



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado

**“MODELO DE NICHO ECOLÓGICO DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus*
(*Boophilus*) *microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES
DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL”**

Realizado por:

NICOLE RODRÍGUEZ TRUJILLO

Director del proyecto:

José Gabriel Salazar Loor

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, Septiembre de 2021

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, NICOLE RODRÍGUEZ TRUJILLO, con cédula de identidad #1726491085, 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.



Nicole Rodríguez Trujillo

1726491085

MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus*
(*Boophilus*) *microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES
DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus*
(*Boophilus*) *microplus* INCLUYENDO VARIABLES
SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL”**

Realizado por:

NICOLE RODRÍGUEZ TRUJILLO

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Firmado electrónicamente por:
**JOSE GABRIEL
SALAZAR LOOR**

José Gabriel Salazar Loor

1714194642

MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA MESTRE

JUAN CARLOS NAVARRO CASTRO

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Miguel Martínez-Fresneda Mestre



Juan Carlos Navarro Castro

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE
LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO
VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR
CONTINENTAL

Quito, Septiembre de 2021

MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado gracias al Convenio-Compromiso entre el Instituto de Investigación en Zoonosis-CIZ de la Universidad Central del Ecuador y la Universidad Internacional SEK con datos de la “Encuesta Nacional de Brucelosis, Tuberculosis bovina y Garrapatas:

Y

Bajo el Marco del **Programa de Investigación en Salud Global de la Universidad Internacional SEK, Línea de Investigación en Entomología Médica y Biología de Vectores, Proyecto P011617-2 “Ecoepidemiología *in silico* de Enfermedades Emergentes (JC Navarro, J Salazar, S Enríquez et al.)**

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

DEDICATORIA

A mi madre Karina, quien con esfuerzo y amor me ha acompañado en cada proceso y etapa de mi vida.

A mi tío Andrés, mi abuela Hilda y mi hermana Camila, quienes siempre han dado ese empujón constante para no rendirme y seguir adelante.

A mi prima Alejandra, quien ha sido inspiración al momento de superarme día a día sin importar las adversidades.

AGRADECIMIENTO

A cada docente de la Universidad Internacional SEK, quienes no se limitan a la enseñanza académica y hacer de nosotros buenos profesionales, sino que van más allá, haciendo de nosotros buenos seres humanos. Así mismo al personal administrativo y de mantenimiento, quienes en su momento también contribuyeron a que pueda concluir mi carrera.

A José Salazar, Juan Carlos Navarro y Miguel Martínez, quienes con mucha paciencia han sido guía para poder cumplir el presente trabajo.

A cada familiar, amigo y compañero, quienes han sido mi fortaleza en cada paso a lo largo de este camino y que aportaron con su granito de arena para poder culminar esta etapa de mi vida.

A Patricio Aizaga, quien nunca ha dudado en apoyarme y acompañarme con mucho amor a lo largo de los años.

A María Esther Carbo, quien brindó su mano el último semestre de mi carrera y quien me ha enseñado a no dejar de sonreír a pesar de las dificultades.

A la vida, que día a día me enseña que hay que disfrutar los pequeños momentos, que las experiencias que podemos sacar de ellos nos enriquecen como seres humanos y alimentan el poder ser y dar lo mejor de nosotros.

MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Para someter a:

To submit:

Modelo de nicho ecológico de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* incluyendo variables socioambientales dentro de Ecuador continental.

Nicole Rodríguez¹, José Salazar¹, Sandra Enríquez² Juan-Carlos Navarro^{3*}

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

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

³Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias de la Salud, Quito, Ecuador

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Juan Carlos Navarro, PhD

Universidad Internacional SEK,

Email: juancarlos.navarro@uisek.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo exhibe la distribución poblacional de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, comúnmente conocida como la garrapata de ganado bovino en el Ecuador Continental y las variables ambientales que inciden en su distribución, abundancia y capacidad vectorial. La garrapata del ganado bovino es un ectoparásito hematófago que causa fuertes daños a sus hospederos, tanto bovinos como seres humanos, debido a que transmite agentes infecciosos, convirtiéndolo en un vector transmisor de enfermedades tropical de suma importancia en los sistemas ganaderos locales. Mediante el uso y aplicación de técnicas de modelamiento con herramientas Maxent, Dinámica EGO y Arcgis se generaron gráficos, mapas y cuadros que permitieran determinar zonas de probabilidad para el desarrollo de la garrapata RBM por medio de información otorgada por factores de omisión/comisión, ROC y AUC, porcentajes de contribución y permutación, entre otros, para posteriormente crear estrategias de prevención y mitigación en cuanto a la propagación de enfermedades por vectores, en este caso de la *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*.

Es por ello que el motivo de interés en la presente investigación es explicar cómo determinadas variables o factores socioambientales, en este caso la cobertura vegetal y la deforestación, son determinantes sobre la distribución de esta y otras especies, teniendo en cuenta dimensiones ecológicas como las interacciones especie – ambiente y su dinámica poblacional, sobre todo si son vectores muestreados sobre sus hospedadores, para generar simulaciones con mayor capacidad predictiva y acordes a la realidad.

Palabras clave: Variables ambientales, garrapatas, vectores, transmisión de enfermedades, Ecuador, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, cobertura vegetal, deforestación.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

ABSTRACT

The present work shows the population distribution of the *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* tick in Continental Ecuador, commonly known as the cattle tick, and the environmental variables that affect its distribution, abundance, and vector capacity. The cattle tick is a hematophagous ectoparasite that causes severe damage to its hosts, both animals and humans, because it transmits infectious agents, making it a vector for transmitting tropical diseases of great importance in local livestock systems. Through the use and application of modeling techniques with Maxent and Arcgis tools, graphs, maps and tables were generated that allowed determining probability zones for the development of the RBM tick through information provided by omission / commission factors, ROC and AUC. contribution and permutation percentages, among others, to later create prevention and mitigation strategies regarding the spread of diseases by vectors, in this case *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*.

That is why the motive of interest in this research is to explain how certain variables or socio-environmental factors determinant on the distribution of this and other species are, taking into account ecological dimensions such as species - environment interactions and their population dynamics, to generate simulations with greater predictive capacity and in accordance with reality.

Key words: Environmental variables, ticks, vector borne, disease, Ecuador, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, vegetation cover, deforestation

INTRODUCCIÓN

Enfermedades emergentes y reemergentes

Diversos eventos epidemiológicos¹ se han desatado en todo el mundo en los últimos años, manifestando de esta manera la aparición y/o reaparición de enfermedades. En donde las enfermedades emergentes son aquellos patógenos² relacionados con “nuevos agentes”, así como aquellas con factores causales ya conocidos que recientemente han adquirido un carácter epidémico, como por ejemplo la enfermedad de Lyme, VIH, ébola, hantavirus, entre otros (Kuri Morales et al., 2015), transformándose en una amenaza para la población. Por otro lado, las enfermedades reemergentes son aquellas que en su momento tuvieron definidos niveles de control, pero actualmente se muestran con incidencia, frecuencia y/o mortalidad³ en aumento, convirtiéndose de esta manera en problemas sanitarios de primera magnitud⁴, como por ejemplo el dengue, fiebre amarilla, cólera, tuberculosis, entre otros (Suárez Larreinaga & Berdasquera Corcho, 2000). Cabe mencionar que la aparición o reaparición de enfermedades considera un periodo de tiempo, es decir, las enfermedades emergentes aparecen en una población dada en los últimos 30 años, y las reemergentes comienzan a elevar su incidencia o alcance geográfico en los últimos 30 años (Riverón Corteguera, 2002).

El progreso de estas enfermedades infecciosas se vincula con un inagotable reservorio microbiano sobre el cual contribuyen factores ecológicos y sociales de repercusión a nivel mundial (Hortal, 2016), ya que se pueden formar condiciones óptimas para la propagación de estas infecciones, facilitando la circulación y transmisión de patógenos. Entre los factores que

¹ Es el estudio de la distribución y los determinantes de eventos relacionados con la salud, en particular las enfermedades, y la aplicación de estos al control de las entidades clínicas y otros problemas de salud.

² Son aquellos agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades a su huésped.

³ Número de defunciones en una población y tiempo determinado.

⁴ Son problemas de salud pública que provocan enfermedades a un número inusualmente elevado de individuos dentro de una población simultáneamente con el consecuente aumento de riesgo de mortalidad, requiriendo una acción inmediata de las autoridades.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

contribuyen al desarrollo de enfermedades, salen a relucir factores biológicos como la variabilidad y adaptabilidad de los organismos y microorganismos, sociales como la movilidad poblacional e intercambio comercial y económicos como la ausencia de servicios básicos de saneamiento ambiental, escasez de agua, sistemas de alcantarillado entre otros (Mesa Ridell et al., 2004). Otro factor, y que es importante destacar debido a su incidencia directa, son los cambios en el medio ambiente y por ende en los nichos ecológicos, dentro de los cuales están incluidos los componentes bióticos y abióticos, en un tiempo y espacio determinado involucrando todos los recursos presentes del ambiente y las adaptaciones de los organismos (Illoldi & Escalante, 2008), de esta manera, si consideramos una variación dentro del nicho ecológico, esta afectaría la composición y dimensión de las poblaciones de insectos vectores y de animales que son reservorios de microorganismos que pueden infectar al hombre (Oromí Durich, 1980). Un claro ejemplo de la estrecha relación entre las condiciones del nicho ecológico y el desarrollo de enfermedades infecciosas es la cantidad de lluvias y su incidencia sobre la presencia de lugares de cría, al igual que la temperatura, pues esta limita la distribución de los vectores según la altitud y la latitud (Tercero Guitierres & Olalla Herbosa, 2008).

Los seres humanos, al igual que diversos animales domésticos y silvestres, son susceptibles a infecciones con patógenos (M. Torres et al., 2020), los cuales pueden ser transmitidos directa o indirectamente, siendo en el primer caso necesario el contacto físico entre una persona infectada y una susceptible o no infectada, mientras que en el segundo caso debe ocurrir un depósito a superficies u objetos contaminados o también en vectores (División pública de salud, 2007).

Un vector es un organismo con la capacidad de transmitir agentes patógenos como virus, bacterias o parásitos de un huésped a otro causando alguna enfermedad (Tercero Guitierres & Olalla Herbosa, 2008), dando origen a lo que se conoce como Enfermedad Transmitida por

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Vector (ETV). Muchas de las ETV son transmitidas por especies de insectos hematófagos⁵, en donde el microorganismo causante de la enfermedad es ingerido al momento de alimentarse de la sangre de un huésped infectado y lo transmiten a un huésped susceptible (Tercero Guitierrez & Olalla Herbosa, 2008).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, las Enfermedades de Transmisión Vectorial representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas, causando alrededor de 700000 muertes por año (OMS, 2014). En la Tabla 1, se muestran algunos ejemplos recopilados de ETV realizada por la OMS, en donde se visualiza el tipo de vector, la enfermedad que transmite y su patógeno.

Tabla 1. Enfermedades Transmitidas por Vectores

| Vector | Enfermedad | Patógeno |
|-----------------------|----------------------------|-----------------|
| Mosquito <i>Aedes</i> | Dengue | Virus |
| | Fiebre amarilla | Virus |
| | Filariasis linfática | Parásito |
| Pulga | Peste | Bacteria |
| Garrapata | Enfermedad de Lyme | Bacteria |
| | Encefalitis por garrapatas | Virus |
| | Fiebre de ganado | Bacteria |
| Piojos | Tifus | Bacteria |

Fuente: (OMS, 2014)

Garrapatas

Como se puede observar, uno de los principales vectores de enfermedades son las garrapatas, siendo algunas muy corrientes o comunes, mientras que otras son extremadamente raras. Las infecciones transmitidas por garrapatas se conocen bien desde hace más de 100 años y aparecen en relación con el tiempo y la localización geográfica, en función de circunstancias diferentes, como reservorios animales, clima, condiciones ecológicas y estilos de vida (Mutz,

⁵ Insectos que se alimentan de sangre.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

2010). Las garrapatas pertenecen a la clase Arachnida de los artrópodos⁶ (Mutz, 2010), sistemáticamente próximas a las arañas y escorpiones, pero sobre todo a los ácaros (Estrada-Peña, 2015). Estos artrópodos se dividen en dos familias principalmente: Argasidae, garrapatas suaves o blandas; e Ixodidae, garrapatas fuertes o duras. Las enfermedades de las cuales provienen los principales agentes infecciosos pertenecen a la familia Ixodidae, como por ejemplo los del género *Ixodes*, *Dermacentor*, *Amblyomma*, *Haemaphysalis*, *Hyalomma* y *Rhipicephalus* (Mutz, 2010).

Tanto garrapatas duras como blandas comparten determinadas características, como por ejemplo, están compuestas por un cuerpo redondeado llamado idiosoma, tienen las piezas bucales separadas del mismo, recibiendo el nombre de gnathosoma o capítulo y todas tienen cuatro pares de patas, a excepción de las larvas (Estrada-Peña, 2015). Así también, tienen características que las diferencian, dicha información es sintetizada y se presenta en la Tabla 2 para un mayor entendimiento.

Tabla 2. Diferencias morfológicas de las garrapatas duras y blandas

| Características | Garrapatas duras (Ixodidae) | Garrapatas blandas (Argasidae) |
|---|--|--|
| Placa esclerotizada ⁷ o escudo dorsal | Presente, por ello reciben su nombre calificativo | Ausente, su superficie externa se asemeja al cuero |
| Piezas bucales | Posición anterior al escudo dorsal | Ubicado en la cara ventral del cuerpo |
| Dimorfismo sexual ⁸ en la etapa adulta | Si, el escudo dorsal cubre todo el cuerpo de los machos limitando su tamaño. En las hembras cubre solamente la mitad ya que estas necesitan ingerir mayor cantidad de sangre, siendo la hembra más grande que el macho | Si, las hembras son más grandes que los machos |

Fuente: (Estrada-Peña, 2015)

⁶ Animales invertebrados caracterizados por su exoesqueletos y apéndices articulados (patas).

⁷ Tejido endurecido.

⁸ Diferencia en la fisionomía externa entre machos y hembras.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

El gnathosoma contiene un par de palpos y una pieza especializada llamada hipostoma, con varias filas de dientes, la cual sirve como órgano de anclaje a la piel del hospedador (Estrada-Peña, 2015) y a pesar de que visualmente no se parezcan entre ambas familias, esta cumple la misma función.

Los patrones de desarrollo de las garrapatas en ambas familias son similares, aunque tienen un ciclo vital diferente, debido a las adaptaciones del entorno y al ayuno que tienen ambas familias (Estrada-Peña, 2015). Las garrapatas regulan su temperatura corporal de acuerdo con la temperatura de su ambiente, es por ellos que resultan muy sensibles a los cambios ambientales, de manera que pequeñas variaciones en factores como la temperatura, humedad y brillo solar, pueden ser suficientes para afectar su abundancia, distribución y capacidad vectorial (Cortés, 2010).

Cuentan cuatro estadios: huevo, larva, ninfa y adulto. El estado de larva difiere de los demás ya que posee solamente tres pares de patas. Se consideran dos fases intermedias llamadas “fases mutantes”, las cuales suceden del paso de larva a ninfa y posteriormente de ninfa a adulto, ocurren después de alimentarse de sangre del hospedador y consta en la muda de piel exterior (Polanco & Rios, 2016). El tiempo total que puede durar este ciclo a partir de la eclosión, son 24 años para las garrapatas duras y 10 años para las garrapatas blandas (Houseman, 2013).

El ciclo de vida de las garrapatas duras se inicia con la eclosión del huevo ovipositado por la garrapata hembra en un sitio húmedo y protegido, del cual emerge la larva. La larva espera una semana como máximo y busca a su hospedador y se une a él (Polanco & Rios, 2016). Dependiendo de la especie de garrapata, la mayoría se denominan garrapatas de tres hospedadores porque en cada etapa de su ciclo a partir del de larva, deben ubicar un diferente hospedador, y así mismo existen garrapatas de dos y de un solo hospedador (Houseman, 2013),

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

como por ejemplo la especie *Rhipicephalus Microplus*, que cumple su ciclo de vida en un solo hospedador (Polanco & Rios, 2016) y es la especie de estudio dentro del presente trabajo.

Rhipicephalus (Boophilus) microplus

Rhipicephalus Microplus (en adelante llamada RBM dentro del documento), conocida inicialmente como *Boophilus Microplus* y comúnmente llamada “Garrapata del Ganado Bovino”, es una garrapata de la familia Ixodidae, la más importante del ganado bovino a nivel mundial (The Center For Food Security And Public Health & Biologics, 2007). Originario de Asia, es de suma importancia ya que causa graves efectos sobre sus hospederos, transmitiendo patologías que generan alta morbilidad⁹ y mortalidad (Luz A Pulido-herrera et al., 2015), siendo algunas de sus patógenos la babesiosis¹⁰ y la anaplasmosis¹¹, generando enfermedades como anemia, falta de apetito y retardo en el desarrollo de su hospedador, perjudicando de esta manera la cadena de producción del sector ganadero y atentando con seguridad alimentaria (Luz Astrid Pulido-herrera, 2016), creando así el complejo llamado “tristeza bovina”, en el cual el afectado se deja morir (Miraballes et al., 2018).

Un claro ejemplo de las pérdidas que genera la RBM tiene que ver con la pérdida de peso de un bovino parasitado, se ha observado que animales infestados con garrapatas reducen su consumo de alimento (4.37 kg) en comparación con animales no expuestos a garrapatas (5.66 kg), ocasionando pérdidas de varios miles de millones de dólares en la economía mundial (Rodríguez-vivas et al., 2014) adicionalmente, las garrapatas pueden ocasionar una reducción de la producción láctea hasta en 48% (Jacho Merino, 2015).

⁹ Número de personas enfermas dentro de una población y periodo determinado.

¹⁰ Parásito que invade y destruye de glóbulos rojos.

¹¹ Bacteria que invade y destruye de glóbulos blancos.

Ambas enfermedades generan malestares en los seres humanos como fiebre, escalofríos, dolores musculares, debilidad, náuseas y/o vómitos, tos y fuertes dolores de cabeza

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

El ciclo de vida de la RBM es de un solo hospedador como se ha mencionado anteriormente, y al eclosionar el huevo, las larvas buscan su hospedero entre la vegetación, al encontrar a su hospedero, en cada estadio de desarrollo se alimenta una sola vez durando varios días. Las garrapatas macho adultas maduran sexualmente después de la alimentación y se aparean con hembras. Una garrapata hembra adulta que se ha alimentado y apareado se separa de su huésped y deposita una gran cantidad de huevos en el medio ambiente, terminando con la vida de esta y comenzando nuevamente el ciclo de vida de las garrapatas RBM. (The Center For Food Security And Public Health & Biologics, 2007). En la Ilustración 1 se puede observar de mejor manera el ciclo de vida de la RBM.

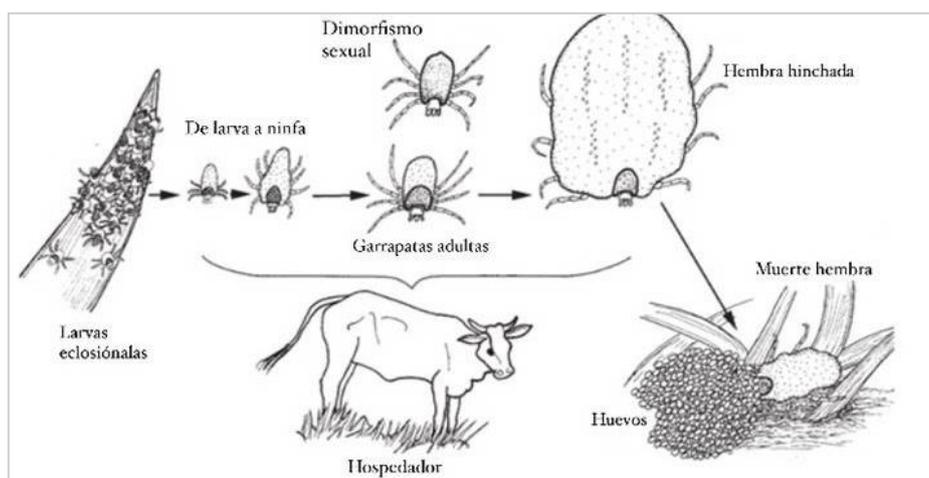


Ilustración 1. Ciclo de vida de la garrapata RBM

Fuente: (Walker AR, Bouattour A, Camicas JL, Estrada-Pena A, Horak IG, Latif AA, 2007)

La RBM es endémica de áreas tropicales y subtropicales, es por ello por lo que el clima es un gran factor determinante al momento de conocer la distribución geográfica de la RBM, de igual manera por su entorno, el paisaje y los movimientos de sus hospederos. La distribución altitudinal tiende a aumentar su distribución, asociado al aumento de la temperatura en las últimas décadas (Estrada-Peña et al., 2012). Su distribución se encuentra gran parte en América

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

(exceptuando Estados Unidos, que la erradicó en entre 1906 y 1943), Asia, África y Australia (The Center For Food Security And Public Health & Biologics, 2007).

***Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en Ecuador**

Como se ha señalado con anterioridad, las garrapatas necesitan de un ambiente de clima cálido para poder desarrollarse, dicho esto, Ecuador cuenta con las condiciones ambientales apropiadas para el desarrollo de garrapatas ya que es un país tropical. Factores como temperatura ($>16^{\circ}\text{C}$), humedad ($>70\%$), precipitación ($600\text{mm}^3/\text{año}$) y altitud ($<1000\text{msnm}$), han hecho que la RBM. sea una especie predominante dentro del ganado vacuno en el Ecuador (Jacho Merino, 2015).

De acuerdo al último censo realizado por el INEC en el 2012, en el país existen un total de 5.24 millones de cabezas de ganado bovino, de las cuales, más del 75 %, se encuentran en zonas infestadas por garrapatas, generando pérdidas económicas significativas (Bolaós Valladares, 2016). Siendo así, la infestación por garrapatas constituye uno de los principales problemas económicos para las explotaciones bovinas, por los efectos directos e indirectos que producen (Bustillos et al., 2015). Las garrapatas de mayor importancia dentro de Ecuador son los géneros *Boophilus (Rhipicephalus)*, *Amblyomma* e *Ixodes* (Coello, 2015).

Sin embargo, siendo un vector de enfermedades destacado, existe escasa información sobre todo lo que abarca conocer esta especie de garrapata, como su identificación, ecología y dinámica poblacional, convirtiéndola en una enfermedad tropical desatendida de suma importancia en los sistemas ganaderos locales (Bustillos & Rodríguez, 2014).

Es por ello que, con el fin de adquirir mayor información acerca de RBM, lo que se pretende realizar dentro del presente documento es identificar las áreas ambientales adecuadas para su desarrollo dentro del Ecuador Continental, ejecutando un modelo de nicho ecológico de

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

garrapatas, contribuyendo de esta manera a su proyección poblacional dentro del territorio, además de determinar si variables socioambientales como la deforestación, bióticas como la cobertura vegetal, y abióticas como la temperatura, precipitación y altitud determinan la distribución potencial poblacional dentro del nicho ecológico de la RBM, al igual que su capacidad de propagar enfermedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre las estrategias que se propone para poder prevenir y mitigar la propagación de enfermedades por vectores se encuentra la modelación de nichos ecológicos, los cuales permiten desarrollar relaciones entre los valores ambientales y los datos de presencia y/o abundancia de las especies, mediante el desarrollo de algoritmos matemáticos permitiendo modelar con mayor precisión el nicho ecológico de las especies, en este caso, de la garrapata del ganado bovino (Illodi & Escalante).

Área de estudio

El área geográfica que comprende la presente investigación es el Ecuador continental excluyendo la región Insular (Galápagos).

Ecuador se encuentra ubicado en Suramérica, al norte limitando con Colombia, al sur y este con Perú, mientras que, al oeste con el Océano Pacífico, cuenta con aproximadamente 283,560 km², convirtiéndolo en el país andino más pequeño. La línea equinoccial lo atraviesa y se extiende entre las latitudes 1°30' N y 5° S y longitudes 75° 20' W y 91° W (Andrea L. Varela y Santiago R. Ron, 2019).

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

La orografía¹² de Ecuador es muy variada, destacando la cordillera de los Andes, que lo atraviesa de norte a sur formando dos cadenas paralelas, las cordilleras oriental y occidental, misma que divide al país en tres regiones bien diferenciadas (Santa et al., 2019). Costa o Litoral, Sierra o Interandina y Amazonia u Oriente, cabe recalcar que los límites entre regiones corresponden a límites provinciales por lo que su definición es política mas no climática o geográfica, no obstante, existen diferencias considerables de topografía¹³ y clima entre regiones (Andrea L. Varela y Santiago R. Ron, 2019). Para tener una mejor idea de la distribución geográfica de Ecuador, en la Ilustración 3, se pueden observar las diferentes regiones con las provincias correspondientes en cada una, además de sus países limitantes.

Las condiciones climáticas del área se ven muy influenciados por distintos factores, como la topografía, que por su rango altitudinal (de 0 a 6300 m) genera un amplio gradiente de temperaturas, de ~0 a 26°C promedio anual y la altitud influencia la cantidad de lluvia, esto quiere decir que las zonas elevadas tienen baja precipitación, mientras que, las zonas bajas, hasta los 2000 m de elevación, presentan amplia variación en la cantidad de lluvia que reciben a lo largo del año (Andrea L. Varela y Santiago R. Ron, 2019). Tomando en consideración estos factores, se presta la Tabla 3, con las cifras promedio anuales de temperatura y precipitación que se registran en las distintas regiones del Ecuador Continental.

Tabla 3. Temperatura y precipitación promedio anual en las regiones del Ecuador Continental.

| Regiones | Temperatura promedio anual | Precipitación promedio anual |
|-----------------|--|---|
| Costa | Oscila entre los 24-25°C, aunque puede llegar a < 22°C en zonas de cordillera | < 60 mm a > 2000 mm, dependiendo influencia de la corriente de Humboldt |
| Sierra | Se encuentra vinculada a la altura. Entre los 1500-3000 m y varían entre 8 y 20°C, con un gradiente de temperatura de ~5°C por cada 1000 m de altura | Entre 800 y 1500 mm |

¹² Parte de la geografía física encargada del estudio, descripción y representación del relieve terrestre.

¹³ Descripción y representación de la superficie o el relieve de un terreno en un plano.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

| Regiones | Temperatura promedio anual | Precipitación promedio anual |
|-----------------|---|-------------------------------------|
| Oriente | De 24-25°C, con máximos de hasta 40°C en el mes de mayo | Máximo de precipitación >4500 mm |

Fuente: (Andrea L. Varela y Santiago R. Ron, 2019)

Ecuador es reconocido por su abundante flora y fauna, la cual se encuentra asociada a una serie de variables ambientales que interactúan y dan origen a diferentes paisajes naturales que conviven con varios tipos de vegetación (Ministerio del Ambiente y Agua, n.d.).

La cobertura y uso de suelo dentro de Ecuador se pueden clasificar de dos maneras; seis clases definidas por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) y 16 clases que acordadas por las entidades encargadas de la generación de información de cobertura de la tierra: Ministerio del Ambiente (MAE), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) (Ministerio del Ambiente y Agua & SUIA, n.d.). Ambas clases se encuentran detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4. Cobertura y uso de la tierra

| IPCC | MAE, MAGAP, IEE |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Bosque | Bosque Nativo |
| | Plantación Forestal |
| Vegetación Arbustiva y Herbácea | Páramo |
| | Vegetación Arbustiva |
| | Vegetación Herbácea |
| Tierra Agropecuaria | Cultivo Semipermanente |
| | Cultivo Anual |
| | Cultivo Permanente |
| | Pastizal |
| | Mosaico Agropecuario (Asociación) |
| Cuerpo de Agua | Natural |
| | Artificial |
| Zona Antrópica | Área Poblada |
| | Infraestructura |
| Otras Tierras | Área sin cobertura vegetal |
| | Glaciar |

Fuente: (Ministerio del Ambiente y Agua & SUIA, n.d.)

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

La cobertura del suelo dentro de Ecuador cuenta con permanentes amenazas dadas por una continua y persistente presión del ser humano sobre los recursos naturales, como por ejemplo la deforestación, siendo un problema que afecta gravemente al Ecuador desde hace casi tres décadas, a pesar de que se cuenta con planes de reforestación y de la reforestación natural de cada zona. Los datos más actualizados del MAAE (2018), indican que cada año se pierde un promedio de 94.353 hectáreas de bosque en el país, un área que, según la FAO, es bastante grande en comparación con otros países de la región con mayor territorio (Montaño, 2021). En los últimos 26 años el país ha perdido más de 2 millones de hectáreas de bosque tropical, es decir, cerca del 7,8 % de la superficie total del Ecuador (B. Torres et al., 2020). Para conocer los porcentajes de deforestación, primero se debe tener en cuenta la deforestación bruta y neta, la primera es la deforestación realizada antropológicamente, mientras que la segunda es el resultado “real de deforestación” ya que se considera el porcentaje de reforestación, es decir, es la diferencia entre la pérdida y ganancia de la superficie.

Con el fin de tener una mejor visualización con la información obtenida la plataforma SUIA en cuanto la cobertura vegetal del Ecuador y también los porcentajes de deforestación entre los años seleccionados para el presente estudio, se presenta la Ilustración 2, cabe mencionar que ambos mapas tienen los puntos de muestreo presentes.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

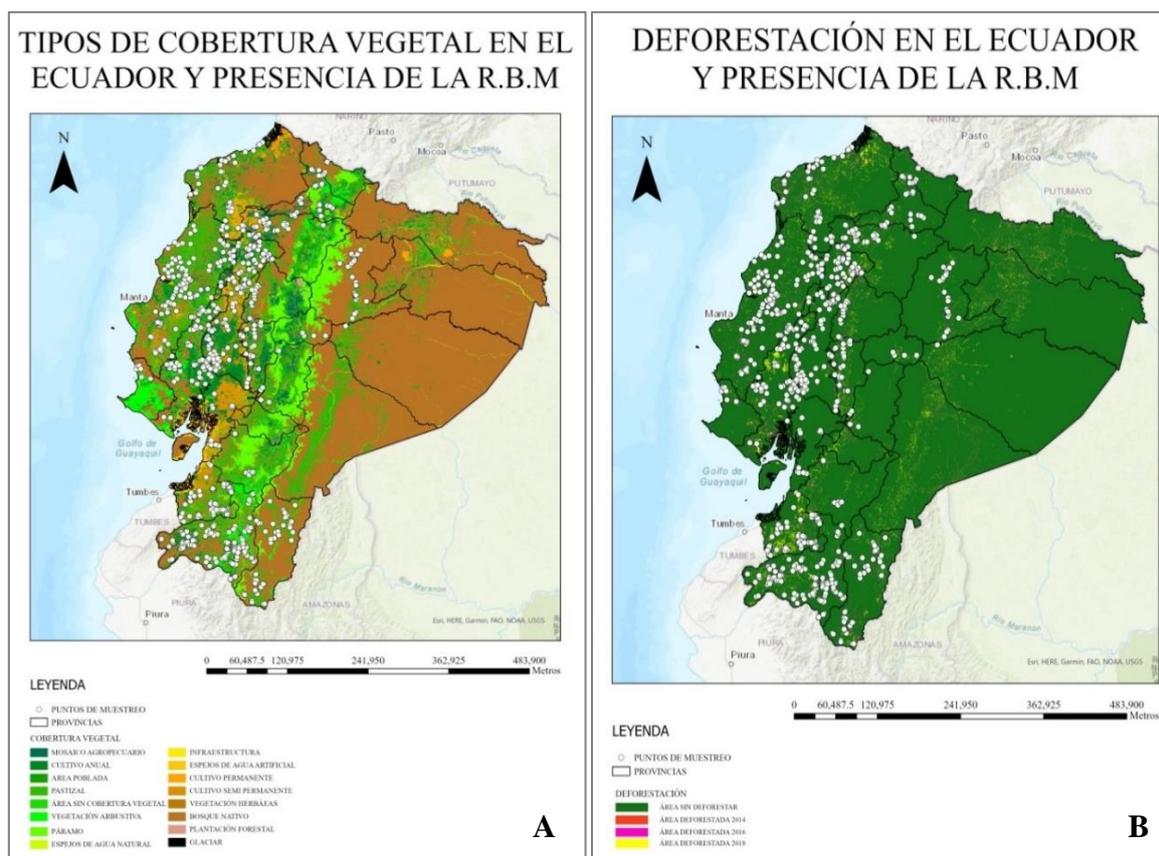


Ilustración 2. Los puntos blancos son las muestras que se tomaron entre 2011 y 2018. A) 16 tipos de cobertura vegetal en el Ecuador. B) Deforestación en el Ecuador, se diferencian los tres años agrupados, de color naranja el año 2014 (189,988 ha de deforestación neta), de color rosa el año 2016 (183,336 ha de deforestación neta) y amarillo el año 2018 (116,858 ha de deforestación neta).

Puntos de muestreo

Los datos de muestreo se obtuvieron gracias al Instituto de Investigación en Zoonosis de la Universidad Central del Ecuador, quienes realizaron una encuesta a nivel nacional dentro de Ecuador excluyendo Galápagos, con el fin de determinar zonas donde se encuentre presente la tuberculosis y Brucelosis bovina. A partir de ello, los muestreos se realizaron dentro del periodo 2011 y 2018, exceptuando el año 2017, ya que dentro de este año no se salió a campo debido a falta de recursos para las investigaciones.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tomando como base la encuesta, se realizó un muestreo aleatorio en fincas en las tres Regiones, obteniendo datos en 19 provincias: Azuay, Bolívar, Carchi, Napo, Sto. Domingo, Chimborazo, Cotopaxi, El oro, Pastaza, Tungurahua, Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Pichincha, Zamora Chinchipe, Loja, Los Ríos, Manabí y Sta. Elena. Cabe mencionar que las cuatro provincias restantes no son consideradas ya que, al momento de obtener los resultados de la encuesta, estas contaban con datos escasos sobre la tuberculosis bovina. También cabe mencionar que se realizó un exhaustivo muestreo en la región Costa, más que en la Sierra y que en el Oriente. En la Ilustración 3, se encuentra un mapa con las provincias seleccionadas para el muestreo.



Ilustración 3. Mapa del Ecuador Continental junto a su división regional y las provincias seleccionadas para el muestreo de las garrapatas

Durante el muestreo, se realizó búsqueda de vectores transmisores de enfermedades presentes en los hospedadores vacunos, entre ellos las garrapatas. Se consideraron todas las fases

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

vida de estas, se realizó un análisis de laboratorio dentro del mismo Instituto de Investigación en Zoonosis de la Universidad Central del Ecuador para determinar la especie encontrada, obteniendo 3314 ejemplares de las cuales 2312 correspondían a *Rhipicephalus Boophilus Microplus*, colocando en una hoja EXCEL todas y cada uno de los datos.

Finalmente se realizó una segregación de información de la base de datos madre para solo obtener una base de datos con la ubicación de cada muestra, (provincia, latitud, longitud) la cual se registró manualmente en el momento de realizar el muestreo, y de la especie. Finalmente se transformó el formato de la hoja de EXCEL a CSV, formato requerido para su uso posterior en los programas a utilizar.

Datos ambientales

Por otro lado, para la obtención de las variables ambientales como cobertura vegetal y deforestación se descargaron en la página oficial del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), mientras que las variables climáticas como temperatura mínima y máxima, al igual que la precipitación, se obtuvieron en la página oficial de World Clim. Estos datos se desplegaron cartográficamente en una resolución 30x30 m.

En la Tabla 5 se presentan las variables de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, cobertura vegetal y deforestación que se utilizaron para el proceso de modelación. Cabe mencionar que, en la plataforma SUIA, los datos se encontraron agrupados por determinados años, es por ello por lo que tanto las temperaturas como las precipitaciones se agruparon de la misma manera, para así tener un grupo de datos dentro de los mismos periodos y que, además tengan concordancia con los años en los cuales se realizó el muestreo de garrapatas.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 5. Variables climáticas incluidas en la modelación de nicho ecológico de *Rhipicephalus (Boophilus) Microplus*.

| Código de variables | Descripción | Unidades |
|---------------------|--------------------------------------|------------------|
| Tempmax_14 | Temperatura Máxima periodo 2011-2014 | °C |
| Tempmax_16 | Temperatura Máxima periodo 2014-2016 | °C |
| Tempmax_18 | Temperatura Máxima periodo 2016-2018 | °C |
| Tempmin_14 | Temperatura Mínima periodo 2011-2014 | °C |
| Tempmin_16 | Temperatura Mínima periodo 2014-2016 | °C |
| Tempmin_18 | Temperatura Mínima periodo 2016-2018 | °C |
| Pp_14 | Precipitación periodo 2011-2014 | mm |
| Pp_16 | Precipitación periodo 2014-2016 | mm |
| Pp_18 | Precipitación periodo 2016-2018 | mm |
| Cobv_14 | Cobertura Vegetal periodo 2011-2014 | - |
| Cobv_16 | Cobertura Vegetal periodo 2014-2016 | - |
| Cobv_18 | Cobertura Vegetal periodo 2016-2018 | - |
| Def_14 | Deforestación periodo 2011-2014 | km ² |
| Def_16 | Deforestación periodo 2014-2016 | km ² |
| Def_18 | Deforestación periodo 2016-2018 | km ² |
| Long | Longitud | Minutos y grados |
| Lati | Latitud | Minutos y grados |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

Construcción de los modelos de distribución

Para la construcción del modelo y distribución geográfica de la especie de garrapata RBM, se utilizaron distintas herramientas de geoprocésamiento, entre ellas ArcGis, Maxent y Dinámica EGO.

Con ayuda del ArcGis, un software¹⁴ que permite manipular, analizar y presentar información que está vinculada a una ubicación espacial, donde se pueden evaluar múltiples escenarios de manera eficiente y efectiva, además de permitir modelar y organizar la

¹⁴ Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

información geográfica en forma de capas temáticas (Daniel et al., 2004); se homologaron las unidades, coordenadas y distribución geográficas de las capas correspondientes a las variables ambientales. Primero se utilizó la herramienta “extraer por máscara” para recortar los mapas representativos de las temperaturas y precipitaciones, ya que, al ser datos con información a nivel mundial, era necesario extraer solamente del área del presente estudio. Cabe mencionar que, utilizando esta herramienta, en la pestaña de “ambientes”, también se cambió el sistema de coordenadas geográficas a WGS 84 y el tamaño de píxel a 0,00027027 grados (se optó por este tamaño de celda ya que de esta manera se obtiene una buena imagen de mapa sin distorsionarse), logrando de esta manera que todas las capas tengan las mismas coordenadas geográficas y el mismo tamaño de píxel. Como se indicó en la Ilustración 2, la información de las capas de cobertura vegetal y deforestación está agrupada en los años 14, 16 y 18, es por ello por lo que se realizó lo mismo con las capas de temperatura y precipitación mediante el uso de las herramientas “estadística de celdas” y “calculadora ráster” correspondientemente. Posteriormente, se transformó su formato ráster a ASCII, ya que es necesario para que funcionen en el siguiente programa.

Con el software Maxent, Maximum Entropy, un algoritmo¹⁵ que genera modelos de distribución geográfica, partiendo de una serie de correlaciones estadísticas entre variables ambientales y puntos de presencia-ausencia conocidos de una especie determinada, permitiendo identificar áreas potencialmente adecuadas, dentro de una superficie geográfica (S. J. Phillips & Dudík, 2008), además, de permitir visualizar las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales, estima el aporte y la importancia de cada variable en la distribución de la especie (S. B. Phillips et al., 2006); se establecieron parámetros determinados para ejecutar el algoritmo, entre estos se estableció un 100% de registros de presencia

¹⁵ Es el conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución a un tipo de problema.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

registrados en los muestreos (2312 muestras), el formato de salida fue “logístico” ya que arroja un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia, se mantiene el máximo de iteraciones predeterminado en Maxent (500) y se ajustó el radio de muestra, es decir el tamaño de los puntos de presencia se ajustó a -10 para que no salgan tan grandes en los mapas. Finalmente se cargaron las variables ambientales en la sección correspondiente al igual que la base de datos que contenía las muestras de RBM junto con las coordenadas de latitud y longitud. Cabe mencionar que, en la sección de las variables ambientales, tanto la cobertura vegetal como la deforestación se cargaron como variables categóricas, mientras que las temperaturas y la precipitación como variables continuas. Primero se realizó un modelo predictivo con las variables ambientales de cobertura vegetal, posteriormente con la variable deforestación y finalmente con ambas variables, para determinar que variable es la que más incide en la distribución de la RBM.

Para agregar un último análisis de resultados se da paso a Dinámica EGO, Environment for Geoprocessing Objects, un software que permite el desarrollo de modelos sofisticados de cambios de cobertura, uso de suelo, deforestación, entre otros factores ambientales, facilitando el desarrollo de escenarios futuros (Espinoza, 2017), es decir, Dinámica EGO es un instrumento para investigar las trayectorias del paisaje y la dinámica de los fenómenos espaciales (Oliveira Rodrigues et al., 2013). Los modelos solo de cobertura vegetal y los modelos cobertura vegetal y deforestación obtenidos de Maxent se utilizaron en Dinámica EGO con el fin de comparar la similitud que el software arroja entre los mapas y determinar qué tan fiable es el modelo proyectado. Lo primero que se hace es cargar los modelos en Arcgis y reclasificar los datos del modelo en 50% presencia y 50% ausencia de la RBM, tanto de los años 2014, 2016 y 2018, guardándolos en formato tiff para su uso posterior. Al abrir Dinámica EGO, lo que se pretende crear es un diagrama de flujo, cargando en la barra “Library” los comandos: “Load categorical

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

map” para cargar los modelos reclasificados, “Calc similarity of differences” la cual es una herramienta que realiza la comparación entre mapas y en la cual se cambia el número de ventanas a tres con el fin de tener resultados más precisos, y finalmente el comando “save map” para guardar el modelo resultante. Este proceso se realizó dos veces, teniendo como resultado dos mapas, uno comparando los mapas del 2016 y otro con los mapas del año 2018, cabe mencionar que no se realizó mapas del año 2014 ya que para que el programa funcione correctamente se necesita información de un periodo anterior a este, y la presente información solo contempla los periodos mencionados.

RESULTADOS

Siguiendo la metodología descrita, a continuación, se presentan una serie de gráficos e ilustraciones con los resultados de los distintos modelos de proyección de la RBM.

Uno de los primeros diagramas que arroja Maxent es un diagrama de omisión, los cuales se pueden observar en la sección de anexos entre las Ilustración 8, Ilustración 9 e Ilustración 10, correspondiente a cada periodo. Lo que indican estas gráficas es la tasa de omisión del área pronosticada en función del umbral acumulativo, es decir, indican cuán favorable es el modelo con relación a la realidad y con los puntos de presencia ingresados.

El segundo grupo de diagramas que arroja Maxent son gráficas de ROC o AUC, de igual manera, estas ilustraciones se encuentran en la sección de anexos entre las Ilustración 11, Ilustración 12 e Ilustración 13. Estos gráficos describen cómo el modelo genera un mayor éxito en la predicción de zonas, es decir si, el AUC se considera bueno si está entre 0,80-0,90; aceptable entre 0,70-0,80; malo entre 0,60-0,70 y finalmente no es válido entre 0,50-0,60 (Araujo et al., 2005).

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Posterior a este conjunto de diagramas se obtiene un mapa que muestra los resultados del análisis por medio de una representación gráfica degradada en color, el cual simboliza la probabilidad de encontrar a la RBM dentro del Ecuador Continental. Las zonas de color rojo indican mayor probabilidad (100%), mientras que las zonas de color azul indican una nula probabilidad (0%) de encontrar la especie de la presente investigación. Cabe mencionar que las figuras de color blanco de los mapas son las muestras reales que se utilizaron para la elaboración de estos.

Finalmente se presenta un cuadro en el cual se puede observar la importancia de las variables ambientales al momento de crear y finiquitar el modelo, estos son el porcentaje de contribución, el cual determina cuanto apporto la variable ambiental al momento de realizar el modelo, y por otro lado el porcentaje de permutación, que es cuán importante fue la variable dentro del modelo al terminarlo.

A continuación, se detallan los resultados anteriormente mencionados con respecto a las variables principales de estudio, como lo son la cobertura vegetal y la deforestación, agrupadas en el conjunto de años previamente indicados. Cabe resaltar nuevamente que, los resultados vienen con el sesgo de haber realizado los muestreos de manera exhaustiva en la región de la Costa a comparación de la región Sierra y Oriente, es por ello por lo que, los resultados tienden a verse más presentes en la región Costa y un poco en la Sierra.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Cobertura vegetal

En la Ilustración 4, se encuentran los mapas del modelo para la RBM tomando en consideración la variable ambiental de cobertura vegetal. Se pueden observar zonas de color naranja y amarillo, que representan entre el 92% y 77% de probabilidad de presencia a lo largo de la cordillera, indica una presencia bastante a conglomerada, sobre todo en la parte norte del país en las provincias de Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas, en la parte sur del país en las provincias de El Oro, Azuay y Loja, al oeste entre las provincias Guayas y Manabí, y al este con la provincia de Morona Santiago (provincia donde no se realizó el muestreo).

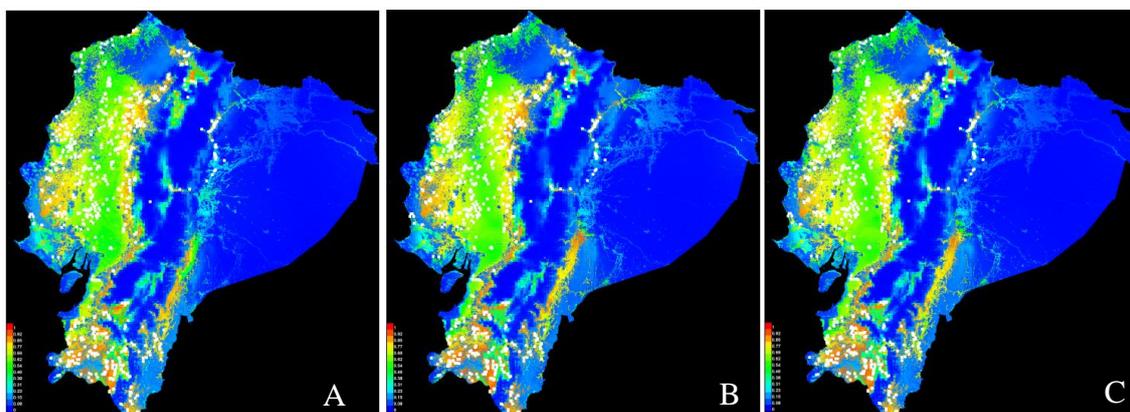


Ilustración 4. Modelos de proyección poblacional con la variable ambiental “Cobertura Vegetal”. A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018.

En la

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 6 se presentan el porcentaje de contribución y permutación correspondientes a cada grupo de años con relación a la variable de cobertura vegetal. Como se puede observar, en cada uno la cobertura juega un papel destacado ya que su contribución al momento de realizar el modelo es bastante elevada en comparación de las otras variables, de igual manera, el porcentaje de permutación es alto, sobre todo en el grupo del año 2016.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 6. Contribución de la variable ambiental "Cobertura Vegetal" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años.

| Variable | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación |
|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 2014 | | |
| Cobv | 64,3 | 52,4 |
| Tempmin | 21,2 | 21,8 |
| Pp | 13,5 | 17,9 |
| Tempmax | 1 | 7,9 |
| 2016 | | |
| Cobv | 66,5 | 60,7 |
| Tempmin | 20,9 | 17,7 |
| Pp | 12 | 13,5 |
| Tempmax | 0,6 | 8,1 |
| 2018 | | |
| Cobv | 64,5 | 57,1 |
| Tempmin | 20,1 | 20,2 |
| Pp | 14,5 | 15,7 |
| Tempmax | 1 | 7 |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

Deforestación

La Ilustración 5 se observan los mapas del modelo para la RBM tomando en consideración la variable ambiental de deforestación. Dentro de los mapas se puede observar zonas de color naranja y amarillo que representan entre 85% y 77% de probabilidad de presencia al sur del país, en las provincias El Oro, Loja y Azuay, así mismo en el oeste en las provincias del Guayas, Santa Elena y Manabí. Cabe mencionar que, a diferencia de los mapas de cobertura vegetal, en la Ilustración 5 no existe presencia tanto en la zona noreste del país ni sobre la cordillera, a pesar de tener una considerable presencia de muestreos sobre estas zonas.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

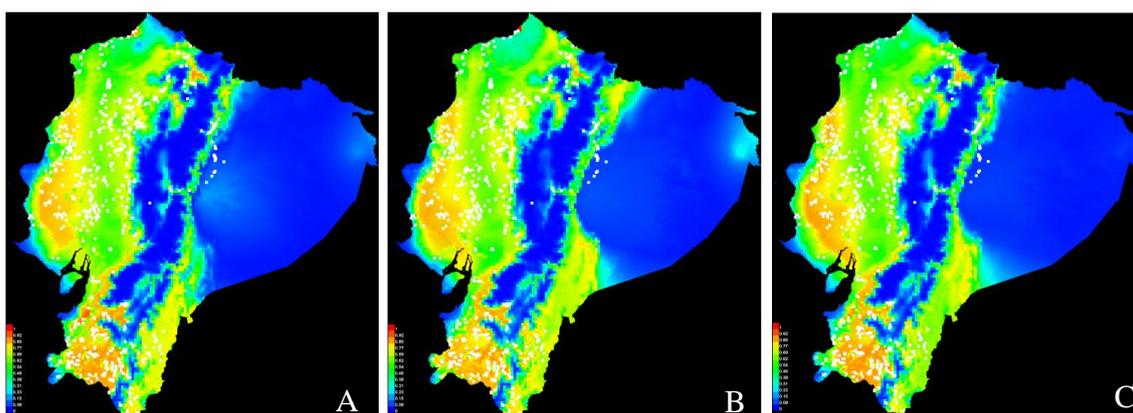


Ilustración 5. Modelos de proyección poblacional con la variable ambiental "Deforestación". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018.

En la Tabla 7 se presentan el porcentaje de contribución y permutación correspondientes a cada grupo de años con relación a la variable de deforestación. Como se puede observar y al contrario que la variable de cobertura, los porcentajes son realmente bajos, siendo estos los últimos en los tres grupos de años, dando así un porcentaje de contribución mucho más bajo que el porcentaje de permutación, es decir, al momento de realizar el modelo, esta variable no contribuyó casi nada, pero para el modelo final, aportó un poco más para determinar las zonas de probabilidad.

Tabla 7. Contribución de la variable ambiental "Deforestación" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años

| Variable | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación |
|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 2014 | | |
| Pp | 61,7 | 57,2 |
| Tempmax | 36 | 36,5 |
| Tempmin | 2 | 5,6 |
| def | 0,3 | 0,6 |
| 2016 | | |
| Pp | 58,4 | 50,4 |
| Tempmax | 37,9 | 41,4 |
| Tempmin | 3,2 | 7,3 |
| def | 0,5 | 0,8 |
| 2018 | | |
| Pp | 61,7 | 60 |
| Tempmax | 34,4 | 29,4 |

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHU ECOLÓGICO DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

| Variable | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación |
|----------|----------------------------|----------------------------|
| Tempmin | 3,6 | 9,9 |
| def | 0,3 | 0,7 |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

Cobertura vegetal y Deforestación

Se optó por realizar un modelo incluyendo ambas variables ambientales, cobertura y deforestación, para determinar si en conjunto inciden en la distribución de la RBM, dicha información se presenta en la Ilustración 6. Como se puede observar, los mapas presentes tienen gran similitud con los mapas que contienen solamente la variable de cobertura vegetal, ya que existe presencia a lo largo de la cordillera, al sur y/o este del país (entre un 92% y 77% de probabilidad).

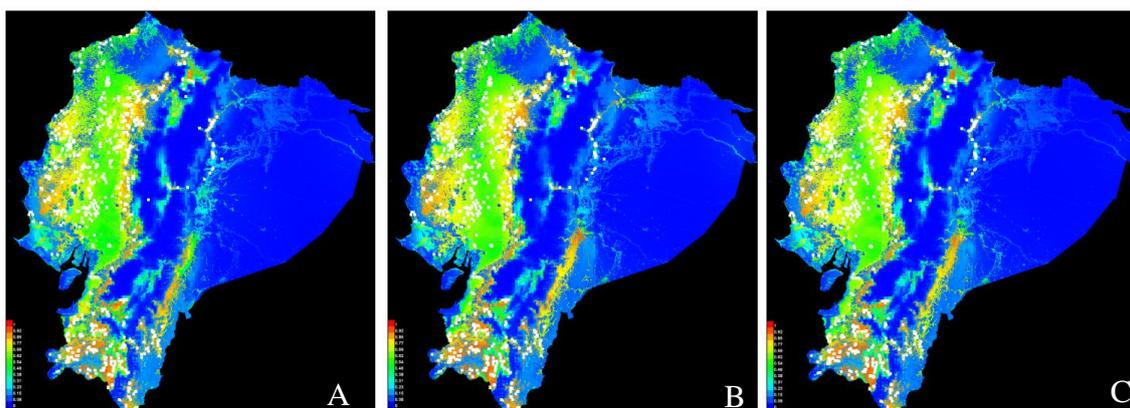


Ilustración 6. Modelos de proyección poblacional con las variables ambientales “Cobertura Vegetal y Deforestación”. A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018.

Asimismo, en la Tabla 8 se presentan los cuadros del porcentaje de contribución y permutación considerando ambas variables. Nuevamente la variable de cobertura contiene un porcentaje de contribución bastante elevado en comparación de las demás a pesar de que la importancia al terminar el modelo no es igual de elevada, sin embargo, sigue siendo la variable con mayor aportación e importancia durante y después del modelo. También se puede observar que la variable de deforestación sigue ocupando un puesto realmente bajo, siendo el penúltimo

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

en cuanto a su porcentaje de contribución, pero siendo el último en cuenta a su importancia al momento de terminar el modelo. En la sección de anexos, se encuentran los cuadros completos sobre la contribución y permutación de cada una de las variables ambientales, no solo de cobertura vegetal y deforestación, en la Ilustración 14, Ilustración 15 e Ilustración 16.

Tabla 8. Contribución y permutación de las variables ambientales "Cobertura Vegetal y Deforestación" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años

| Variable | Porcentaje de contribución | Importancia de permutación |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 2014 | | |
| Cobv | 63,8 | 52,9 |
| Tempmin | 21,3 | 22,2 |
| Pp | 13,1 | 18 |
| def | 1 | 0,9 |
| Tempmax | 0,8 | 6 |
| 2016 | | |
| Cobv | 66,4 | 58,9 |
| Tempmin | 20,8 | 19,7 |
| Pp | 11,7 | 14,8 |
| def | 0,6 | 0,4 |
| Tempmax | 0,5 | 6,3 |
| 2018 | | |
| Cobv | 64 | 55,5 |
| Tempmin | 20,2 | 20,7 |
| Pp | 14 | 16,3 |
| def | 1,2 | 1,1 |
| Tempmax | 0,6 | 6,2 |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

El Índice o Coeficiente Kappa se utiliza para clasificar un conjunto de información en diferentes momentos, por lo tanto, los resultados obtenidos se reflejan en la

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 9. Cabe mencionar que siempre se escoge el porcentaje menor de ambos resultados, ya que el porcentaje es mucho más confiable.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Tabla 9. índice Kappa

| Índice Kappa | Cobertura Vegetal y Cobertura Vegetal + Deforestación 2016 | Cobertura Vegetal y Cobertura Vegetal + Deforestación 2018 |
|-------------------------------|--|--|
| Primer promedio de similitud | 93,5% | 92,9% |
| Segundo promedio de similitud | 87,8% | 63,9% |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

En la Ilustración 7 se puede demostrar de manera visual los porcentajes de similitud anteriormente mencionados. El mapa “A” corresponde a los modelos correspondientes al año 2016, mientras que el mapa “B” corresponde a los modelos del año 2018. Cada mapa tiene un rango de valores representado por colores de 0-1, siendo las áreas de color rojo las más cercanas a 1, obteniendo así que el mapa “A” es el que corresponde a un mayor porcentaje de similitud.

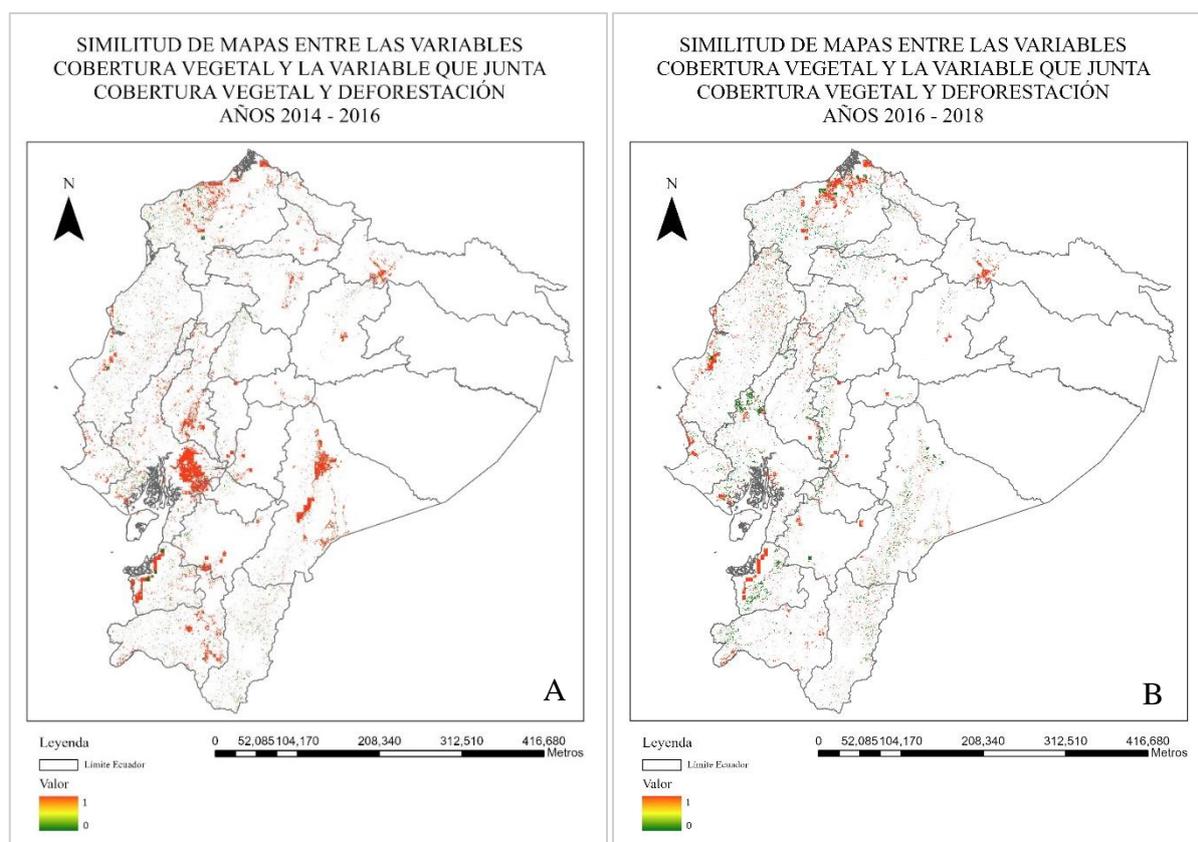


Ilustración 7. Mapas de similitud.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dependiendo de los parámetros que se coloquen para correr los modelos en Maxent, este arroja dos tipos de errores al momento de realizar el modelo, el primero es de omisión y el segundo es de comisión. El uno se diferencia del otro en cuanto a la manera de predecir, es decir, la omisión es el error que predice la ausencia de la especie en las áreas que no son favorables para la misma, mientras que el error de comisión predice la presencia de la especie en las áreas donde no se encuentra. Dentro del presente estudio se obtuvieron diagramas de omisión, en los cuales se puede observar cómo la tasa de omisión (línea azul) se encuentra muy cercana a la omisión predicha (línea negra). Dicho esto, a partir de estas gráficas se pueden examinar la secuencia de resultados que se presentan posteriormente, ya que estas otorgan una idea general de cuán favorables son los modelos.

En la Ilustración 8, la cual hace referencia a la variable de cobertura vegetal, se puede observar como la tasa de omisión se encuentra muy cercana a la omisión predicha y no existen variaciones destacables entre los tres grupos de años dentro del presente estudio. Esto se puede deducir a que no ha existido variaciones a gran escala sobre la cobertura vegetal dentro del Ecuador, sin embargo, hay que mencionar que la gráfica del año 2016 es la que mejor se acopla a la omisión predicha, siendo el grupo de años con más cambios en la cobertura vegetal como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Cambio de cobertura vegetal en porcentajes

| Variable | Cobertura Vegetal |
|-----------------|--------------------------|
| Cobv_2014 | 3% |
| Cobv_2016 | 5,8% |
| Cobv_2018 | 4,1% |

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017)

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

En la ilustración Ilustración 9, se muestra la variable de deforestación y se puede observar que la tasa de omisión se encuentra menos uniforme en comparación a la Ilustración 8, teniendo el grupo de años del 2014 y 2018 con una menor deforestación que el grupo de años del 2016, siendo este último el gráfico con menos variaciones con respecto a la tasa de omisión y la omisión predicha. La cantidad de deforestación correspondiente a cada año se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos de deforestación comprendidos entre los años 2011-2014

| Variable | Deforestación |
|-----------------|----------------------|
| Def_2014 | 47.497 ha/año |
| Def_2016 | 61.112 ha/año |
| Def_2018 | 58.429 ha/año |

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017)

La información otorgada por este conjunto de gráficos se puede interpretar de la siguiente manera: a menor deforestación, la tasa de omisión tendrá secciones en donde se aleje de la omisión predicha por el programa, pero a mayor deforestación, la tasa estará más cerca. Algo parecido ocurre en cuanto a la cobertura vegetal, a mayor cambio de cobertura vegetal la tasa de omisión estará más cerca de la omisión predicha. Estos resultados tienen sentido ya que, como se mencionó en la introducción, los cambios y/o alteraciones en el nicho ecológico están vinculados con la distribución de vectores, pero en lo que hay que hacer hincapié es que la RBM se encuentra sobre su hospedador vacuno y realmente es por este que el nicho cambia, ya que, a mayor deforestación y variación en la cobertura vegetal para el desarrollo del ganado, permite la distribución de la RBM, demostrando esto con la tasa de omisión en los gráficos correspondientes.

Anteriormente se mencionó que se optó por juntar ambas variables para determinar si existiría alguna diferencia en cuanto a modelos independientemente. En la Ilustración 10, se puede observar que los gráficos de omisión son muy similares a los de cobertura, dejando claro

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

desde el comienzo que, la variable de cobertura tiene un peso bastante incidente sobre el modelo, ya que la tasa de omisión se asemeja a la omisión predicha. Cabe recalcar que, en ambas variables correspondientes al año 2016, son las que más se asemejan a la omisión predicha.

Ahora bien, para recordar, el AUC permite determinar la precisión entre 0 y 1 de cuán acertado resulta ser el modelo realizado. Araujo menciona que dentro de determinados rangos establecidos el modelo tiene o no buena precisión (Araujo et al., 2005), y para simplificar dicha información se presenta la Tabla 12, en donde se puede ver que la cobertura vegetal, a comparación de la deforestación, arrojó modelos de buena precisión ya que son mucho más cercanos a 1. Además, se puede verificar que el grupo de años 2016 coincide con el mayor AUC, también cabe mencionar que, al juntar ambas variables, el AUC aumentó en su tercer decimal en comparación con la variable de solo cobertura vegetal, esto quiere decir que la variable de deforestación aportó para que el AUC aumentara, dejando como resultado un modelo con buena precisión.

Tabla 12. AUC de cada modelo correspondiente a cada grupo de variables

| VARIABLE | AUC | Precisión |
|------------------|------------|------------------|
| Cobv_14 | 0.844 | Bueno |
| Cobv_16 | 0.847 | Bueno |
| Cobv_18 | 0.846 | Bueno |
| Def_14 | 0.780 | Aceptable |
| Def_16 | 0.794 | Aceptable |
| Def_18 | 0.792 | Aceptable |
| Cobv_14 y Def_14 | 0.845 | Bueno |
| Cobv_16 y Def_16 | 0.849 | Bueno |
| Cobv_18 y Def_18 | 0.848 | Bueno |

Elaborado por: Nicole Rodríguez

Los mapas que nos arroja el programa son los más interesantes de analizar debido a su grado de color, el cual indica las zonas de presencia y no presencia de la RBM. En general y debido al sesgo de muestreo, los mapas indican una presencia de 92% al 77% de alta presencia

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

en las provincias donde se realizó un muestreo exhaustivo y en aquellas provincias donde se realizó un menor esfuerzo de muestreo. Lo que hace realmente interesante los resultados que arrojan los mapas, es que, a pesar de no haber realizado un muestreo relevante en las zonas de la región del Oriente, el modelo arroja pequeños indicios de la presencia que puede existir de la RBM como se ha observado con las variables de cobertura vegetal y deforestación independientemente y en conjunto. Como se ha visto en los diagramas de omisión y de AUC, los mapas corroboran visualmente que en el conjunto de años del 2016 es el modelo que proyecta una mayor presencia de la RBM, siendo un modelo bastante fiable.

El que un modelo arroje mejores resultados con ambas variables concuerda con lo que Estrada Peña menciona, la distribución y propagación de las garrapatas y de cualquier ser vivo se ve influenciado por dos o más variables dentro de su entorno, es por ello que los modelos de proyección poblacional mejoran al juntar las variables de cobertura vegetal y deforestación (Walker AR, Bouattour A, Camicas JL, Estrada-Pena A, Horak IG, Latif AA, 2007)(Estrada-Peña et al., 2012).

Al realizar el muestreo sobre los hospedadores vacunos, los datos de contribución y permutación tanto de la tabla Tabla 8 como de las Ilustración 14, Ilustración 15 e Ilustración 16, indican que las variables de temperatura y precipitación no son las variables principales para la distribución de la RBM, a pesar de que ocupan un porcentaje elevado, dando paso a que la cobertura vegetal sea la variable que más contribución aporte al momento de realizar los modelos, dejando a la variable de deforestación como última en cuanto a la importancia de permutación. Sin embargo, no hay que dejar de lado el hecho de que si el muestreo de garrapatas se hubiese sobre la vegetación, tanto la precipitación como la temperatura jugarían los papeles más importantes sobre los modelos, ya que estos dos son factores, en condiciones apropiadas,

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

aportan para el desarrollo y distribución de las garrapatas, entre ellas la RBM como se menciona Roberto Bustillos, (Bustillos et al., 2015), y Ecuador cuenta con aquellas condiciones.

El índice Kappa correspondientes a los modelos del grupo de años 2016 y 2018, otorgan un 87,8% y un 63,9% de similitud correspondientemente, indicando que el porcentaje de similitud del mapa 2016 es mucho más alto que el mapa de 2018, lo cual se puede divisar en las ilustraciones de los mapas de cada uno obteniendo más zonas de color rojo correspondiente a 1, siendo el valor que permite un alto porcentaje de similitud. Estos datos nuevamente confirman que ese grupo de años ha sido el que mayor contribuyó para la realización de proyecciones poblacionales de la RBM.

CONCLUSIONES

Como se puede observar, las enfermedades emergentes y reemergentes han despertado gran interés en distintos países a lo largo de los años debido a que representan problemas de salud a nivel mundial, pues muchas de estas se consideran catastróficas por la elevada morbilidad que generan, además del costo que representan, convirtiéndose no solamente en un problema de salud sino también en un problema económico para un país ya que depende de espacios físicos delimitados con características geográficas y ecológicas. Dicho esto, dentro de Ecuador es innegable mejorar el diagnóstico de la infestación y transmisión de enfermedades por garrapatas ya que, según las estadísticas, más del 75% de ganado ecuatoriano se encuentra en zonas con una alta presencia de garrapatas trayendo consigo problemas para el sector ganadero perjudicando la explotación bovina desfavoreciendo la economía de los sectores de producción. Al relacionar variables ambientales de Ecuador Continental con datos de presencia

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

sobre la RBM, ha permitido realizar un modelo de nicho ecológico para poder prevenir y mitigar la propagación de enfermedades transmitida por la misma.

Realizar modelos de nicho ecológico permite reconocer al menos tres áreas de interés al momento de analizarlos, estas áreas son la área ocupada, la cual se evidencia como los puntos de muestreo realizados, y el área potencial e invadible, las cuales se evidencian en los mapas con degradado de colores, demostrando que las áreas potenciales para la población de garrapatas se encuentra entre los colores rojo, naranja y amarillo, mientras que las áreas invadibles son aquellas que se demuestran con colores verdes, celestes y azules. Debido a que los muestreos se realizaron sobre los hospedadores, mas no en la vegetación, y al no haber extraído la misma cantidad de muestras en las regiones del Ecuador Continental, es claro que los datos otorgaran resultados hacia la costa y un poco en la sierra, mas no tanto en la región de la amazonia, sin embargo, se pudo divisar pocas áreas potenciales en esta región, es decir áreas de color naranja y amarillo.

Otro factor importante de mencionar que es, el realizar modelos de distribución geográfica trae consigo una doble interpretación, ya que se determinan las variables favorables para la distribución de una especie y las no favorables. Dentro del presente estudio se determinó que la variable cobertura vegetal fue la que más peso tuvo en la construcción de los modelos y esto se pudo evidenciar en cada una de las gráficas arrojadas por Maxent, por otro lado también se observó que hay variables que inciden menos en la distribución de la RBM como lo es la deforestación, sin embargo, la combinación variables como deforestación y cobertura vegetal, el modelo fortaleció la identificación y veracidad de las posibles áreas pobladas por garrapatas, esto es importante ya que en la literatura utilizada para el presente proyecto si menciona el hecho de que la distribución de las especies se puede comprobar de mejor manera al momento de combinar dos o más variables.

RECOMENDACIONES

Con el fin de tener datos que abarquen una mayor área de muestreo, se recomienda realizar muestreos igualitarios entre las provincias del Ecuador Continental, y así contar con evidencia suficiente para tener modelos de proyección poblacional que tengan una mayor cobertura, y determinar cuál de las variables ambientales o las antropogénicas es el mayor responsable de las variaciones de la distribución geográfica y abundancia de la RBM.

Al ser parte del agroecosistema, la garrapata *Rhipicephalus Boophilus microplus* tiene una estrecha relación con su hospedador, sin embargo y debido a las graves consecuencias tanto económicas como de salud, es necesario considerar implementar un control integrado de garrapatas. Para ello existen múltiples estrategias de control, entre ellas se puede tomar como referencia las acciones tomadas por EE. UU., ya que este pudo erradicar esta especie de garrapatas dentro de su geográfica, además también existen estudios realizados en Uruguay sobre la tristeza bovina y las medidas que se han tomado para poder tratarla. Cabe mencionar que hay que considerar las medidas a tomar, ya que muchas de esas cuentan con el uso indiscriminado de garrapaticidas que traen consigo consecuencias ambientales y de salud devastadoras para los ecosistemas y las personas, para ello se pueden optar por los controles de resistencia bovina para evitar pérdidas de ganado, siempre teniendo en cuenta que pueden generarse poblaciones de garrapatas resistentes.

Antes que nada y debido a la escasa información que se tiene sobre las garrapatas, es necesario conocer las relaciones dinámicas que estas establecen con su entorno y dentro del sistema vacuno, siendo este el punto de partida la construcción de un modelo de control de la RBM, productores toman decisiones amigables con el medio ambiente y que no perjudique a la producción vacuna.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHU ECOLÓGICO DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

ANEXOS

A-1. Diagramas de omisión/comisión

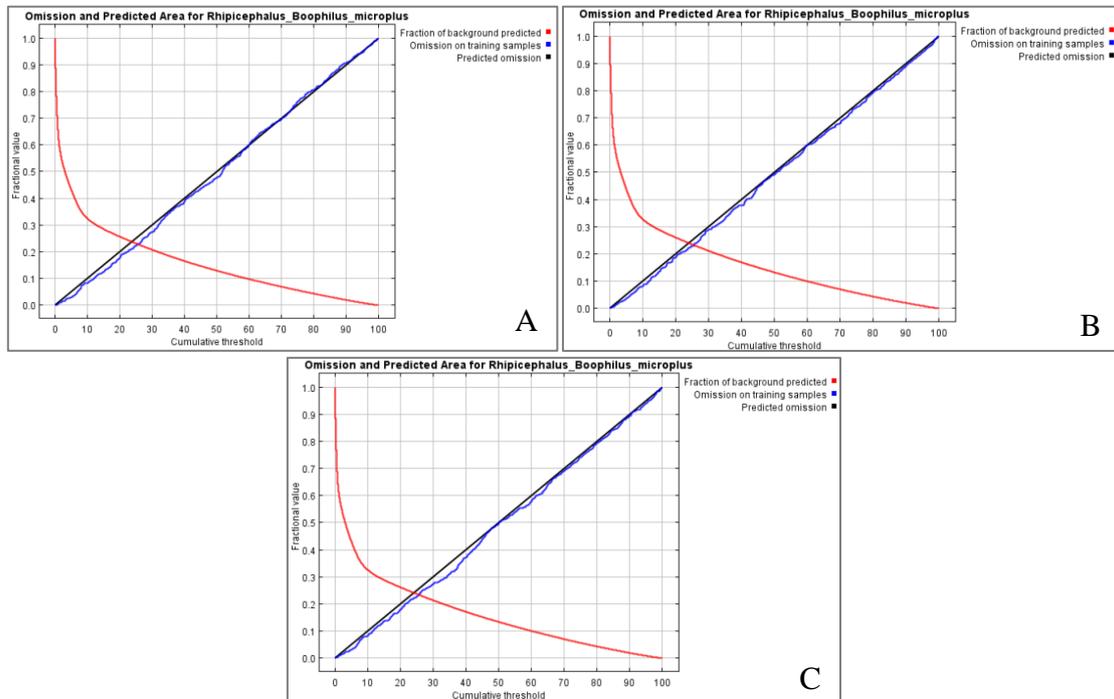


Ilustración 8. Gráficas de omisión de la variable ambiental "Cobertura Vegetal". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. Siendo la línea negra los puntos de presencia reales, es decir las muestras tomadas, mientras que la línea azul representa los puntos de presencia arrojados por el modelo.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

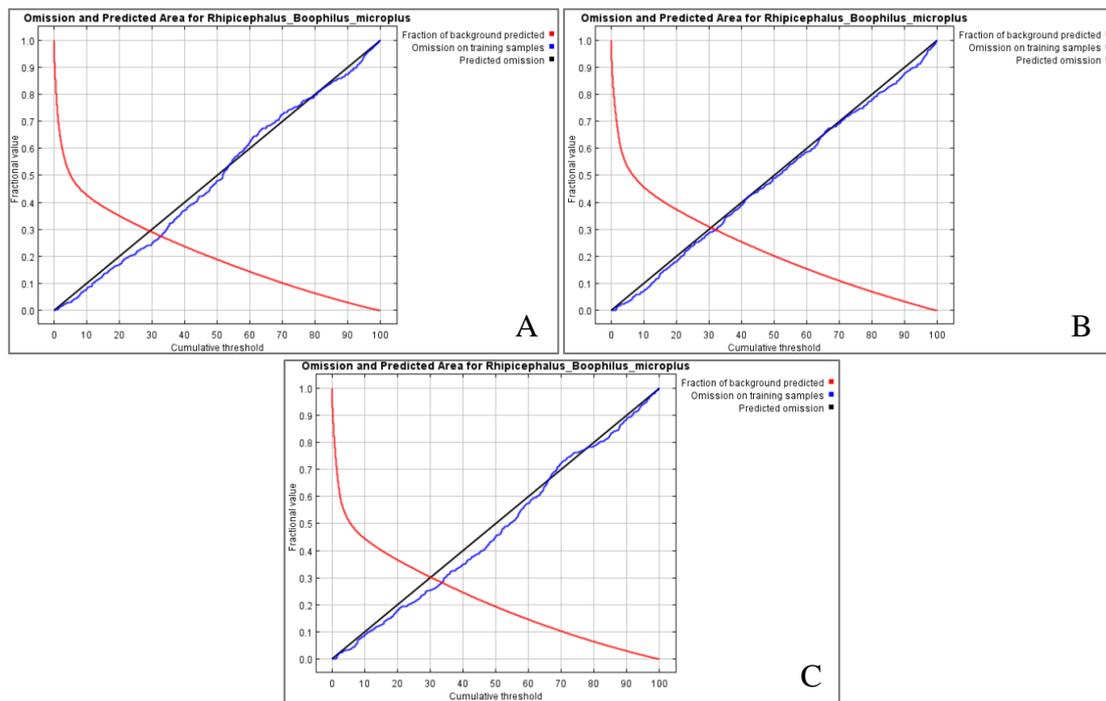


Ilustración 9. Gráficas de omisión de la variable ambiental "Deforestación". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. Siendo la línea negra los puntos de presencia reales, es decir las muestras tomadas, mientras que la línea azul representa los puntos de presencia arrojados por el modelo.

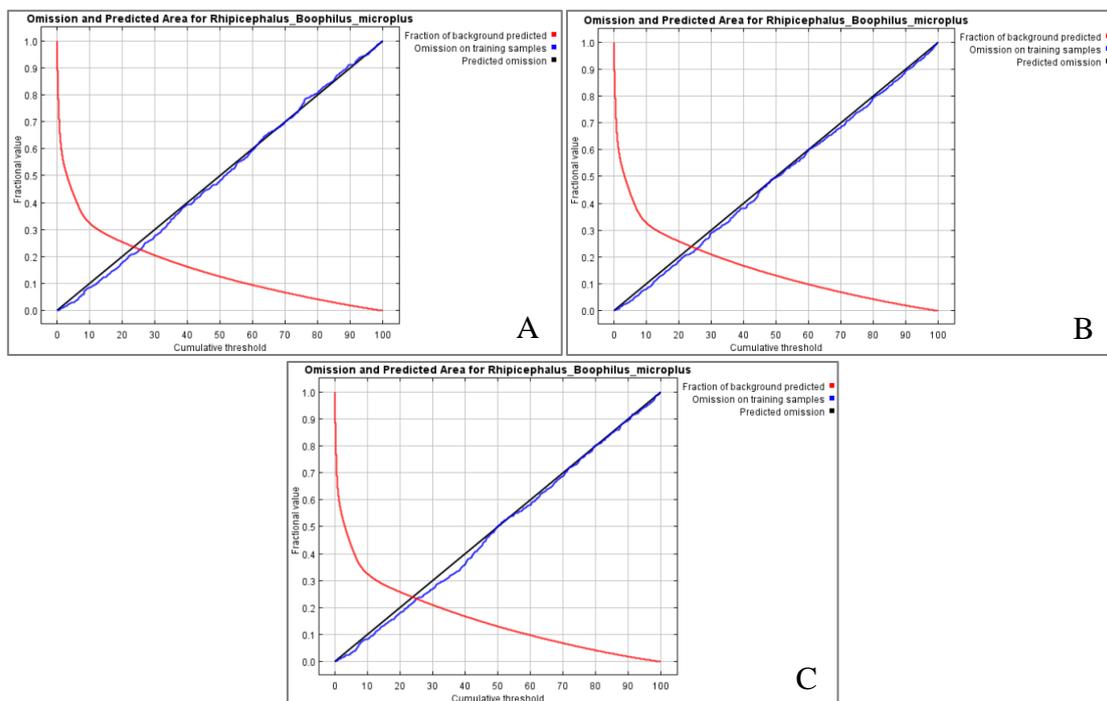


Ilustración 10. Gráficas de omisión de las variables ambientales "Cobertura Vegetal y Deforestación". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. Siendo la línea negra los puntos de presencia reales, es decir las muestras tomadas, mientras que la línea azul representa los puntos de presencia arrojados por el modelo

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

A-2. Diagramas de aptitud y rendimiento AUC

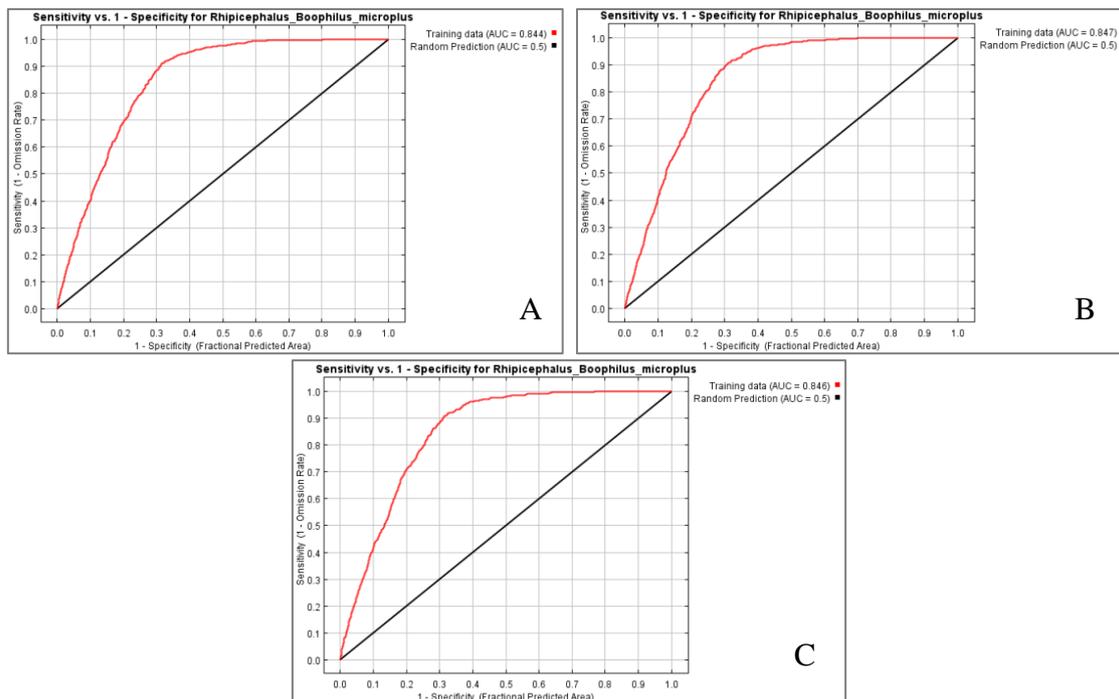


Ilustración 11. Gráficas de ROC y AUC de la variable ambiental "Cobertura Vegetal". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. La línea roja representa el ROC, que es el ajuste del modelo, mientras que la línea negra es el AUC, que representa cuán preciso es el modelo.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHU ECOLÓGICO DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

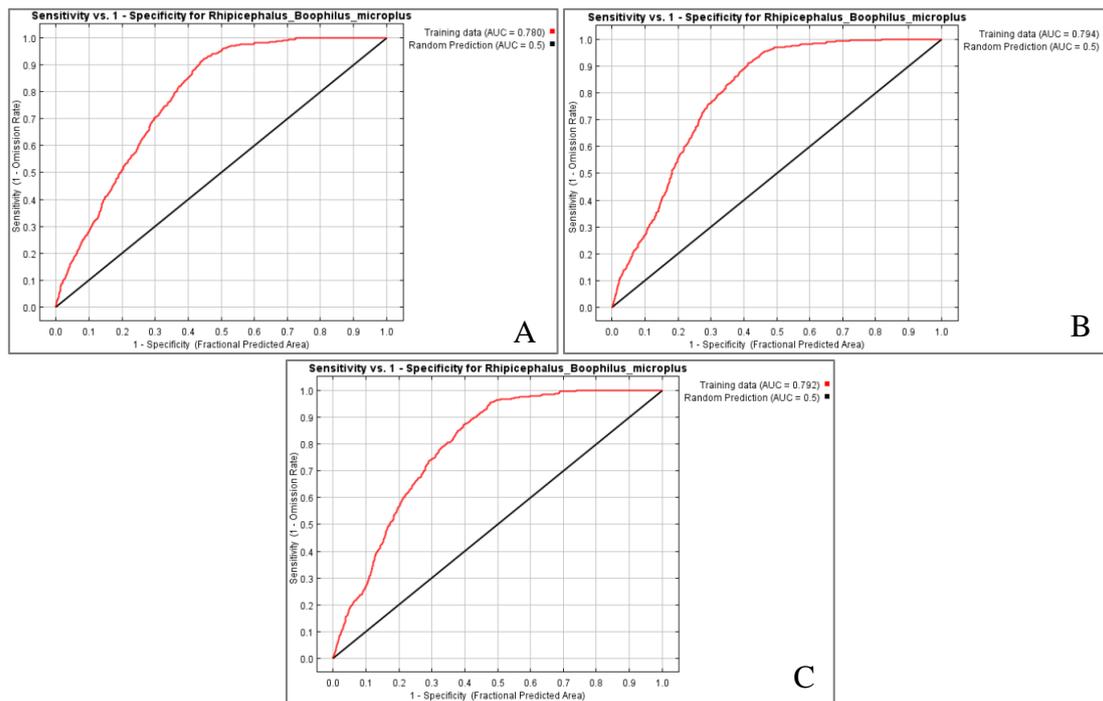


Ilustración 12. Gráficas de ROC y AUC de la variable ambiental "Deforestación". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. La línea roja representa el ROC, que es el ajuste del modelo, mientras que la línea negra es el AUC, que representa cuan preciso es el modelo.

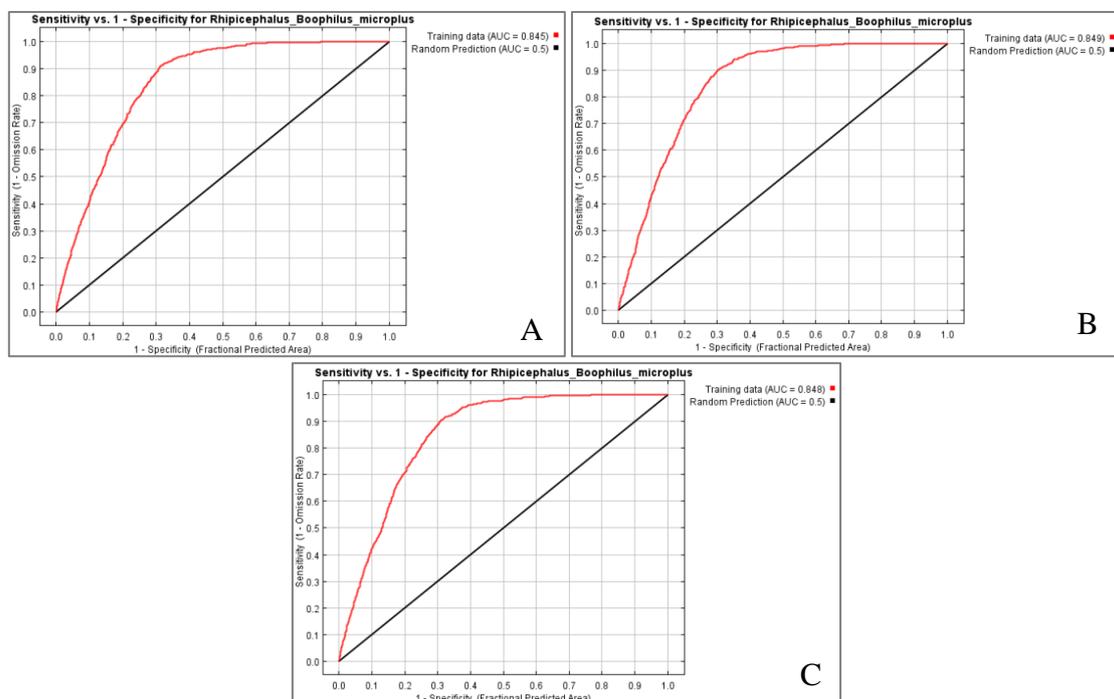


Ilustración 13. Gráficas de ROC y AUC de las variables ambientales "Cobertura Vegetal y Deforestación". A) año 2014. B) año 2016. C) año 2018. La línea roja representa el ROC, que es el ajuste del modelo, mientras que la línea negra es el AUC, que representa cuan preciso es el modelo.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

A-3. Tablas de contribución y permutación

| Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|------------|----------------------|------------------------|
| cobv_14 | 64.3 | 52.4 | cobv_16 | 66.5 | 60.7 |
| tempmin_14 | 21.2 | 21.8 | tempmin_16 | 20.9 | 17.7 |
| pp_14 | 13.5 | 17.9 | pp_16 | 12 | 13.5 |
| tempmax_14 | 1 | 7.9 | tempmax_16 | 0.6 | 8.1 |

| Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|
| cobv_18 | 64.5 | 57.1 |
| tempmin_18 | 20.1 | 20.2 |
| pp_18 | 14.5 | 15.7 |
| tempmax_18 | 1 | 7 |

Ilustración 14. Contribución y permutación de la variable ambientales "Cobertura Vegetal" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años

| Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|------------|----------------------|------------------------|
| pp_14 | 61.7 | 57.2 | pp_16 | 58.4 | 50.4 |
| tempmax_14 | 36 | 36.5 | tempmax_16 | 37.9 | 41.4 |
| tempmin_14 | 2 | 5.6 | tempmin_16 | 3.2 | 7.3 |
| def_14 | 0.3 | 0.6 | def_16 | 0.5 | 0.8 |

| Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|
| pp_18 | 61.7 | 60 |
| tempmax_18 | 34.4 | 29.4 |
| tempmin_18 | 3.6 | 9.9 |
| def_18 | 0.3 | 0.7 |

Ilustración 15. Contribución y permutación de la variable ambientales "Deforestación" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años.

| Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|------------|----------------------|------------------------|
| pp_14 | 61.7 | 57.2 | cobv_16 | 66.4 | 58.9 |
| tempmax_14 | 36 | 36.5 | tempmin_16 | 20.8 | 19.7 |
| tempmin_14 | 2 | 5.6 | pp_16 | 11.7 | 14.8 |
| def_14 | 0.3 | 0.6 | def_16 | 0.6 | 0.4 |
| | | | tempmax_16 | 0.5 | 6.3 |

| Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|------------|----------------------|------------------------|
| cobv_18 | 64 | 55.5 |
| tempmin_18 | 20.2 | 20.7 |
| pp_18 | 14 | 16.3 |
| def_18 | 1.2 | 1.1 |
| tempmax_18 | 0.6 | 6.2 |

Ilustración 16. Contribución y permutación de la variable ambientales "Cobertura Vegetal y Deforestación" dentro del modelo correspondiente a cada grupo de años.

Elaborado por: Nicole Rodríguez

REFERENCIAS

- Andrea L. Varela y Santiago R. Ron. (2019). *Geografía y clima*. Bio Web de Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. <https://bioweb.bio/fungiweb/GeografiaClima/>
- Araujo, M., Pearson, R., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, 11(9), 1504–1513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001000.x>
- Bolaós Valladares, D. F. (2016). Distribución geográfica y caracterización taxonómica de las especies de garrapatas que afectan al ganado bovino en la provincia de Los Ríos. *Universidad Central Del Ecuador*.
- Bustillos, R., Carrillo, J., Jacho, G., Enríquez, S., & Rodríguez, R. (2015). Comportamiento Poblacional de la Garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos en dos áreas geográficas del Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 28(4), 68–77. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/403/283>
- Bustillos, R., & Rodríguez, R. (2014). Ecología parasitaria de *Rhipicephalus Microplus* en bovinos. *Editorial Académica Española*. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Coello, M. A. (2015). Caracterización e identificación de garrapatas en bovinos de 3 islas en la provincia de Galápagos. *Universidad San Francisco de Quito*.
- Cortés, J. . (2010). Cambios en la distribución y abundancia de las garrapatas y su relación con el calentamiento global. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 57(1), 65–75.
- Daniel, M., Kolář, J., & Zeman, P. (2004). GIS tools for tick and tick-borne disease occurrence.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Parasitology, 129(SUPPL.). <https://doi.org/10.1017/S0031182004006080>

División pública de salud. (2007). *Transmisión directa e indirecta de enfermedades*. 5156.

Espinoza, V. (2017). Dinámica Ego : Una Herramienta Gratuita Para Modelar Y Brindar. *Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais, December 2016*, 1–20.

Estrada-Peña, A. (2015). Orden Ixodida: Las garrapatas. *Revista IDEA-SEA*, 13, 30–36.

Estrada-Peña, A., Ayllón, N., & de la Fuente, J. (2012). Impact of climate trends on tick-borne pathogen transmission. In *Frontiers in Physiology: Vol. 3 MAR* (p. 64). Frontiers. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00064>

Hortal, M. (2016). Enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes: información actualizada. *Revista Médica Del Uruguay*, 32(1), 52–58.

Houseman, R. M. (2013). *Guide to ticks and tick-borne diseases* (Integrated Pest Management (ed.)). University of Missouri.

Illoldi, P., & Escalante, T. (2008). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3(January 2008), 7–12.

Jacho Merino, M. G. (2015). Dinámica poblacional de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en ganado bovino lechero en el cantón san miguel de los bancos. *Universidad Central Del Ecuador*, 79. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6770/1/T-UCE-0014-034.pdf>

Kuri Morales, P. A., Guzmán Morales, E., De la Paz Nicolau, E., & Sala Fernández, A. (2015). Enfermedades emergentes y reemergentes. *Gaceta Médica de México*, 80, 151–674.

Mesa Ridell, G., Iraidá Rodríguez, L., & Teja, J. (2004). Las enfermedades emergentes y reemergentes: un problema de salud en las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*,

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

15(4), 285–287. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892004000400014>

Ministerio del Ambiente. (2017). Deforestación Del Ecuador Continental Periodo 2014-2016. *SUIA*, 1(1), 1–8.

Ministerio del Ambiente y Agua. (n.d.). *Mapa de Vegetación del Ecuador Continental*.

Ministerio del Ambiente y Agua, & SUIA. (n.d.). *Mapa interactivo*.

Miraballes, C., Riet-Correa, F., Fuellis, C., & Araoz, V. (2018). CONTROL DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Y LA TRISTEZA PARASITARIA. *Revista INIA, Produccion*, 13–17.

Montaño, D. (2021, March). *Nuevo estudio: en los últimos 26 años Ecuador ha perdido más de 2 millones de hectáreas de bosque*. Mongabay Latam.

Mutz, I. (2010). Las infecciones emergentes transmitidas por garrapatas. *Annales Nestlé (Ed. Española)*, 67(3), 123–134. <https://doi.org/10.1159/000287275>

Oliveira Rodrigues, H., Silveira Soares-Filho, B., & Leles de Souza Costa, W. (2013). Dinamica EGO, una plataforma para modelar sistemas ambientales. *Centro de Teledetección, Universidad Federal de Minas Gerais*, 53(9).

OMS. (2014). *Información sobre las enfermedades transmitidas por vectores*. Campanas Mundiales de Salud Publica de La OMS; World Health Organization. <https://www.who.int/campaigns/world-health-day/2014/vector-borne-diseases/es/>

Oromí Durich, J. (1980). Medicina integral : medicina preventiva y asistencial en el medio rural. In *Medicina Integral* (Vol. 36, Issue 3). IDEPSA. <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-enfermedades-emergentes-reemergentes-algunas-causas-15322>

Phillips, S. B., Aneja, V. P., Kang, D., & Arya, S. P. (2006). Modelling and analysis of the

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(2–3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>

Polanco, D., & Rios, L. (2016). Aspectos biológicos y ecológicos de las garrapatas duras. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(1), 81–95.

Pulido-herrera, Luz A., Rudas-Il, A., Betancourt, J. A., Grant, W. E., & Vilchez, S. J. (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*, 16(2), 75–95. <https://doi.org/10.21068/bc.v16i2.376>

Pulido-herrera, Luz Astrid. (2016). Modelos de distribución de especies en escenarios de tiempo y espacio: El caso de la garrapata del ganado *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888). *Universidad Nacional de Colombia*.

Riverón Corteguera, R. L. (2002). Enfermedades emergentes y reemergentes: Un reto al siglo XXI. *Revista Cubana de Pediatría*, 74(1), 7–22. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75312002000100002&script=sci_arttext&tlng=pt

Rodríguez-vivas, I., Rosado-aguilar, J. A., Ojeda-chi, M. M., Carlos, L., Trinidad-martínez, I., & Bolio-gonzález, M. E. (2014). CONTROL INTEGRADO DE GARRAPATAS EN LA GANADERÍA BOVINA Integrated control of ticks in bovine livestock *Rhipicephalus microplus*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3), 295–308. <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v1n3/v1n3a9.pdf>

Santa, E., Morona, S., & Guayaquil, D. (2019). Ficha país Ecuador-república del Ecuador.

MODELO DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE NICHOS ECOLÓGICOS DE LA GARRAPATA *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* INCLUYENDO VARIABLES SOCIOAMBIENTALES DENTRO DE ECUADOR CONTINENTAL

Oficina de Información Diplomática. <https://www.exteriores.gob.es>

Suárez Larreinaga, C. L., & Berdasquera Corcho, D. (2000). Enfermedades emergentes y reemergentes: Factores causales y vigilancia. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 16(6), 593–597.

Tercero Guitierrez, M. J., & Olalla Herbosa, R. (2008). Enfermedades tropicales transmitidas por vectores. Medidas preventivas y profilaxis. *Farmacoterapia*, 27(6), 78–87.

The Center For Food Security And Public Health, & Biologics, I. I. C. in A. (2007). *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Garrapata del ganado del sur, garrapata del ganado bovino. *Iowa State University*, 1–3.
http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/boophilus_microplus-es.pdf
<http://www.cfsph.iastate.edu/?lang=es>

Torres, B., Fischer, R., Vargas, J. C., & Gunter, S. (2020). Deforestación en paisajes forestales tropicales del Ecuador: bases científicas para perspectivas políticas. In *Instituto Nacional de Biodiversidad - INABIO* (Vol. 15). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>

Torres, M., René, H., Lugo, C., Dzul, K., & Puerto, F. (2020). Las enfermedades transmitidas por vector: importancia y aspectos epidemiológicos. *Bioagrocencias*, 13(1), 31–41.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/download/3446/1491>

Walker AR, Bouattour A, Camicas JL, Estrada-Pena A, Horak IG, Latif AA, P. R. & P. P. (2007). *Ticks of Domestic Animals in Africa : A guide to identification of species*. 153 & 161.