

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:
“DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL”

Realizado por:
RICARDO ANDRES SARANGO COELLO

Director del proyecto:
Ing. José Salazar, Msc.

Como requisito para la obtención del título de:
MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

Quito, 31 de marzo de 2021

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, RICARDO ANDRES SARANGO COELLO, con cédula de identidad # 171739055-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



171739055-1

FIRMA Y CÉDULA

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL”

Realizado por:

RICARDO ANDRES SARANGO COELLO

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

JOSE SALAZAR

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Salazar', with a stylized flourish at the end.

FIRMA

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JOSE RUBEN RAMIREZ

JUAN CARLOS NAVARRO

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 09 de MARZO de 2021

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

DEDICATORIA

A mi hija Scarlett Samara

A mi esposa Diana Monserrath

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

AGRADECIMIENTO

A mi tutor el profesor José Salazar, por todo su apoyo brindado durante este trabajo

*A mis revisores los profesores Juan Carlos Navarro y José Rubén Ramírez, por todos sus
consejos que me sirvieron de mucho*

*Al Instituto de Investigación en Zoonosis de la Universidad Central del Ecuador, su
Directora la Lic Maritza Celi y la Dra Sandra Enríquez que bajo convenio y carta de
compromiso con la UISEK han compartido los datos utilizados en esta tesis como trabajo en
colaboración de ambas instituciones*

A mis padres Ada y Washington, por creer en mí y ayudarme cuando lo he necesitado

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:

BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES, APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA

Y con el financiamiento de

DII-UISEK

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-P011617_2

y de la Encuesta Nacional Epidemiológica sobre de Brucelosis, Tuberculosis bovina y garrapatas, del Instituto de Investigación en Zoonosis, UCE.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Para someter a:

To be submitted:

Distribución de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos mediante los modelos Maxent y GARP en el Ecuador continental.

Ricardo Sarango¹, Sandra Enriquez^{2,3*}, José Salazar¹, Juan Carlos Navarro^{1,3*},

¹ Universidad Internacional SEK,
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador.

² Universidad Central del Ecuador, Instituto de Investigación en Zoonosis-CIZ

³Grupo de Investigación Interinstitucional en Biodiversidad, Zoonosis y Salud Pública-CIZ

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA:

Juan Carlos Navarro, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias de la Salud, Quito, Ecuador. juancarlos.navarro@uisek.edu.ec

Sandra Enríquez, Universidad Central del Ecuador, Instituto de Investigación en Zoonosis-CIZ,

Teléfono: +593-99 836 1264; email: juancarlos.navarro@uisek.edu.ec

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Título corto o Running title: Distribución de la especie *Rhipicephalus (boophilus) microplus*
mediante MaxEnt y GARP

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

RESUMEN

Las garrapatas son ectoparásitos considerados un factor sanitario importante debido a que pueden ser transmisores de enfermedades tanto como para su hospedador como para el ser humano. La especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, es una garrapata cumple su ciclo de vida en un solo huésped, generalmente ganado bovino, puede ser transmisor de dos enfermedades, la babesiosis y la anaplasmosis, ambas causantes de problemas severos en el hospedador. Se encuentra distribuido ampliamente en zonas tropicales y subtropicales alrededor del mundo, en condiciones de clima cálido a diferentes altitudes. Para el control y prevención de las afectaciones que pueda causar esta especie de garrapata es necesario conocer la distribución de la especie mediante un modelo de nicho fundamental, esto se realizó en el territorio continental del Ecuador, con el uso de los modelos de MaxEnt y GARP que son algoritmos muy utilizados en los modelos de distribución de especies. Los resultados obtenidos fueron, los modelos de nicho fundamental de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en donde alrededor del 30% del territorio es apto para la presencia de la especie. Las variables que más influyeron en los modelos fueron la cobertura y uso de suelo, en donde los pastizales, los cultivos y los mosaicos agropecuarios fueron los más representativos, la estacionalidad de la precipitación con un coeficiente de variación del 89%, indicando una gran variación en las precipitaciones y la temperatura anual media de 25°C. Los dos modelos fueron validados y comparados mediante el análisis de curva característica de operación del receptor (ROC) y los valores del área bajo la curva (AUC), donde el algoritmo MaxEnt demostró ser el más apto para ejecutar el modelo de distribución para esta especie; además se encontró la similitud de ambos modelos mediante el cálculo del índice de similitud, donde el resultado fue del 94.5%, indicando que los modelos MaxEnt y GARP son muy similares

Palabras clave: *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, nicho fundamental, MaxEnt, GARP, ROC

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

ABSTRACT

Ticks are ectoparasites considered an important health factor because they can be transmitters of diseases both for their host and for humans. The *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* species, is a tick that fulfills its life cycle in a single host, generally cattle, it can transmit two diseases, babesiosis and anaplasmosis, both causing severe problems in the host. It is widely distributed in tropical and subtropical areas around the world, in warm weather conditions at different altitudes. For the control and prevention of the effects that this species of tick may cause, it is necessary to know the distribution of the species through a fundamental niche model, this was carried out in the continental territory of Ecuador, with the use of the MaxEnt and GARP models. which are algorithms widely used in species distribution models. The results obtained were the fundamental niche models of the tick species *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, where around 30% of the territory is suitable for the presence of the tick. The variables that most influenced the models were land cover and use, where grasslands, crops and agricultural mosaics were the most representative, the seasonality of precipitation with a coefficient of variation of 89%, indicating a great variation in the precipitations and the annual average temperature of 25°C. The two models were validated and compared through the analysis of the receiver operating characteristic curve (ROC) and the values of the area under the curve (AUC) thereof, where the MaxEnt algorithm proved to be the most suitable for executing the distribution model. for this species of tick; also, the similarity of both models was found by calculating the similarity index, where the result was 94.5%, indicating that the MaxEnt and GARP models are very similar.

Key words: *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, fundamental niche, MaxEnt, GARP, ROC

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

1. INTRODUCCIÓN

Las garrapatas, son ectoparásitos hematófagos, ubicados taxonómicamente en la clase *Arachnida*, subclase *Acari*. Se les considera como un factor sanitario muy importante en la ganadería, debido a las limitaciones que ocasionan en su productividad, además de problemas de salud y ambiente al ser potenciales vectores de bacterias y protozoarios que pueden causar enfermedades tanto a animales como al ser humano (Gaínza, 2014). El 80% de la población bovina a nivel mundial se ve afectado por garrapatas (Echeverry, 2016). La distribución de las garrapatas está ligada a factores ambientales, como son la vegetación, temperatura, altitud entre 0-2900 msnm (Bustillos & Rodriguez, 2016), precipitación entre 400-2000mm anuales (Bustillos & Rodriguez, 2016), humedad relativa; además de otros factores como la presencia y abundancia del hospedador y las medidas de control empleadas por el hombre (Gainza, 2014) (Pulido-Herrera, 2015). La reproducción de las garrapatas consiste en que después de copular en el hospedador, las hembras caen al suelo y se refugian en lugares húmedos y cálidos, protegiéndose del calor extremos, donde depositaran los huevos. Luego que eclosionen las larvas buscaran un hospedador (Echeverry, 2016). Para que exista la propagación de las garrapatas en una región, deben haber sido introducidos los individuos, siguiendo por una etapa de adaptación con hospedadores y finalmente llegar a una densidad de población que dé lugar al apareamiento y reproducción de los adultos (Marques, 2020).

Rhipicephalus (Boophilus) microplus, es una especie parásita específica de los bovinos. Se encuentra distribuido a nivel mundial en zonas tropicales y subtropicales, según el estudio de (Marques, 2020), su distribución abarca las áreas desde el sur de Estados Unidos, México, América Central, América del Sur, África, Europa y Australia. Puede ser transmisor varias enfermedades, donde las 2 más representativas son: la babesiosis, que es una enfermedad que causa morbilidad y mortalidad en el ganado bovino, ocasionada por los parásitos protozoarios *Babesia bigemina* y *Babesia bovis* (The Center for food security & Public Health, 2008); y la

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

anaplasmosis, que es una enfermedad infecciosa y transmisible del ganado, que se caracteriza por una anemia progresiva, es causado por la bacteria *Anaplasma marginale* (Ristic, 1981). Su ciclo biológico se cumple en un solo hospedador, en altas infestaciones puede adherirse en humanos y otros animales (Benavides-Montaña, 2018).

En el Ecuador, la actividad ganadera se encuentra a lo largo de todo el territorio, donde sus tres regiones naturales (costa, sierra, oriente) tienen condiciones ambientales distintas, la distribución de garrapatas en bovinos se encuentre entre los 0 y 2600 msnm (Rodríguez-Hidalgo R, 2017), con unas condiciones climáticas adecuadas de 28 °C y 80% de humedad relativa (Bustillos Huilca, 2014), lo que resulta en una distribución variable a lo largo del territorio. El estudio de la distribución de las especies más representativas garrapatas en el ganado bovino de todo el territorio ecuatoriano continental, ha sido limitado. Entre los pocos estudios que se tienen está el de (Bustillos R. C., 2015), que analiza el comportamiento de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en dos áreas específicas de la provincia de Pichicha, donde según la precipitación el número de garrapatas disminuye, siendo la época de sequía donde se presentó la mayor cantidad de individuos. Otro estudio fue realizado por (Orozco Álvarez, 2018), que trata sobre la distribución de las especies *Rhipicephalus microplus* y *Amblyomma cajennense* en las tres regiones teniendo como referencia la línea equinoccial, donde se encontró que el Ecuador es un hábitat adecuado para la expansión de la especie *Rhipicephalus microplus*, indicando además la posible presencia en las 3 regiones exceptuando las zonas de cordilleras, además de las variables climáticas significativas para la especie que fueron temperatura mínima , temperatura media, precipitación y altitud.

Una manera para ayudar en el control y prevención de las afectaciones que pueden ocasionar las garrapatas en el ganado bovino y como potencial transmisor de enfermedades, es mediante la identificación de las mismas y conociendo su distribución para así predecir ciertos riesgos (Höfle, 2019), esto se lo puede hacer mediante modelos de nichos ecológicos, para lo

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

cual existen softwares especializados, que emplean diferentes algoritmos para calcular la distribución potencial de las mismas.

El nicho ecológico de una especie, es definido como un hipervolumen de n-dimensiones, que incluye todos los factores bióticos y abióticos los cuales un organismo está relacionado en un determinado tiempo y espacio (Illoldi-Rangel & Escalante, 2008). El nicho fundamental de una especie consiste en el conjunto, de todas las condiciones que permiten su supervivencia a largo plazo (Hutchinson, 1957). El nicho realizado es el subconjunto del nicho fundamental que realmente ocupa la especie debido a las interacciones, ya sean bióticas o humanas, siendo generalmente sea más pequeño que el nicho fundamental (Hutchinson, 1957) (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006).

Los modelos basados en nichos son modelos utilizados para desarrollar relaciones entre variables ambientales con los datos de presencia, presencia-ausencia y/o abundancia conocidos de las especies (Illoldi & Escalante, 2008). Consiste en convertir datos de ocurrencia de una especie en mapas de distribución geográfica, que indiquen la probabilidad de presencia o ausencia de la especie, basados en el nicho fundamental de la especie. Mediante el análisis de estos modelos se puede encontrar la distribución potencial de una especie, las rutas posibles de distribución de una especie invasoras o vectores transmisores de enfermedades, las condiciones ambientales adecuadas para reintroducir una especie a su habitat natural, entre otros (Pereira & Siqueira, 2007). Existe una variedad de modelos de distribución que de manera general según su técnica forman 4 grupos (Pliscoff, 2011): los modelos estadísticos de regresiones (Modelos Lineales Generalizados GLM), los modelos de clasificación (Random Forest RF, Boosted regresion trees BRT), los métodos de sobre o envoltura (BIOCLIM, ENFA), además de los modelos que emplean algoritmos específicos (GARP, MAXENT).

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

El modelo MaxEnt, es un método de mecánica estadística, fundamentado en el principio de máxima entropía, el cual indica que, para aproximar una distribución de probabilidad desconocida, hay que asegurar que la distribución satisfaga cualquier restricción (información incompleta), y que sujeta a estas restricciones la distribución debe tener una máxima entropía. Tiene como propósito hacer predicciones o inferencias a partir de información incompleta. En el caso de modelos de distribución de especies, se utiliza únicamente la información de presencia de especies con sus respectivas características acerca de su distribución, siendo estas las variables ambientales (Phillips et al., 2006).

Este algoritmo ha sido utilizado en diferentes estudios, con diversos propósitos como la distribución actual y futura de la vegetación (Manzanilla-Quñones, 2019), efectos del cambio climático en la distribución de especies (Porretta, 2013), distribución potencia de garrapatas (Pulido-Herrera, 2015), predicción de las especies de mamífero (Torres, 2010), modelamiento de los parámetros ambientales en un área determinada (Politis, 2018), distribución potencial de especies invasoras de plantas exóticas (Palma-Ordaz, 2014), estudio de especies amenazadas relacionando la distribución pasada y actual, (Monterrubio-Rico, 2016). Todos estos estudios tuvieron en común la selección de datos de entrenamiento del 70%, y datos de prueba del 30%, además de mayoritariamente utilizaron las variables ambientales proporcionadas por la plataforma Worldclim. Además, utilizaron las salidas que genera MaxEnt para estimar las variables que más influyeron en el estudio, para validar el modelo utilizaron las salidas jackknife y el análisis de la curva característica de operación del receptor ROC con su respectivo valor de área bajo la curva AUC.

Los algoritmos genéticos, son métodos utilizados para resolver y encontrar soluciones óptimas a problemas específicos. Están basados de una manera análoga a los postulados de Charles Darwin, sobre la evolución de las poblaciones en la naturaleza de acuerdo a los principios de selección natural. GARP es un algoritmo genético utilizado para crear y optimizar

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

un conjunto de reglas o proposiciones, las cuales son la base para modelar los nichos ecológicos de las especies. Las reglas siguen el formato, si A es verdadero entonces B es verdadero, donde A es una condición previa definida por un espacio ecológico a través de las variables ambientales y B es el resultado de la regla dando la predicción de presencia o ausencia de la especie (Pereira & Siqueira, 2007).

Entre los estudios que han utilizado el algoritmo GARP recopilados se tienen como temas los cambios de habitat de la especie de mosquito (Lippi, 2019), distribución histórica y actual de la especie de ave (Monterrubio-Rico T. C., 2007), la distribución de bosques (Malizia, 2006), predicción y modelación nichos en medios marinos (Wiley, 2003). Como configuraciones generales, generaron 100 modelos, de los cuales seleccionaron los 10 mejores con la herramienta “Best Subset”, mientras que los datos de entrenamiento y prueba variaron según el estudio. Para validar las modelos utilizaron el análisis de la curva ROC y el valor del área bajo la curva AUC.

Existen diversos estudios que han comparado los algoritmos MaxEnt y GARP, (Townsend Peterson A. P., 2007) analizo el rendimiento de ambos modelos en 3 especies de aves, (Sobek-Swant, 2012) determino la distribución potencial de un insecto como especie nativa e invasora, (Acevedo Gutiérrez, 2018) realizó un estudio sobre la distribución de la especie de garrapata, en el caso del estudio de (Olvera-Vargas), utilizo los modelos BIOCLIM, MaxEnt, GARP y ENFA, para desarrollar escenarios para pronósticos de las plagas. Para comprobar el modelo fue realizada una comparación de las curvas ROC y los valores de las áreas bajo la curva AUC, en el caso del estudio de Olvera también utilizo el índice Kappa para su comparación.

Como hipótesis planteadas en el estudio, se espera que el modelo MaxEnt tenga un mayor ajuste para el modelo de nicho fundamental de la especie de garrapata *Rhipicephalus*

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

(Boophilus) microplus que el modelo GARP, además que las variables ambientales más importantes en el modelo de nicho sean la altitud, la temperatura anual media y la humedad relativa.

El estudio tiene como objetivos: determinar la distribución del nicho fundamental de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, mediante la utilización de los modelos de nicho MaxEnt y GARP, estimar las variables determinantes para la distribución de la especie bajo el modelo de nicho y comparar la eficiencia en ambos modelos en la determinación del nicho fundamental de la especie.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio.

El estudio está limitado en el área del Ecuador continental, que comprende una superficie de 248.470 Km², ubicado en el noreste de América del Sur, entre las coordenadas geográficas 1°28'N y 5°01'S de latitud y los 75°11' y 81°00'W de longitud. En este territorio se encuentran 23 de las 24 provincias del país.

2.2. Base de datos de las garrapatas

La información de los registros de presencia de las garrapatas y su geolocalización, fueron proporcionadas muy gentilmente por la Dra. Sandra Enríquez, del Instituto de Investigación en Zoonosis (CIZ), de la Universidad Central del Ecuador, donde se encontraron los datos de 8 especies de garrapatas tomadas en ganado bovino (Tabla 1), de las cuales la especie más representativas por su abundancia y frecuencia fue *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Ilustración 1). La fecha que fue generada la base de datos fue el 19/11 /2018.

Tabla 1: Especies de Garrapatas en Bovinos

Especie	Frecuencia	Porcentaje
No identificado	2	0,06
<i>Amblyomma cajennense</i>	951	28,69
<i>Amblyomma maculatum</i>	42	1,27
<i>Amblyomma ovale</i>	2	0,06
<i>Haemaphysalis juxtakochi</i>	1	0,03
<i>Ixodes aff. boliviensis</i>	1	0,03
<i>Ixodes boliviensis</i>	2	0,06
<i>Rhipicephalus (Boophilus) aff. annulatus</i>	2	0,06
<i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	2312	69,74
Total	3315	100

Realizado por: Ricardo Sarango

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

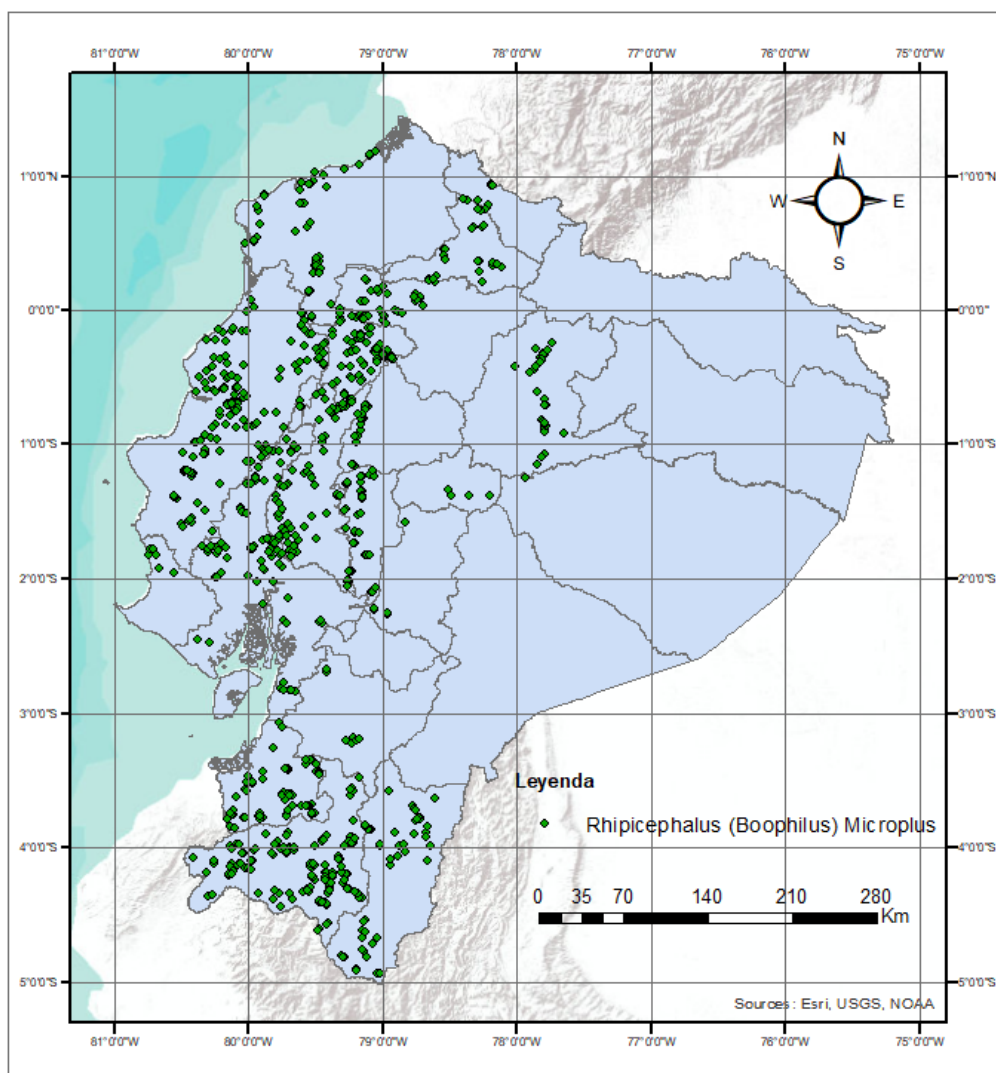


Ilustración 1. Registro de presencia de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en Bovinos

2.3. Variables ambientales

Las variables seleccionadas para la realización de los modelos de nichos ecológicos para la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos, se obtuvieron a través la información nacional disponible a través de las plataformas del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Además de las variables de la plataforma Worldclim (Fick, 2017), que como referencia en los estudios mencionados anteriormente, se escogió las 19 variables bioclimáticas así como los datos de elevación (Tabla 2).

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 2. Variables Ambientales

Simbología	Variable	Unidades	Fecha	Fuente
BIO 1	Temperatura media anual	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 2	Rango diurno medio	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 3	Isotermalidad		Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura	Coeficiente de variación	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 7	Rango anual de temperatura	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío	°C	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 12	Precipitación anual	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 14	Precipitación del mes más seco	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación	Coeficiente de variación	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío	mm	Promedio 1970-2000	Bioclim

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Simbología	Variable	Unidades	Fecha	Fuente
ELEV	Elevación	m	2017	Worldclim
HR	Humedad Relativa	%	2018	INAMHI (Farfán, 2018)
ISOTERMA	Isotermas	°C	1981-2010	INAMHI
ISOYETA	Isoyetas	mm	1981-2010	INAMHI
COBERTURA	Cobertura y uso de la tierra	Variable Categórica	2013-2014	MAGAP

Realizado por: Ricardo Sarango

2.4. Análisis Estadístico de datos

Una vez definidas las variables mediante el uso del software ArcMap, se cargaron todas las capas y los datos de presencia, a partir de ello se obtuvo el valor exacto de las variables para cada coordenada de presencia de la especie de garrapata, con el uso de la herramienta “Sample” del submenú “Spatial Analyst Tools”. Con esos valores se realizó para las 23 variables cuantitativas las estadísticas descriptivas: media, moda, máximo, mínimo, y su respectivo histograma de frecuencias, para así tener una idea inicial de las condiciones en las que más se han encontrado ocurrencias de la especie. Para la variable categórica cobertura y uso de suelo se utilizó una tabla de contingencia y un gráfico de barras de recuento con la ayuda del software SPSS y Microsoft Excel.

2.5. Modelos de distribución de nicho ecológico.

Para la obtención de los modelos de distribución de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos se emplearon los softwares MaxEnt v3.4.4 (Steven J. Phillips), programa de modelado de distribución geográfica de especies basado en la máxima entropía y DesktopGARP v1.1.3r (Scachetti-Pereira), siendo esta la versión de escritorio del algoritmo GARP. Para estandarizar todas las capas de las variables ambientales y que no exista ningún inconveniente a la hora de la ejecución de los programas se cambió el tamaño de celda a 1000 y el número de filas y columnas de los raster a 637x711 respectivamente, además de transformar las coordenadas de los puntos de presencia de geográficas a metros bajo el sistema de coordenadas UTM WGS 1984 Zona 17S. Cada modelo pide ingresar un valor

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

porcentual para los datos de entrenamiento, que serán los que se utilicen para realizar el modelo, y datos de prueba, que servirán para validar los modelos. Los valores seleccionaron fueron 75% para entrenamiento y 25% para prueba, valor que varios autores anteriormente mencionados tomaron.

En el modelo realizado en MaxEnt (Ilustración 2), se mantuvieron las configuraciones por defecto, se seleccionó la salida logística, para que el modelo probabilístico tenga valores con un rango entre 0 y 1. Para la elaboración del modelo binario, escogió el umbral “10 percentile training presence”, basándose en el estudio de (Macías Barredo, 2016), que indica que ofrece un resultado más significativo que utilizando umbrales más restrictivos. Mientras que para Desktop GARP (Ilustración 3), se configuraron 100 corridas, se habilitó el menú “Best Subset Selection Parameters”, donde el programa separó los 10 mejores modelos, para posteriormente sumarlos y así obtener el modelo final.

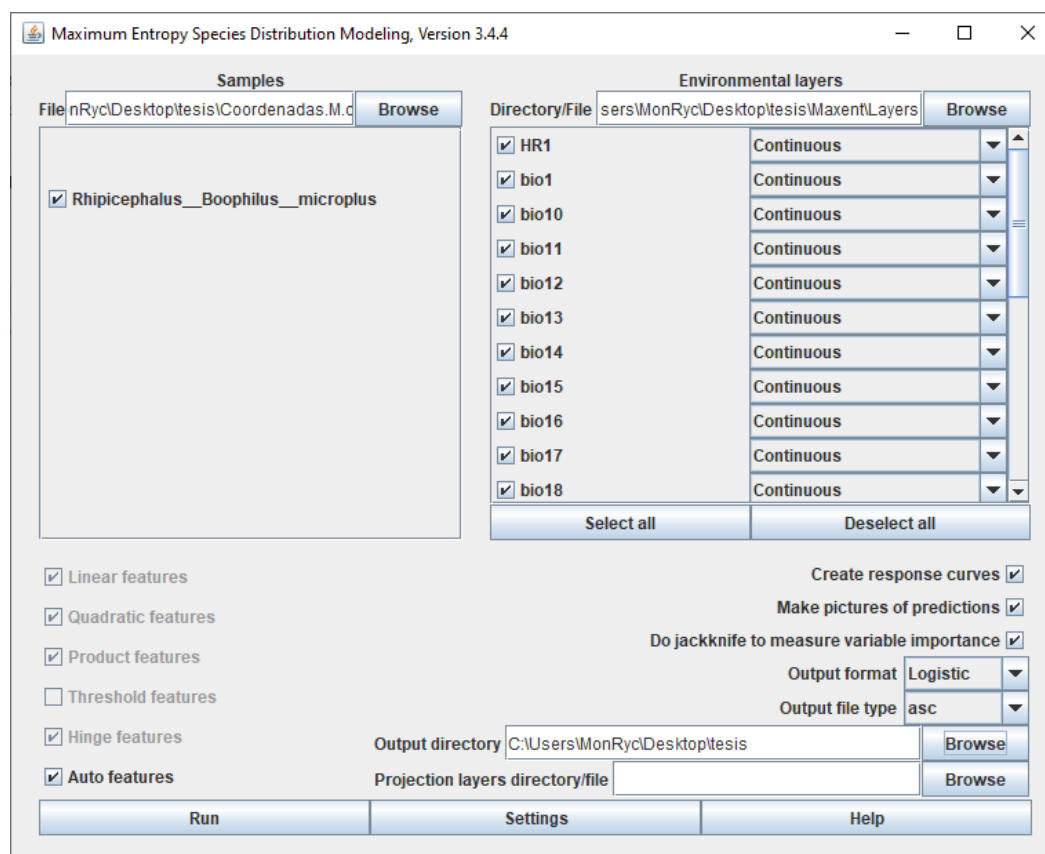


Ilustración 2. Parámetros MaxEnt

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

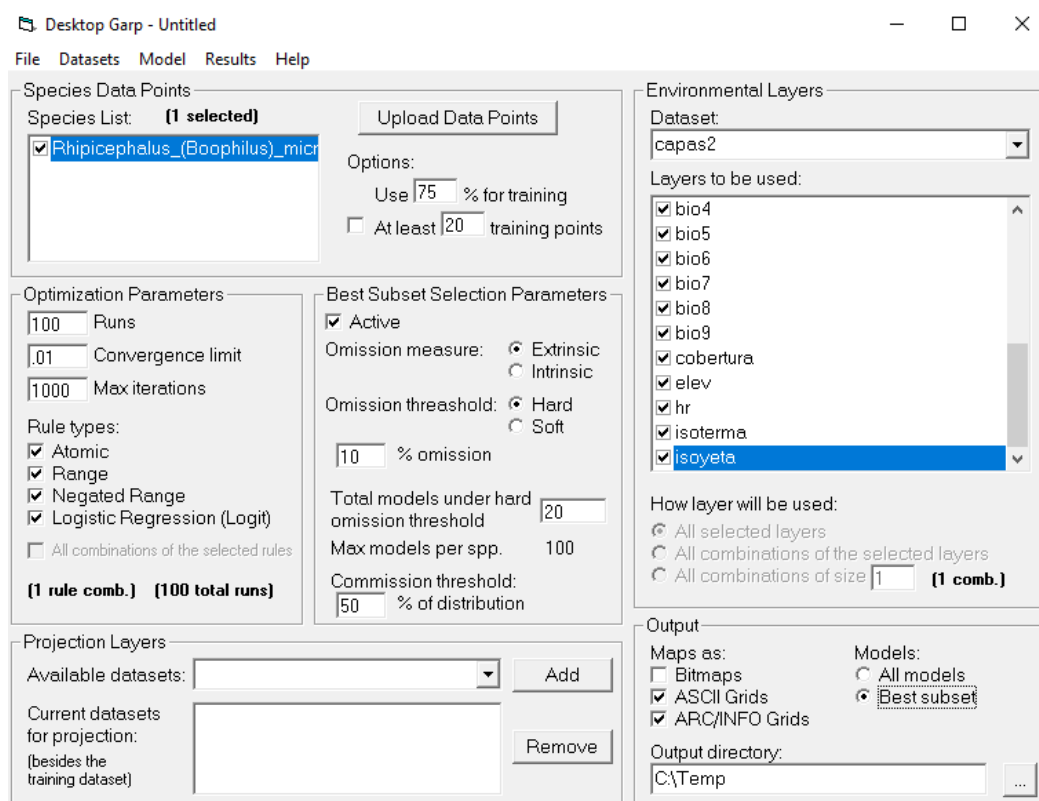


Ilustración 3. Parámetros Desktop GARP

La determinación de las variables ambientales más significativas en los modelos de nicho ecológico la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, se realizó mediante las salidas del programa MaxEnt, que genera una tabla con los valores porcentuales generados a medida que el modelo se está entrenando, esto complementado con las estadísticas descriptivas, ayudaran a obtener las condiciones aptas para la distribución de esta especie de garrapata.

2.6. Validación y comparación de los modelos MaxEnt y GARP

Para validar y comprobar la efectividad de predicción de los modelos, se empleó el análisis de la curva característica de operación del receptor ROC (Receiver Operating Characteristic), que evalúa como está configurado un modelo en términos de errores de omisión y comisión (Cruz-Cárdenas, 2014), y a partir de esta se calcula el área bajo la curva AUC (área under curve), que es la medida de la capacidad de un modelo para discriminar una condición específica (presencia, ausencia) (Hoo ZH, 2017), cuando valores obtenidos están próximos a 1, se debe a un buen ajuste con los datos de evaluación, mientras que para valores cercanos a 0.5,

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

el ajuste no es mejor por el que se puede obtener al azar (Benito, 2007). El software empleado para realizar el análisis fue Dinamica EGO v 5.2.1 (Centro de Sensoriamento Remoto, 2020), mediante el paquete ROC_Suite (Mas, 2013), que a partir de mapa de distribución probabilística y el mapa de eventos binario determina las curvas ROC y el valor del área bajo la curva AUC (Ilustración 4).

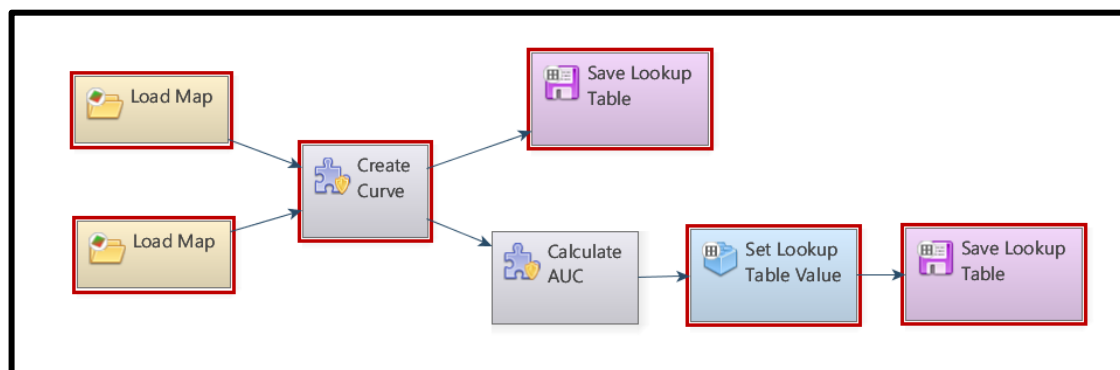


Ilustración 4. Configuración curva ROC y AUC Dinámica EGO

Para determinar la semejanza entre los 2 modelos se utilizó el submodelo “Calc Reciprocal Similarity Map” (Ilustración 5), del software Dinamica EGO v 5.2.1, que calcula el índice de similitud basado en el índice de comparación difusa (Hagen, 2003), donde los valores próximos a 1 indican que la similitud entre 2 mapas es mayor (Leija-Loredo, 2016), además de un mapa de similitud que compara los sectores en donde varían los mapas de ambos modelos.

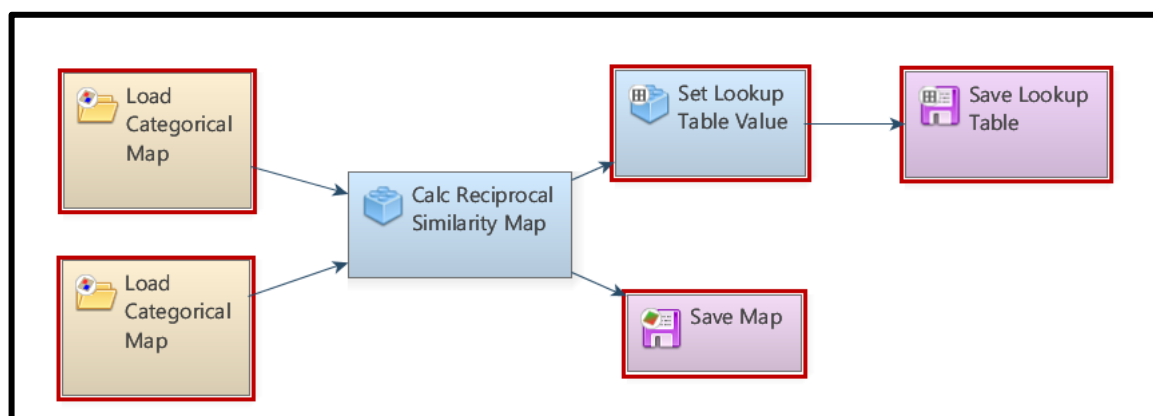


Ilustración 5. Configuración Índice y Mapa de similitud Dinámica EGO

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

3. RESULTADOS

En el análisis descriptivo de las variables respecto a los puntos de presencia registrados (Tabla 3), se obtuvieron los valores de media, moda, mínimo y máximo, para cada punto de presencia registrado de la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* respecto a las variables ambientales elegidas para el estudio, donde se excluyó a la variable Cobertura y Uso de Suelo por ser una variable categórica. Los valores de media, indican las condiciones promedio donde se ha encontrado registro de la especie de garrapata, donde se puede destacar la temperatura anual (bio 1, isoterma) es de 22° C, la precipitación anual media (bio 12) de 1552 mm anuales, elevación (elev) de 794 msnm y una humedad relativa del 83%. Estas variables nos dan un resultado preliminar donde puede existir presencia de la especie de garrapata con un clima cálido, húmedo y con precipitaciones.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos para *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

Variables	Media	Moda	Mínimo	Máximo
bio1	22	25	6	26
bio10	23	26	6	27
bio11	22	24	5	26
bio12	1552	884	370	4423
bio13	306	202	96	559
bio14	29	2	0	260
bio15	87	85	16	187
bio16	826	483	235	1521
bio17	104	12	0	837
bio18	697	143	14	1520
bio19	154	12	0	1253
bio2	10	8	7	13
bio3	83	79	69	93
bio4	56	67	11	146
bio5	28	31	12	32
bio6	16	19	0	22
bio7	12	12	8	15
bio8	23	26	6	27
bio9	22	24	5	26
elev	794	7	0	3981

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Variables	Media	Moda	Mínimo	Máximo
HR	83	79	74	91
isoterma	22	25	7	27
isoyeta	1828	2250	250	5500

Realizado por: Ricardo Sarango

Para la variable Cobertura y Uso de suelo, se utilizó una tabla de contingencia (Tabla 4) con su respectivo grafico de barras (Ilustración 4), para observar el recuento de cada cobertura respecto al registro de la especie. Se encontró que la mayor parte de registro de la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* fue en los pastizales con un 52%, esto concuerda ya el uso de los pastizales es utilizado para el alimento del ganado bovino, que es hospedador de esta especie de garrapata, además de ser la fuente de donde se obtuvieron los datos de registro, otras coberturas relevantes fueron el cultivo con un 20,5% y el mosaico agropecuario con un 12,5%, que son usos también relacionados con la actividad ganadera en el país.

Tabla 4. Recuento de Individuos

Cobertura y Uso de Suelo	<i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	
	Recuento	%
Bosque Nativo	206	9,1%
Cultivo	464	20,5%
Erial	15	0,7%
Mosaico Agropecuario	283	12,5%
Paramo	3	0,1%
Pastizal	1178	52,0%
Plantación Forestal	17	0,7%
Tierra en Transición	30	1,3%
Vegetación Arbustiva	59	2,6%
Vegetación Herbácea	12	0,5%
Total	2267	100,0%

Realizado por: Ricardo Sarango

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

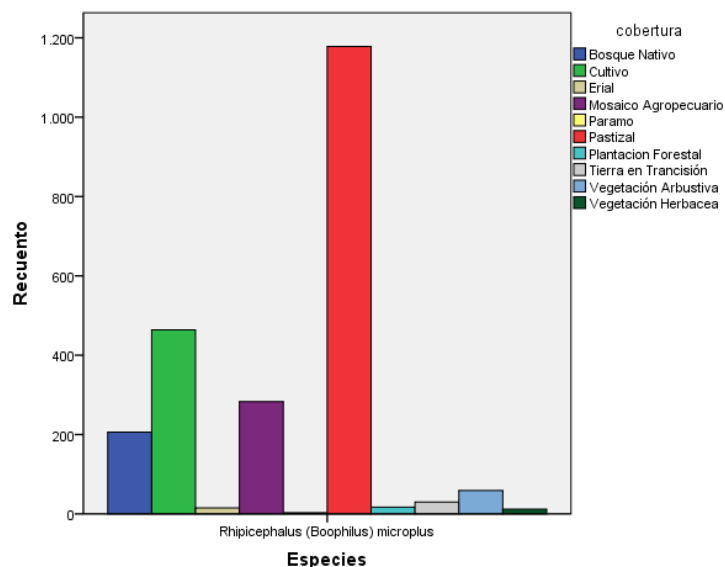
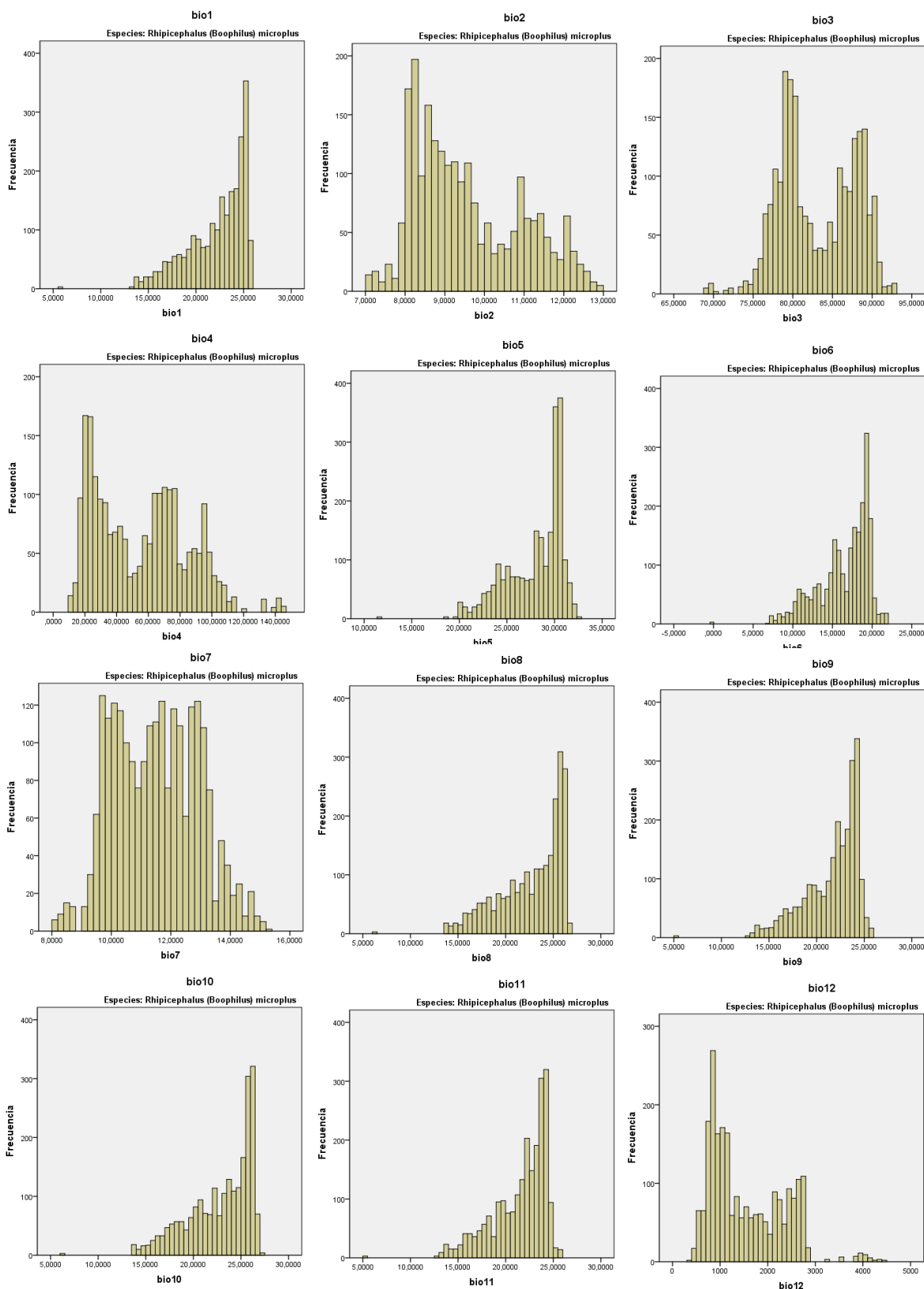


Ilustración 6. Recuento de individuos

Además de los estadísticos descriptivos definidos anteriormente, se realizaron los histogramas de frecuencia (Ilustración 5), para las 23 variables cuantitativas, donde se encontró que ninguna de ellas tiende a comportarse como una distribución normal, esto se debe a que al ser variables climáticas varían mucho y no se puede tener uniformidad en los datos. A pesar de eso, algunas de las variables relacionadas a la temperatura tienden a tener el sesgo hacia la izquierda, esto indica que donde existen la mayor concentración de valores son hacia los de temperatura alta.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL



DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

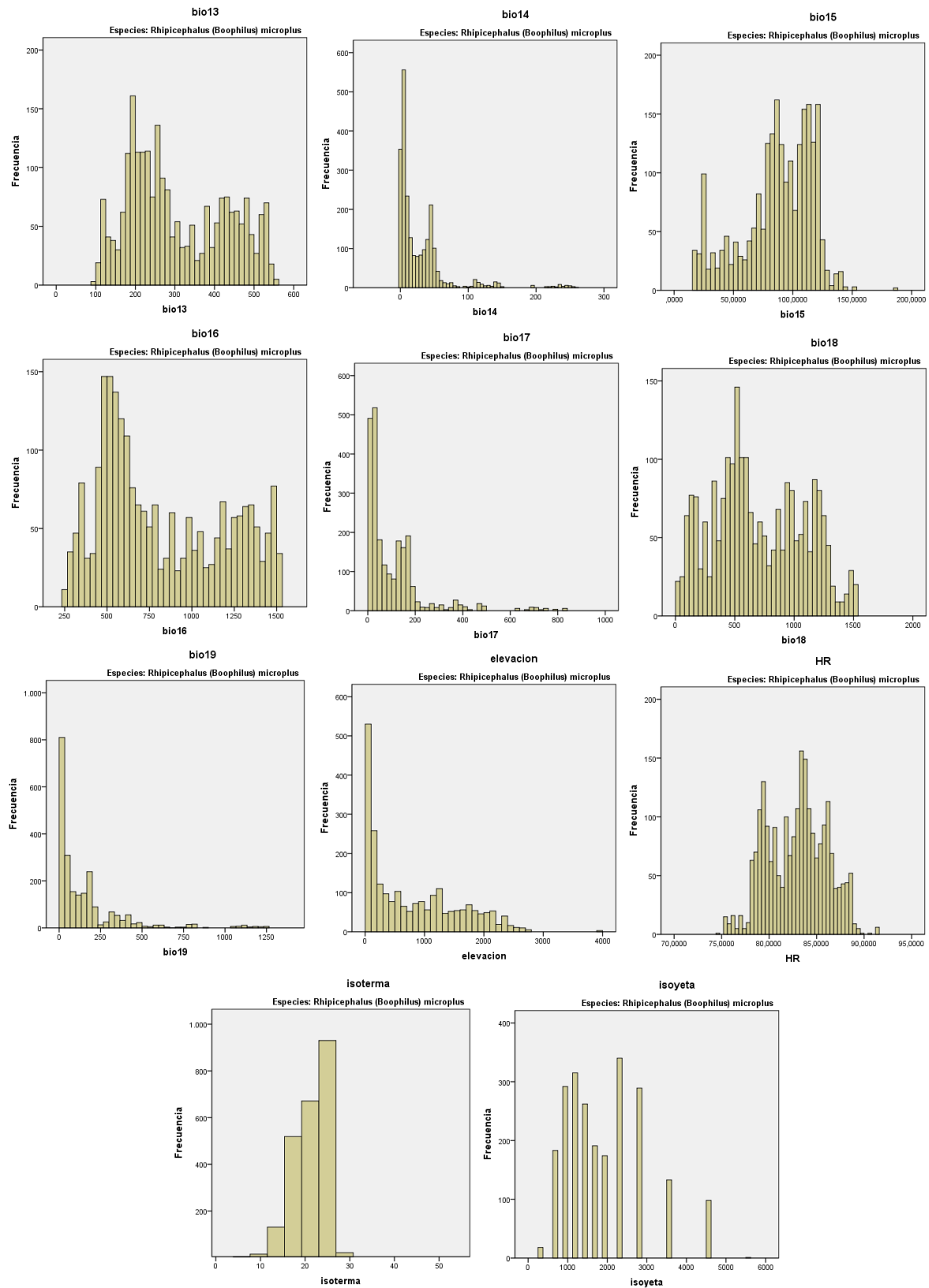


Ilustración 7. Histogramas de frecuencias de las variables para *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Los mapas obtenidos de los modelos MaxEnt (Ilustración 4) y GARP (Ilustración 5), muestran el área de distribución potencial de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, del 28% y 31% respectivamente para el territorio continental. Siendo el modelo MaxEnt más restrictivo que el otro con respecto a las áreas de distribución. Ambos modelos de distribución tienden a predecir en las mismas regiones, siendo la región Costa la más probable tener la presencia de esta especie.

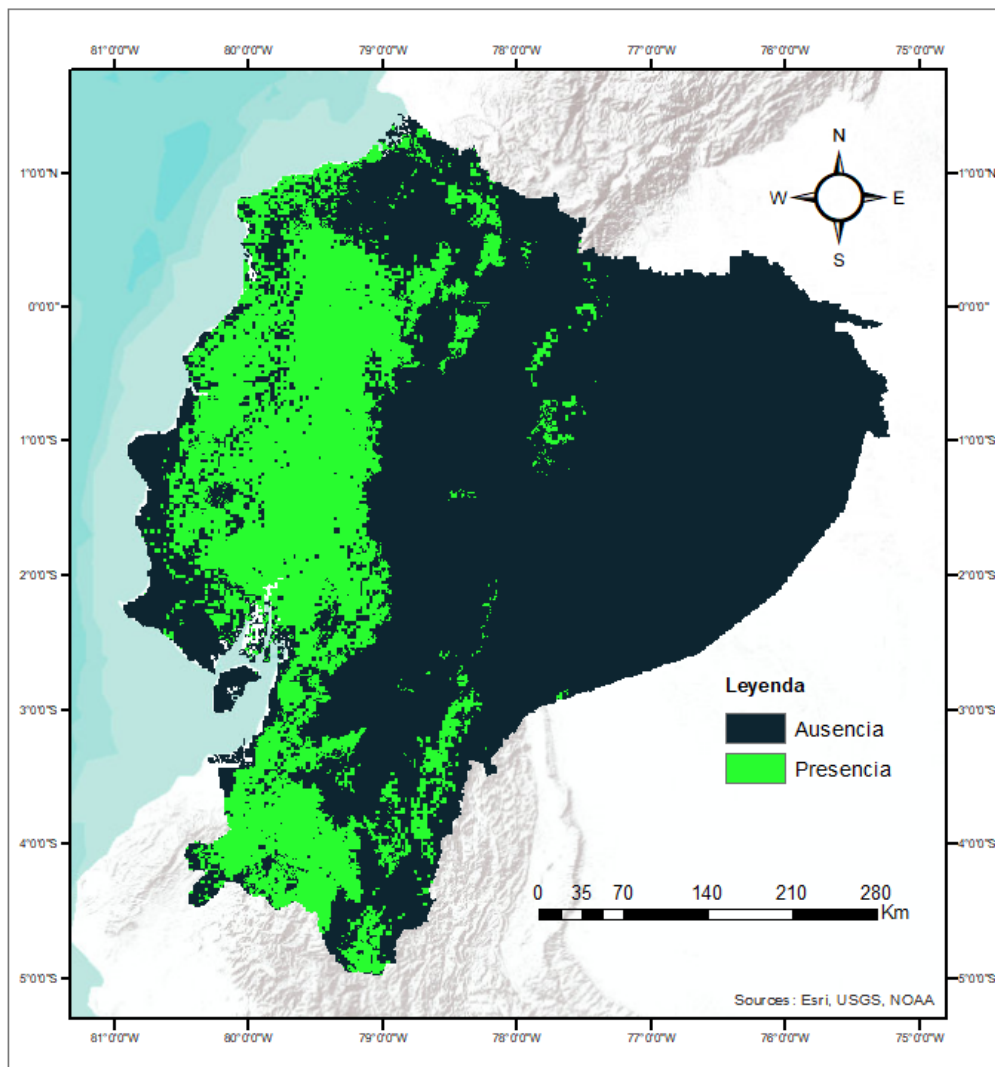


Ilustración 8. Modelo de distribución potencial según el modelo MaxEnt

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

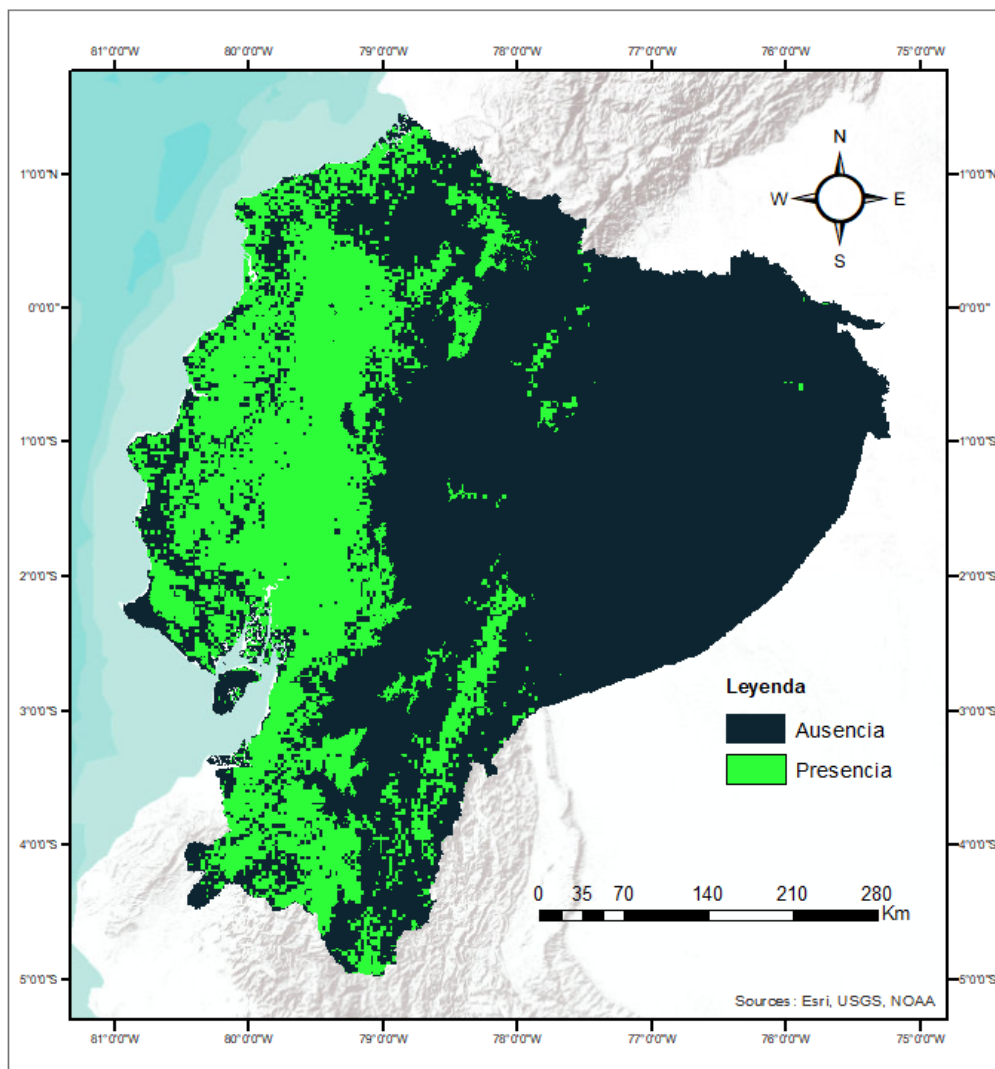


Ilustración 9. Modelo de distribución potencial según el modelo GARP

Como las variables que más influyen en la incidencia de la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, se tiene en primer lugar la cobertura y uso de suelo con un 29.8% de contribución, seguido de un 26,7% de la variable bio15 (estacionalidad de la precipitación) y finalmente las isoterma con un valor de 8.9%. Con estas variables se puede estimar un hábitad climático de la especie en bovinos (Tabla 5), a partir de las muestras proporcionadas por el CIZ en relación a las estadísticas de las variables mencionadas anteriormente.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 5. Variables representativas para la incidencia de la especie en bovinos

Cobertura y Uso de Suelo	Estacionalidad de la Precipitación			Isoterma (Temperatura media anual)		
Pastizal	Coeficiente de variación (%)			° C		
Cultivo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Mosaico Agropecuario	16	85	187	7	25	27

Realizado por: Ricardo Sarango

Estas variables y valores indican que las zonas donde se puede encontrar presencia de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovino en el Ecuador continental serian en pastizales, cultivos, mosaicos agropecuarios, en climas cálidos donde la temperatura media se encuentre alrededor de 25 °C donde las variaciones en la precipitación son muy altas, esto quiere decir que hay grandes diferencias entre las temporadas secas y lluviosas.

La validación mediante el análisis realizado de la curva receptora característica de operación del receptor (ROC), se encontró que el modelo MaxEnt es el más apto para discriminar las posibles presencias o ausencia de la especie de garrapata, esto se puede corroborar visualmente según el trazado de las curvas (Ilustración 10), donde se observa que el trazado del modelo MaxEnt se encuentra por encima de la curva del modelo GARP. Esto a su vez es demostrado con los valores de área bajo la curva (AUC), donde los valores encontrados fueron de 0.882 para MaxEnt y 0.808 para GARP. Estos valores indican que ambos modelos se desempeñan de muy buena manera, estando por encima de las predicciones al azar que ocurrirían si el trazado de las curvas estaría cerca de la línea roja, que equivale a un AUC cercano a 0.5.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

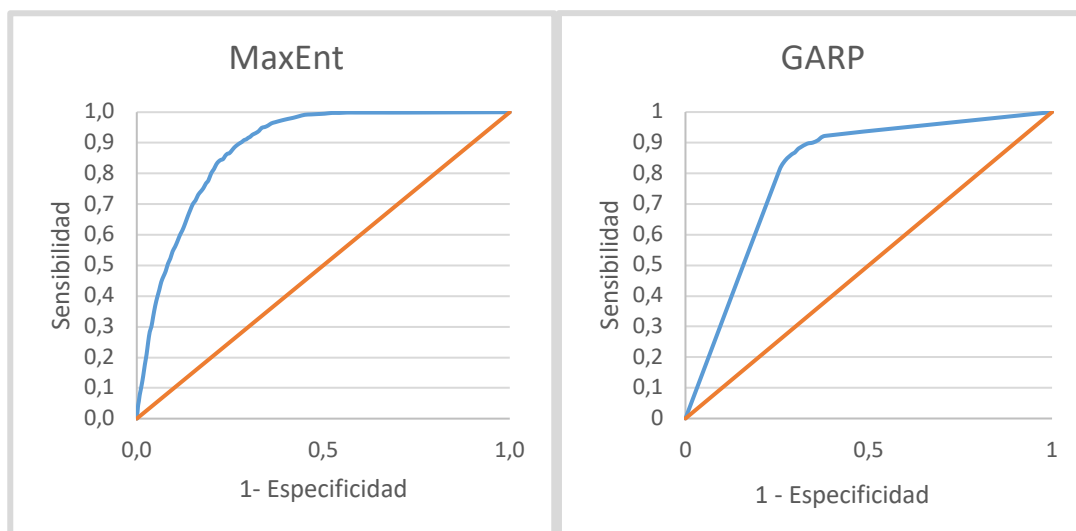


Ilustración 10. Curvas ROC para los modelos MaxEnt y GARP

La similitud de los 2 modelos calculada mediante el índice de similitud fue del 94,5%, esto indica que ambos modelos son similares y pueden ser utilizados para la modelación del nicho fundamental de la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos, pero debido al análisis de la curva ROC detallado anteriormente es recomendable utilizar el modelo MaxEnt. En el mapa de similitud (Ilustración 8), se observan las áreas donde los modelos difieren en sus predicciones, donde según el modelo las áreas pueden ser aptas o no para la presencia de la especie de garrapata.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

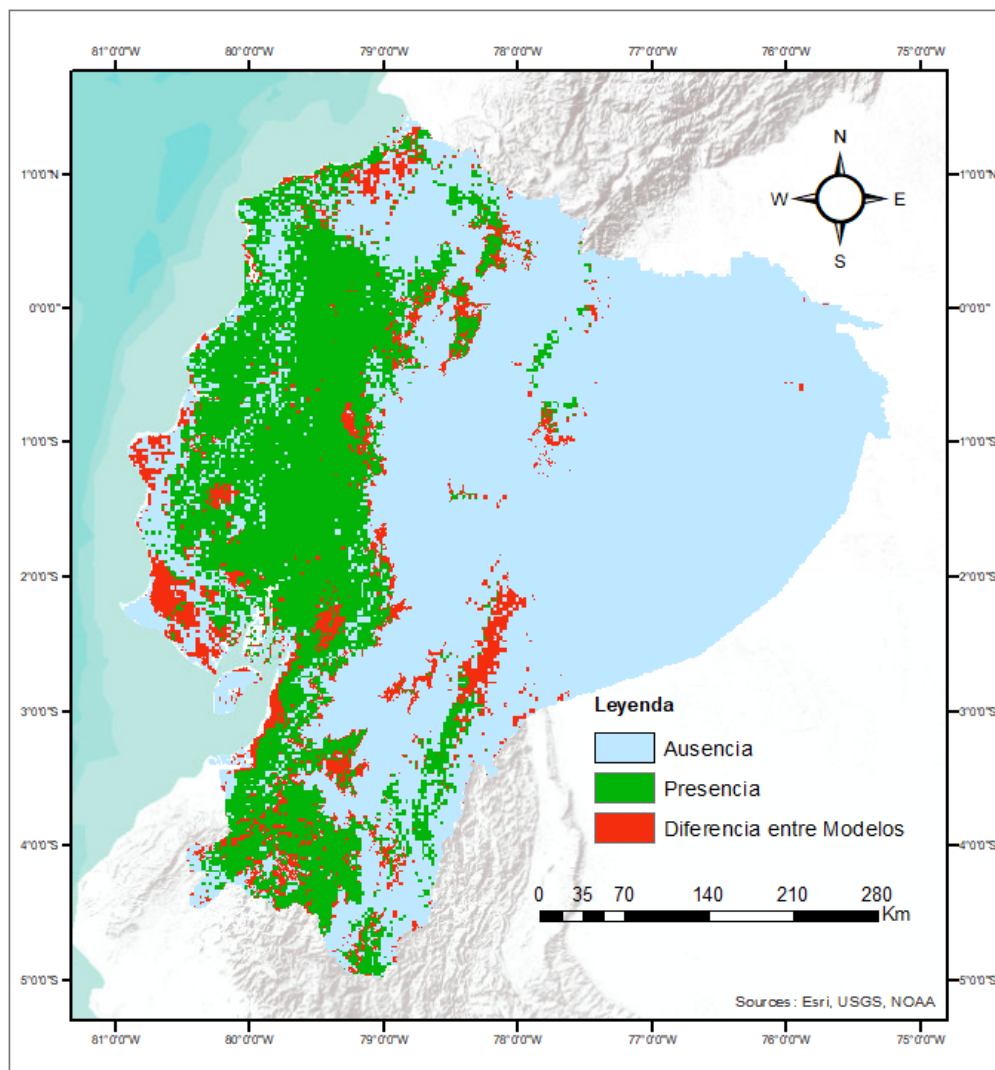


Ilustración 11. Mapa de similitud entre los modelos MaxEnt y GARP

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

4. DISCUSION

Los modelos de distribución de nicho ecológico, han sido utilizados ampliamente en diversos estudios, donde han resultado una herramienta muy efectiva para los objetivos que se han planteado los diferentes autores en sus trabajos. Este estudio de igual manera, determino de manera satisfactoria el modelo de nicho ecológico fundamental de la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovinos, donde los 2 modelos empleados, MaxEnt y GARP, resultaron válidos y con gran similitud. Estos modelos pueden ser aplicados, como previsión de potenciales impactos del cambio climático en la distribución de las especies (Mateo, 2011). (Bustillos Huilca, 2014) en su estudio concluyo que todo el territorio continental es apto para la presencia de la especie, mientras que los resultados obtenidos en este estudio limitan un 30% del territorio debido a las diferentes condiciones ambientales, especialmente los usos de suelo que son utilizados para la ganadería, sin embargo, la ausencia de la especie en las cordilleras concuerda entre ambos estudios.

Los variables significativas en la distribución de la especie *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* según (Orozco Álvarez, 2018) son: temperatura mínima, temperatura media, precipitación y altitud. (Pulido-Herrera, 2015) encontró registros de presencia de la especie en altitudes mayores a 2900msnm, donde además cita que pueden estar distribuidas desde 0 msnm. Estos resultados tienen similitud con obtenidos en este estudio, donde la variable altitud no resulto ser representativa, al igual que la humedad relativa, debido a que los modelos de nicho MaxEnt y GARP indican que la distribución de la especie se encuentra extendida en el territorio, dependiendo más de la temperatura media y a la variación de las precipitaciones. Con respecto a la variable cobertura y uso de suelo, en todos los estudios referenciados no se encontró evidencia que se la haya tomado en cuenta para realizar los modelos de nicho ecológico, sin embargo (Benavides, 2016) menciona que la cobertura vegetal de los suelos, contribuye en parte para que las condiciones sean favorables para la supervivencia de la especie en su fase no

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

parasitaria, lo que indica que se debe tomar en cuenta para tener una idea más detallada de donde puede encontrarse presencia de la especie y donde puede cumplir su ciclo de vida, con esta información conocida, se podrá llegar a tener una mejor gestión del control y prevención de problemas que puede ocasionar la especie de garrapata en el ganado bovino y en el ser humano.

La comparación de los modelos MaxEnt y GARP, para todas las fuentes citadas anteriormente, el modelo más representativo ha sido distinto para cada estudio en mención, esto se puede deber a los parámetros que se ha configurado para entrenar cada modelo o las variables que sean más favorables para un modelo en particular. Estas comparaciones y validaciones de los modelos se las ha realizado en gran parte mediante los análisis de sus respectivas curvas ROC y los valores de área bajo la curva AUC. (Townsend Peterson A. P., 2007) indica que el modelo MaxEnt es superior al modelo GARP al ser evaluados mediante los enfoques de ROC y AUC, además de que el modelo GARP tiende a realizar predicciones más extensas respecto al modelo MaxEnt, estas afirmaciones coinciden con los resultados obtenidos en este estudio, donde el modelo MaxEnt es superior en términos del análisis de la curva ROC y el valor de AUC y el área de predicción mayor del modelo GARP respecto al modelo MaxEnt. En el estudio de (Acevedo Gutiérrez, 2018), el modelo GARP mostro una menor área de predicción respecto al modelo MaxEnt, esto puede ser debido a que utilizaron un umbral de probabilidad mínima de 5,8% para el modelo binario, lo que generaría un área mayor que utilizando otros umbrales. (Olvera-Vargas) en su trabajo, comparo 4 modelos, donde MaxEnt obtuvo los mejores resultados, con una menor variabilidad comparado a los otros modelos, pero además menciona que no todos los modelos se comportan mejor con algunos grupos taxonómicos de especies. (Rujano, 2015) en su estudio concluyo que el algoritmo MaxEnt sugiere predicciones más ajustadas, mientras que el algoritmo GARP sugiere una mayor amplitud en las áreas de distribución, además cita que MaxEnt ha sido utilizado ampliamente por diferentes autores,

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

debido a la robustez de sus predicciones. A pesar de que pueda existir diferencia entre los modelos, esta no resulta ser significativa, debido a índice de similitud dio como resultado que ambos mapas generados por los modelos tienen gran semejanza al tener un valor cercano a 1, sin embargo, se recomienda la utilización del modelo MaxEnt para los modelos de nicho ecológico fundamental de la especie de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

5. CONCLUSIONES

Se determinaron satisfactoriamente los modelos de nicho fundamental para la especie de garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovino en el Ecuador continental, mediante los algoritmos MaxEnt y GARP, donde aproximadamente el 30% del territorio es apto para que esta especie subsista debido a las condiciones climáticas y uso de suelo que este presenta.

Las variables determinantes para la generación de los modelos fueron la cobertura y uso de suelo donde los pastizales, los cultivos y los mosaicos agropecuarios fueron las más importantes, todas ellas relacionadas a la actividad ganadera; las otras variables fueron la estacionalidad de la precipitación con un valor del 85% de coeficiente de variación y la temperatura anual media de 25°C, esto indica precipitaciones muy variadas y temperaturas cálidas como principales factores para el nicho fundamental de la especie de garrapata.

El modelo MaxEnt resultó más eficaz para predecir que el modelo GARP, al ser comparados mediante el análisis de la curva característica de operación del receptor (ROC) y el valor del área bajo la curva de la misma (AUC), sin embargo, ambos modelos compartieron gran similitud al ser comparados con el índice de similaridad.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigación en Zoonosis-CIZ de la Universidad Central del Ecuador, y a su Directora, Lic. Maritza Celi. Data del proyecto “Encuesta Nacional Epidemiológica sobre de Brucellosis, Tuberculosis bovina y garrapatas”, del Instituto de Investigación en Zoonosis, UCE.

Convenio de Investigación entre Investigación en Zoonosis-CIZ de la Universidad Central del Ecuador y la Universidad Internacional SEK.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo Gutiérrez, L. Y. (2018). Modelos potenciales de distribución geográfica y climática del complejo *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae), potencial vector de *Rickettsia rickettsii* en Colombia. *Biomedica*, 534-544.
- Benavides, E. R. (2016). *Las garrapatas del ganado bovino y los agentes de enfermedad que transmiten en escenarios epidemiológicos de cambio climático* guía para el manejo de garrapatas y adaptación al cambio climático. Bogotá (Colombia): Universidad de La Salle, Bogotá (Colombia).
- Benavides-Montaño, J. A.-C.-C. (2018). Garrapatas Ixodidae (Acari) en el Valle del Cauca. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 131-150.
- Benito, B. &. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 100-119.
- Bustillos Huilca, R. C. (2014). Ecología parasitaria de la garrapata (acari: ixodidae) en bovinos en dos áreas geográficas del Ecuador. *UCE*.
- Bustillos, R. C. (2015). Comportamiento Poblacional de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos en dos areas geograficas del Ecuador. . *Revista Tecnológica-ESPOL*, 28(4).
- Bustillos, R., & Rodriguez, R. (2016). *Ecología parasitaria de Rhipicephalus microplus en bovinos: un problema de la ganadería de los trópicos del Ecuador*. Editorial Académica Española.
- Centro de Sensoriamento Remoto. (2020). Dinamica EGO 5. *Universidade Federal de Minas Gerais*. Obtenido de <http://www.csr.ufmg.br/dinamica>
- Cruz-Cárdenas, G. V.-M.-M. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en Maxent. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 187-201.
- Echeverry, D. N. (2016). Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. . *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 81-95.
- Farfán, F. P. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Editorial Abya-Yala.
- Fick, S. a. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37, 4302-4315.
- Gaínza, Y. A. (2014). Las garrapatas de interés veterinario en Cuba, y su importancia en las condiciones climáticas cambiantes. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 1-22.
- Hagen, A. (2003). Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical* , 235-249.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

- Höfle, U. &. (2019). Anillamiento científico de aves y vigilancia de enfermedades: Garrapatas, excrementos y plumas para prevenir brotes epidémicos. *Grupo SaBio (Sanidad y Biotecnología), Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos IREC (CSIC-UCLM)*. Ciudad Real.
- Hoo ZH, C. J. (2017). What is an ROC curve? *Emergency Medicine Journal*, 34:357-359.
- Hutchinson. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22, 415–427.
- Illoldi-Rangel, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 7-12.
- Leija-Loredo, E. G.-H.-P.-F.-S. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 125-140.
- Lippi, C. A.-I. (2019). Geographic shifts in *Aedes aegypti* habitat suitability in Ecuador using larval surveillance data and ecological niche modeling: Implications of climate change for public health vector control. *PLoS neglected tropical diseases*, 13.
- Macías Barredo, J. M. (2016). Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación.
- Malherbe, R. R. (1981). Fundamentos termodinámicos estadísticos del concepto de entropía. *Revista Cubana de Física*, 141-157.
- Malizia, L. R. (2006). Diversidad, estructura y distribución de bosques con cedro en el noroeste de Argentina y sur de Bolivia. . *Ecología y producción de cedro (género Cedrela) en las Yungas australes*, 83-104.
- Manzanilla-Quñones, U. A.-C.-P.-G.-Y. (2019). Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. . *Madera y bosques*, 25.
- Marques, R. K.-G. (2020). Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary research*, 1-10.
- Mas, J. (2013). Tools for ROC analysis of spatial models Installation instructions and application examples. *Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*,.
- Mateo, R. G. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 217-240.
- Monterrubio-Rico T. C., V.-G. L.-T.-C.-T.-D. (2007). Distribución histórica y actual del loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) en la costa central del Pacífico mexicano: ventajas y limitaciones en el uso de GARP en especies bajo fuerte presión de tráfico. *Ornitología Neotropical*, 18, 263-276.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

- Monterrubio-Rico, T. C.-M.-F.-W.-L.-M.-R. (2016). Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia Psittacidae en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1103-1117.
- Olvera-Vargas, L. A. (s.f.). Modelos de distribución potencial para el pronóstico de plagas agrícolas.
- Orozco Álvarez, G. E. (2018). Distribución espacial de garrapatas que afectan a las ganaderías ecuatorianas de las tres regiones, usando como referencia la línea equinoccial. (*Tesis de pregrado*). Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Palma-Ordaz, S. &-R. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 587-597.
- Pliscoff, P. &-C. (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* , 61-79.
- Politis, G. G. (2018). Modelamiento de los parámetros ambientales de la distribución de sitios Goya-Malabrigo mediante Maxent. *Goya-Malabrigo: arqueología de una sociedad indígena del Noreste* , 289-305.
- Porretta, D. M. (2013). Effects of global changes on the climatic niche of the tick *Ixodes ricinus* inferred by species distribution modelling. *Parasites & Vectors*, 6(1).
- Pulido-Herrera, L. A.-L. (2015). Distribución inusual y potencial de la garrapata común del ganado, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en zonas tropicales de alta montaña de los Andes colombianos. *Biota Colombiana*, 75-95.
- Ristic, M. (1981). Anaplasmosis. *Diseases of Cattle in the Tropics* , 327-344.
- Rodríguez-Hidalgo R, P.-O. X.-C.-O. (2017). El estado actual de resistencia a alfa-cipermetrina, ivermectina y amitraz de la garrapata del ganado (*Rhipicephalus microplus*) en Ecuador. *PLoS ONE* , 12 (4).
- Rujano, M. O. (2015). Modelo de la distribución de especies vectores de leishmaniasis del género *Lutzomyia* (Diptera: Psychodidae) en Mérida Venezuela. *Intropica*, 37-51.
- Scachetti-Pereira, R. (s.f.). DesktopGarp: a software package for biodiversity and ecologic research. Obtenido de <https://github.com/jkblackburn/DesktopGARP1.1.3>
- Sobek-Swant, S. K. (2012). Potential distribution of emerald ash borer: What can we learn from ecological niche models using Maxent and GARP? *Forest Ecology and Management*, 23-31.
- Steven J. Phillips, M. D. (s.f.). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). [*Internet*]. Obtenido de http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- The Center for food security & Public Health. (2008). *Babesiosis Bovina*. IOWA State University. Obtenido de http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/babesiosis_bovina.pdf

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

- Torres, R. &. (2010). Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología neotropical*, 335-352.
- Townsend Peterson, A. P. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 550-560.
- Townsend Peterson, A. P. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 550-560.
- Wiley, E. O. (2003). Niche modeling perspective on geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm.

DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DE GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* EN BOVINOS MEDIANTE LOS MODELOS MAXENT Y GARP EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Registro de presencia de <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i> en Bovinos	12
Ilustración 2. Parámetros MaxEnt.....	15
Ilustración 3. Parámetros Desktop GARP	16
Ilustración 4. Configuración curva ROC y AUC Dinámica EGO	17
Ilustración 5. Configuración Índice y Mapa de similaridad Dinámica EGO.....	17
Ilustración 6. Recuento de individuos.....	20
Ilustración 7. Histogramas de frecuencias de las variables para <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	22
Ilustración 8. Modelo de distribución potencial según el modelo MaxEnt	23
Ilustración 9. Modelo de distribución potencial según el modelo GARP.....	24
Ilustración 10. Curvas ROC para los modelos MaxEnt y GARP	26
Ilustración 11. Mapa de similaridad entre los modelos MaxEnt y GARP.....	27

Índice de Tablas

Tabla 1: Especies de Garrapatas en Bovinos	11
Tabla 2. Variables Ambientales.....	13
Tabla 3. Estadísticos descriptivos para <i>Rhipicephalus (Boophilus) microplus</i>	18
Tabla 4. Recuento de Individuos	19
Tabla 5. Variables representativas para la incidencia de la especie en bovinos	25