
Distribución inusual y potencial de la garrapata común del ganado, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en zonas tropicales de alta montaña de los Andes colombianos

Unusual and potential distribution of the common cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, in high mountain tropical zones of the Colombian Andes

Luz A. Pulido-Herrera, Agustín Rudas-Ll., Jesús A. Betancourt, William. E. Grant y Sergio J. Vilchez

Resumen

Se presentan las áreas potenciales de distribución de la garrapata común del ganado *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el altiplano cundiboyacense, Colombia, mediante el uso de dos algoritmos de modelamiento de nicho ecológico (Maxent y árboles de clasificación). Los algoritmos fueron complementarios, con rendimientos óptimos y significativos, registrando valores de AUC (0.70 Maxent y 0.90 árboles de clasificación, y bajos valores de errores omisión (0,04 % Maxent y 4,6 % árboles de clasificación). El paisaje, junto con la presencia del hospedero, la altitud, la precipitación, la temperatura y la humedad del primer trimestre húmedo, fueron las variables más relevantes en el modelamiento. La región nororiental del altiplano presenta las áreas potencialmente óptimas para el establecimiento de esta especie.

Palabras clave. Modelos de distribución de especies. Ixodidae. Ectoparásitos. Altiplano cundiboyacense. Colombia.

Abstract

Potential areas of distribution of the common cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in the Altiplano Cundiboyacense are presented, using two algorithms of ecological niche modeling (Maxent and Classification Trees). The algorithms were complementary, with excellent and significant returns, registering AUC (0.70 and 0.90 Maxent Classification Trees), and low values of omission errors (0.00% and 4.6% Maxent Classification Trees). The landscape along with the presence of the host, altitude, precipitation, temperature and humidity of the first wet quarter, were the most important variables in modeling. The north-eastern region of the Altiplano has the best potential for the establishment of this species.

Key words. Species distribution models. Ixodidae. Ectoparasites. Altiplano cundiboyacense. Colombia.

Introducción

La garrapata común del ganado *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (en adelante *R. (B.) microplus*), es un importante ectoparásito hematófago de origen

asiático (Bowman y Nuttall 2008), que causa graves efectos sobre sus hospederos como el ganado bovino, reflejándose en patologías que generan morbilidad y

mortalidad (Cortés *et al.* 2010, Estrada-Peña *et al.* 2005). En Colombia, esta especie ha sido identificada como el único transmisor de patógenos como *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* (Cortés-Vecino *et al.* 2010). La distribución geográfica de las especies de garrapatas y sus fluctuaciones anuales de abundancia están determinadas por el clima (Estrada-Peña 1999) así como por su entorno, la configuración del paisaje y los movimientos de sus hospederos (Teel *et al.* 1997). Estrada-Peña *et al.* (2001, 2005), sugieren que *R. (B.) microplus*, tiende a aumentar su distribución altitudinal, asociado al aumento de la temperatura en las últimas décadas.

Esta especie de origen indo-asiático ha sido registrada en regiones tropicales y subtropicales y se distribuye en América, desde el Norte de Argentina hasta México (excepto en Chile). Al parecer, el primer reporte de esta especie para Colombia fue realizado en 1923 en Barranquilla y Bucaramanga por Dunn (Cortés-Vecino *et al.* 2010). También ha sido registrada en altitudes desde el nivel del mar hasta los 2.000 m en los departamentos de Nariño, Caldas, Antioquia, Meta, Cundinamarca y Boyacá (Hernández *et al.* 1977, Arias *et al.* 1991, Betancourt *et al.* 1992).

Recientemente se registró *R. (B.) microplus* en el altiplano cundiboyacense entre los 2.500 y 2.800 m s.n.m. (Corpoica 2008 2011, Cortés-Vecino *et al.* 2010), lo cual llama la atención ya que constituye la propagación de esta especie en altitudes superiores a las cuales ha sido observada habitualmente en el país. Esta región presenta una economía basada en la ganadería de leche, la cual está constituida especialmente por individuos de la especie *Bos taurus*, de las razas Holstein, Normando o cruces entre ellas. Esta práctica pecuaria se ha asentado en los altiplanos del país y se ha visto afectada por introducciones accidentales de garrapatas debido a movilización de animales desde otras regiones y de fincas aledañas a la Sabana de Bogotá (Corpoica 2008). Debido a que esta introducción del parásito ha sido muy reciente, existe todavía un desconocimiento sobre su biología y comportamiento en esta región, lo cual podría repercutir en malas prácticas ganaderas reflejadas en

el incremento del uso y frecuencia de tratamientos químicos, ya observados por Ortiz (2004) y durante el desarrollo de este trabajo, que pudieran afectar la producción de leche, así como la economía de la cadena productiva del sector ganadero y la seguridad alimentaria.

A partir de la situación arriba mencionada, surgen inquietudes como si existe riesgo potencial de establecimiento de *R. (B.) microplus* en el altiplano cundiboyacense, de qué manera influyen las condiciones ambientales de la región en el establecimiento de esta especie y cuál es el papel de las actividades ganaderas en la introducción de *R. (B.) microplus* en la región. De allí se deriva el propósito de este estudio, que pretende identificar las áreas ambientalmente adecuadas para la garrapata común del ganado que representen los procesos ecológicos involucrados en su introducción y establecimiento en el altiplano cundiboyacense. Teniendo en cuenta la influencia de variables ambientales como, factores abióticos (clima, geomorfología) y bióticos (coberturas de uso de suelo, presencia de su hospedero el ganado bovino), se pretende establecer si existen condiciones aptas en el altiplano que favorezcan el establecimiento de *R. (B.) microplus* en la región y dónde se encuentran ubicadas estas áreas.

Material y métodos

Área de estudio

El contexto geográfico de este estudio es el altiplano cundiboyacense, ubicado en la cordillera Oriental colombiana, desde el páramo de Sumapaz hasta la base de la Sierra Nevada del Cocuy, en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Representa una extensión aproximada de 19.690 km²; comprende altitudes entre los 2.000 y 3.000 m y abarca tres regiones planas bien diferenciadas: la Sabana de Bogotá, los valles de Ubaté - Chiquinquirá y los valles de Duitama - Sogamoso (Figura 1).

La delimitación del área de influencia del estudio se desarrolló a partir de la caracterización planteada

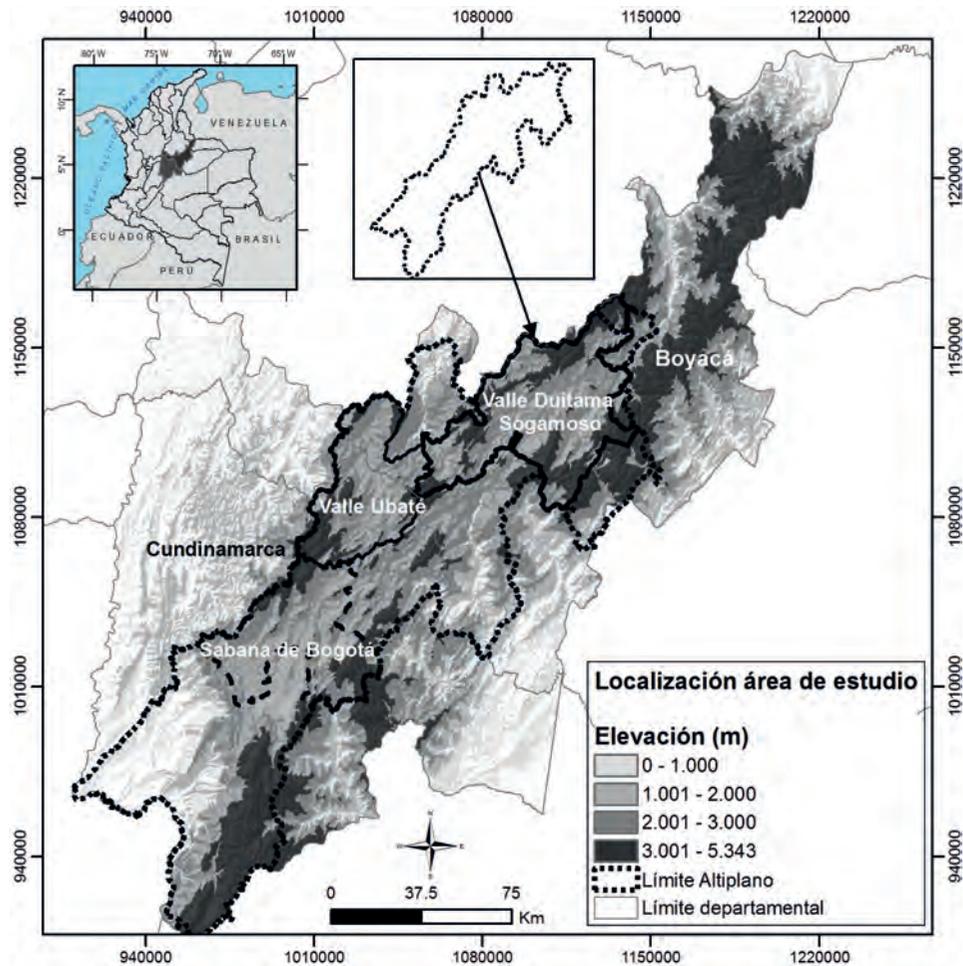


Figura 1. Localización del área de estudio. Se presentan en gama de grises los rangos altitudinales de la región, el área puntuada corresponde a la delimitación del Altiplano, definida como la máscara para el mapeo de coberturas ambientales y modelos de distribución de *R. (B.) microplus*. Elaboración propia. Fuente: Corpoica - Igac.

por Corpoica (2004 y 2012), con límites entre, los 6° 3'N - 72° 42'W, y los 3° 43'N y - 74° 27'W. Como resultado de esta caracterización se definieron los límites del área (máscara) que se utilizó para la ejecución de los modelos de distribución y el análisis general del trabajo (Figura 1).

Las condiciones climáticas de la zona presentan intervalos de temperatura media entre los 12 y 16 °C (Rojas *et al.* 2010); la precipitación presenta una fuerte variación entre los 500 y 2.000 mm anuales (Figura 2a). A pesar de que los valores medios de precipitación hacen pensar que es una zona con buen registro de humedad, esta región es catalogada como

una “isla seca” comparada con las zonas adyacentes, ya que la humedad tiende a mantenerse en los límites de la región, es decir en las zonas laterales occidental y oriental (Figura 2a), debido a los vientos dominantes del Este y su condición de altiplano en lo alto de una cordillera (Rodríguez - Eraso *et al.* 2010, Corpoica 2012). La región del altiplano presenta un comportamiento bimodal trimestral en gran parte de su extensión, con excepción del oriente de la región en donde se registra un comportamiento monomodal, con un periodo de lluvias que abarca desde el mes de abril o mayo hasta el mes de octubre o noviembre, y un período seco que es más intenso en los meses de diciembre, enero y febrero (Corpoica 2012).

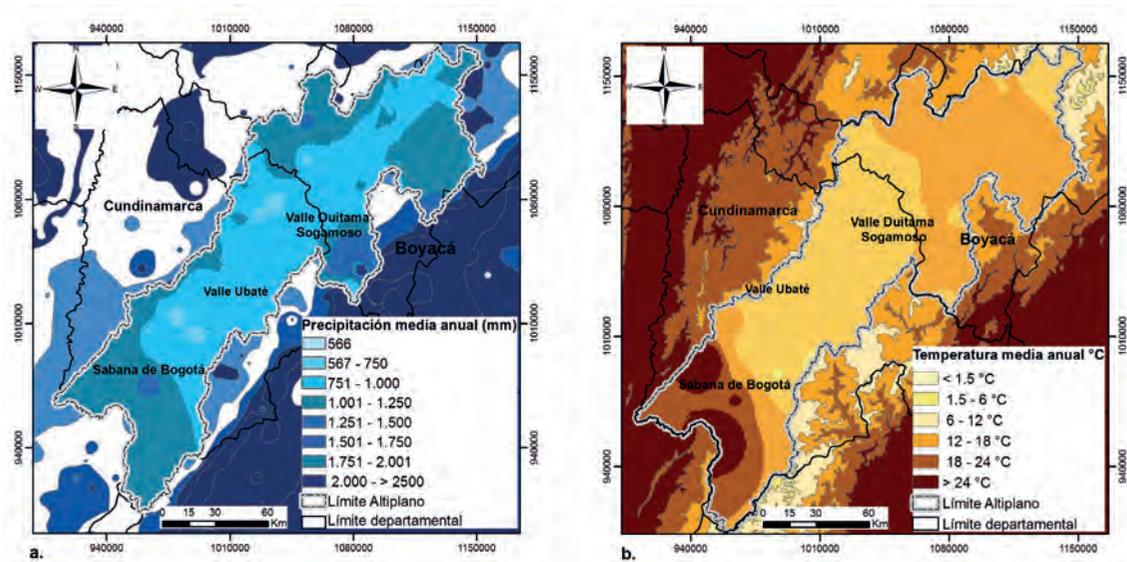


Figura 2. Variables climáticas de temperatura y precipitación en el altiplano cundiboyacense. La información corresponde a los valores del promedio anual para el periodo 1981-2010. Se observa la disminución de la precipitación desde la zona sur hacia el norte del Altiplano y el aumento hacia las regiones laterales este-oeste, permitiendo evidenciar la característica de “isla seca”. Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam); Corpoica 2012.

La ganadería es el principal sistema de producción que domina el paisaje de la región (Rivera 2004), con ganadería de leche especializada (la cual representa la mayor parte de la región), ganadería de carne y ganadería de doble propósito. Se estima que esta región alberga alrededor de un millón de cabezas de ganado del hato ganadero colombiano (Cortés *et al.* 2010).

Puntos de muestreo de *R. (B.) microplus*

Los datos de muestreo utilizados para el desarrollo de este trabajo provienen del proyecto *Modelización del efecto del cambio climático sobre la distribución de la garrapata Rhipicephalus (Boophilus) microplus en el trópico alto Colombiano*, ejecutado por Corpoica (2008 - 2011).

Los puntos de presencia y ausencia se obtuvieron a partir de un muestreo aleatorio simple realizado entre abril y noviembre del 2009 en 108 fincas (n) ubicadas en 54 municipios de Boyacá y 41 de Cundinamarca, entre los 2000-3000 m s.n.m. La identificación de las fincas del muestreo se llevó a cabo desde la información de los censos de predios ganaderos realizados por Fedegan (2007). De este muestreo 81 fincas co-

rresponden al área de influencia delimitada, de las cuales 13 fincas cuentan con la presencia de la garrapata y 68 con ausencias (Figura 3). Los especímenes fueron colectados sobre el ganado en diferentes estados (larva, ninfa y adulto) y sobre el pasto en estado de larva. (Corpoica 2011, Cortés *et al.* 2010).

Datos ambientales

Se utilizó información climática, topográfica, biológica y fisiográfica proveniente de (Ideam, Corpoica 2012, Shuttle Radar Topography Mission, IGAC, 2002 - 2006), la cual se desplegó cartográficamente a una resolución de 30 m, con proyección Magna Sirgas, origen Bogotá (Igac 2004).

Variables climáticas

La información climática corresponde a la tendencia de 30 años para el período comprendido entre 1981 y 2010; contiene las variables de precipitación, temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, brillo solar y humedad relativa, para cada uno de los trimestres secos y húmedos del año (Tabla 1). Estos datos pertenecen a los resultados

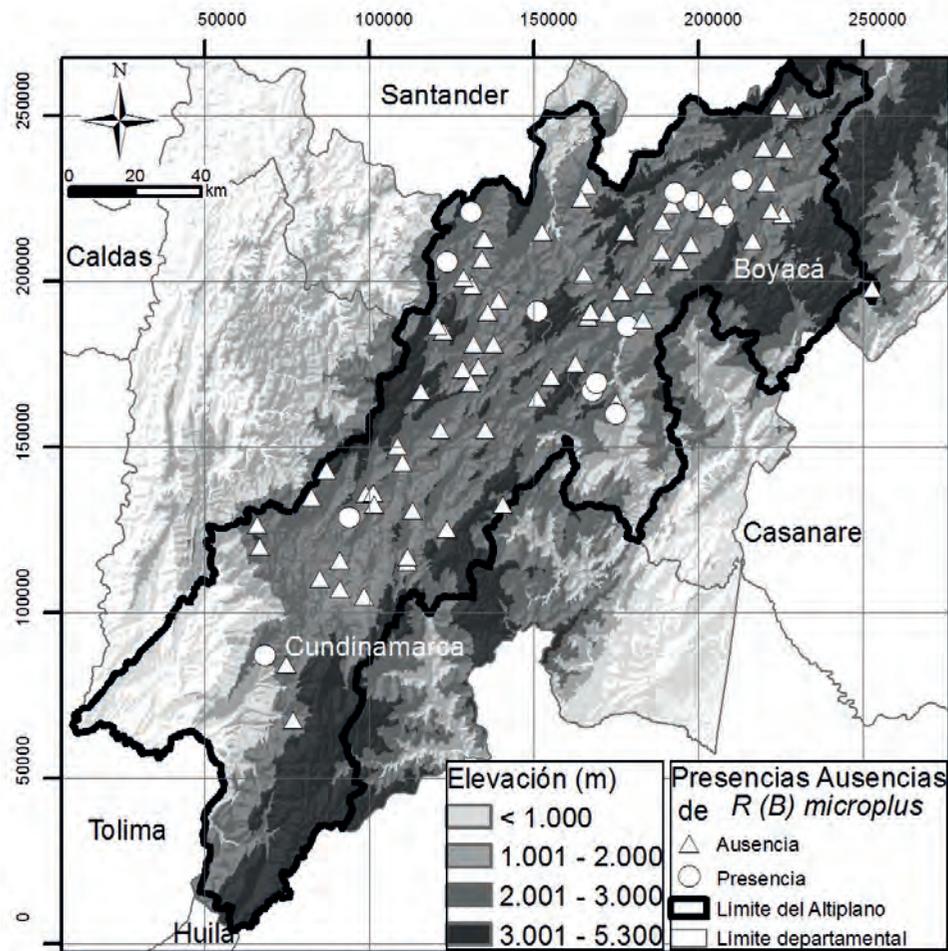


Figura 3. Puntos de muestreo (81) que representan las presencias y ausencias utilizadas para la modelación de la distribución potencial de la garrapata *R. (B.) microplus* en el altiplano cundiboyacense.

del análisis compuesto y evaluación de los patrones de comportamiento de variables climáticas de la región del altiplano cundiboyacense, bajo los eventos ENOS (Niño-Niña), mediante un proceso de análisis exploratorio y estimación de datos faltantes, desarrollado por Corpoica (2012). La información de las estaciones meteorológicas pertenece a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR y al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), y se encuentran localizadas en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, entre los 100 y los 3.500 m de altitud (Corpoica 2012).

Cabe anotar que el periodo durante el cual se realizaron los muestreos de *R (B) microplus* se encontraba bajo influencia del fenómeno del Niño, razón por la que

se utilizó la información climática asociada a este evento. El evento climático Niño es un importante fenómeno de variabilidad climática que afecta los patrones de comportamiento mensual de las variables climáticas (temperatura - precipitación y derivadas), representándose en periodos con disminución en los regímenes de precipitación, siendo esta variable la que presenta más manifestaciones de los ENOS en Colombia, además de altas probabilidades de que se presente aumento en la temperatura media (Corpoica 2012). Estas alteraciones climáticas afectan los ciclos biológicos de las especies ya sea retrasándolos, inhibiéndolos o acelerándolos, por lo tanto los resultados de este modelamiento pueden verse afectados ya que el ciclo de la garrapata no podría presentarse como regularmente se presentaría.

Tabla 1. Variables climáticas incluidas en el proceso de modelación de la distribución de *R. (B.) microplus* para el altiplano cundiboyacense. Las variables climáticas fueron procesadas por Corpoica (2012), a partir de la información proveniente del Ideam y la CAR. Todas las variables se representan con una resolución espacial de 30 m. DJF: diciembre, enero, febrero; MAM: marzo, abril, mayo; JJA: junio, julio, agosto; SON: septiembre, octubre, noviembre.

Código Variables	Descripción	Unidades
Tmax_DJF	Temperatura máxima primer trimestre seco	°C
Tmin_DJF	Temperatura mínima primer semestre seco	°C
Tp_DJF	Temperatura media primer semestre seco	°C
BS_DJF	Brillo solar primer semestre seco	Hr/Día
H_DJF	Humedad relativa primer trimestre seco	%
PP_DJF	Precipitación primer semestre seco	mm
Tmax_MAM	Temperatura máxima primer semestre húmedo	°C
Tmin_MAM	Temperatura mínima primer semestre húmedo	°C
Tp_MAM	Temperatura media primer semestre húmedo	°C
BS_MAM	Brillo solar primer semestre húmedo	Hr/Día
H_MAM	Humedad relativa primer semestre húmedo	%
PP_MAM	Precipitación primer semestre húmedo	mm
Tmax_JJA	Temperatura máxima segundo trimestre seco	°C
Tmin_JJA	Temperatura mínima segundo trimestre seco	°C
Tp_JJA	Temperatura media segundo trimestre seco	°C
BS_JJA	Brillo solar segundo trimestre seco	Hr/Día
H_JJA	Humedad relativa segundo trimestre seco	%
PP_JJA	Precipitación segundo trimestre seco	mm
Tmax_SON	Temperatura máxima segundo semestre húmedo	°C
Tmin_SON	Temperatura mínima segundo semestre húmedo	°C
Tp_SON	Temperatura media segundo trimestre húmedo	°C
BS_SON	Brillo solar segundo semestre húmedo	Hr/Día
H_SON	Humedad relativa segundo semestre húmedo	%
PP_SON	Precipitación segundo trimestre húmedo	mm

Variables fisiográficas y biológicas

Se utilizaron variables topográficas, fisiográficas y biológicas, cuyo criterio principal de selección fue la relación con la especie en términos directos o indirectos, de acuerdo a sus requerimientos ecológicos conocidos (Teel *et al.* 1997, Betancourt *et al.* Estrada-Peña *et al.* 2005, Bowman y Nuttall 2008, De Campos Pereira *et al.* 2008). Con respecto a la topografía se seleccionó la altitud, ya que se ha observado que la garrapata está aumentando su distribución altitudinal, lo cual se ha relacionado con el aumento de la temperatura en zonas montañosas. Esta variable proviene del Shuttle Radar Topography

Mission (SRTM) con una resolución de 30 m (Tabla 2). Para las variables fisiográficas se tuvieron en cuenta los tipos de paisaje, de tal manera que se incluyeran características del relieve para complementar las variables de altitud y hospedero. Esta información proviene del estudio de suelos de Cundinamarca y Boyacá (Corpoica-IGAC 2002) (Tabla 2). Las coberturas de usos de suelo se incluyeron para involucrar las preferencias de hábitat descritas en Teel *et al.* (1997), lo cual tiene efecto limitante o favorable sobre la distribución de las garrapatas y el movimiento del hospedero.

Tabla 2. Variables fisiográficas y biológicas incluidas en el proceso de modelación de la distribución de *R. (B.) microplus* para el altiplano cundiboyacense. Fuentes: Igac-Corpoica (2002), Ideam *et al.* (2002), MADR (2006), SRTM. Todas las variables se representan con una resolución espacial de 30 m.

Código	Nombres - descripción	Porcentaje de representación
Usos de suelo	Mosaico Pastos Cultivos	22,53
	Mosaico Pastos - Cultivos -Bosques	5,86
	Pastos (Limpios, enmalezados, arbolados)	19,62
	Mosaico de cultivos-pastos-espacios naturales	9,73
	Arbústales –herbazales	19,93
	Bosques	8,85
	Infraestructura	2,5
	Cultivos	4,32
	Tierras desnudas -arenales	1,14
	Zonas quemadas	0,01
	Sistemas hídricos	0,73
	Zonas Pantanosas	0,23
	Extracción minera	0,13
	Afloramientos rocosos	0,02
	No hay información (nubes)	5,4
Paisajes	Montaña	-
	Planicie/Llanura	-
	Valle	-
	Piedemonte	-
	Lomerío	-
	Altiplanicie, altillanura	-
Modelo de elevación digital	Proviene del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución de 30. Representa la variable de altitud en el modelamiento.	-
Bovinos (cabezas / ha)	Fue utilizada para representar el hospedero principal de <i>R. (B.) microplus</i> . Proviene del censo ganadero (MADR 2006).	-

La información de esta variable proviene de Ideam *et al.* (2002) escala 1:100.000 (Tabla 2). La variable bovinos corresponde al hospedero principal de esta garrapata por lo que su presencia o ausencia es determinante para el desarrollo de este parásito. La información de esta variable corresponde al censo ganadero de Colombia (MADR 2006) (Tabla 2).

Construcción de los modelos de distribución de *R. (B.) microplus*

Para identificar las áreas de distribución de la garrapata en el altiplano cundiboyacense y las variables ambientales que más se relacionan con su distribución, se utilizaron dos herramientas de modelación para la distribución geográfica de la especie. La primera fue Maxent (Phillips *et al.* 2006) que trabaja utilizando puntos de presencia únicamente y genera pseudo-ausencias. La segunda herramienta utilizada fueron los árboles de clasificación con el algoritmo *Random Forest* (R Core team 2013, Liaw y Wiener 2002), que permite utilizar presencia - ausencia, de tal manera que posibilita tener una perspectiva más completa de la relación ambiental con la distribución de esta especie. El objeto de utilizar estas dos herramientas de modelamiento fue tener salidas complementarias, tratando de aprovechar todos los datos obtenidos de los muestreos realizados, es decir, presencias y ausencias verdaderas, lo cual fortalece los resultados. De otra parte, cabe señalar que estas dos herramientas representan mejor la distribución de especies con distribuciones más amplias y en estudios de paisaje (Hernandez *et al.* 2008).

Máxima entropía (Maxent)

Maxent es un algoritmo que genera modelos de distribución geográfica, a partir de una serie de correlaciones estadísticas entre variables ambientales y puntos de presencia conocidos de una especie, que permiten identificar áreas potencialmente adecuadas para esta, en una superficie geográfica. Su enfoque se basa en la segunda ley de la termodinámica enfocada a procesos ecológicos, la cual postula que en un sistema sin influencias externas se mueven

procesos en dirección a la máxima entropía, es decir que la distribución espacial de una especie tenderá hacia la distribución más uniforme de una superficie geográfica, debido a la restricción de los valores esperados de las variables predictoras (ambientales) bajo la distribución estimada que coincide con su promedio empírico, es decir, valores promedio para el conjunto de registros de presencia solamente o datos de ocurrencia (Phillips *et al.* 2006, Pearman *et al.* 2008, Elith *et al.* 2011). Las salidas se presentan en valores de probabilidad, los cuales varían entre cero (0) y uno (1), donde 0 indica menos probabilidad de presencia y 1 mayor probabilidad. Para representar los resultados de este trabajo se realizó una reclasificación, donde se asumieron como las áreas potencialmente aptas a partir del valor de probabilidad $P \geq 0,5$ y las áreas con valores inferiores se asumieron como áreas no aptas, generando una superficie binaria de 0 áreas no aptas y 1 para áreas aptas. Además, este algoritmo permite 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 (Phillips *et al.* 2006).

Los parámetros establecidos para ejecutar el algoritmo fueron 100% de los datos para el entrenamiento (*training*), debido al bajo número de registros de presencia registrados en los muestreos ($n=13$). La generación de ausencias a partir de pseudo-ausencias fue asumida por el valor predeterminado en Maxent, 10.000; el formato de salida fue logístico, ya que de acuerdo a lo planteado por Phillips y Dudik (2008) es un formato robusto cuando la prevalencia es desconocida y más fácil de interpretar como la probabilidad de presencia de una especie. Por otro lado, el formato logístico estima la probabilidad de presencia asumiendo que el diseño de muestreo es tal que las localidades de presencia tienen una probabilidad igual o mayor a 0,5 (Phillips *et al.* 2006). El máximo de iteraciones fue 500; el tipo de réplica de corrida (*Replicate run type*) fue Bootstrap, el umbral de error de omisión fue *minimum training presence* y la medida de importancia y aporte de las variables predictoras se determinó mediante la prueba *Jackknife*.

Árboles de clasificación (*Random Forest*)

Los árboles de decisión o clasificación es un enfoque simple de regresión no paramétrico que sondea y explora datos con el objetivo de identificar la combinación de variables que puedan predecir con gran precisión la presencia de especies, ya que segmenta la muestra en grupos homogéneos respecto a la variable respuesta (Strobl *et al.* 2009). Por otro lado, el algoritmo de estimación de los parámetros y segmentación de los árboles de clasificación basado en *Radom Forest*, es un tipo de método de partición desarrollado para trabajar con muestras (n) pequeñas y problemas grandes *p*. Involucran un ensamblaje (*ak: set*) de árboles de clasificación que son calculados en subconjuntos aleatorios de datos, usando un subconjunto aleatoriamente restringido y predictores seleccionados para cada uno de los nodos. De esta manera, *random forest* es capaz de examinar mejor la contribución y el comportamiento que cada predictor tiene, aun cuando el efecto de un predictor debería ser usualmente dominado por competidores más significativos en modelos más simples (Strobl *et al.* 2009). Además, este algoritmo es robusto a la colinealidad de las variables predictoras y el resultado es la probabilidad de ocurrencia de la garrapata (basado en una función logística). Las salidas se presentan en valores de probabilidad, los cuales varían entre cero (0) y uno (1), donde 0 indica menos probabilidad de presencia y 1 mayor probabilidad. Se realizó el mismo proceso de reclasificación que en Maxent para representar los resultados.

Para ejecutar los árboles de clasificación se utilizó el paquete *R* (R Core team, 2013) con la librería *Random Forest* (Liaw y Wiener 2002). Para evitar el sobreajuste de la clasificación se utilizó el 10 % de los datos para evaluar la tasa de error en la clasificación. Los parámetros ejecutados fueron: un número de 1000 árboles y 1000 repeticiones con *bootstrapping*. La homogeneidad de los nodos en los árboles se midió mediante la función de impureza utilizando el índice Gini y para identificación de las variables predictoras de mayor importancia, a partir de un rankin de importancia.

Evaluación del desempeño de los algoritmos

Este análisis pretende estimar el desempeño de las predicciones de la distribución espacial de *R. (B.) microplus* generadas por los dos algoritmos, más no compararlas puesto que el objeto de usar las dos herramientas fue complementar las proyecciones de una herramienta considerada excelente pero que se basa solo en ausencias como es Maxent, con otra herramienta igualmente buena pero que se basa en ausencias y en presencias, como los árboles de clasificación. De esta manera se aprovechan los datos de ausencias verdaderas con las que se contaba. En el procedimiento de evaluación se realizaron pruebas del área bajo la curva AUC (tasa de falsos positivos y falsos negativos vs. verdaderos positivos y negativos), empleando el valor n total de registros y utilizando los predichos de las salidas de los modelos vs. lo observado, para estimar la tasa de error en la clasificación. Además, se generaron las visualizaciones de la tasa de error de clasificación, sensibilidad, especificidad y medidas de precisión de cada modelo. Se realizó una correlación de Pearson con bondad de ajuste de las probabilidades de ocurrencia de ambos modelos y así poder visualizar espacialmente la discrepancia de los modelos, además de permitir identificar el umbral para las probabilidades de presencia con menor sesgo. Para el desarrollo de estos análisis se utilizó el paquete *R* 3.2.1 (R Core team 2013) y la librería *ROCR* (Sing *et al.* 2005). Se calculó la extensión de áreas predichas bajo los análisis del AUC, con base en las áreas donde la probabilidad es distinta de cero, a partir de valores $p \geq 0,5$.

Resultados

Se observa que los resultados de las dos herramientas (Maxent, árboles de clasificación), presentan coincidencia en la localización más no en la extensión de las áreas ambientalmente adecuadas o aptas para *R. (B.) microplus*, (Figura 4A, 4B). Los dos métodos presentaron concordancia en 19.069 Km² (Figura 5a, 5f), la extensión de área predicha como apta para Maxent con $P \geq 5$ fue de 2.755 km² (Figura 5b, 5f) mientras que para los árboles de clasificación fue de 2.267 km² (Figura 5c, 5f).

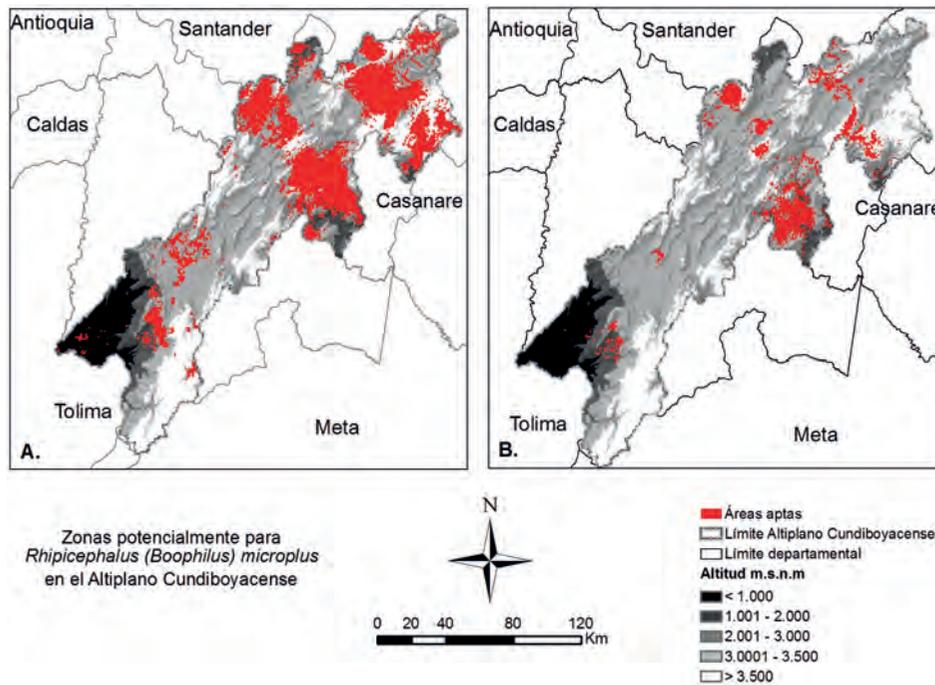


Figura 4. Modelo de distribución y áreas potencialmente aptas para la garrapata común del ganado *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el altiplano cundiboyacense, generado con A) Maxent y B) Árboles de clasificación.

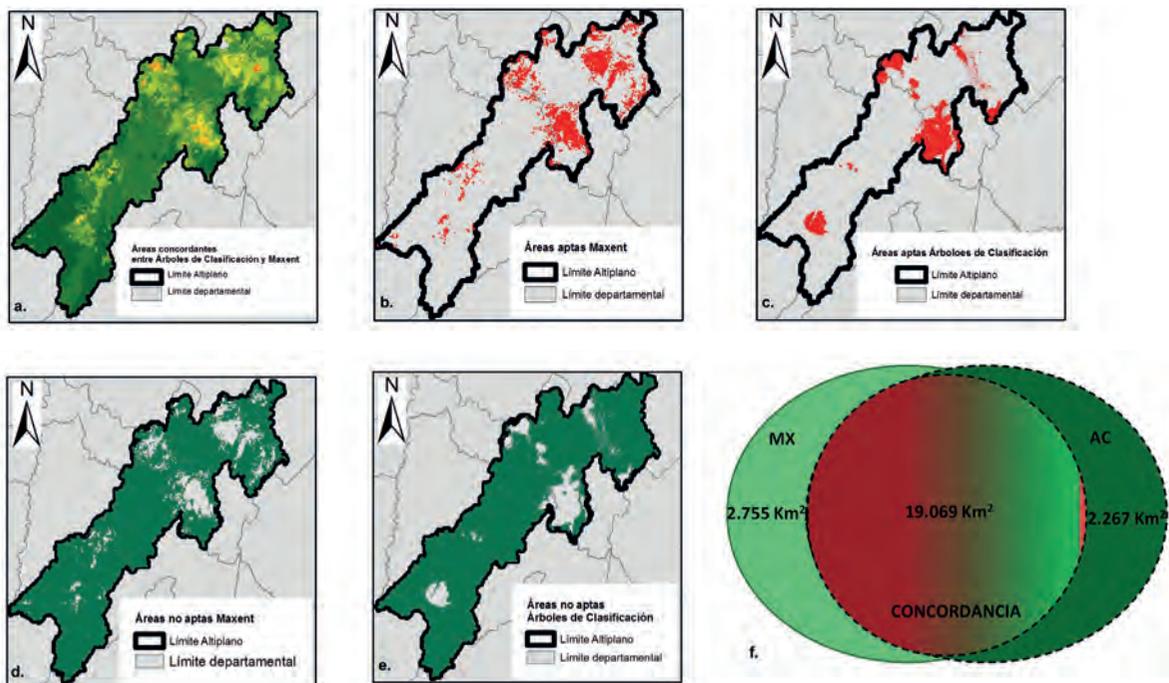


Figura 5. Concordancia de áreas de predicción generada por los dos métodos de modelamiento utilizados: a) área concordantes entre Maxent y árboles de clasificación; b) áreas aptas proyectadas por Maxent; c) áreas aptas proyectadas por los árboles de clasificación; d) áreas no aptas para Maxent; e) áreas no aptas para árboles de clasificación. MX: Maxent; AC: árboles de clasificación.

Más allá de estimar y verificar cual es el mejor de los dos métodos, lo que se pretende con este análisis es hacer una interpretación complementaria donde se pueda aprovechar la fortaleza de cada una de las herramientas, es decir, la predicción utilizando ausencias por los árboles y las áreas potencialmente aptas menos conservadoras generadas por Maxent (Figura 6), de tal manera que la identificación de las áreas potenciales de distribución de la garrapata en el altiplano sea más robusta y consistente. No obstante, se presentan los resultados para cada una de las herramientas, junto con la evaluación de rendimiento de los dos modelos, como respaldo del análisis estadístico de este estudio.

Modelación a partir de Maxent

El modelo generado en Maxent se ajustó a los datos de entrenamiento utilizados, presentando un AUC= 0,918 y una tasa de entrenamiento de omisión de 0,04, indicando que los errores de omisión fueron mínimos, lo cual asume un buen ajuste del modelo resultante. Cabe anotar que para este caso el AUC no explica propiamente el rendimiento y efectividad del modelo, ya que no se utilizaron datos para la evaluación; por lo tanto lo que estaría explicando es la proporción de los puntos de distribución con respecto a la superficie de modelamiento. De otro lado, las áreas ambientalmente adecuadas se presentaron principalmente hacia la zona norte

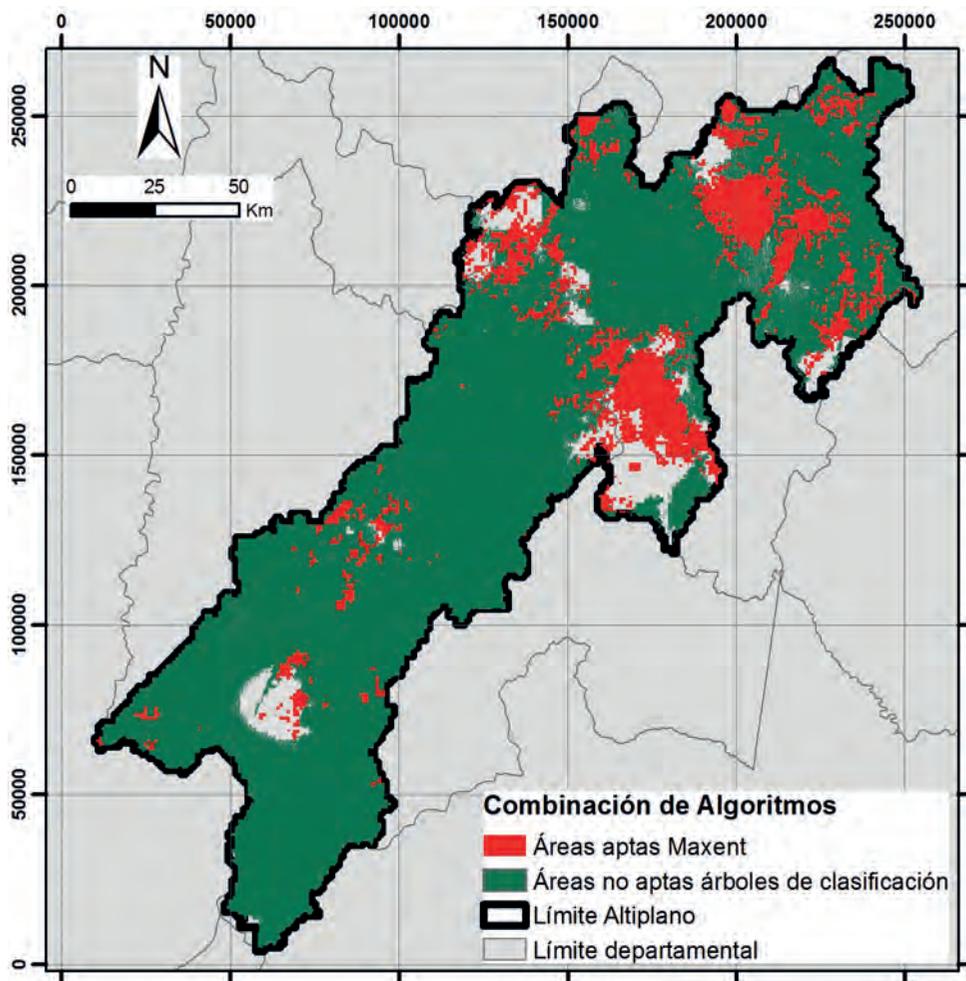


Figura 6. Combinación de áreas proyectadas de acuerdo al enfoque de cada algoritmo. Se presentan las áreas aptas proyectadas por Maxent en rojo y las áreas proyectadas como no aptas por árboles de clasificación.

de la región del altiplano (Figura 4A), donde se encuentran la mayoría de puntos de ocurrencia de la garrapata utilizados para generar el modelo.

Las variables que más aportaron a la construcción del modelo de distribución de Maxent, fueron las coberturas de uso de suelo, la precipitación del segundo trimestre húmedo (PP_SON: septiembre-octubre-noviembre), seguido de la temperatura máxima y humedad relativa del primer trimestre seco (Tmax_DJF, H_DJF: diciembre-enero-febrero). La suma de estas cuatro variables supera el 50 % de contribución al modelo, lo que las convierte en las más importantes para Maxent (Figura 7a). Esta condición no determina si son limitantes o favorables para el establecimiento de *R. (B.) microplus* en la región, pero sí un acercamiento a los factores ambientales que están influyendo en la distribución de esta especie.

Modelación a partir árboles de clasificación (*Random Forest*)

Los árboles de clasificación identificaron a las coberturas de usos de suelo, seguida de la altitud, los bovinos, la precipitación del segundo trimestre húmedo (PP_SON: septiembre - octubre - noviembre) y del segundo trimestre seco (PP_JJA: junio - julio - agosto), la temperatura máxima del primer trimestre seco (Tmax_DJF, diciembre, enero, febrero) la temperatura mínima del segundo trimestre seco (Tmin_JJA, junio, julio, agosto), como las variables que más aportaron al modelo de acuerdo al rankin de importancia. Estas variables contribuyen en la construcción del modelo en un 50 % lo que las convierte en las más importantes para esta metodología (Figura 7b). El error de omisión fue del 4,6% mientras que el error de comisión fue del 18,1 %, y el error medio es de 11,39 %, sugiriendo un buen ajuste de los datos a la generación de los árboles de clasificación. Al igual que en Maxent, se observa que la mayor probabilidad de áreas potencialmente aptas para *R. (B.) microplus* se encuentran hacia el norte de la región al igual que en el modelo generado por Maxent, aunque más ajustadas en extensión de área (Figura 4B, 5c, 5f).

Evaluación del desempeño y de los algoritmos

Vale la pena mencionar que los resultados de los algoritmos para este tipo de modelamiento dependen de la información disponible del grupo biológico a evaluar y por lo tanto los espacios de inferencia o predicción están sujetos a la información empírica y la superficie de predicción que el investigador determine. De acuerdo a este planteamiento, hay que tener en cuenta que Maxent predice áreas de distribución potencial más amplias basado en presencias y pseudo-ausencias generadas por el mismo algoritmo, fuera de la amplitud de las variables predictoras donde ocurre la garrapata (presencias). Este modelo identificó áreas potenciales en la región donde aún no habita *R. (B.) microplus* pero que en algún momento podría llegar a habitar, ya que son nichos potenciales para esta especie con condiciones ambientales idóneas para su establecimiento, muy importante para este trabajo ya que lo que se busca es identificar las áreas donde podría establecerse, para generar y fortalecer programas de monitoreo y control de esta garrapata.

De otro lado, los árboles de clasificación por *Random Forest* predicen un área menor y más ajustada con respecto a Maxent, restringiendo el nicho donde se halla la especie, pero ratifica la certeza de predicción en términos de la localización de las áreas para los dos modelos.

Los resultados de la evaluación de curvas AUC indican que las predicciones generadas por Maxent son menos conservadoras con respecto a los árboles de clasificación. En la figura 8 (A.1 y B.1) se observa que el rendimiento de Maxent con respecto a la identificación de los falsos positivos es de 0,70, mientras que los árboles de clasificación alcanzan el máximo valor de rendimiento 0,90. Por otro lado, la estimación de la precisión de las predicciones mediante la prueba de bondad de ajuste, indica que la máxima precisión en los árboles de clasificación 0,90, mientras que Maxent no supera el 0,70 (Figura 8.A. 2 y B.2). Maxent en general identifica sitios con mayor oportunidad a falsos positivos que el árbol de clasificación, produciendo probabilidades de ocurrencia altas donde no ha sido registrada

la garrapata. El corte para decidir las áreas óptimas en Maxent de 0,6, mientras que para los árboles de clasificación es de 0,5 (Figura 8. A.4 y B.4).

Discusión

La variable coberturas de uso de suelo fue una de las que más peso tuvo en la construcción de los dos modelos (Figura 7a y 7b). La región del altiplano cuenta con una proporción significativa de usos que contienen algún tipo de cobertura arbórea, como los mosaicos compuestos por pastos, cultivos y/o

bosques. Este atributo favorece el desarrollo de estados de vida libre de *R. (B.) microplus* (Teel *et al.* 1997), ya que permite mantener condiciones favorables de humedad, temperatura y protección para estos estados, lo cual, junto a la presencia del ganado en la región, puede contribuir al éxito del desarrollo de esta garrapata en las áreas aptas generadas por los modelos. Sin embargo esta región también contiene grandes extensiones de pastos y áreas abiertas que más que ser un factor favorable para el establecimiento de esta garrapata se convierte en una limitante. Por otro lado, no hay que perder de

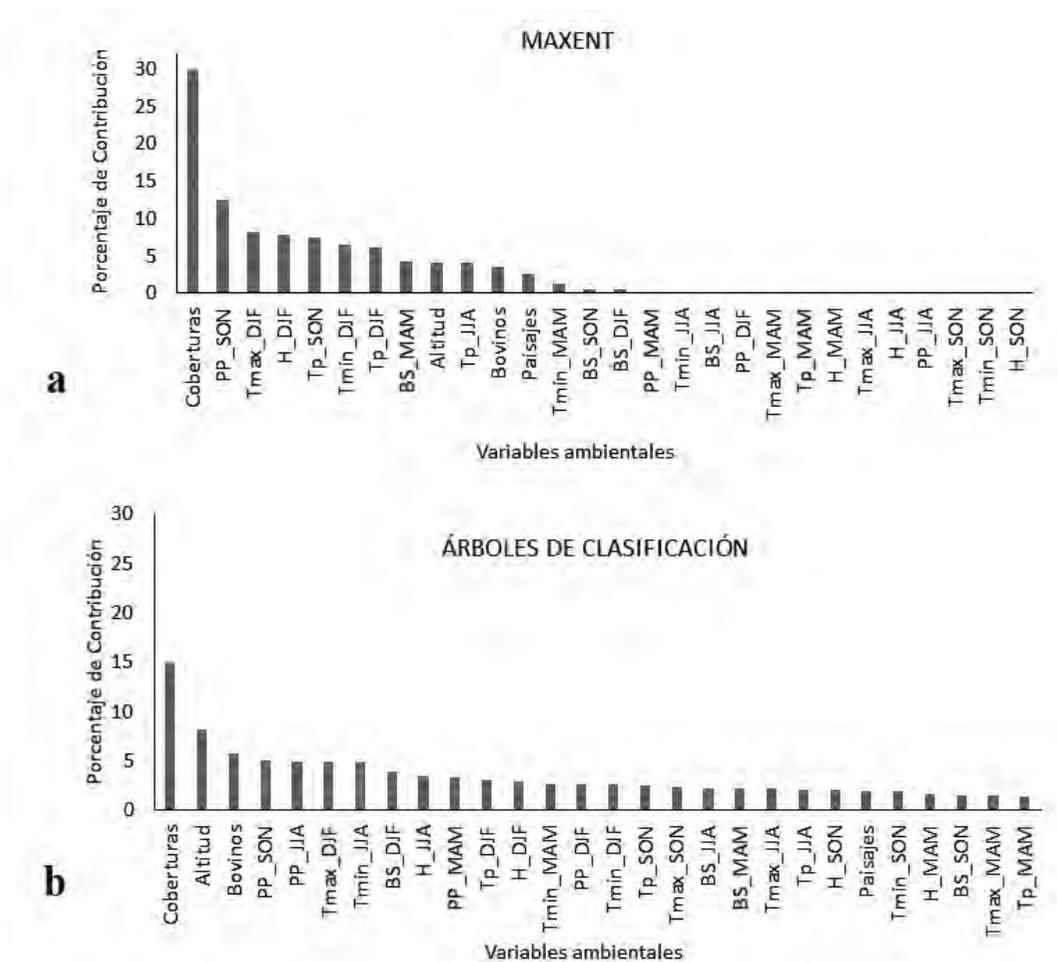


Figura 7. Porcentaje de contribución de las variables predictivas utilizadas, en el modelo de distribución de *R. (B.) microplus* para el altiplano cundiboyacense. a) Porcentajes de contribución de las variables en Maxent mediante el método de *Jackknife*. b) Porcentajes de contribución de las variables ambientales en Random Forest mediante el índice de Gini. Para Maxent, las dos primeras variables que más contribuyen son coberturas, precipitación del segundo trimestre húmedo (SON: septiembre, octubre, noviembre). Para Random Forest las dos variables que más contribuyen son coberturas y altitud.

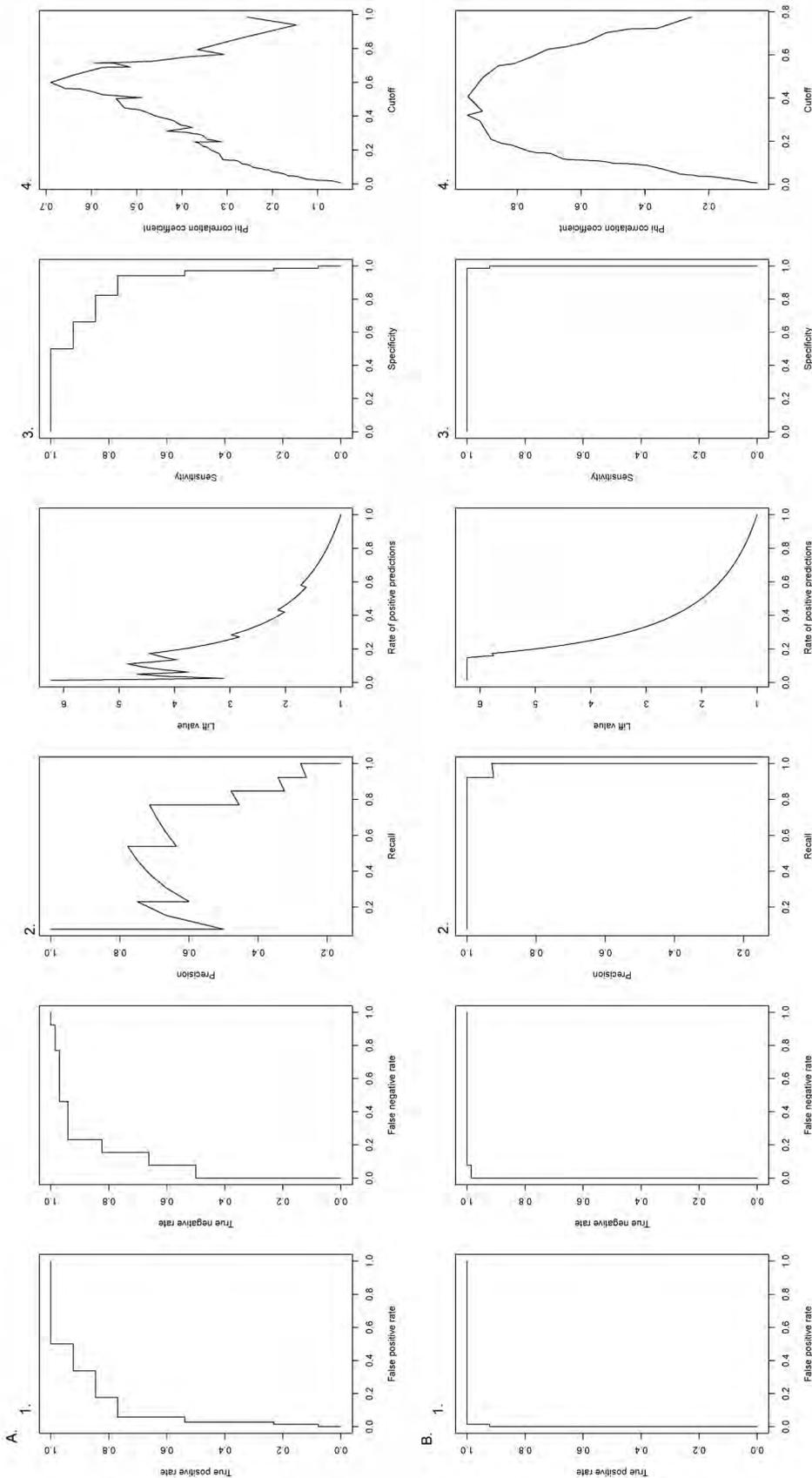


Figura 8. Análisis comparativos del rendimiento de Maxent y árboles de clasificación, mediante el análisis del área bajo la curva (AUC) y correlaciones de Pearson. A) Maxent; B) árboles de clasificación. 1) AUC; 2) pruebas de bondad de ajuste; 3) sensibilidad y especificidad; 4) coeficiente de correlación de Pearson.

perspectiva que la distribución y el establecimiento de las especies no dependen de un único factor, por lo que el análisis de las variables climáticas, junto con las de altitud y hospedero, como se hace a continuación, complementa este componente del paisaje.

Variabes como la altitud junto con bovinos (número de cabezas de ganado por ha), siguieron en importancia a las coberturas en la modelación con árboles de clasificación, no siendo así para Maxent que le dio más peso a las variables climáticas, como la precipitación del segundo trimestre más húmedo (PP_SON), la temperatura máxima del primer trimestre seco (Tmax_DJF) y la humedad relativa del primer trimestre seco (H_DJF), (Figura 7a, 4b). El desarrollo del ciclo de vida de este parásito requiere de dos factores fundamentales: el primero se relaciona con las condiciones climáticas ya que están directamente relacionadas con el desarrollo de los estados de vida libre (teleogina, huevos y larvas en busca de hospedero); el segundo es la presencia de su hospedero, para culminar su ciclo de desarrollo (larva, ninfa, adultos), condiciones que determinan su establecimiento y que de acuerdo a lo planteado por Estrada-Peña *et al.* (2006), la presencia del ganado no es suficiente para el establecimiento, siendo la temperatura ambiental y la precipitación las variables más determinantes los estados de vida libre, lo cual se valida con los resultados obtenidos en este trabajo.

Las condiciones climáticas del altiplano no son las más favorables para el desarrollo de *R. (B.) microplus* ya que esta región presenta bajas temperaturas, con valores promedio entre los 12 °C – 16 °C, y temperaturas mínimas diarias de 6 °C o menores, lo cual afecta el proceso de preoviposición y oviposición, así como el de eclosión, retardándolos o inhibiendo alguno de ellos, ya que no se presentarían las condiciones ideales para la acumulación de grados días o semana requeridos para el éxito de estas fases.

De otra parte, la humedad se relaciona con el éxito o fracaso del establecimiento de esta garrapata, ya que

el exceso o déficit de esta variable afecta los huevos ovipositados, puesto que requieren de condiciones favorables de humedad (alta), para mantenerse sanos y tener éxito en el proceso de eclosión. La humedad del altiplano tiende a mantenerse en los límites de la región, es decir en las zonas laterales occidentales y orientales (Figura 2a y 2b); esta condición, contribuye a explicar la localización de las áreas aptas resultantes del modelamiento, ya que se ubican principalmente en la zona nororiental y un segmento en la zona noroccidental del altiplano cundiboyacense (Figura 4).

De acuerdo a Rojas *et al.* (2010), en el altiplano la temperatura mínima, a pesar de presentar aumentos altamente significativos, también presenta disminuciones importantes; estas condiciones estarían afectando el establecimiento de *R. (B.) microplus*, al ser una de las variables ambientales más influyentes en distribución y desarrollo de esta especie (Figura 7a y 7b). Sin embargo la tendencia al aumento de la temperatura en la región durante los últimos diez años (Rojas *et al.* 2010), puede ser la condición que ha favorecido hasta ahora el tímido establecimiento de la garrapata, teniendo en cuenta además la característica de plasticidad genética y fenotípica que presentan especies introducidas como *R. (B.) microplus*.

Vale la pena resaltar que durante el periodo en el que se realizaron los muestreos para registrar *R. (B.) microplus* en la región estuvo influenciado por evento climático del Niño el cual afectó tanto la temperatura como a la precipitación, donde los regímenes regulares de precipitación durante el año Niño presentaron probabilidades de reducción entre el 80 – 100% por debajo de su régimen climatológico, principalmente en los trimestres más secos del año, diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto (Corpoica 2012). Las condiciones cambiantes del clima afectan los ciclos de desarrollo de las especies, lo cual de acuerdo a Corpoica (2011) el proceso de incubación de huevos fue el más afectado, reflejándose en largos periodos de eclosión e inclusive en el fracaso de este proceso y por lo tanto en los bajos registros de presencia.

La variable altitud fue la segunda más importante para los árboles de clasificación, mientras que para Maxent no alcanzó a encontrarse entre las primeras cinco (Figura 7a-b). Teniendo en cuenta que los árboles de clasificación trabajan con presencias y ausencias junto con variables altamente correlacionadas del clima como la temperatura con la altitud, podría asumirse que tomó esta variable como un factor limitante para el establecimiento ya que los registros de ausencia son superiores a los de presencia, y que a su vez se encontraban en elevaciones superiores a los 2.700 ms.n.m., fundamentado este aspecto en la relación monótonica de la temperatura con la altitud lo cual validaría la ausencia de la garrapata en estas altas cotas altitudinales. Por otra parte, un factor contrastante es la presencia de esta garrapata en altitudes superiores a los 2.700 m s.n.m., a pesar de las condiciones desfavorables anteriormente expuestas en estas zonas, lo cual puede deberse al movimiento y desplazamiento de su hospedero el ganado bovino a lo largo del altiplano, asociado a un fenómeno de transformación de áreas de agricultura a ganadería en zonas altas del altiplano, debido a que las condiciones ambientales son favorables para el establecimiento de las razas de ganado europeas como Holstein, motivado a su vez por un interés de mejorar la economía por parte de los campesinos de la región que incursionan en la actividad ganadera (Arias *et al.* 2011, Fedegan 2013).

Aunque no se realizó un análisis específico sobre el movimiento o desplazamiento del hospedero de la garrapata (el ganado bovino), a partir de la localización de las zonas con mayor aptitud climática y ambiental para la presencia y distribución de esta especie, se puede inferir que el movimiento del ganado entre regiones puede ser factor de riesgo determinante en términos de dispersión de la garrapata a nuevas áreas, lo cual podría estar sucediendo en el altiplano, principalmente en la zona norte donde limita con departamentos de la Orinoquia y los Santanderes, regiones que han albergado esta garrapata habitualmente; además, en esta misma zona se encuentra la ciudad de Duitama que es el principal centro de acopio de ganado de la región

(Figura 9), donde se despliega un tránsito activo de ganado bovino desde los Llanos Orientales hacia el altiplano lo cual abre la posibilidad de introducción y establecimiento de *R. (B.) microplus* en esta región, ya que involucra la distribución y el desplazamiento de ganado de zonas bajas a zonas altas, sirviendo de transporte para la garrapata. Adicionalmente las larvas de *R. (B.) microplus* pueden ser transportadas en el heno, botas, ropa y otros fómites, desde regiones endémicas para el parásito.

Los resultados de este trabajo evidencian la necesidad de desarrollar una estrategia de monitoreo, control y seguimiento, del ganado que está entrando al Altiplano por estas áreas (Cottrino *et al.* 2007).

La escasez de reportes sobre *R. (B.) microplus* en el altiplano cundiboyacense y en otros altiplanos del país, así como el poco conocimiento acerca del comportamiento biológico de *R. (B.) microplus* en estas regiones, obedece a que sus condiciones climáticas y fisiográficas habían sido establecidas como poco favorables y descartaban la posibilidad de presencia de esta especie en altitudes superiores a los 2.400 m (Evans 1978); por lo tanto, no se esperaba encontrarla en regiones con estas características y no se había visto la necesidad de realizar estudios sobre el tema en estas regiones. Sin embargo, las variaciones del clima en las últimas décadas han evidenciado que el aumento de la temperatura conlleva al desplazamiento, ampliación y nuevas distribuciones de especies plaga y especies introducidas como es el caso de esta garrapata, que ya se encuentra en altitudes superiores a las establecidas por Evans (1978). Lo anterior se hace evidente desde los insumos utilizados en este trabajo, ya que en los muestreos realizados en este estudio se registraron presencias en zonas de hasta 2.750 m s.n.m. (Figura 3), donde no solo se observó la presencia del adulto en el hospedero, si no el desarrollo de fases de vida libre (teleoginas, huevos y larvas), de donde se puede deducir que esta garrapata está superando las barreras ambientales y geográficas y podría estar en una fase de introducción avanzada.

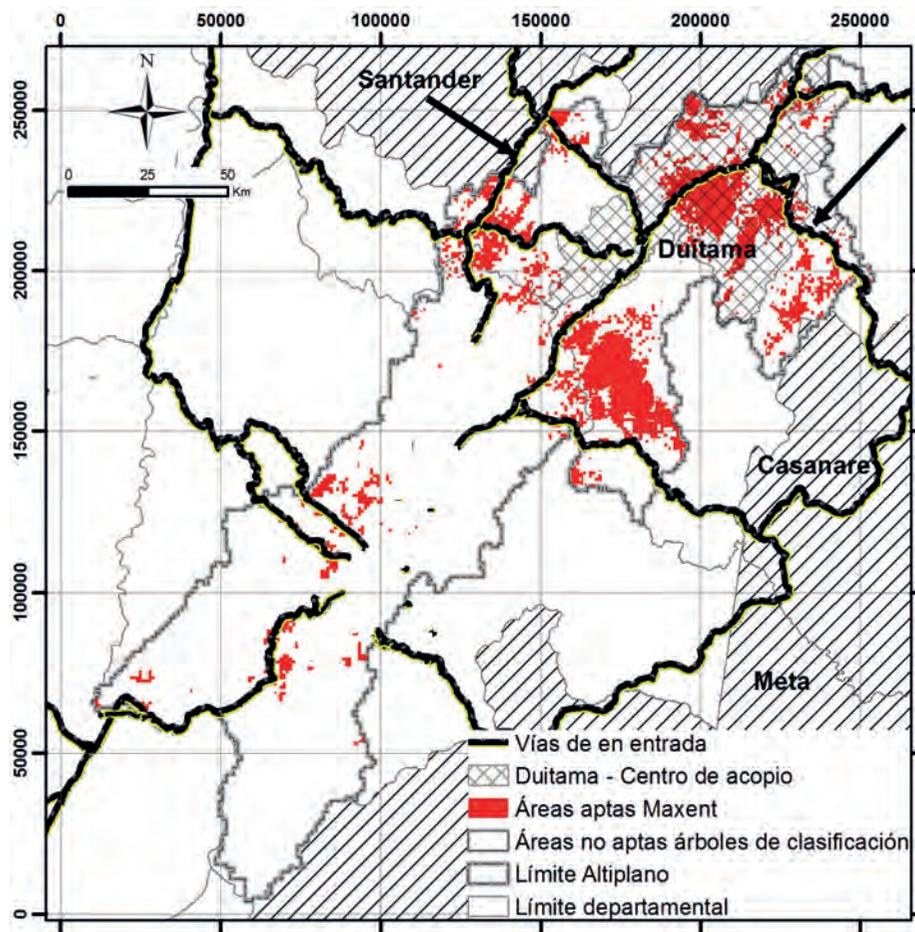


Figura 9. Zonas potenciales de entrada de los bovinos al altiplano y centro de acopio dentro de la región. Se incluyen las carreteras y los departamentos de origen con el fin de evidenciar las rutas de acceso a la región. Las flechas indican las principales puertas de entrada hacia el centro de acopio más grande de la región. Fuente de carreteras: Ministerio de Transporte – Igac (2006).

Conclusiones

La combinación de variables de diferente naturaleza: biológica, fisiográfica, topográfica y climática, utilizadas en este tipo de modelamiento estático de corte fenomenológico que asume los procesos ecológicos y biológicos como supuestos, fortaleció la identificación de las áreas aptas generadas en este trabajo, identificando las variables más importantes en la construcción del modelo y por ende las que están influyendo en la distribución de *R. (B.) microplus* en la región. Así mismo, el uso y enfoque complementario de las dos herramientas utilizadas permitió fortalecer los resultados obtenidos, mediante el aprovechamiento no solo de

las presencias con Maxent, sino que también de las ausencias verdaderas con los árboles de clasificación, dando lugar a las siguientes conclusiones:

La variable más importante para las dos metodologías fue la de coberturas de usos suelo, aunque no es explícito en estos modelos saber si las variables presentan condiciones limitantes o favorables, a partir de los requerimientos ecológicos de esta especie. Se podría plantear que de acuerdo a la localización de las áreas aptas esta variable presenta una condición favorable para *R. (B.) microplus* en la región, ya que las áreas resultantes como aptas

se encuentran localizadas en usos asociados a los hábitats favorables en términos de cobertura arbórea de acuerdo a lo planteado por Teel *et al.* (1984), donde cabe recordar que las áreas con algún tipo cobertura arbórea contienen condiciones de temperatura y humedad favorables para el desarrollo de los estados de vida libre de esta especie. En este mismo sentido, se observa que las áreas aptas se encuentran ubicadas en mosaicos de pastos con espacios naturales, bosques, arbustales, mosaicos de cultivos con espacios naturales y pequeñas áreas de pastos limpios (Figura 10).

La influencia de la temperatura, también identificada como una de las variables más importantes en los modelos, puede interpretarse en dos sentidos: a) Favorable, dado por la temperatura máxima del primer trimestre seco, ya que esta puede estar aportando en la acumulación de grados para el desarrollo de los estados de vida libre, y sus valores se encuentra dentro de los rangos óptimos para desarrollo de los de esta fase no parasitaria 22°C y los 30°C. b) Desfavorable, dado por la temperatura mínima del primer trimestre seco, ya que sus valores descienden de tal manera que presentan valores

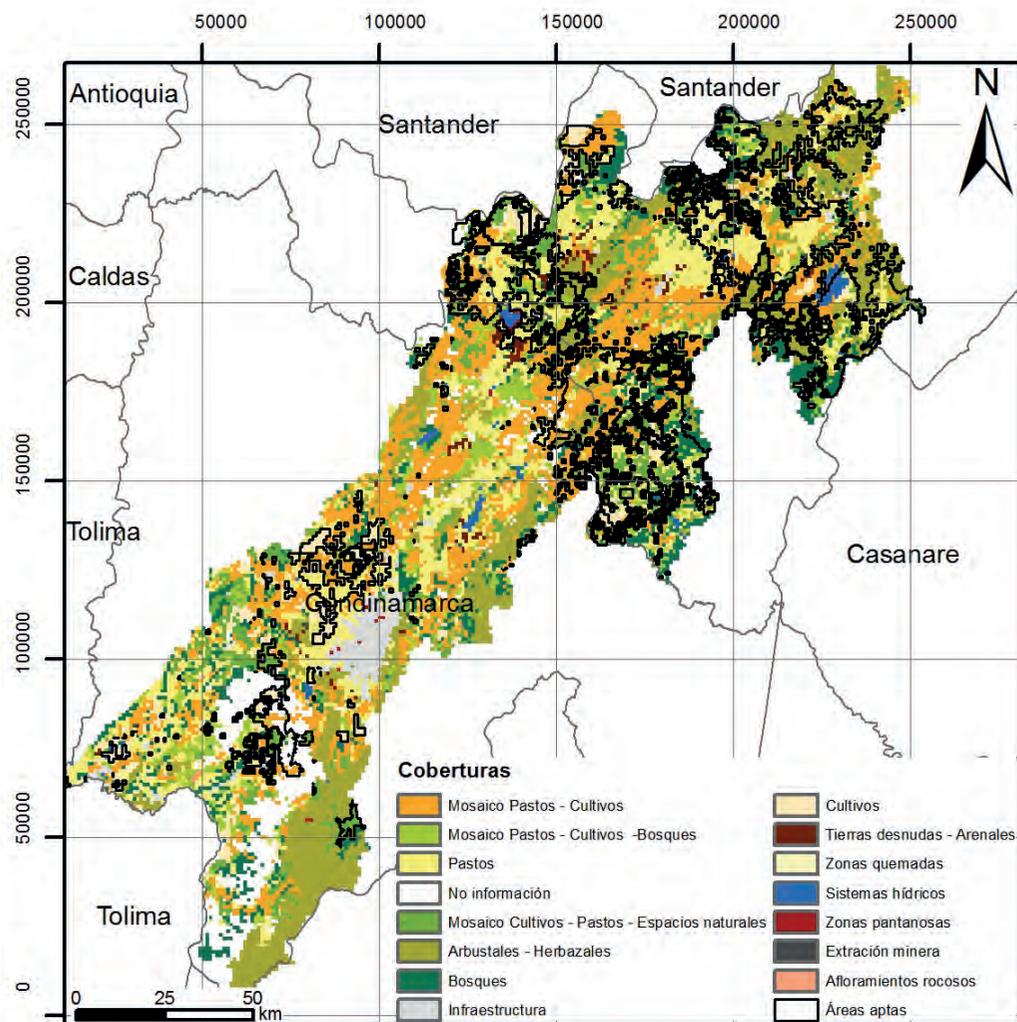


Figura 10. Zonas aptas vs. coberturas de uso de suelo. Se observa que la localización de las áreas aptas coincide con coberturas de uso de suelo que presentan condiciones favorables para el desarrollo de estados de fase de vida libre, como los mosaicos de pastos y áreas naturales, cultivos y áreas naturales, bosques y arbustales.

inferiores al umbral mínimo que soporta esta especie 12 °C llegando a los 6 °C e inclusive menores.

La precipitación, al igual que la temperatura, influye en dos sentidos: a) Favorabilidad, dada por condiciones de línea base, principalmente hacia las zonas nororientales y noroccidentales, ya que allí se acumulan los mayores valores de precipitación, lo cual está relacionado con condiciones de alta humedad, circunstancia que se asocia al éxito del desarrollo y sobrevivencia de los estados de vida libre de *R. (B.) microplus*. b) Desfavorabilidad, dada por la característica de “isla seca” del altiplano, ya que al parecer esta particularidad de la región, pudo tener influencia en las zonas centrales puesto que allí no se registraron áreas aptas para la distribución de *R. (B.) microplus*.

Se ratificó la aptitud ambiental de las áreas ya muestreadas y se identificaron áreas nuevas potencialmente aptas en el altiplano para el establecimiento de *R. (B.) microplus*, con una extensión aproximada de 396 km², con valores significativos de predicción: AUC (0,70 Maxent y 0,90 árboles de clasificación), y bajos valores de errores omisión (0,04 % Maxent y 4,6 % árboles de clasificación).

Se sugiere complementar estos modelos con análisis de clima futuro, previendo el efecto del cambio climático sobre su distribución y tomando como base el trabajo ya desarrollado por Corpoica (2011), donde según los análisis exploratorios realizados se observó que hacia el 2020 aumentarán las áreas de distribución de *R. (B.) microplus* en Cundinamarca y Boyacá.

Agradecimientos

Los autores agradecen por sus aportes académicos y técnicos a la doctora Elizabeth Aguilera y su equipo de agroclimatología de Corpoica, además de la facilitación de información climática sin la cual no hubiera sido posible un acercamiento tan detallado en la región. A Corpoica y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por su apoyo económico y logístico, a Colciencias por su programa de becas para

doctorados nacionales, al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis y su Programa de Estímulos para la investigación Thomas van Der Hammen. A todo el equipo de profesionales de Corpoica que participó en el Proyecto de Cambio Climático: Jenny Alexandra Herrera, Jesús Alfredo Cortés, Aldemar Zúñiga, Juan Carlos Benavides y Lina de Oro. A Mondy Falla y Adrián Felipe Benítez por su apoyo de campo en Sotaquirá, a Douglas Gómez por la aclaración de conceptos agroclimatológicos, y por último pero no menos importante. A Alejandro Lopera por la revisión y valiosos aportes al documento, así como a Carlos Pinzón por sus aportes en climatología.

Bibliografía

- Arias, J. J., A. Betancourt., C. E. Valencia y H. Sardi. 1991. Identificación de garrapatas de bovinos en el municipio de Tumaco (Colombia). *Revista ICA* 26: 145-151.
- Arias, M., D. Bocarejo, I. Ibáñez., C. Jaramillo, M. Fernández y J. Kisner. (2011). Cuando el crecimiento viene de afuera: dinámicas territoriales en Susa y Simijaca. Documento de Trabajo N° 68. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp, Santiago, Chile. 46 pp.
- Betancourt, J. A., O. García, L. Roqueme y M. Navarrete. 1992. Distribución y niveles de infestación por garrapatas en bovinos de Córdoba, noreste de Sucre y noreste de Antioquia. *Revista ICA* 27: 63-73.
- Bowman, A. y P. A. Nuttall (Eds.). 2008. Ticks. Biology, disease and control. Cambridge University Press. 492 pp.
- Corpoica e Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2002. Zonificación agroecológica de Colombia. Bogotá D.C. 289 pp.
- Corpoica. 2008. Formulación proyecto “Modelización del efecto del cambio climático sobre la distribución de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el trópico alto colombiano. C.I. Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca. 61 pp.
- Corpoica. 2011. Modelización del efecto del cambio climático sobre la distribución de la garrapata *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en el trópico alto colombiano. Informe técnico final. C.I. Tibaitatá. Mosquera, Cundinamarca. 87 pp.
- Corpoica. 2012. Plan para el manejo de los impactos en el sector agropecuario ocasionados por la emergencia invernal. C. I. Tibaitatá. km 14 vía Mosquera. 341 pp.
- Cortés-Vecino, J. A., J. A. Betancourt-Echeverri, J. Argüelles-Cárdenas y L. A. Pulido-Herrera. 2010.

- Distribución de garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos y fincas del altiplano cundiboyacense (Colombia). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11(1): 73-8.
- Cottrino, B.V., B.C. Gaviria y E. Espindola. 2007. La babesiosis en bovinos: una amenaza para la ganadería del altiplano. Laboratorio Médico Veterinario Ltda. Bogotá D.C., Colombia. 4 pp.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>.
- De Campos-Pereira, M., M. Bahia-Labruna, M.P. J. Szabó y G. Marcondes-Klaffe. 2008. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Biología, controle e resistência. MedVet Livros, São Paulo, Br., 169 pp.
- Elith, J., S. J. Phillips, H. Trevor, M. Dudik, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Estrada-Peña, A. 1999. Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in South America. *Veterinary Parasitology* 81: 73 – 82.
- Estrada-Peña, A. 2001. Climate warming and changes in habitat suitability for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in Central America. *Journal of Parasitology* 87 (5): 978-987.
- Estrada-Peña, A., C. Sánchez- Acedo, J. Quílez y E. Del Cacho. 2005. A retrospective study of climatic suitability for the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in the Americas. *Global Ecology and Biogeography* 14: 565-573.
- Estrada-Peña, A., M. Corson., J. M. Venzal, A. J. Mangold y A. Guglielmonte. 2006. Changes in climate and habitat suitability for the cattle tick *Boophilus microplus* in its southern Neotropical distribution range. *Journal Vector Ecology* 31 (1): 158-167.
- Evans, D. E. 1978. *Boophilus microplus*. Ecological studies and a tick fauna. Synopsis related to the developing cattle industry of the Latin American and Caribbean Region. Ph.D. Thesis. Cnaa/NE London Polytechnic (now Life Science Department, University of East London). United Kingdom. 283 pp.
- FAO. 1984. Tick and tick borne diseases control: a practical field manual. Volumen I tick control. Rome. 299 pp.
- Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán). 2013. Análisis del inventario ganadero colombiano - 2013. Comportamiento y variables explícitas. Bogotá. D.C. 37 pp.
- Guglielmonte, A. 1995. Epidemiology of Babesiosis and Anaplasmosis in South and Central America. *Veterinary Parasitology* 57(1-3): 109-119.
- Hernandez P. A., I. Franke, S. K. Herzog, V. Pacheco, L. Paniagua, L. Quintana, A. Soto, J. J. Swenson, C. Tovar, T. H. Valqui, J. Vargas y B. E. Young. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation* 17: 1353-1366.
- Ideam, Igac, Sinchi, IAvH, Invenmar; CORMAGDALENA y UAESPNN. 2002. Mapa de coberturas de la tierra. Línea base (2000 - 2002). Metodología CORINE Land Cover (escala 1:100.000). Bogotá. D.C.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac). 2004. Adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. Bogotá. D.C. 31 pp.
- Liaw, A. y M. Wiener. 2002. Classification and regression by random Forest. *R News* 2 (3): 18-22.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). 2006. Número de cabezas de ganado para ceba integral, lechería y doble propósito. Disponible en: <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/3b390575%3bCabezas+Bovinos%3b>. Consultado en marzo de 2014.
- Ortiz, R. D. 2004. Costos de las estrategias de medicina veterinaria preventiva en ganaderías de leche del cordón lechero de Boyacá. Tesis de Pregrado en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), Bogotá, D. C. 69 pp.
- Pearman, P. B., A. Guisan, O. Broennimann y C. F. Randin. 2008. Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 23 (3): 149-158.
- Pereira, M.C., M. B. Labruna, M. P. J. Szabó, G. M. Klafke (Eds.). 2008. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Biología, controle e resistência. São Paulo.
- Phillips. S. J., R. P. Anderson y E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231–259.
- Phillips, S. J. y M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.
- Rivera, O. D. 2004. Altiplano cundiboyacense. Pp. 59-107. En: Montes-Veira, S. Altiplanos de Colombia. Altiplanos de la cordillera Oriental. Libros de la Colección Ecológica del Banco de Occidente, Bogotá, D. C., Colombia.
- Rodríguez-Eraso N., J. D. Pabón-Caicedo, N. R. Bernal-Suárez y J. Martínez-Collantes. 2010. Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, D. C., Colombia. 80 pp.
- Rojas, E., B. Arce, A. Peña., F. Boshell y M. Ayarza. 2010. Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de

- Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11 (2): 173-182.
- Sing, T., O. Sander, N. Beerenwinkel y T. Lengauer. 2005. ROCr: visualizing classifier performance in R. *Bioinformatics*, 21 (20): 3940-3941. Disponible en: <http://rocr.bioinf.mpi-sb.mpg.de>.
- Solís, S. S. 1991. Ecología de las garrapatas *Boophilus*: perspectivas de un panorama. Pp. 19-30. *En: Memorias del II Seminario Internacional de Parasitología Animal. Garrapatas y enfermedades que transmiten*. Morelos, Mexico.
- Strobl, C., J. Malley y G. Tutz. 2009. An introduction to recursive partitioning: rational, application and characteristics of classification and regression trees. Bagging and random forest. *Psychological Methods* 14 (4): 323-348.
- Sutherst, R. W. 1987. Ticks and tick-borne diseases: proceedings of an international workshop on the ecology of ticks and epidemiology of tick – borne diseases, held at Nyanga, Zimbabwe. *Acian Proceedings*. 17: 17-21.
- Taylor, M., M. A. Coop y R. L. Wall. 2007. *Veterinary parasitology*. Third edition. Blackwell Publishing. London, U K. 697 pp.
- Teel, P. D., S. Marin., W. E. Grant y J. W. Stuth. 1997. Simulation of host – parasite-landscape interactions: influence of season and habitat on cattle feces tick (*Boophilus* sp.) population dynamics in rotational grazing system. *Ecological Modelling* 97: 87-97.
- Velandia, F. 2005. Interpretación de transcurencia de las fallas Soapaga y Boyacá a partir de imágenes Landsat TM. Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. Bogotá D.C., Colombia. 20 pp.

Luz Astrid Pulido-Herrera

Programa de Doctorado en Ciencias – Biología,
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá.

lapulidoh@unal.edu.co – astrid.pulido@gmail.com

Agustín Rudas-Ll.

Instituto de Ciencias Naturales,
Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá.

arudasl@unal.edu.co

Jesús Antonio Betancourt

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (ICA),
Mosquera, Colombia

jesantbet@yahoo.com

William. E. Grant

Department of Wildlife and Fisheries Sciences,
Texas A&M University, College Station, TX.

wegrant@tamu.edu

Sergio José Vilchez

Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza,
Turrialba, Costa Rica

svilchez@catie.ac.cr

Distribución inusual y potencial de la garrapata común del ganado, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, en zonas tropicales de alta montaña

Citación del artículo. Pulido-Herrera, L. A., A. Rudas-Ll. J. A. Betancourt, W. E. Grant y S. J. Vilchez. 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.

Recibido: 22 de agosto de 2015

Aprobado: 6 de diciembre de 2015