the model were bathymetry, distance to the coast, and iron, and that the areas with the highest suitability for the species were include the coastal strip of Mexico and Central America, as well as the five oceanic islands: Revillagigedo, Clipperton Island, Cocos Island, Malpelo Island, and the Galápagos Islands. These findings will aid in the conservation and management of the species for future research on the ecology and distribution of the brown booby, highlighting the importance of algorithmic tools in predicting potential scenarios for a species.

Keywords: AUC, Ecological niche, Enviromental suitability, Marine ecoregions, MaxEnt.

Birds fly in different directions

So fly high, fly high

I hope to see you again.

Dedicatoria

A mi todo:
Sin ti y sin tu amor incondicional,

jamás lo hubiera logrado.

Gracias por siempre creer en mí,

por recordarme de lo que soy capaz

y por enseñarme a apuntar al cielo, MÁMÁ.

A la música, por tener el poder de salvar a cualquiera.

Agradecimientos

Gracias infinitas al Dr. Juan Meraz por aceptar ser mi director de tesis y tener fé en mí, por las increíbles pláticas de cine y la vida, gracias por la paciencia, los consejos y su tiempo. También agradezco mucho el haber sido su estudiante, por las magníficas clases de ornitología y comportamiento animal.

Gracias al profe Lalo, por explicarme con mucha paciencia este fascinante mundo del SIG, por las risas, los podcast y todas las clases del lab, gracias por ayudarme a entender que el futuro puede ser mejor con la ayuda de la tecnología; que los mapas son arte y que tienen una belleza única.

Al Dr. Ricardo Rozzi y todo su entorno magallánico, por mostrarme la ética ambiental, la filosofía de la vida, el amor por las aves y reconocer todo lo que nos rodea; desde entonces jamás vi las cosas de la misma manera.

Al Dr. De Labra, la profe M.C. Samantha Karam y a M.C. Eunice Donají por aceptar y formar parte de mi comité, gracias a ustedes mi tesis se sintió más bella y pulida, por todas sus aportaciones y conocimientos.

A mi mamá que jamás me alcanzará ni la vida ni la eternidad por agradecerle todo lo que hizo por mí, por tanto amor, te amo mamá.

A mi padre por volver a mi vida, por recordarme lo divertido que es apostarle a la suerte y que nunca es tarde para volver a empezar, gracias pa.

A Jorge Luis por conocerte y conocernos juntos durante todo este camino, sin ti, esta etapa jamás hubiera tenido tanto color, alegría y vida.

A Pam, mi amiga y dulce pequeña a quien vi crecer, la persona que me enseñó a ser hermana, te quiero y siempre te querré.

A Marisol quien, de manera inesperada, la conocí en mi último semestre y ahora es mi mejor amiga, gracias por ser y estar, por las risas y llantos, y por más años juntas.

A Jarquín y el Chino, que juntos somos el Mc Trío, los mejores amigos viajeros, deseo siempre estar cerca de ustedes, gracias por su paciencia y por formar equipo conmigo.

A Luuuuiiiiis por aventurarse conmigo a lugares inhóspitos, gracias por apoyarme desde siempre, sin ti esto tampoco se hubiese concluido, por apoyarme todos los días y tenerme paciencia, en verdad GRACIAS.

A la Fat Family: Pantín, Nich, Antoine, Sara y Mariano por adoptarme a través del Zapato, por tantos fines de semana de juegos y comida, viven en mi nostalgia universitaria.

A Cesar Pichón por ser mi hermano mayor, por nunca juzgarme y por estar siempre presente, por todos los buenos momentos, y por recordarme constantemente el amor al mar.

Al Grupo Gurrión, porque lo único bueno que obtuve de ustedes fue a Jaír, Marcos y Aurora, personas que te demuestran el significado de lealtad, y que más allá del trabajo, puedes tener amigos con quien contar, les amo mucho.

A mi nueva familia del Cross: Lalo, Isis, la conta Liz, Magali y Don Memo, gente bella que me enseñaron que está prohibido rendirse, se respira hondo y se sigue adelante.

A Gloria y Gigio, por los mejores cafés que he tenido en la vida, por las pláticas existenciales y por abrirme las puertas de su corazón.

Agradecimientos especiales a Pato por ayudarme en mi último pasito de la tesis, oye man creeme que sin ti me hubiera dado por vencida, te admiro muchísimo, gracias por tu ayuda, ojalá ser adolescentes y patinar como antes.

A Jaz, Rasta, Crista, Marck Sodi, Deni, Walter, Karly, Cris, Pau y Choco por ser mis primeros amigos cuando llegué a Puerto Ángel, gracias por tanto y perdón por tan poco, que la vida siempre me los cuide en su camino.

A la Gorda, Wilson, Jodie, Bebé, Pachón y Miu, vidas gatunas que algunas ya trascendieron y me dieron el privilegio de disfrutar un fragmento de la felicidad.

Gracias al Dr. Edgar Robles por enseñarme la bella filosofía que hay un mundo más allá del microscopio.

Al majestuoso laboratorio SIGALT, el verdadero templo y santuario escondido, por todas las herramientas facilitadas para realizar esta tesis.

A la UMAR, mi segunda casa, gracias por tanta magia y dolores de cabeza, por guardar todos mis recuerdos y vivencias universitarias.

Gracias infinitas a Christian Cuevas, Jorge Villanueva y Mario Villegas, profesionales que cuando pedí ayuda me tendieron su mano para mejorar mi salud mental, que sin ella definitivamente no hubiera acabado esto.

Le estoy infinitamente agradecida a mi madrina Miriam y a Cholita en el cielo, su hogar también se sintió el mío por mucho tiempo, por hacerme sentir que siempre puedo regresar.

Mil gracias a las Rebolledo-Alcalá, mujeres fuertes que han enfrentado adversidades, y que son mi claro ejemplo de jamás dejarnos vencer.

Y finalmente, gracias a ti Verónica Alejandra del pasado, por tomar todas esas decisiones que nos llevaron a la Verónica Alejandra del presente, este escrito es para recordarte lo fuerte que eres, que todo lo que te has propuesto lo has logrado, gracias por aceptar tu vulnerabilidad, y que no tiene nada de malo el ser tú, vive tu vida y dejemos de preocupar a la Verónica Alejandra del futuro.

Índice

Índice de figuras ix
Introducción 1
Nicho ecológico 2
Distribución potencial 3
Modelados de distribución 3
Aves 5
Sula leucogaster 5
Antecedentes 8
Justificación 9
Hipótesis 11
Objetivos 11
Metodología 11
Área de estudio 11
Obtención de datos 13
Control de calidad de los datos 13
Variables ambientales 13
Método de modelación 14
Evaluación del modelo 15
Resultados 16
Variables ambientales 16
Contribución de las variables 19
Curva de respuesta de las variables ambientales 19
Modelación de distribución potencial del nicho ecológico de S. leucogaster 22
Evaluación del modelo 24
Discusión 26
Conclusión 29
Referencias 30

Índice de figuras

Fig. 1. Diagrama de BAM……..…….....3

Fig. 2. Adulto *Sula leucogaster* en la costa de Oaxaca (Foto: Cortesía Juan Meraz)…....6

Fig. 3. Área de estudio Pacífico Oriental Tropical (POT).....12

Fig. 4. Mapa de presencias de *Sula leucogaster* periodo 2010-2018.....16

Fig. 5. Análisis del Jacknife de las variables ambientales……...…..19

Fig. 6. Curvas de respuesta...…….……20

Fig 6.1. Curvas de respuesta……..21

Fig. 7. Mapa de distribución potencial de *Sula leucogaster*……...……...23

Fig. 8. Gráfico de sensibilidad vs especificidad……...…….24

Fig.9. Gráfico de distribución de AUC parcial……...…….….….24

Índice de tablas

Tabla 1. Variables ambientales……..…...17

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson.……...……....18