

INVESTIGACIÓN ____ PROFUNDIZACIÓN __X__

Predicción de Zonas de Riesgo de Filariasis Linfática en el Territorio Colombiano a partir de Modelos de Distribución de Especies basados en Máxima Entropía.

Autor

Marino Mauricio Mejía Rocha

Tutor

Luis Eduardo Castillo Méndez. MSc.

Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones

Énfasis en Geomática

Bogotá, Colombia

diciembre de 2022

Contenido

RESUMEN *6*
PALABRAS CLAVE *6*
INTRODUCCIÓN *7*
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN *9*
2. OBJETIVOS *13*
2.1 Objetivo general 13
2.2 Objetivos específicos 13
3. JUSTIFICACIÓN *14*
4. MARCO DE REFERENCIA *17*
4.1 Marco teórico 17
4.2 Marco conceptual 18
4.2.1 Filariasis linfática (FL) 18
4.2.2 Culex quinquefasciatus 19
4.2.3 Percepción remota 20
4.2.4 Hábitat 20
4.2.5 Área de accesibilidad (M) 20
4.2.6 Nicho ecológico 21
4.2.7 Modelado de un nicho ecológico 21
4.2.8 Validación de modelos de nicho ecológico 22
4.2.9 Principales algoritmos para modelado de nichos ecológicos 22
4.2.10 MaxEnt: Modelo de máxima entropía 24
4.2.11 Ventajas y limitantes del modelo de máxima entropía (MaxEnt) 25
4.3 Marco espacial 25
4.4 Marco temporal 26
5. LIMITACIONES *27*
6. METODOLOGÍA *28*
6.1 Selección de variables ambientales 30
6.2 Selección de los datos de ocurrencia 31
6.3 Establecimiento del área de accesibilidad (M) 32
6.4 Correlación de variables 34
6.5 Análisis de componentes principales (ACP) 35
6.6 Parametrización de MaxEnt 36
6.6.1 Datos de fondo 36
6.6.2 Características 36
6.6.3 Regulizadores 38
6.6.4 Sesgo de muestreo 38
6.6.5 Tipos de salida 39
6.6.6 Evaluación de los modelos 40
6.6.7 Kuenm para generación y validación de modelos de nicho 42
6.6.8 Análisis de MESS 42
6.6.9 Umbral de decisión 43

7. RESULTADOS 44
7.1 Datos de ocurrencia seleccionados 44
7.2 Área de accesibilidad seleccionada 46
7.3 Análisis de correlación de variables ambientales 47
7.4 Análisis de componentes principales (ACP) 49
7.5 Modelado de nicho ecológico 51
7.5.1 Estadísticas generales de los modelos 51
7.5.2 Análisis de omisión/comisión 53
7.5.3 Imágenes del modelo 54
7.5.4 Modelo seleccionado Vs la mediana de los modelos candidatos 55
7.5.5 Transferencia del modelo al territorio colombiano 56
7.5.6 Curvas de respuesta 58
7.5.7 Análisis de contribución de las variables 58
7.5.8 Resultado del análisis de MESS 59
7.5.9 Binarización del modelo a través del umbral de corte 61
7.6 Mapa de prevalencia de filariasis linfática en Colombia 62
7.7 Filariasis linfática y distribución de la especie del *Culex quinquefasciatus* 64
7.8 Mapa de riesgo 66
7.9 Filariasis por *Brugia malayi* y *Brugia timori* 68
8. CONCLUSIONES 70
9. REFERENCIAS 72
ANEXO A 81
ANEXO B 82
ANEXO C 88

Índice de tablas

Tabla 1: Personas atendidas por tipo y diagnóstico de filariasis linfática en Colombia 10
Tabla 2: Otros diagnósticos de filariasis en Colombia 11
Tabla 3: Variables del portal WorldClim 30
Tabla 4: Matriz de confusión 40
Tabla 5: Filtros aplicados y número de ocurrencias 44
Tabla 6: Resultado del análisis de componentes principales 49
Tabla 7: Parametrización de los modelos candidatos 51
Tabla 8: Estadísticas generales de modelos que cumplieron distintos criterios 51
Tabla 9: Estadísticas de rendimiento para los mejores modelos seleccionados 52
Tabla 10: Comparación modelo final de nicho Vs mediana de modelos seleccionados ... 56
Tabla 11: Contribución de las variables al modelo 59
Tabla 12:Umbrales comunes y tasas de omisión 61
Tabla 13: Filariasis linfática y zonas de distribución del Culex quinquefasciatus 65

Índice de figuras

Figura 1:Metodología propuesta 28
Figura 2: Descripción del modelado de nichos ecológicos y distribuciones de especies .. 29
Figura 3: Registros de presencia seleccionados 33
Figura 4: Métodos comunes para definir el área de accesibilidad (M) 34
Figura 5: Clases de entidad implementadas en MaxEnt 37
Figura 6: Salida cloglog Vs logística 39
Figura 7: Ejemplo de una Curva ROC 40
Figura 8: AUC parcial 41
Figura 9: Ocurrencias de la especie Culex quinquefasciatus reportadas en GBIF 45
Figura 10: Condiciones climáticas de la especie para Colombia y resto del mundo 46
Figura 11: Área de accesibilidad (M) 47
Figura 12: Matriz de correlación 48
Figura 13: Diagrama de dispersión de las dos primeras CP 50
Figura 14: Distribución de los modelos generados 53
Figura 15: Promedio de omisión y área predicha para el Culex quinquefasciatus 53
Figura 16: Sensibilidad promedio vs 1 - especificidad para Culex quinquefasciatus 54
Figura 17: Modelo de nicho para el Culex quinquefasciatus 55
Figura 18: Mediana de los modelos seleccionados 56
Figura 19: Nicho del Culex quinquefasciatus transferido al territorio colombiano 57
Figura 20: Curvas de respuesta 58
Figura 21: Análisis MESS del modelo 60
Figura 22: Umbrales de corte 62
Figura 23: Prevalencia de Filariasis linfática en Colombia 63
Figura 24: Municipios con casos de filariasis y hábitat del Culex quinquefasciatus 65
Figura 25: Mapa de zona de riesgo de Filariasis Linfática 66
Figura 26: Regiones naturales de Colombia y zonas de riesgo 67
Figura 27: Casos reportados de Filariasis debido a otros parásitos 69

RESUMEN

En Colombia, el número de personas reportadas con filariasis linfática (FL) al Sistema Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO) tuvo un aumento del 539% en los años 2019 y 2020 comparado con los años anteriores entre el 2009 y 2018, cifras que motivaron la realización de esta investigación, ya que actualmente el gobierno colombiano no considera la FL como un problema de salud pública, por no considerarla una enfermedad desatendida que necesite priorización.

Esta investigación propone la generación de modelos basados en máxima entropía para la creación de nichos ecológicos y de distribución de especies que permitan caracterizar las zonas de presencia del *Culex quinquefasciatus*, vector transmisor de la enfermedad.

A partir de umbrales de corte se crearon tres zonas de riesgo y se cruzaron con los municipios que reportaron casos de FL en el país, logrando una intersección del 88% de los municipios en el escenario menos riguroso y del 72% en el más estricto. Adicionalmente se creó una cuarta zona de riesgo para los municipios donde ya se habían reportado casos y con este panorama se caracterizaron el 8.4% de los municipios en riesgo muy alto, 28.5% en riesgo alto, 2.2% en riesgo medio, 24.3% en riesgo bajo y 36,6% sin riesgo.

Se espera que los resultados de la presente investigación permitan profundizar sobre la problemática de FL en el país y el posible subregistro de casos de la enfermedad en el territorio nacional y permita a los gobiernos locales y departamentales de los municipios en riesgo, tomar medidas para la erradicación y prevención de la enfermedad, así como la implementación de políticas públicas por parte del gobierno nacional.

PALABRAS CLAVE

Sistemas de Información Geográfica, Sensores Remotos, Máxima Entropía, Filariasis Linfática (FL), *Culex Quinquefasciatus*

INTRODUCCIÓN

La filariasis linfática (FL) es una enfermedad parasitaria comúnmente conocida como elefantiasis, causada por parásitos y transmitida de hombre a hombre por las picaduras del mosquito común, *Culex quinquefasciatus*. Esta enfermedad presenta un importante problema de salud pública en muchas partes de los trópicos, donde se le atribuye una carga física, psicológica y socioeconómica severa en personas que viven en regiones endémicas.

El mosquito *Culex quinquefasciatus* está presente en gran parte del mundo en las regiones tropicales y Colombia no es la excepción. Sin embargo, no existen estudios de modelado de nicho exclusivos para el país que permitan conocer las zonas idóneas del hábitat de este vector, así como tampoco existen estudios recientes sobre FL que permita conocer el estado actual de la enfermedad en el país. Si se conocen las zonas donde el vector cuenta con las condiciones bioclimáticas óptimas para su proliferación, es muy factible que también se puedan encontrar casos de FL que no hayan sido reportados al sistema de salud por la naturaleza misma de la enfermedad, ya que la infección se contrae generalmente en la infancia y provoca daños no manifiestos en el sistema linfático que solo se manifiestan tiempo después, incluso solo al llegar a la adultez.

Es por ello que el presente trabajo plantea la necesidad del desarrollo de un nicho ecológico y de distribución de especies del vector *Culex quinquefasciatus*, principal transmisor del parásito *Wuchereria Bancrofti*, causante de la infección por FL, a partir del hallazgo de un aumento considerable de casos reportados de personas con este diagnóstico al sistema de información SISPRO, en los años 2019 y 2020 que daría cuenta de un alarmante problema de salud pública en curso.

Cabe señalar que esta enfermedad a pesar de ser considerada una enfermedad desatendida, en la actualidad no existe ningún programa del gobierno nacional ni departamental, encaminado a explorar las incidencias ni prevalencias, y mucho menos a prevenir la propagación de la enfermedad en la población que puede estar en riesgo de padecerla. Además, la FL puede eliminarse interrumpiendo la propagación de la infección mediante la repetición anual del tratamiento quimioprofiláctico con combinaciones de

medicamentos seguros, pero para poder lograrlo se debe tener conocimiento de las zonas donde deben encaminarse estos esfuerzos.

Es por esto por lo que esta investigación es muy relevante para los intereses del país en aras de llenar el vacío que actualmente se encuentra sobre la caracterización espacial de esta enfermedad y su vector, entendiendo que, a pesar de ser una enfermedad desatendida, el costo para las personas que la padecen son muy altos, llegando incluso a quedar físicamente discapacitados, sufriendo perjuicios mentales, sociales y financieros que contribuyen a la pobreza y estigmatización.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las enfermedades infecciosas desatendidas u olvidadas (EID), y aquellas transmitidas por vectores, son un grupo de enfermedades infecciosas y parasitarias que afectan principalmente a las poblaciones que viven en condiciones socioeconómicas pobres, con carencia de acceso a servicios y saneamiento básicos y con barreras en el acceso a los servicios de salud. Además, es muy probable que se puedan presentar varias de ellas en un mismo espacio geográfico debido a que comparten determinantes sociales y ambientales.

Dentro del listado de las 17 enfermedades desentendidas que propuso la Organización Panamericana de la Salud (OPS Colombia, 2009), 12 de ellas se encuentran presentes en América Latina y el Caribe y de estas, 8 en Colombia, incluyendo la FL, objeto de la presente investigación.

La FL hace parte de las llamadas enfermedades transmitidas por vectores (ETV) y según informe de la OPS (2020), representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas en el mundo y cada año provocan más de 700.000 muertes. En el mismo informe se estima que en el mundo hay 120 millones personas infectadas con FL, de las cuales 40 millones presentan discapacidad o algún tipo de deformidad. Por su parte, la OMS (2020) afirma que en el mundo hay más de 893 millones de personas en 49 países amenazadas por esta enfermedad, de las cuales unos 12,6 millones están en riesgo en las américas (OPS, 2020). La FL, conocida generalmente como elefantiasis, es una infección humana producida por la transmisión de parásitos denominados filarias a través de mosquitos (vectores). Estas filarias pueden pertenecer a tres especies distintas, pero en las Américas, la *Wuchereria bancrofti* es la única que puede ser transmitida por los mosquitos del género *Culex*, principalmente de la especie *quinquefasciatus* (OPS, 2020).

Estos datos no son consecuentes con los casos reportados desde el año 2009 hasta el 2020 por el ministerio de salud a través del SISPRO, donde se reportan también casos de FL debida a dos tipos de parásitos. *Brugia malayi*, especie característica del Sudeste de

China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas y las islas del Pacífico; y a *Brugia timori*, que solo está presente en las Islas de Timor e Indonesia (Díaz-Menéndez, Norman, Monge-Maillo, Pérez-Molina, y López-Vélez, 2011).

Tabla 1: Personas atendidas por tipo y diagnóstico de filariasis linfática en Colombia

FILARIASIS DEBIDA A	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TOTAL
WUCHERERIA BANCROFTI (B740)	**5**	**8**	**8**	**1**	**5**	**40**	**3**	**7**	**5**	**13**	**153**	**152**	**400**
1 - IMPRESIÓN DIAGNÓSTICA	1	6	7	1	2	25	2	4	4	5	11	5	73
2 - CONFIRMADO NUEVO	1	1	1		1	10	1			2	4	6	27
3 - CONFIRMADO REPETIDO	2				1	1		2	1	1	1	4	13
ND - NO DEFINIDO	1	1			1	4		1		5	137	137	287
BRUGIA MALAYI (B741)	**7**	**7**	**3**	**3**	**1**	**3**	**3**	**1**			**168**	**108**	**304**
1 - IMPRESIÓN DIAGNÓSTICA	6	2	3	3	1	1					5	3	24
2 - CONFIRMADO NUEVO		2				1	3				5	2	13
3 - CONFIRMADO REPETIDO		1									4	2	7
ND - NO DEFINIDO	1	2				1		1			154	101	260
BRUGIA TIMORI (B742)	**1**	**1**		**1**		**3**	**1**	**2**			**140**	**122**	**271**
1 - IMPRESIÓN DIAGNÓSTICA		1		1		3		2			7	12	26
2 - CONFIRMADO NUEVO							1				2		3
3 - CONFIRMADO REPETIDO											1		1
ND - NO DEFINIDO	1										130	110	241
TOTAL	**13**	**16**	**11**	**5**	**6**	**46**	**7**	**10**	**5**	**13**	**461**	**382**	**975**

Fuente: SISPRO (2011)

La Tabla 1 muestra el número de personas con diagnóstico de FL en Colombia reportados a través de SISPRO, debida a estos tres tipos de parásitos. Llama la atención que en la mayoría de los diagnósticos no esté definido el tipo, es decir, la forma en la que se llegó a este diagnóstico y lo más preocupante aún, que existan casos confirmados por impresión diagnóstica de los dos tipos de parásitos que no están presentes en las américas y, por ende, en Colombia.

También se evidencia en los datos de la Tabla 1 un aumento significativo entre las personas reportadas con la enfermedad entre los años 2009 y 2018, con los casos del 2019 y 2020, donde el crecimiento es significativamente notorio.

Tabla 2: Otros diagnósticos de filariasis en Colombia

DIAGNOSTICO CIE10	2009-2020
OTRAS FILARIASIS (B748)	**415**
1 - IMPRESIÓN DIAGNÓSTICA	97
2 - CONFIRMADO NUEVO	23
3 - CONFIRMADO REPETIDO	16
ND - NO DEFINIDO	279
FILARIASIS, NO ESPECIFICADA (B749)	**1582**
1 - IMPRESIÓN DIAGNÓSTICA	782
2 - CONFIRMADO NUEVO	240
3 - CONFIRMADO REPETIDO	98
ND - NO DEFINIDO	462
TOTAL	**1997**

Fuente: SISPRO (2011)

En la Tabla 2, se resumen otros dos diagnósticos de filariasis, donde el número de personas con tipo de diagnóstico, ND – NO DEFINIDO, llega a 471. Estos datos que representan el 25% de los casos, bien podrían pertenecer a alguno de los tres grupos de filariasis linfática mencionados en la Tabla 1 y estar generando un subregistro importante en el número de reportes.

Esta situación, sumada al compromiso asumido por los Estados Miembros de la Asamblea Mundial de la Salud, incluido Colombia, de eliminar la FL como problema de salud pública a través de la resolución WHA50.29 para el año 2020 (OMS, 2020), plantea la necesidad de reflejar cuál es la situación real y actual de la enfermedad en nuestro país, una vez se evidencia el aumento significativo de personas con diagnóstico de FL en los años 2019 y 2020.

Este aumento en el número de personas que padecen la enfermedad va en contravía del compromiso adquirido y plantea retos importantes para el Ministerio de Salud y Protección Social, como conocer la distribución del vector *Culex* de la especie *quinquefasciatus*, causante de la transmisión del parásito en Colombia y posterior a ello, realizar un análisis de la distribución de la enfermedad a lo largo del territorio nacional.

Es aquí donde los sistemas de información geográfica (SIG) y los sensores remotos adquieren relevancia, ya que permiten estudiar la distribución actual y predecir áreas de riesgo de presencia de insectos vectores de enfermedades y así mismo, constituirse en aliados para la focalización de acciones de prevención y control (Parra-Henao, 2010).

Dada la situación actual descrita, esta investigación se propone la generación de modelos basados en máxima entropía (a través del software MaxEnt) para la creación de un nicho ecológico que permita caracterizar las zonas de presencia del vector *Culex quinquefasciatus* y posteriormente contrastar estos nichos con la presencia de casos de FL en el territorio nacional, permitiendo la generación de mapas de zonas de riesgos e identificando posibles zonas de subregistro de casos.

En este sentido, la presente investigación busca responder la siguiente pregunta de investigación, ¿A partir del modelamiento espacial del nicho ecológico del *Culex quinquefasciatus* y los casos de FL reportados en Colombia, se pueden caracterizar zonas de riesgo endémico donde actualmente no se reportan casos o existe bajo reporte de la enfermedad?

En el transcurso de la investigación se contestarán preguntas como ¿Cuáles son las principales variables climáticas que permiten la proliferación del vector *Culex* de la especie *quinquefasciatus*?, ¿Existe alguna relación entre el nicho ecológico del *Culex quinquefasciatus* y los casos reportados de FL en Colombia?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar zonas de riesgo de FL en el territorio colombiano a partir de modelos de nicho ecológico y de distribución de especies del vector *Culex quinquefasciatus*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las principales variables climáticas que permiten la detección de las zonas endémicas del vector *Culex quinquefasciatus*.
- Modelar las condiciones ambientales encontradas de la especie estudiada, que reflejen el nicho fundamental existente o el nicho realizado para generar los nichos ecológicos.
- Proyectar los nichos modelados al espacio geográfico -generar de modelos de distribución-, para describir la distribución actual de la especie y predecir su distribución potencial en el territorio nacional.
- Comparar los modelos de distribución de las especies obtenidos con los casos reportados confirmados en la base de datos de SISPRO, que permitan la validación del modelo y la identificación de regiones con posible subregistro de casos de FL.

3. JUSTIFICACIÓN

La FL es una infección parasitaria producida gusanos, transmitidos por mosquitos del género Culex en las Américas. Esta infección puede llevar a un crecimiento anormal de las partes del cuerpo como las extremidades, las mamas y los genitales externos, conocido como elefantiasis, que tienen un efecto profundamente perjudicial sobre la calidad de vida de las personas afectadas (Wynd, Melrose, Durrheim, Carron, y Gyapong, 2007). Además, esta enfermedad también puede presentar una alteración del sistema linfático y resultar en linfedema crónico (OPS, 2020).

Esta enfermedad causa dolor y discapacidad grave, y suele conllevar a la estigmatización y a la exclusión social (OPS, 2020). Según la investigación de Wynd, Melrose, Durrheim y otros. (2007), el grado de discapacidad social varía entre entornos culturales, pero el grado de estigmatización parece estar directamente relacionado con la gravedad de la enfermedad visible. La misma investigación concluye que en contextos conservadores, las personas afectadas evitan buscar tratamiento por temor a llamar la atención sobre su condición y la falta de tratamiento de la enfermedad da como resultado ataques febriles agudos recurrentes y daño progresivo del sistema linfático. Sin acceso a simples consejos de higiene, los pacientes no pueden prevenir una mayor progresión de las complicaciones visibles de la FL y al no ser una enfermedad desatendida priorizada, no existen programas de apoyo por parte del gobierno nacional.

Para interrumpir la transmisión, la OPS (2020) y la OMS (2020) recomiendan adoptar medidas de control de vectores, conjuntamente con la administración masiva simultánea de dos medicamentos (dietilcarbamazina y albendazol) en una sola dosis, anualmente, a quienes viven en zonas endémicas por al menos cinco años consecutivos.

En Colombia la FL no es considerada actualmente como un problema de salud pública debido al bajo registro de casos reportados en el país, entre otras razones. Esta hipótesis tendría cierta validez entre los años 2009 y 2018, donde en el transcurso de los 10 años solo se reportaron 132 casos al SISPRO, pero, por otro lado, en los años 2019 y 2020 se

alcanzaron los 843 casos, lo que equivale a un aumento del 539% en el número de casos reportados.

Para poder cumplir con las recomendaciones realizadas por la OPS/OMS para erradicar la FL del país, se debe contar con un conocimiento del estado de la enfermedad en el territorio nacional. Salvo por algunas investigaciones realizadas varios años atrás sobre casos clínicos de filariasis por *Mansonella Ozzardi* y solo a nivel local (Lightner, Ewert, Corredor, y Sabogal, 1980; Kozek, D'Alessandro, y Hoyos, 1982; Kozek, D'Allessandro, Saliva, y Navarette, 1982; Kozek, Palma, Henao, García, y Hoyos, 1983; Kozek, Palma, Valencia, Montalvo, y Spain, 1984; Vera y Trujillo, 1997; Espitia y Trujillo, 1998; Suárez Mattos, Calderón, y Acevedo, 2018), el país no cuenta con información de la situación actual de la FL más allá de los casos reportados en SISPRO y que por las razones ya expuestas, no se tiene certeza si existen regiones de país con subregistro de casos reportados o casos mal diagnosticados.

Se hace entonces urgente la generación de conocimiento sobre la posible ubicación de los nichos ecológicos del vector y de la enfermedad, para que el gobierno nacional y los gobiernos locales tengan una herramienta que les permita la adopción de medidas de control del vector y de la enfermedad y se puedan priorizar aquellas zonas en riesgo que no están siendo atendidas en la actualidad, así como mejorar el registro de los casos.

Los modelos de distribución de especies (MDE) son una herramienta eficaz para predecir la idoneidad del hábitat de las especies y se han utilizado ampliamente en estudios de conservación y restauración para evaluar las relaciones entre la presencia de especies y los antecedentes ambientales (Barnes y Delborne, 2019).

El modelo de máxima entropía (MaxEnt) es uno de los modelos más populares que muestra ventajas entre los enfoques de MDE (Zhong, Xue, Jiang, Liu, y Wang, 2020). Esto en parte se debe a que MaxEnt solo requiere datos de presencia de especies y a que permite tanto variables continuas como categóricas como predicadores de entrada. Usando el aprendizaje automático, MaxEnt contrasta las características ambientales en los puntos de presencia de especies con las características ambientales en los puntos de fondo, y genera directamente un mapa continuo de la idoneidad del hábitat (Elith, y otros, 2011). Cabe

señalar que, en estudios anteriores, MaxEnt demostró una mayor precisión y estabilidad en la predicción en comparación con otros modelos, incluso con tamaños de muestra pequeños (Stockwell y Peterson, 2002; Hernandez, Graham, Master, y Albert, 2006; Pearson, Raxworthy, Nakamura, y Peterson, 2007; Merow, Smith, y Silander, 2013; Xue, y otros, 2018).

Se espera que esta investigación sirva de base para el gobierno nacional, los gobiernos locales y departamentales e investigadores que deseen realizar estudios en las áreas de riesgo que identifique el nicho ecológico, que permita tener un panorama actualizado de la situación de la FL en el país, que ayude tanto en la prevención de la enfermedad como en la caracterización de la población que la padece para que pueda mejorar su calidad de vida.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

Actualmente Colombia no cuenta con datos de prevalencia (casos existentes) e incidencia (casos nuevos) confiables sobre FL en el país, que permitan dimensionar la realidad actual de esta enfermedad desatendida.

En la revisión bibliográfica realizada, no se encontraron más investigaciones sobre el parásito *Wuchereria Bancrofti* transmitido por el mosquito *Culex quinquefasciatus* en el país, que la desarrollada por Sotomayor-Tribin (2014) a manera de anotaciones médicas y literarias, sobre los casos descritos entre los siglos XVI y XX. En este artículo se expone la realidad que vivían las personas que padecían la enfermedad y describe los enfoques y consideraciones clínicas y terapéuticas que se realizaban.

Por otra parte, las investigaciones han girado en torno a la filariasis producida por el parásito *Mansonella Ozzardi,* que presenta síntomas mucho menos agresivos y que pocas veces resulta en el desarrollo de una FL. Este parásito produce la mansonelosis, una forma leve de filariasis. A continuación, se describen las investigaciones realizadas sobre este parásito, que, si bien no son el objetivo de esta investigación, si pueden dar luces de los sitios donde podría presentarse la enfermedad en estudio.

El primer artículo encontrado fue el realizado por Lightner, Ewert, Corredor, y Sabogal, (1980) en el departamento del Vaupés. Con un total de 347 personas en el estudio, la mayoría indígenas pertenecientes a 23 pueblos, se encontró que el 49% presentaba infección por *Mansonella Ozzardi,* siendo más alta en hombres (55%) que en mujeres (42%). En 1982, Kozek, D'Allessandro, Saliva, y Navaretterealizaron otro estudio en la región amazónica sobre 16 pueblos cercanos a la frontera con Ecuador. La prevalencia fue del 47,1% con una muestra de 535 personas entre adolescentes y adultos, siendo mayor en las mujeres (55%) que en los hombres (42%) y en ambos sexos la prevalencia aumentaba con la edad.

En otro estudio realizado por Kozek, Palma, Henao, García, y Hoyos (1983) en el departamento de Guainía, aproximadamente el 25% de los 604 participantes presentaban algún tipo de la infección por microfilária, siendo mayor en hombres (29,7%) que en mujeres (23,7%). En esta misma región Kozek, D'Alessandro, y Hoyos (1982), realizaron 75 muestra de sangre en Puerto Inírida, Coco y Pajuil, encontrando la presencia de *Mansonella Ozzardi* en 26 personas. Por su parte, Vera y Trujillo (1997) en el mismo departamento de Guainía, focalizaron su estudio en 181 personas pertenecientes a poblaciones cercanas al rio Atabapo y encontraron una prevalencia del 57% en el grupo examinado. En su estudio encontraron una relación directa con ser agricultor y que el síntoma más común de la infección eran los dolores de cabeza. Estos mismos datos arrojados por este estudio fueron utilizados por otros investigadores en un estudio posterior, donde realizaron una comprobación de muestras de diagnóstico (Espitia y Trujillo, 1998).

Por otra parte, en los departamentos de Meta, Casanare y Vichada, Kozek, Palma, Valencia, Montalvo, y Spain (1984), realizaron un estudio que obtuvo menores porcentajes de incidencia que los encontrados en el Amazonas y en Guainía. El estudio encontró un 2.5% en las muestras recogidas en Meta (6/243), un 4.9% en Casanare (12/247) y un 2.5% en Vichada (3/137).

Finalmente, Suárez Mattos, Calderón, y Acevedo (2018) presentan la investigación más reciente pero que solo presenta un caso de estudio particular en una paciente de 13 años con linfoma T de origen indígena del Vaupés, que presento infección por *Mansonella Ozzardi*, y en el que coinciden con que no existen muchos casos documentados de este tipo de infecciones en el país.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

4.2.1 Filariasis linfática (FL)

La FL humana es una enfermedad parasitaria comúnmente conocida como elefantiasis debido a la inflamación de los miembros inferiores. Es causada por parásitos nematodos (gusanos redondos) del orden *Filariidae* que comprenden una estructura filiforme. La FL se transmite de hombre a hombre por las picaduras de mosquitos, en particular por el mosquito

común, *Culex quinquefasciatus*. Esta enfermedad es categorizada como una enfermedad tropical desatendida (ETD) (OMS, 2020), sin embargo, es un importante problema de salud pública en muchas partes de los trópicos, donde se le atribuye una carga física, psicológica y socioeconómica severa en personas que viven en regiones endémicas (Tyagi, 2018).

4.2.2 Culex quinquefasciatus

La infección por FL ocurre por exposición prolongada a picaduras de mosquitos de varias especies pertenecientes a géneros, como Culex, Mansonia, Aedes e incluso Anopheles. Entre todos los vectores conocidos, el *Culex quinquefasciatus* es el más importante por ser genéticamente susceptible a los parásitos de la FL; este se distribuye en los trópicos y subtrópicos, y su adaptación para reproducirse en aguas contaminadas, es resultado principalmente de la urbanización no planificada, la creciente presión demográfica y la falta de saneamiento (Tyagi, 2018).

Además de su papel como vectores, las especies de Culex también son responsables de un gran número de molestias como por ejemplo, las altas tasas de picaduras que superan las 100 picaduras / persona / noche. El *Culex quinquefasciatus*, es una especie de vector prominente que se alimenta tanto de humanos como de animales, lo que aumenta su implicación en la transmisión de patógenos a ambos grupos de huéspedes (Talipouo, y otros, 2021).

Indagando sobre las características del hábitat donde prolifera la especie, se encontró que este puede vivir entre 0 y 3000 msnm (CABI, 2022), y con respecto a la temperatura que tolera el vector para el desarrollo de su ciclo de vida, se halló que, aunque este puede resistir temperaturas mínimas cercanas a 0°C (CABI, 2022) y máximas cercanas a los 34°C (Ukubuiwe, y otros, 2018), los rangos de temperatura óptimos para su desarrollo están entre los 15°C y los 27°C (Hassan, Kenawy, Al Ashry, y Shobrak, 2017).

4.2.3 Percepción remota

Por Percepción Remota (Remote Sensing) o Teledetección se entiende, de modo genérico, cualquier procedimiento o técnica de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. Sin embargo, de un modo más restringido, y en el ámbito de las ciencias que estudian el planeta Tierra, la Percepción Remota es entendida como una Técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde diferentes plataformas de sensores remotos (Pérez Gutiérrez y Muñoz Nieto, 2006)

4.2.4 Hábitat

En un estudio realizado por Di Bitetti (2012) se define el hábitat de un organismo, como el lugar donde vive o el lugar donde uno lo buscaría. El hábitat puede referirse al lugar ocupado por un individuo, una población, una especie, un género, o incluso un gremio. En el mismo estudio se propone el hábitat como un término que se refiere a una unidad ambiental particular, discernible de otras unidades. Se habla entonces de hábitat en términos del espacio que comparten varias especies y está caracterizado por cierta uniformidad de las condiciones bióticas y abióticas. Los diferentes hábitats son identificados por el cambio o la modificación de esa uniformidad.

4.2.5 Área de accesibilidad (M)

Uno de los pasos más importantes para el modelado de nichos ecológicos es el establecimiento del área de accesibilidad, comúnmente conocida como M. Su determinación influye en el entrenamiento y validación del modelo, a la vez que facilita la comparación entre diferentes modelos (Barve, y otros, 2011).

En general, los límites de estas regiones corresponden a conjuntos compartidos de límites de distribución de especies a lo largo de los paisajes, lo que puede brindar información sobre las barreras que han restringido repetidamente el potencial de distribución de las especies. En este sentido, puede ser razonable tomar el conjunto de regiones bióticas dentro de las cuales se sabe que se encuentra una especie como una hipótesis de las áreas

que han estado disponibles para ella durante períodos de tiempo relevantes. Este enfoque es bastante simple y puede resultar el más operativo (Soberón, 2010).

4.2.6 Nicho ecológico

La definición más recurrente en la literatura para nicho ecológico es la realizada por Hutchinson (1957), que lo define como un parámetro abstracto “espacio”, cuyas dimensiones representan los diversos recursos que necesita una población de una especie para sobrevivir.

Otra definición un poco más completa fue la propuesta por Chase y Leibold (2003) en su libro sobre nichos ecológicos, donde los definen como la descripción conjunta de las condiciones ambientales que permiten que una especie satisfaga sus requisitos mínimos para que la tasa de natalidad de una población local sea igual o mayor que su tasa de mortalidad junto con el conjunto de efectos per cápita de esa especie en estas condiciones ambientales.

Para Chase y Leibold (2003), la idea de nicho debe ser relevante para múltiples escalas espaciales. La teoría actual del nicho a menudo se centra demasiado en explicar las interacciones de las especies a escala local (donde la dinámica de la población es el único proceso presente), pero muchas de las cuestiones ecológicas más importantes y desafiantes ocurren a escalas más grandes, donde la dinámica de la colonización, las invasiones y similares, se vuelven bastante importantes.

4.2.7 Modelado de un nicho ecológico

Esencialmente, el modelado de un nicho ecológico es una técnica utilizada para estimar áreas de distribución reales o potenciales, o conjuntos de hábitats favorables para una especie determinada, sobre la base de sus presencias observadas y (a veces) ausencias. Estos métodos relacionan "nichos" con "áreas de distribución" (Soberón y Nakamura, 2009).

Un buen uso de los modelos de distribución de especies requiere una clara distinción de las diferencias entre distribuciones potenciales y realizadas. Si bien la distribución potencial

se refiere a los lugares donde una especie podría vivir, la distribución realizada se refiere a los lugares donde realmente vive una especie. Es importante destacar que ambos conceptos se refieren a un momento particular o un período discreto en el tiempo (generalmente, tiempo presente). Por lo tanto, los lugares pertenecientes a la distribución potencial o realizada de una especie varían con el tiempo (Jiménez-Valverde, Lobo, y Hortal).

4.2.8 Validación de modelos de nicho ecológico

La validación de los modelos se refiere a la efectividad en la predicción de la distribución realizada en términos de significancia estadística.

En la distribución potencial basada en modelos de nicho ecológico, los errores son comúnmente utilizados para generar métodos de validación y se establecen de acuerdo con la condición predicha por los modelos, ya sea en presencia o ausencia de la especie (Peterson A. , y otros, 2011).

Otro tipo de error se presenta cuando se clasifican erróneamente los positivos, es decir, cuando el modelo predice presencia de la especie y se sabe que está ausente. A este se le conoce como error de omisión y se representa como b en la matriz de confusión (Peterson A. , y otros, 2011).

4.2.9 Principales algoritmos para modelado de nichos ecológicos

Existen algunas diferencias importantes entre los algoritmos de modelado, incluyendo: (1) el tipo de datos biológicos que el método requiere (es decir, presencias solamente, presencias y ausencias verdaderas, presencias y datos de fondo, y presencias y datos de pseudo-ausencia); 2) el enfoque metodológico subyacente (por ejemplo, los algoritmos pueden basarse en métodos de regresión, procedimientos de clasificación, procedimientos de aprendizaje automático o estadísticas bayesianas); (3) la forma de salida (por ejemplo, predicciones continuas frente a predicciones binarias u ordinales); 4) la capacidad de generar superficies de respuesta modeladas altamente complejas frente a superficies de respuesta modeladas relativamente más simples con respecto a variables ambientales particulares; y (5) la capacidad de incorporar variables ambientales categóricas. Por lo

tanto, los algoritmos pueden clasificarse de muchas maneras diferentes (Peterson A. , y otros, 2011).

Peterson y otros (2011) proponen una clasificación de los modelos por sus requisitos biológicos de datos de entrada:

1. Enfoques de sólo presencia. Algunos enfoques se basan únicamente en registros de presencia, sin necesidad de hacer referencia a otras muestras o cualquier otra información extraída del área de estudio. Los algoritmos más comunes utilizados con este enfoque son BIOCLIM (Busby, 1991), HABITAT (Walker y Cocks, 1991) y algunos basados en distancia Mahalanobis, cuanto más cerca está un sitio de la media de las observaciones en el espacio E, más pequeña es la distancia de Mahalanobis y se considera más cerca del sitio óptimo. Cabe complementar que se han propuesto varias mejoras a los enfoques originales basados en la medida de distancia mahalanobis (Rotenberry, Preston, y Knick, 2006).
2. Enfoques de presencia/ausencia. Algunos algoritmos funcionan contrastando sitios en los que la especie ha sido detectada con sitios donde la especie ha sido documentada como ausente, y por lo tanto requieren tantos datos de presencia como de ausencia. Numerosos de estos métodos se basan en el análisis de regresión, un enfoque estadístico general para relacionar una variable de respuesta (dependiente) con valores de variables predictoras (independientes). Como ejemplos de estos métodos se tienen los modelos lineales generalizados (GLMs), modelos aditivos generalizados (GAMs), árboles de clasificación y regresión (CART), árboles de regresión impulsados (BRT), redes neuronales artificiales (ANN) y algoritmos genéticos (GAs) cuyo mayor exponente es el método (GARP) (Peterson A. , y otros, 2011).
3. Enfoques presencia/fondo. Estos enfoques evalúan cómo el entorno donde se sabe que se produce la especie, se relaciona con el medio ambiente en toda el área de estudio (el "fondo"). Un método de presencia/fondo ampliamente utilizado se basa en el principio de máxima entropía, implementado en Maxent (Phillips, Anderson, y Schapire, 2006), que se explicará más adelante. Otro método de presencia/fondo es el Análisis de Factores de Nicho Ecológico (ENFA), implementado en un paquete de software llamado Biomapper (Hirzel, Hausser, Chessel, y Perrin, 2002).

4. Enfoques de presencia/pseudoausencia. Algunos enfoques muestran "pseudoausencias" del área de estudio, con el objetivo de comparar las localidades de ocurrencia conocidas con un conjunto de localidades que tienen cierta probabilidad de constituir localidades de presencia que está por debajo de la unidad. Un método ampliamente aplicado que utiliza muestreo de pseudoausencia es el GA llamado GARP (Stockwell y Peters, 1999). Internamente, el algoritmo GARP en sí requiere datos de ausencia, pero para permitir el uso en los casos comunes donde las ausencias verdaderas no están disponibles, el software GARP genera registros de pseudoausencia automáticamente desde el área de estudio (Peterson A. , y otros, 2011).

4.2.10 MaxEnt: Modelo de máxima entropía

MaxEnt formaliza el principio máximo de entropía, donde las distribuciones estimadas de probabilidad deben estar de acuerdo con lo que se conoce, pero deben evitar suposiciones no respaldadas por los datos. Por lo tanto, el enfoque consiste en encontrar la distribución de probabilidad de la máxima entropía, la que está más extendida, o más cercana a uniforme, sujeta a las restricciones impuestas por la información disponible con respecto a los registros de ocurrencia observada y las condiciones ambientales en toda el área de estudio (Phillips, Anderson, y Schapire, 2006).

En otras palabras, para (Elith, y otros, 2011), MaxEnt emplea un algoritmo de aprendizaje de máquinas que utiliza los datos disponibles para encontrar la distribución probabilística de la máxima entropía (la más uniforme o dispersa) de los datos de presencia (ocurrencias de la especie) y pseudoausencia, en relación a los valores de las variables ambientales en los lugares en los que se encuentra. Entiéndase por pseudoausencia, los lugares en los que se asume que una especie no puede habitar debido a que los valores de las variables ambientales se encuentran fuera de los parámetros observados en sus sitios de ocurrencia. Asimismo, a partir de ese modelo el software calcula el nicho ecológico fundamental (área abióticamente adecuada) de las especies (Phillips S. , 2009).

4.2.11 Ventajas y limitantes del modelo de máxima entropía (MaxEnt)

Entre las principales ventajas que ofrece el modelo de máxima entropía se tiene: (a) sólo requiere datos de presencia, (b) puede utilizar datos continuos y categóricos, (c) está basado en Algoritmos (deterministas) eficientes que garantizan que se converja en la distribución de probabilidades propia (máxima entropía), (d) el resultado es continuo, permitiendo distinguir sutiles cambios en la adecuación modelada (para cada especie) en diferentes áreas, y (e) se evita el sobre ajuste.

Entre las principales desventajas se encuentra que el modelo necesita de entrada todas las variables predictoras importantes para ser incluidas en el modelo, y estás dependen exclusivamente del investigador y de su entendimiento del hábitat de la especie, lo que quiere decir que podrían quedar variables por fuera del modelo que podrían ayudar a ser más precisos los resultados.

Otra desventaja es suponer que todos los hábitats adecuados para la especie estarán ocupados por ella, sin embargo, en la realidad una especie puede no haber colonizado ciertas áreas o haberse extinguido por causas naturales u ocasionadas por el hombre; además existen las relaciones ínterespecífica e intraespecífica (depredación y competencia) que pueden provocar que un hábitat este o no ocupado por determinada especie (Lawton y Woodroffe, 1991).

4.3 MARCO ESPACIAL

La presente investigación tiene como principal escenario toda la extensión del territorio colombiano, sin embargo, para la obtención del nicho ecológico, se tendrán en cuenta todos los datos de presencia del *Culex quinquefasciatus* a nivel mundial.

Colombia se encuentra ubicado en la región noroccidental de América del Sur, con una superficie de 1’141.748 km^2 y su ubicación latitudinal corresponde a 12º 27´46" norte y 4º 13´ 30" de latitud sur, lo que la ubica en una zona intertropical. Limita al Oriente con Venezuela y Brasil, al Sur con Perú y Ecuador y al Noroccidente con Panamá. Colombia se compone de 32 departamentos y un distrito capital que, a su vez, se dividen en 1120

municipios incluido el distrito capital (IGAC, 2021). El hecho de que Colombia se encuentre en una zona intertropical la hace más propicia a sufrir las llamadas enfermedades tropicales que generalmente son transmitidas por vectores como la FL.

4.4 MARCO TEMPORAL

La información que se utilizará para la investigación proviene de tres fuentes principalmente. La primera fuente de información es la base de datos de Ministerio de Salud y Protección Social llamada SISPRO que cuenta con los casos de filaria linfática presentados entre los años 2009 a 2020. La segunda fuente de información son los datos climáticos que se encuentran en el portal de WorldClime que cuenta con series de datos climáticos históricos de 1970 a 2000 y algunas variables desde 1960 hasta el 2018. La tercera fuente de datos son los proporcionados por el portal GBIF, que proporciona las ocurrencias del vector en varios periodos de tiempo en el mundo.

Adicionalmente, para un conocimiento más profundo del comportamiento del vector, se consultará el portal CABI. Este portal alberga una cobertura detallada de las especies invasoras que amenazan los medios de subsistencia y el medio ambiente en todo el mundo entre las que se encuentra el *Culex quinquefasciatus.* El portal cuenta con una amplia descripción del vector, basado en una vasta bibliografía recolectada sobre estudios de la especie en todo el mundo.

5. LIMITACIONES

La actual investigación está limitada a fuentes de datos secundarios y de libre distribución y, por otro lado, no se tiene contemplado realizar verificación en campo de los hallazgos encontrados. Se espera poder conseguir fuentes de financiación a partir de sus resultados obtenidos para el desarrollo de una segunda fase de investigación en este campo, posterior al trabajo de maestría.

6. METODOLOGÍA

La Figura 1 presenta un flujograma que resume los pasos que conforman la metodología para el desarrollo de esta investigación.

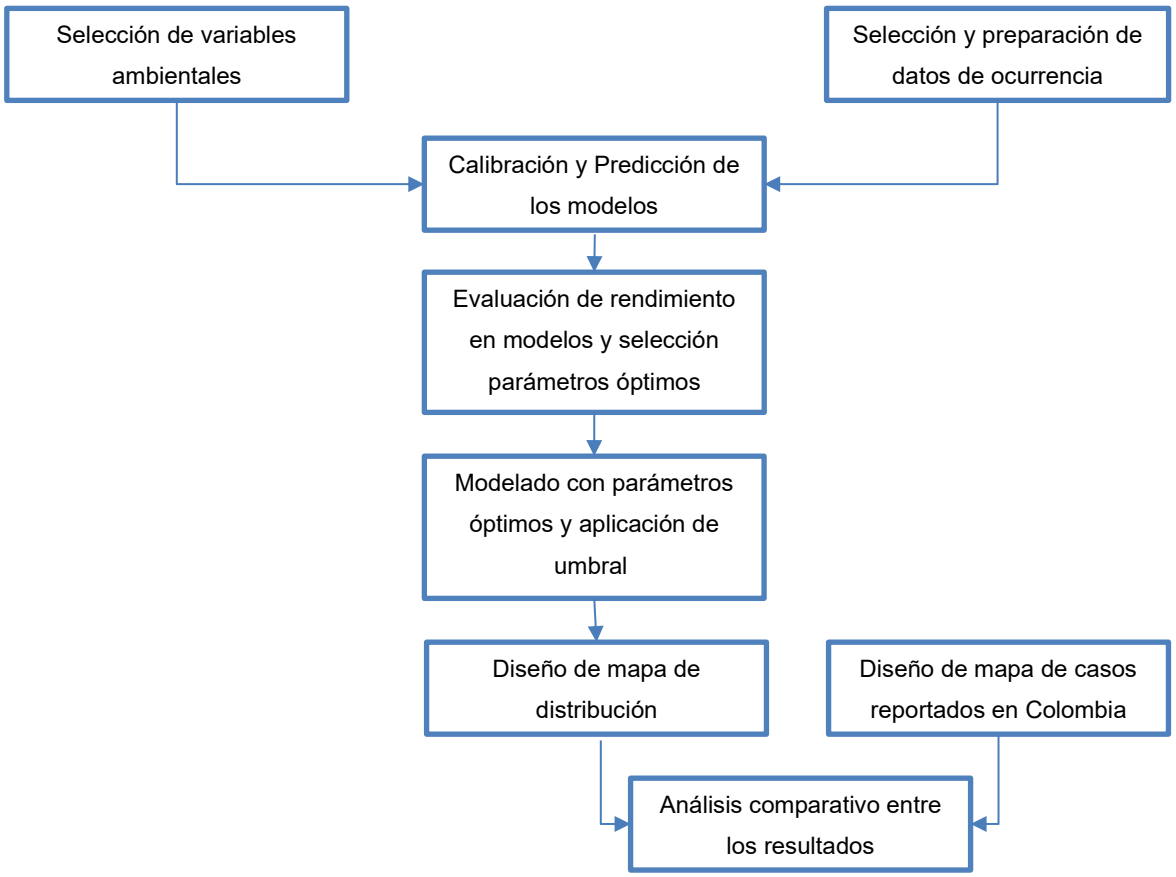


Figura 1:Metodología propuesta

En primer lugar, se deben recolectar los datos conocidos sobre la presencia de la especie en estudio, el *Culex quinquefasciatus*, e indagar sobre las variables que describen las condiciones ambientales que se presentan en estos lugares y que demuestran una relación potencial con la distribución de la especie. Esta información sobre los lugares de ocurrencia se obtiene principalmente a partir de publicaciones científicas y bases de datos de biodiversidad como GBIF (Global Biodiversity Information Facility, por sus siglas en ingles).

En cuanto a las variables ambientales que se utilizan en la definición de los nichos ecológicos, dependerá de las características que se evidencien de la especie, la inclusión de variables climáticas, edáficas, hidrológicas o topográficas. Estas variables se encuentran generalmente en sitios de libre distribución como worldclim.org o en repositorios nacionales.

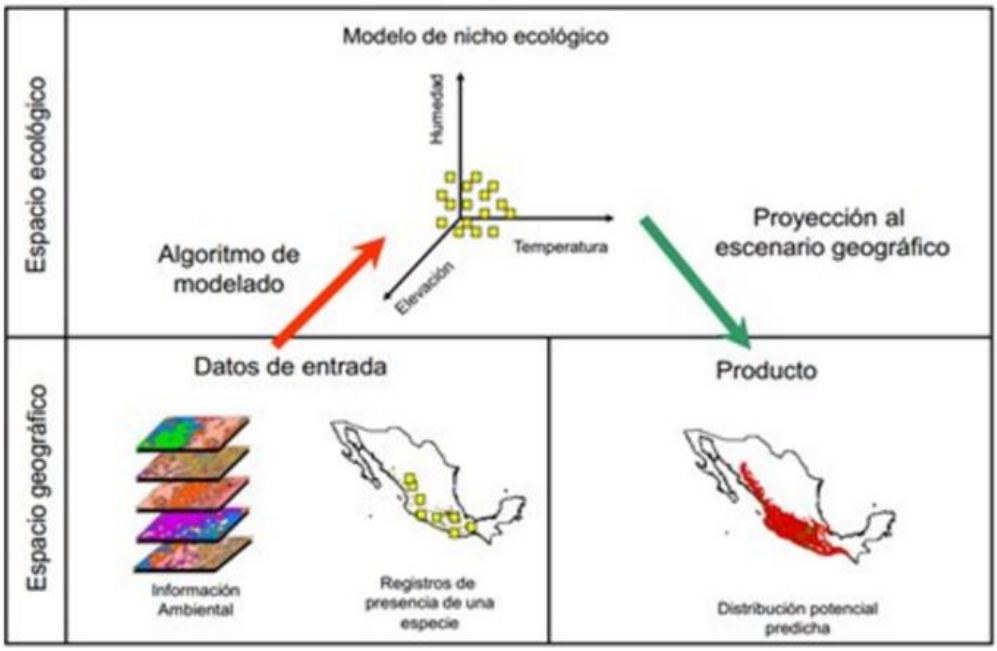


Figura 2: Descripción del modelado de nichos ecológicos y distribuciones de especies tomado de (Martínez-Meyer y Sanchez-Cordero, 2006)

Mediante algoritmos de modelado como MaxEnt (Phillips, Anderson, y Schapire, 2006), se realiza la asociación entre la información recolectada de las presencias y las variables ambientales para generar una representación de los nichos ecológicos de las dos especies, para posteriormente proyectar estos nichos en el espacio geográfico y generar mapas que reflejen la idoneidad ambiental, así como la distribución potencial de las especies (Figura 2).

Finalmente, se realizará un análisis entre los casos confirmados reportados en SISPRO, en su módulo de prestación de servicios, con diagnósticos de FL y las zonas donde se localiza potencialmente la especie Culex quinquefasciatus.

6.1 SELECCIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

El portal de WorldClim (Fick y Hijmans, 2017) fue seleccionado para descargar las variables de tipo climático que se tendrán en cuenta en el estudio debido a su histórico de datos y modelado de predicciones futuras. Las variables bioclimáticas descargadas del portal suman en total 19 y son presentadas en la Tabla 3. La resolución de descarga seleccionada fue de 0.008333333° x 0.008333333° que equivale a 1Km^2.

Tabla 3: Variables del portal WorldClim

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
BIO01	TEMPERATURA MEDIA ANUAL
BIO02	RANGO DIURNO MEDIO (MEDIA MENSUAL (TEMPERATURA MÁXIMA - TEMPERATURA MÍNIMA))
BIO03	ISOTERMALIDAD (BIO2 / BIO7) (× 100)
BIO04	ESTACIONALIDAD DE LA TEMPERATURA (DESVIACIÓN ESTÁNDAR × 100)
BIO05	TEMPERATURA MÁXIMA DEL MES MÁS CÁLIDO
BIO06	TEMPERATURA MÍNIMA DEL MES MÁS FRÍO
BIO07	RANGO ANUAL DE TEMPERATURA (BIO5-BIO6)
BIO08	TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO
BIO09	TEMPERATURA MEDIA DEL CUARTO MÁS SECO
BIO10	TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS CÁLIDO
BIO11	TEMPERATURA MEDIA DEL CUARTO MÁS FRÍO
BIO12	PRECIPITACIÓN ANUAL
BIO13	PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS HÚMEDO
BIO14	PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS SECO
BIO15	ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN (COEFICIENTE DE VARIACIÓN)
BIO16	PRECIPITACIÓN DEL CUARTO MÁS HÚMEDO
BIO17	PRECIPITACIÓN DEL CUARTO MÁS SECO
BIO18	PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS CÁLIDO
BIO19	PRECIPITACIÓN DEL CUARTO MÁS FRÍO

Adicionalmente, del mismo portal se descargó el ráster de altura a la misma resolución y en conjunto con las 19 variables bioclimáticas, fueron fundamentales para la limpieza y selección de las ocurrencias mediante la curaduría espacial y ambiental de los datos.

Finalmente, fue necesario realizar algunos procedimientos para el análisis de correlación de estas variables, pero este proceso solo se pudo llevar a cabo después de seleccionar el área de accesibilidad (M) de la especie.

6.2 SELECCIÓN DE LOS DATOS DE OCURRENCIA

Para la obtención de los datos de ocurrencia de la especie *Culex quinquefasciatus*, se utilizó información secundaria tomada del portal de GBIF. Esta es una red internacional y una infraestructura de datos financiada por diferentes gobiernos del mundo, cuyo objetivo es dar acceso abierto a datos sobre todos los tipos de vida en la Tierra. Este repositorio sobre información de especies utiliza estándares de datos como el de Darwin Core, que ofrece un marco estable para compilar datos de biodiversidad de fuentes variadas y variables (GBIF.org, 2020). Este estándar, forma la base para la mayor parte del índice de GBIF para los registros de ocurrencia de especies. Este repositorio brinda acceso abierto a sus conjuntos de datos mediante el uso de licencias Creative Commons, lo que lo hace la principal fuente de información secundaria de esta investigación.

Cabe destacar que algunos de los registros del portal no contaban con coordenadas para su georreferenciación, pero fue posible su reconstrucción a partir de otras variables geográficas disponibles con cada registro, como por ejemplo la ciudad donde se encontró el mosquito.

Para continuar con la selección de datos de presencia y teniendo en cuenta que MaxEnt trabaja con archivos tipo ráster, con un único valor por píxel para representar la presencia de la especie, se eliminaron ocurrencias con coordenadas repetidas, así como los registros cuya ubicación fuera un museo, por no tener claridad de su ubicación cuando fue capturado.

Posteriormente se realizó una curaduría espacial de las ocurrencias que aparecían en el océano, eliminando aquellas que no se encontraban en tierra firme, ya que se consideran valores atípicos para la especie estudiada. Para este paso, fue necesaria la vectorización de la capa de elevación descargada de WorldClim, que permitió ajustar o eliminar algunos registros de presencia, mediante una búsqueda por localización de las no coincidencias.

Una vez finalizada la curaduría espacial, se llevó a cabo la curaduría ambiental de los registros. Entendiendo que el nicho se construye a partir de las variables climáticas, se debe garantizar que todos los registros de presencia cuenten con información de las variables bioclimáticas que se definieron para la investigación. Para esto, se cruzaron las presencias

con las variables descargadas de WordlClim y se realizaron los ajustes o eliminaciones necesarias, así como la asignación a cada presencia del valor de las 19 variables.

Como paso final de la curaduría ambiental, se eliminaron las presencias cuyos valores bioclimáticos estuvieran fuera de los rangos característicos del hábitat de la especie descritos en el marco teórico, numeral 4.2.2, del presente documento. Por un lado, se descartaron presencias con valores de altura negativos o superiores a 3000 msnm y, por otro lado, se revisaron las variables BIO1, BIO5, BIO6, BIO8, BIO9, BIO10 y BIO11, en busca de valores negativos de temperatura y aquellos registros donde la temperatura superara los 39° C, dando un rango de ±5°C con respecto a los 34°C descritos en la literatura, para ser eliminados del conjunto de datos.

6.3 ESTABLECIMIENTO DEL ÁREA DE ACCESIBILIDAD (M)

La investigación busca determinar las zonas donde podría existir presencia del vector *Culex quinquefasciatus* en Colombia, para asociarla con la presencia de casos de Filaria reportados. Por ello, es importante delimitar la zona de estudio para que el modelo obtenido se ajuste a la realidad.

Como primer ajuste se redujo el número de registros con base en la biología de la especie a través de un filtro aplicado a los casos de presencia que se encuentran ±5°C de la temperatura mínima ideal de 15°C donde según Hassan, Kenawy, Al Ashry, y Shobrak (2017) se desarrolla el vector, y ±5°C de la temperatura máxima de 34°C donde se ha evidenciado que cae significativamente su esperanza de vida (Ukubuiwe, y otros, 2018), es decir se tomaron los registros cuyas variables de temperatura estuvieran entre 10°C y 39°C. Este filtro ayuda a refinar los datos de presencia para el modelo (Figura 3a).

Como paso siguiente para la generación del área de accesibilidad se realizó una reducción del conjunto de datos con base en la distancia desde los casos de presencia reportados en Colombia. Según CABI (2022) el *Culex quinquefasciatus* se caracteriza por volar distancias cortas, inferiores a 10 Km, sin embargo, es posible que se desplace distancias mayores dentro de un territorio en algún medio de transporte. La distancia mínima que existe entre dos casos de presencia reportados en Colombia sin que exista algún otro caso intermedio,

es de 260Km. Para poder generar un corredor continuo de casos, se definió una zona de influencia alrededor de cada caso de 150Km (Figura 3b), correspondiente a la mitad de la medida mínima, más 20Km que garanticen el corredor continuo en aras de la definición del área de accesibilidad (Figura 3c).



a b c

Figura 3: Registros de presencia seleccionados
(a) Filtro por biología de la especie, (b) Buffer a 150Km, (c) Corredor continuo

Dentro de los sistemas de información geográfica existe varias herramientas para delimitar el área de accesibilidad de una especie; entre los más utilizados se encuentran los exhibidos en la Figura 4 (Mota-Vargas y Rojas-Soto, 2012). Tanto el círculo como el sobre no son la mejor opción en este caso, ya que la mayoría de su área no contiene ningún registro de presencias por abarcar gran parte de océanos, y por las características de la especie se conoce que no habita en el mar.

El rectángulo por área y la envoltura convexa parecieran ser una buena opción, pero no la mejor, al abarcar zonas de México y Estados Unidos que no exhiben casos de presencia con las características bioclimáticas óptimas de la especie.

Un caso similar al anterior se presenta con el método de ecorregiones. En ambos extremos de los casos de presencia, se agregan áreas bastante extensas hacia México y Estados Unidos por el norte y hacia Ecuador y Perú por el sur. Sin embargo, debido a que una ecorregión es una gran unidad de tierra o de agua que contiene un conjunto geográficamente distintivo de especies, comunidades naturales y condiciones ambientales, la posicionan como una de las formas más acertadas para definir áreas de accesibilidad en conjunto con otros métodos.

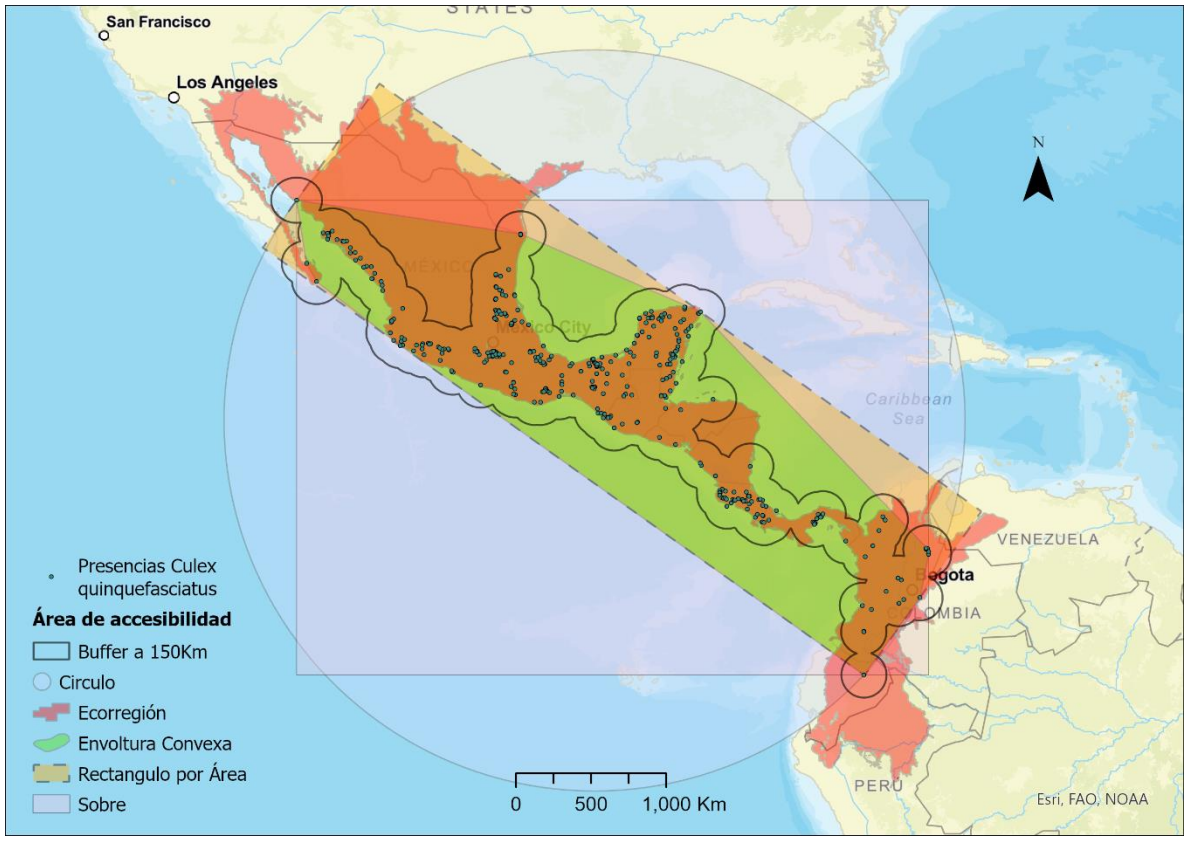


Figura 4: Métodos comunes para definir el área de accesibilidad (M)

La zona de influencia por su parte abarca muy bien las áreas de presencia por la naturaleza de la herramienta, sin embargo, hay muchas zonas que caen en el mar por el radio seleccionado, así que una intersección entre esta área con el área de las ecorregiones podría dar muy buenos resultados para la generación de modelos y fue seleccionada para este estudio.

6.4 CORRELACIÓN DE VARIABLES

Un paso fundamental para la selección de las variables que se tendrán en cuenta dentro del modelo es la realización de un análisis de correlación de variables, que permite determinar que variables están relacionadas y cuáles no. Las variables pueden estar relacionadas positiva o negativamente y en cualquiera de los dos casos, se podrá determinar que variable de las que están relacionadas, se puede omitir en el análisis. Para

el caso en particular de la correlación de Pearson (Pearson K. , 1897), se sabe que los valores obtenidos entre 0 y 1 se pueden interpretar de la siguiente manera:

- Entre 0 y 0,09: correlación inexistente
- Entre 0,10 y 0,29: correlación débil
- Entre 0,30 y 0,49: correlación moderada
- Entre 0,50 y 0,79: correlación fuerte
- Entre 0,80 y 1,00: correlación muy fuerte

6.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El análisis de componentes principales (en español ACP, en inglés, PCA) es una técnica comúnmente utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de variables. Este método del análisis multivariado permite, en la mayoría de los casos, reemplazar un número *p* de variables numéricas por un número menor de variables no correlacionadas manteniendo gran parte de la información inicial. A este nuevo conjunto de variables obtenidas se les denomina componentes principales y cada una de ellas es una combinación lineal de las variables originales (Véliz, 2020).

La cantidad de información de las *p* variables originales es reproducida es su totalidad por las *p* componentes principales correspondientes. Sin embargo, lo más probable es que una considerable proporción de la información original sea reproducida por las primeras *m* componentes principales. Sin embargo, se presenta el dilema de elegir el número de componentes principales para representar la información contenida en las variables iniciales. Al respecto, varios criterios se han sugerido, uno de ellos es el porcentaje de varianza total explicada por las componentes. En la práctica, se sugiere considerar un número de componentes principales que retengan entre 70 % y 90 % de la variación total (Véliz, 2020).

Para este procedimiento se utilizó la librería de Kuenm de R, que permite crear las componentes principales tanto para el área de accesibilidad seleccionada, como para el área a la que se espera extrapolar el modelo, en este caso, a toda el área de Colombia.

6.6 PARAMETRIZACIÓN DE MAXENT

Un estudio riguroso llevado a cabo por Merow, Smith, y Silander Jr (2013), fijó seis decisiones que pueden influir de manera crítica los resultados de los modelos en MaxEnt. A continuación, se detallan cada una de ellas y las decisiones que se tomaron en la presente investigación.

6.6.1 Datos de fondo

En este punto Merow, Smith, y Silander Jr, destacan la importancia de ceñirse a las características ambientales de la especie para seleccionar su área de accesibilidad, este es un punto crítico por tratarse de un modelo basado en presencias y pseudoausencias, donde cada pixel tiene la misma probabilidad de ser seleccionado como fondo. Los dos principales problemas que se puede presentar, es que los datos no cuenten con el mismo sistema de coordenadas o que la resolución espacial no sea la misma por pertenecer a fuentes de datos diferentes. Todos los raster utilizados para esta investigación provienen del portal de WorldClim que utiliza WGS 1984 como sistema de coordenadas y se descargaron a una resolución espacial de $1km^2$. De otro lado, una vez de evidenció la alta correlación entre algunas de las variables, se determinó el uso de componentes principales (CP) a partir de las 19 variables bioclimáticas como técnica para reducir el número de variables como se describió en los numerales 6.4 y 6.5.

6.6.2 Características

Las características, también conocidas como clases de entidad o feature classes por su traducción al inglés, son modelos estadísticos utilizados para ajustar las variables a las variables de respuesta (presencias). Concierne a la forma en que la especie responde a las variables ambientales y por consiguiente está estrechamente ligada con el conocimiento que se tenga de la misma. MaxEnt presenta seis tipos modelos como se muestra en la Figura 5.

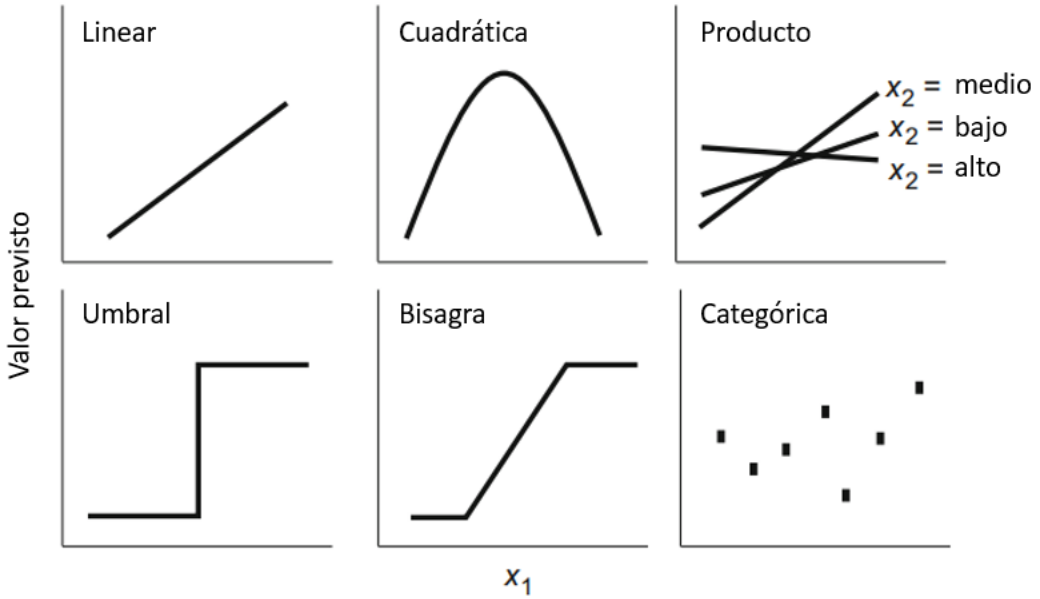


Figura 5: Clases de entidad implementadas en MaxEnt
Fuente: Tomado de Fletcher y Fortin (2018)

A partir de la versión 3.4.0 de MaxEnt, las opciones de umbral y bisagra no se incluyen de manera predeterminada, ya que la experiencia ha demostrado que esto mejora el rendimiento del modelo y produce modelos más simples y realistas (Phillips, Anderson, Dudík, Schapire, y Blair, 2017).

Adicionalmente, Merow, Smith, y Silander (2013) recomiendan seleccionar las características por motivos biológicos, señalando que el nicho fundamental es probablemente cuadrático para la mayoría de las variables en una extensión lo suficientemente grande, pero que puede aproximarse mejor mediante una función lineal si la extensión del estudio se trunca con respecto a la tolerancia de la especie para esa variable.

Las variables bioclimáticas para la especie del *Culex quinquefasciatus*, tienden en consecuencia a ser cuadráticas, ya que se habla de datos de temperatura y precipitación, pero puede ser que, en las caídas de la curva el comportamiento se vuelva un poco lineal, lo que se podría complementar muy bien con las características lineal y cuadrática. Los comportamientos de tipo umbral, bisagra y categórico, serian comportamientos muy

atípicos para estas variables en relación con la especie, por esta razón no se utilizan para la generación de los modelos.

6.6.3 Regulizadores

Este parámetro permite determinar la complejidad del modelo resultante. Adquiere valores entre 0.1 y 19, donde más bajo sea el valor, más estricto es el modelo y mientras más alto, más flexible será el resultado. Esto quiere decir que entre mayor sea el regulizador, mayor será el área predicha como idónea para la especie. Como la finalidad de este estudio es la priorización de áreas donde puedan estarse presentando casos de subregistro de FL, se toman 10 reguladores con valores entre 0.1 y 1, para garantizar modelos con áreas más estrictas donde focalizar los esfuerzos.

6.6.4 Sesgo de muestreo

Este sesgo se presenta por la incertidumbre de saber si los datos de ocurrencia representan todas las condiciones en las que se puede encontrar la especie o si existe subregistro porque solo se han muestreado zonas con las mismas condiciones. De forma predeterminada los modelos de MaxEnt se ajustan asumiendo que todas las ubicaciones en el paisaje tienen la misma probabilidad de ser muestreadas. Sin embargo, los conjuntos de datos de ocurrencia suelen exhibir algún sesgo de muestreo, en el que algunas condiciones ambientales se muestrean más que otras (Merow, Smith, y Silander Jr, 2013).

Para Radosavljevic y Anderson (2014) este problema se puede abordar mediante la reducción de registros (también llamado filtrado espacial), donde múltiples registros dentro de la misma área se representan por solo uno o algunos de los registros totales. Esto ayuda a no sobrestimar zonas donde sea más común encontrar la especie.

El *Culex quinquefasciatus* es una especie bastante estudiada por su relación con la transmisión de enfermedades por lo que la información recabada sobre este vector es amplia y sus condiciones ambientales están sustentadas, lo que permitió realizar una selección de registros adecuada a las condiciones climáticas en las que mejor se adapta la especie.

6.6.5 Tipos de salida

MaxEnt proporciona 4 tipos de salida a saber: cruda (raw), logística (logistic), acumulativa (cumulatuve) y log log complementario (cloglog). La salida cruda o sin procesar se usa como un modelo de abundancia relativa y su mayor critica es que los mapas producto de esta salida, a menudo no coinciden con lo que opinan los ecologistas de la distribución potencial de la especie. Por su lado, la salida acumulativa presenta mejores resultados cuando se trata de tasas de omisión y se trabaja con límites de rango (Merow, Smith, y Silander Jr, 2013).

La salida por defecto a partir desde la versión 3.4.0 de MaxEnt es la cloglog, ya que presenta una mayor justificación teórica que la salida logística (Phillips, Anderson, Dudík, Schapire, y Blair, 2017), mejorando incluso el desempeño de los modelos. Otro motivo para seleccionar cloglog como salida para esta investigación, es que el resultado suele destacar las áreas de presencia de manera más marcada facilitando su identificación (Figura 6).

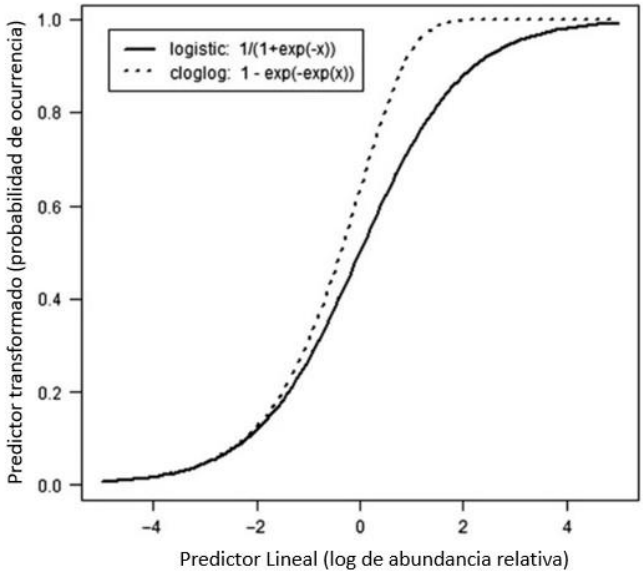


Figura 6: Salida cloglog Vs logística
Fuente:(Phillips, Anderson, Dudík, Schapire, y Blair, 2017)

6.6.6 Evaluación de los modelos

El área bajo la curva (AUC) de la característica operativa del receptor (ROC), es sin duda la herramienta dominante en la evaluación de la precisión de los modelos que predicen la distribución de especies (Peterson, Papeş, y Soberón, 2008).

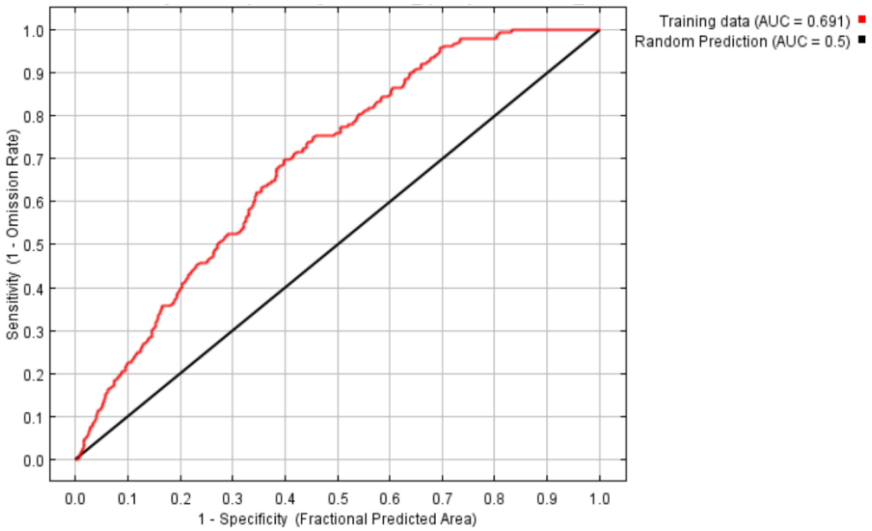


Figura 7: Ejemplo de una Curva ROC
Los modelos con un AUC mayor que 0.5 tienen una predictibilidad mejor que lo esperado al azar (curva roja). La línea negra representa la curva ROC de un modelo cuya predictibilidad es aleatoria (AUC = 0.5)
Fuente: Salida de MaxEnt mediante la librería Kuenm de R

ROC tiene la ventaja de ser independiente del umbral y como tal, no requiere decisiones con respecto a los umbrales de lo que constituye una predicción de presencia, frente a una predicción de ausencia. La curva ROC (Figura 7) se calcula con base en una prueba dependiente de umbral conocida como matriz de confusión (Tabla 4) (Peterson, Papeş, y Soberón, 2008).

Tabla 4: Matriz de confusión

		Predicción	
		Positivos	**Negativos**
Observación	**Positivos**	Verdaderos Positivos (VP)	Falsos Negativos (FN)
	Negativos	Falsos Positivos (FP)	Verdaderos Negativos (VN)

La matriz de confusión se utiliza para calcular el error de omisión (proporción de presencias no predichas) y el error de comisión (proporción de ausencias no predichas), que, en esencia, son necesarios para calcular la sensibilidad (1 - error de omisión) y la especificidad

(1 - error de comisión) para construir la curva ROC (Peterson, Papeş, y Soberón, 2008). Sin embargo, al no contar con verdaderas ausencias, Maxent sustituye la especificidad por la proporción de área predicha (Anderson, Lewc, y Peterson, 2003; Phillips, Anderson, y Schapire, 2006; Peterson, Papeş, y Soberón, 2008), lo que puede beneficiar los resultados de los modelos ya que se verán afectados por la extensión geográfica del área de calibración del modelo (Lobo, Jiménez-Valverde, y Real, 2008).

Para mejorar la predicción, se recomienda utilizar una variante conocida como ROC parcial (Lobo, Jiménez-Valverde, y Real, 2008; Peterson, Papeş, y Soberón, 2008), que restringe los cálculos de las AUC (AUCp) al dominio dentro del cual se produce un error de omisión lo suficientemente bajo como para cumplir con los requisitos de predicción definidos por el usuario como se muestra en la Figura 8.

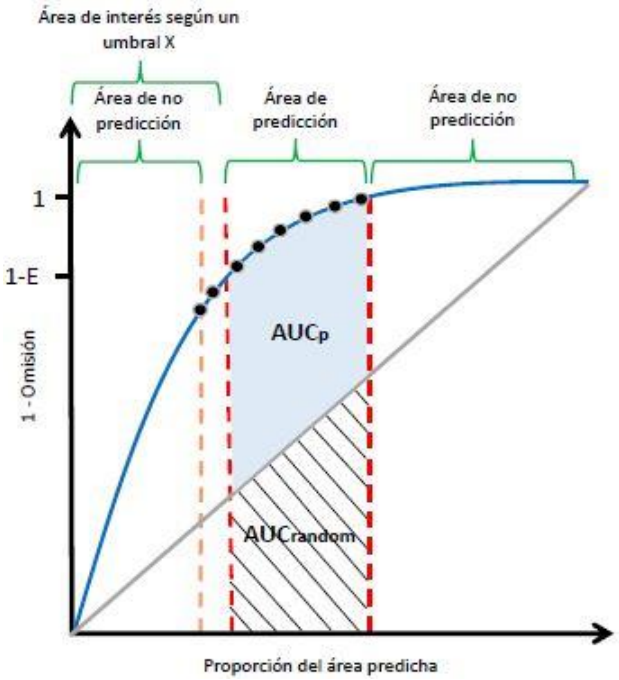


Figura 8: AUC parcial
Fuente: Adaptado de Peterson A. , y otros (2011)

Para la evaluación de los modelos se utiliza la prueba de ROC parcial. La evaluación del modelo, sin embargo, debe ir más allá de la importancia, para medir también el desempeño. El rendimiento se mide utilizando tasas de omisión, que indican qué tan bien los modelos creados con datos de entrenamiento predicen las ocurrencias de prueba; estas tasas se

calculan por defecto en un umbral de E = 5% (Cobos, Peterson, Barve, y Osorio-Olvera, 2019). Finalmente, para evaluar la complejidad del modelo, se calculan AICc, delta AICc y el peso AICc; Los valores de AICc indican qué tan bien se ajustan los modelos a los datos, al tiempo que penalizan la complejidad para favorecer los modelos simples (Warren y Seifert, 2011).

6.6.7 Kuenm para generación y validación de modelos de nicho

Para la generación de los diferentes modelos candidatos, se utilizará la librería Kuenm de R. Kuenm es un nuevo conjunto de herramientas para realizar el desarrollo detallado de modelos de nichos ecológicos utilizando la plataforma Maxent de forma reproducible.

El uso de este paquete permite procesos sólidos de calibración de modelos, lo que facilita la creación de modelos finales basados en la importancia, el rendimiento y la simplicidad del modelo. El software facilita las transferencias de modelos a múltiples escenarios, lo que reduce significativamente el tiempo invertido en realizar estas tareas (Cobos, Peterson, Barve, y Osorio-Olvera, 2019).

6.6.8 Análisis de MESS

El análisis de MESS (*Multivariate Environmental Similarity Surfaces*, por sus siglas en inglés) determina el alcance de las diferencias ambientales entre el modelo de entrenamiento y los datos de proyección (extrapolación) del modelo. Es aplicable a variables en una matriz o marco de datos. Cuando las predicciones del modelo se proyectan en regiones, tiempos o resoluciones espaciales no analizadas en los datos de entrenamiento, puede ser importante medir la similitud entre los nuevos entornos y los de la muestra de entrenamiento (Elith, Kearney, y Phillips, 2010), ya que los modelos no son tan confiables al predecir fuera de su dominio (Barbosa, Real, y Vargas, 2009).

La función devuelve un marco de datos con los mismos nombres de las variables usadas por el modelo y además una columna denominada TOTAL, que cuantifica la similitud entre cada punto del conjunto de datos de proyección y los puntos del conjunto de datos de referencia. Los valores negativos indican localidades que son ambientalmente diferentes de la región de referencia. La última columna, MoD, indica cuál de los nombres de las

variables corresponde a la variable más disímil, es decir, el factor limitante o la variable que impulsa el MESS en esa localidad (Elith, Kearney, y Phillips, 2010).

6.6.9 Umbral de decisión

En el ámbito del uso práctico de los modelos de distribución de especies, la información binaria de presencia y ausencia es más práctica que un gradiente de probabilidad o idoneidad, por lo que es necesario seleccionar un valor de corte para transformar el gradiente continuo en binario. Algunas elecciones de umbral de corte son arbitrarias y carecen de base ecológica. La selección de umbral de corte depende del objetivo del modelo y de la biología de la especie (Liu, Berry, Dawson, y Pearson, 2005).

Por la naturaleza del estudio se selecciona un valor de umbral de corte restrictivo que proporcione áreas objetivo más reducidas para priorización.

7. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con la metodología propuesta.

7.1 DATOS DE OCURRENCIA SELECCIONADOS

El total de ocurrencias descargadas con coordenadas del portal GBIF (2021) fue de 46.686, de las cuales el 87.7% se encuentran localizadas en Norte América, el 4.4% en Sur América y el tercer lugar lo comparten Asía y Oceanía con el 3.8% cada uno. Dentro de este global de ocurrencias, Estados Unidos es el país con mayor porcentaje de registros, llegando al 66.5%, seguido de México y Brasil con el 20.3% y 2.6% respectivamente. Colombia Ocupa la casilla nueve con el 0.45% de las ocurrencias.

Una vez realizados los diferentes procedimientos descritos en la metodología (6.2) para la limpieza y selección de los datos descargados del portal, en total fueron seleccionadas 4001 ocurrencias, de las cuales 62 de ellas están presentes en territorio colombiano. Los filtros aplicados y el número de ocurrencias se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Filtros aplicados y número de ocurrencias

Descripción	Ocurrencias a nivel mundial	Ocurrencias en Colombia
Descarga total de ocurrencias	47.398	233
Ocurrencias con coordenadas	46.686	220
Eliminando los duplicados	4.338	63
Realizando curaduría espacial	4.324	63
Realizando curaduría ambiental	4.304	63
Eliminando ocurrencias fuera del rango mínimo y máximo de altura óptima de la especie	4.301	63
Eliminando ocurrencias fuera de rango mínimo y máximo de temperatura óptima de la especie	4001	62

La Figura 9 muestra la distribución de la localización de los 4001 registros de ocurrencia de la especie seleccionados, donde se aprecia claramente que Norte América es el continente con más casos (75.1%), y al que le siguen Oceanía (13.4%), Sur América (6.4%), Asía (4.1%), África (0.8%) y Europa (0.1%).

Los registros de Colombia dentro de este grupo representan el 1.5% de los casos seleccionados y el 25.5% de los casos reportados para Sur América, donde Brasil con el 50.6% ocupa el primer lugar y Venezuela el tercero con 8.2% en este continente.

En Norte América, Estados Unidos con el 47.7% y México con el 46.2%, ocupan el primer y segundo lugar respectivamente, seguidos por Costa Rica con el 1.4% de los casos en este continente, y a nivel mundial, son los mismos dos países, Estados Unidos (38.1%) y México (36.9%) quienes ocupan los dos primeros puestos.

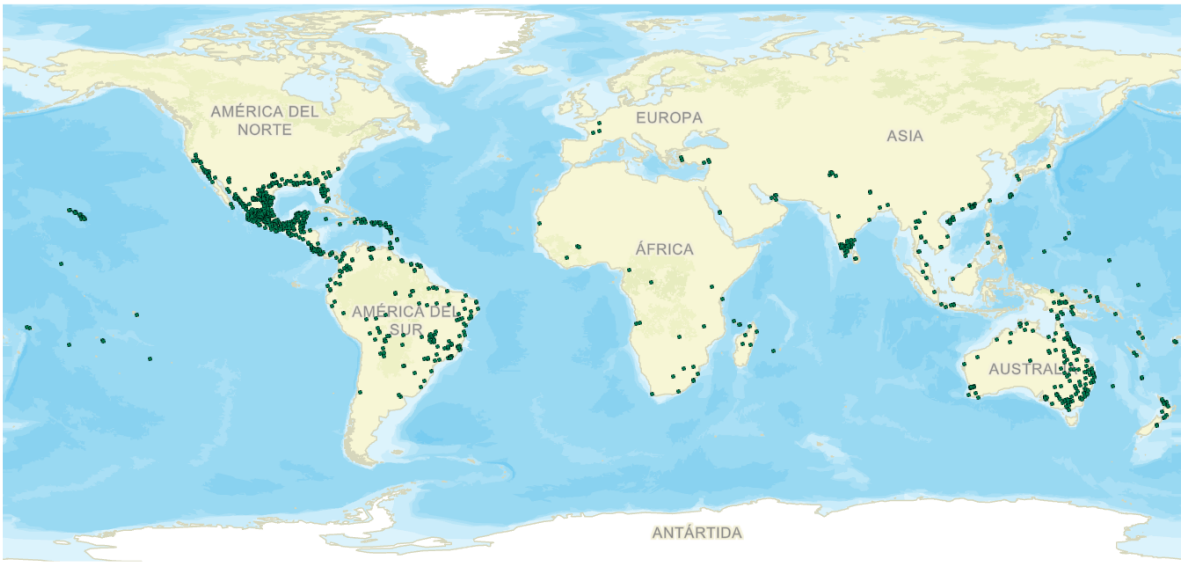


Figura 9: Ocurrencias de la especie Culex quinquefasciatus reportadas en GBIF
Fuente: Elaboración propia con datos de GBIF.org (2021)

Esta selección de registros de ocurrencia permite la generación de áreas de accesibilidad para zonas globales y locales alrededor del mundo.

Para analizar si los casos de ocurrencias de Colombia muestran algún tipo de comportamiento especial frente al resto de las ocurrencias, se realizaron diagramas de dispersión de las variables de temperatura y precipitación. La Figura 10 muestra que las condiciones climáticas en las que permanece la especie son muy diversas, tanto para temperatura como para precipitación y que los datos de presencia para Colombia generalmente se encuentran por encima de la tendencia general de los datos, pero no presentan ningún tipo de conglomerado ni tendencia.

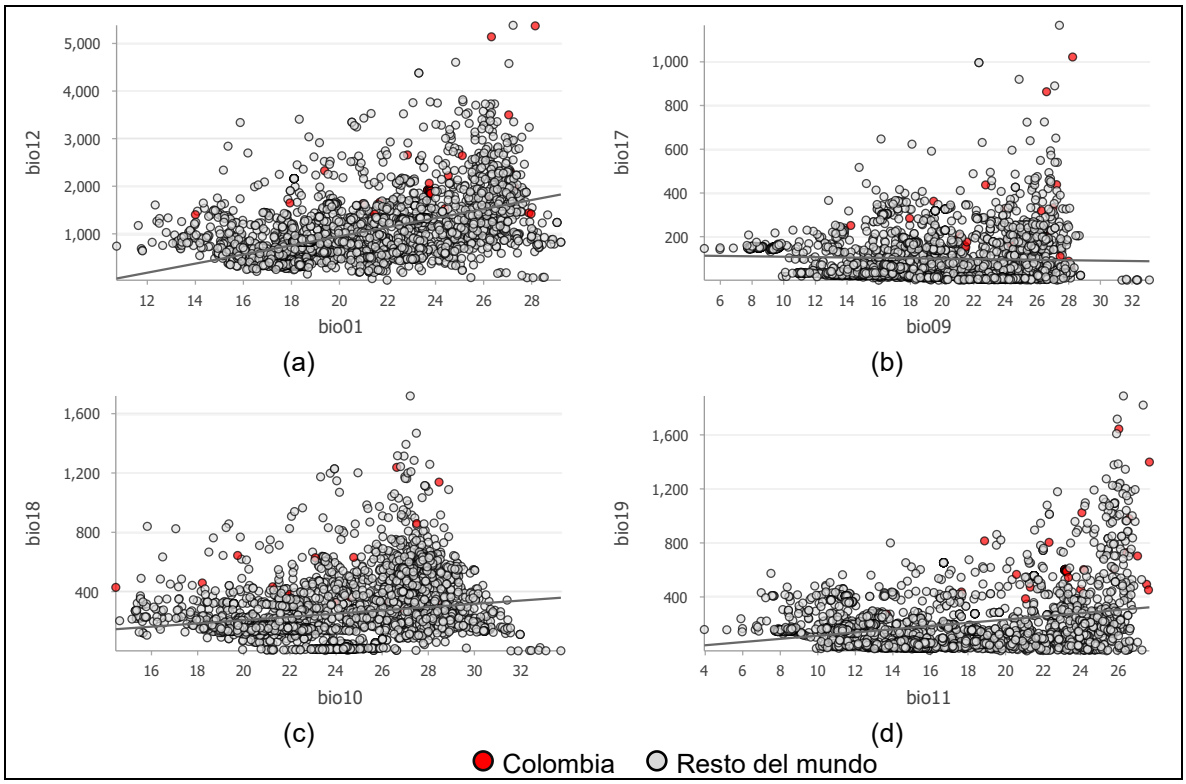


Figura 10: Condiciones climáticas de la especie para Colombia y resto del mundo

Finalmente, como se describió en la metodología (6.3), para definir el área de accesibilidad, se realizaron algunos ajustes en los registros de ocurrencia, dejando un total de 439 registros para la calibración de los modelos.

7.2 ÁREA DE ACCESIBILIDAD SELECCIONADA

La combinación entre zonas de influencia y ecorregiones resultaron ser la mejor forma de definir el área de accesibilidad para el estudio, ya que cubren en la totalidad de los registros de ocurrencia al tiempo que dejan áreas despejadas de ocurrencias que servirán al modelo como lugares sin presencias.

El área de accesibilidad seleccionada para el estudio se puede ver en la Figura 11, donde la ecorregión de bosques húmedos tropicales y subtropicales de hoja ancha aporta el 47.7% del total del área, seguido por los bosques secos tropicales y subtropicales de hoja ancha con el 22.4% y los bosques de coníferas tropicales y subtropicales con un 18.6%. Ya en menor porcentajes se encuentran los desiertos y Matorrales Xéricos (7.3%), los manglares

(2.2%), los pastizales montanos y matorrales (0.9%), las aguas continentales (0.4%) y los pastizales, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales (0.4%).



Figura 11: Área de accesibilidad (M)

7.3 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Las variables bioclimáticas son sensibles a presentar algún tipo de correlación, por lo que para este primer acercamiento al análisis de los datos presentados en la Figura 12, se evalúan valores por encima del 0,79 para las correlaciones positivas. La variable bio01, presenta una correlación positiva alta con las variables bio08 a bio11 al igual que con las bio05 y bio06, así como bio02 con bio07. Teniendo en consideración que todas las variables nombradas dan cuenta de la temperatura y que esta especie no sufre diapausa reproductiva (CABI, 2022) (es activa y se reproduce todo el año), la variable bio01 podría ser suficiente para el modelo. Sin embargo, varios estudios como los realizados por Valdez, Sibona, Diaz

y otros (2017) y Kang, Tomas y Sim (2017), explican como la variación en temperatura y precipitación en diferentes épocas del año son factores determinantes en la proliferación o disminución de la cantidad de mosquitos, lo que indica que las demás variables de temperatura podrían ayudar a explicar mejor el modelo.

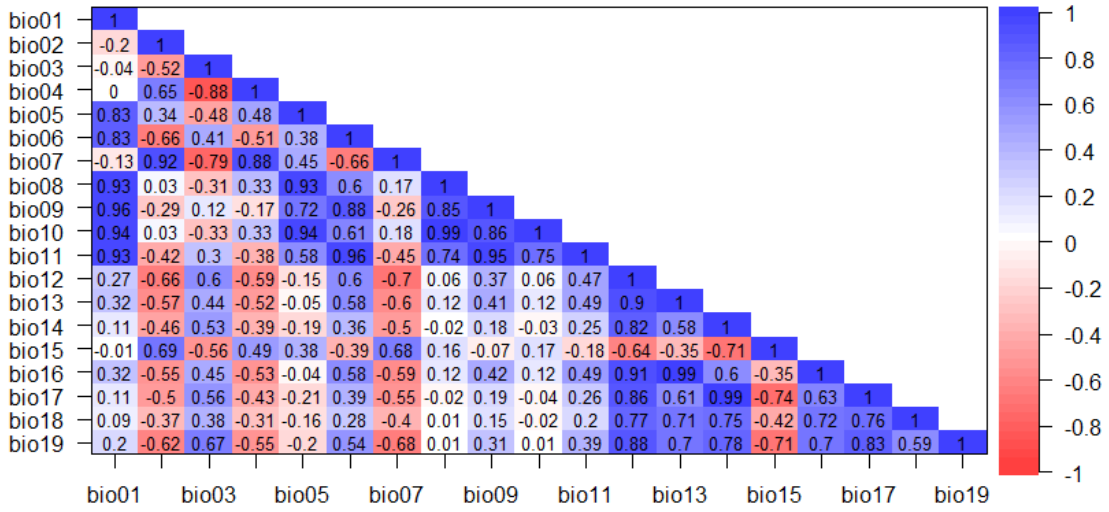


Figura 12: Matriz de correlación

Un caso similar se presenta entre las variables que describen la precipitación. Es así como la bio12 presenta una alta correlación positiva con bio13, bio14, bio16, bio17, bio19. Si bien el dato de bio12 podría ser suficiente para el modelo, la estacionalidad de la especie puede verse mejor representada con las variables mensuales, trimestrales y cuatrimestrales.

Por el otro lado, las variables bio03, bio04 y bio07 presentan correlaciones negativas altas, lo que termina por demostrar la necesidad de realizar algún otro tipo de análisis para la reducción de las variables del modelo.

Por lo anterior, a pesar de presentarse fuerte correlación entre algunas variables climáticas, las características de la especie no son concluyentes para, al menos por ahora, eliminar ninguna de las variables que participarán en el modelo, así que se realiza un análisis de componentes principales para tal fin.

7.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

En la Tabla 6 se presentan los resultados del análisis de componentes principales para las 19 variables bioclimáticas, donde se puede apreciar que las dos primeras componentes dan cuenta del 78% del total de la varianza, las cuatro primeras del 92% y las ocho primeras del 99%.

Tabla 6: Resultado del análisis de componentes principales

Componente	Desviación Estándar	Proporción de la varianza	Proporción acumulada
PC1	**3.0119155**	**0.4774545**	**0.4774545**
PC2	**2.3976375**	**0.3025613**	**0.7800158**
PC3	**1.33423028**	**0.09369318**	**0.87370902**
PC4	**1.01239458**	**0.05394436**	**0.92765337**
PC5	**0.788494**	**0.03272225**	**0.96037563**
PC6	**0.56130982**	**0.01658256**	**0.97695819**
PC7	**0.40490271**	**0.008628748**	**0.985586938**
PC8	**0.371296367**	**0.007255842**	**0.992842779**
PC9	0.234074819	0.002883738	0.995726517
PC10	0.182908302	0.001760813	0.99748733
PC11	0.127052914	0.000849602	0.998336932
PC12	0.108616297	0.000620921	0.998957854
PC13	0.087212072	0.000400313	0.999358166
PC14	0.07845749	0.000323978	0.999682144
PC15	0.054540847	0.000156563	0.999838708
PC16	0.05036312	0.000133497	0.999972205
PC17	0.02106592	2.33565E-05	0.9999956
PC18	0.009183674	4.43894E-06	1
PC19	4.21257E-08	9.33988E-17	1

Lograr una reducción de 11 variables, perdiendo menos del 1% de la información inicial, representa una disminución en los tiempos de procesamiento de los modelos, pero le agrega un poco de complejidad a la interpretación de estos. Sin embargo, si se observa el comportamiento de cada componente de manera individual, se puede deducir que variables explican mejor cada uno de ellos (Ver Anexo A).

La Figura 13 muestra la relación que existe entre las dos primeras componentes que explican el 78% del fenómeno y se observa claramente la formación de 3 grupos de

variables. Estos clústeres toman importancia al momento de explicar los resultados del nicho obtenido.

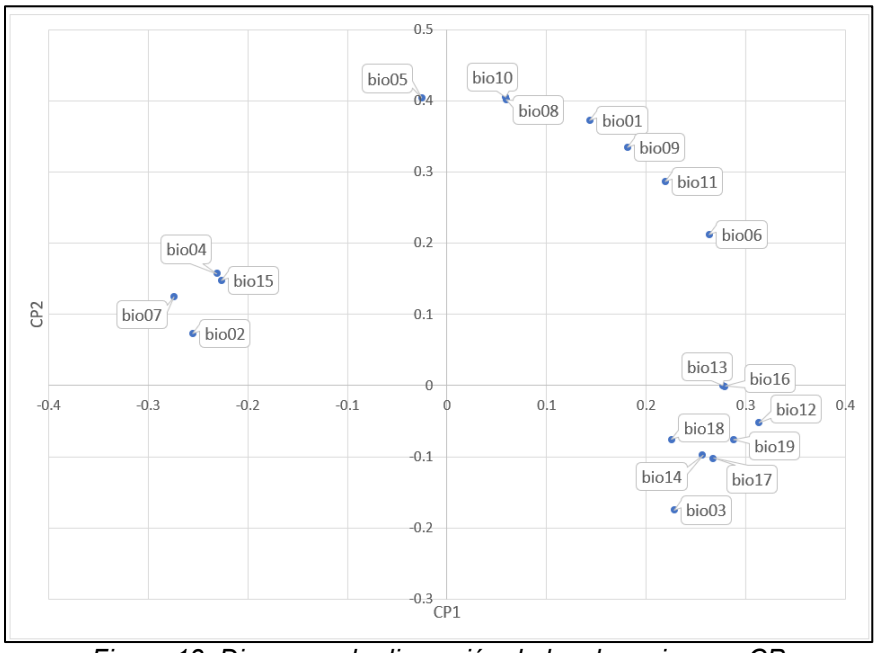


Figura 13: Diagrama de dispersión de las dos primeras CP

La primera componente no presenta valores altos para una variable específica, pero se observa la formación de dos clústeres opuestos. Por el lado de los valores positivos, se observa que las variables de precipitación forman el primer clúster, siendo la precipitación anual (bio12) y la precipitación del cuarto más frio (bio19), las que presentan los valores más altos, mientras que, por el lado opuesto, el rango anual de temperatura (bio07), el rango diurno medio (bio02) y las estacionalidades de temperatura (bio04) y precipitación (bio07) forman el segundo clúster.

La segunda componente forma el tercer clúster con el resto de las variables de temperatura, siendo la temperatura media del trimestre más cálido (bio10), la temperatura máxima del mes más cálido (bio05) y la temperatura media del trimestre más húmedo (bio08), las variables con mayor peso.

Para la tercera componente, la precipitación del trimestre más cálido (bio18) y la estacionalidad de la temperatura (bio04) son quienes más le aportan a la componente,

seguidas por el rango anual de temperatura (bio07) y la precipitación del mes más seco (bio14).

Por su parte, la cuarta componente tiene una participación alta negativa de las variables de estacionalidad de la precipitación (bio15), precipitación del mes más húmedo (bio13) y precipitación del cuarto más húmedo (bio16).

Este mismo ejercicio se puede completar para todas las componentes si así se requiere, pero su importancia está dada a partir de los resultados obtenidos del modelado y cuáles de las componentes pesan más en el modelo final.

7.5 MODELADO DE NICHO ECOLÓGICO

En total, se evaluaron 210 modelos candidatos (ver Anexo B), con parámetros que reflejan todas las combinaciones de 10 configuraciones de multiplicador de regularización, 7 combinaciones de clases de características y 3 conjuntos de componentes principales (Tabla 7). El rendimiento del modelo se evaluó en función de la significación estadística (Partial_ROC), las tasas de omisión (OR) y el criterio de información de Akaike corregido para tamaños de muestra pequeños (AICc).

Tabla 7: Parametrización de los modelos candidatos

	Parámetros
Multiplicador de regularización	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1
Clases de características	Lineal(l), cuadrática(q), producto(p), lq, lp, qp, lqp
Conjunto de predictores	Set_2CP (2 primeras componentes principales), Set_4CP (4 primeras componentes principales), Set_8CP (8 primeras componentes principales)

7.5.1 Estadísticas generales de los modelos

La Tabla 8 muestra la estadística de los modelos candidatos y de aquellos que cumplieron con los cuatro criterios de selección.

Tabla 8: Estadísticas generales de modelos que cumplieron distintos criterios

Criterios	**# modelos**
Todos los modelos candidatos	210
Modelos estadísticamente significativos	210
Modelos que cumplen los criterios de tasa de omisión	54
Modelos que cumplen los criterios de AICc	2
Modelos estadísticamente significativos que cumplen los criterios de tasa de omisión	54
Modelos estadísticamente significativos que cumplen con los criterios de AICc	2
Modelos estadísticamente significativos que cumplen con la tasa de omisión y los criterios AICc	4

Seguidamente, en la Tabla 9 se exponen los resultados y soportes estadísticos para los 4 mejores modelos según una tasa de omisión del 5% definida como parámetro y un total de 10 réplicas. Tener en cuenta que la descripción del modelo representa los parámetros descritos en la Tabla 7, donde la M representa el multiplicador de regularización utilizado, la F la clase de característica y el Set el conjunto de predictores utilizado.

Tabla 9: Estadísticas de rendimiento para los mejores modelos seleccionados

Modelo	Descripción	Proporción media de AUC	ROC Parcial	Tasa de omisión	AICc	Delta AICc	W_ AICc	Para.
A	M_0.1_F_lp_Set_4CP	1.190	0	0.038	12675.19	0.000	1.000	10
B	M_0.2_F_lp_Set_4CP	1.194	0	0.038	12675.65	0.456	0.443	10
C	M_0.3_F_lp_Set_4CP	1.186	0	0.025	12675.89	0.691	0.283	10
D	M_0.4_F_lp_Set_4CP	1.185	0	0.025	12676.32	1.127	0.185	10

Los mejores modelos fueron los que utilizaron como multiplicadores de regularización los valores 0.1 a 0.4. Se debe recordar que entre más pequeño es el multiplicador, más estricto es el modelo y menos suavizado, lo que para los fines de esta investigación es muy apropiado, ya que se espera priorizar zonas con posible subregistro de casos de FL mediante la identificación del nicho del vector.

Por otra parte, se observa que el conjunto de datos seleccionados fue el de las 4 primeras componentes principales en los 4 modelos y como se explicó en el numeral 7.4 del presente documento, estas componentes explican el 92% del fenómeno. Así mismo, los 4 modelos utilizaron como clase de característica la combinación lineal-producto (lp).

Continuando con el análisis de los resultados, cabe destacar que no hay diferencias muy marcadas entre los 4 modelos y que básicamente cualquiera podría ser considerado un modelo apropiado. Sin embargo, es importante resaltar la interpretación de las medidas que se presentan para seleccionar los modelos en el orden que se presentan en la Tabla 9:

- **AICc**: Los valores más bajos de AICc indican modelos más plausibles.
- **Delta AICc**: Valores cercanos o menores de 2 denotan modelos seleccionables, entre más cerca a cero, mejor será el modelo.
- **El Peso AICc**: Este valor representa la probabilidad relativa de un modelo, donde 1,0 = más probable. El peso es la mejor manera de clasificar y comparar modelos.

Por esta razón el modelo A es seleccionado como el mejor modelo para esta investigación.

La Figura 14 muestra la posición de los modelos seleccionados en la distribución de todos los modelos candidatos, en términos de significación estadística, tasas de omisión y valores de AICc.

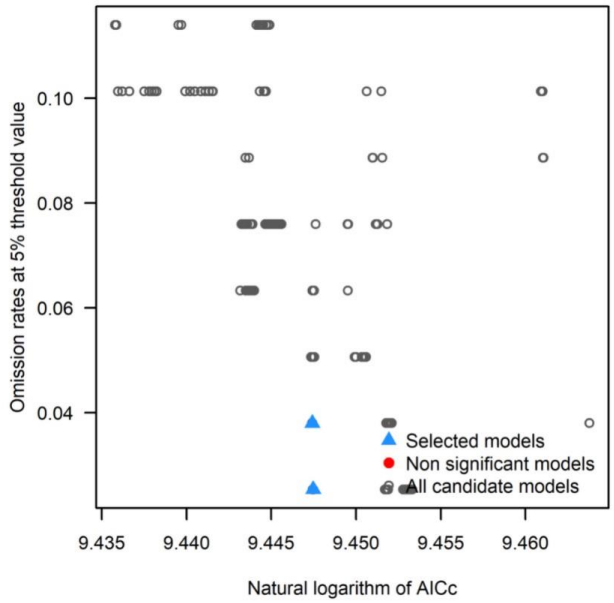


Figura 14: Distribución de los modelos generados

7.5.2 Análisis de omisión/comisión

La Figura 15 muestra la tasa de omisión de entrenamiento y el área pronosticada como una función del umbral acumulativo, promediado sobre las ejecuciones repetidas.

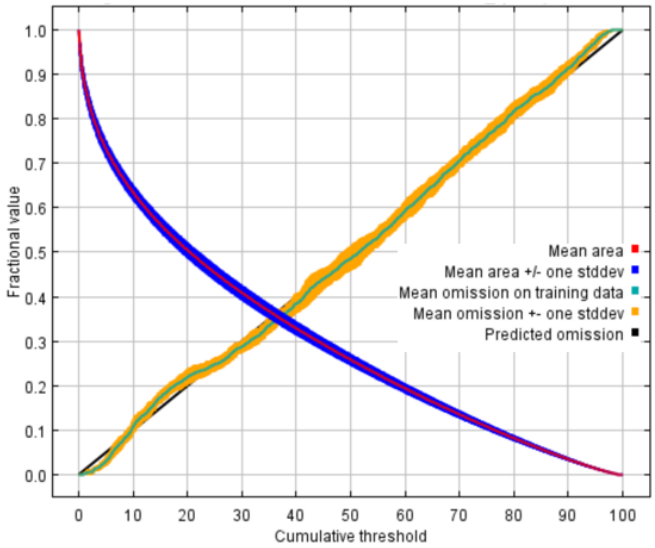


Figura 15: Promedio de omisión y área predicha para el Culex quinquefasciatus

En la Figura 16 se observa la curva característica operativa del receptor (ROC) para los mismos datos, nuevamente promediados sobre las ejecuciones repetidas. Se debe tener en cuenta que la especificidad se define utilizando el área predicha, en lugar de la comisión real. El AUC de entrenamiento promedio para las ejecuciones replicadas es 0.701 y la desviación estándar es 0.012.

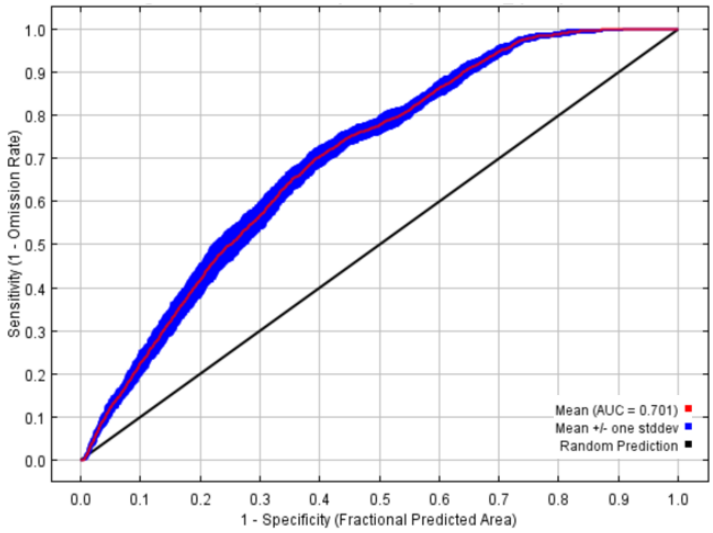


Figura 16: Sensibilidad promedio vs 1 - especificidad para Culex quinquefasciatus

7.5.3 Imágenes del modelo

La siguiente Figura muestra la mediana (Figura 17a) y la desviación estándar (Figura 17b) punto a punto de las 10 cuadrículas de salida, correspondientes a las 10 iteraciones realizadas.

Se observa una gran extensión en el área de accesibilidad propuesta que podría ser idónea para la existencia del vector del *Culex quinquefasciatus* con valores por encima del 0.5 y desviaciones estándar muy bajas.

De otra parte, claramente se descartan regiones idóneas en regiones montañosas, donde la altitud es mayor, así como se aprecia en la región montañosa de las cordilleras de Colombia, Costa Rica y México.

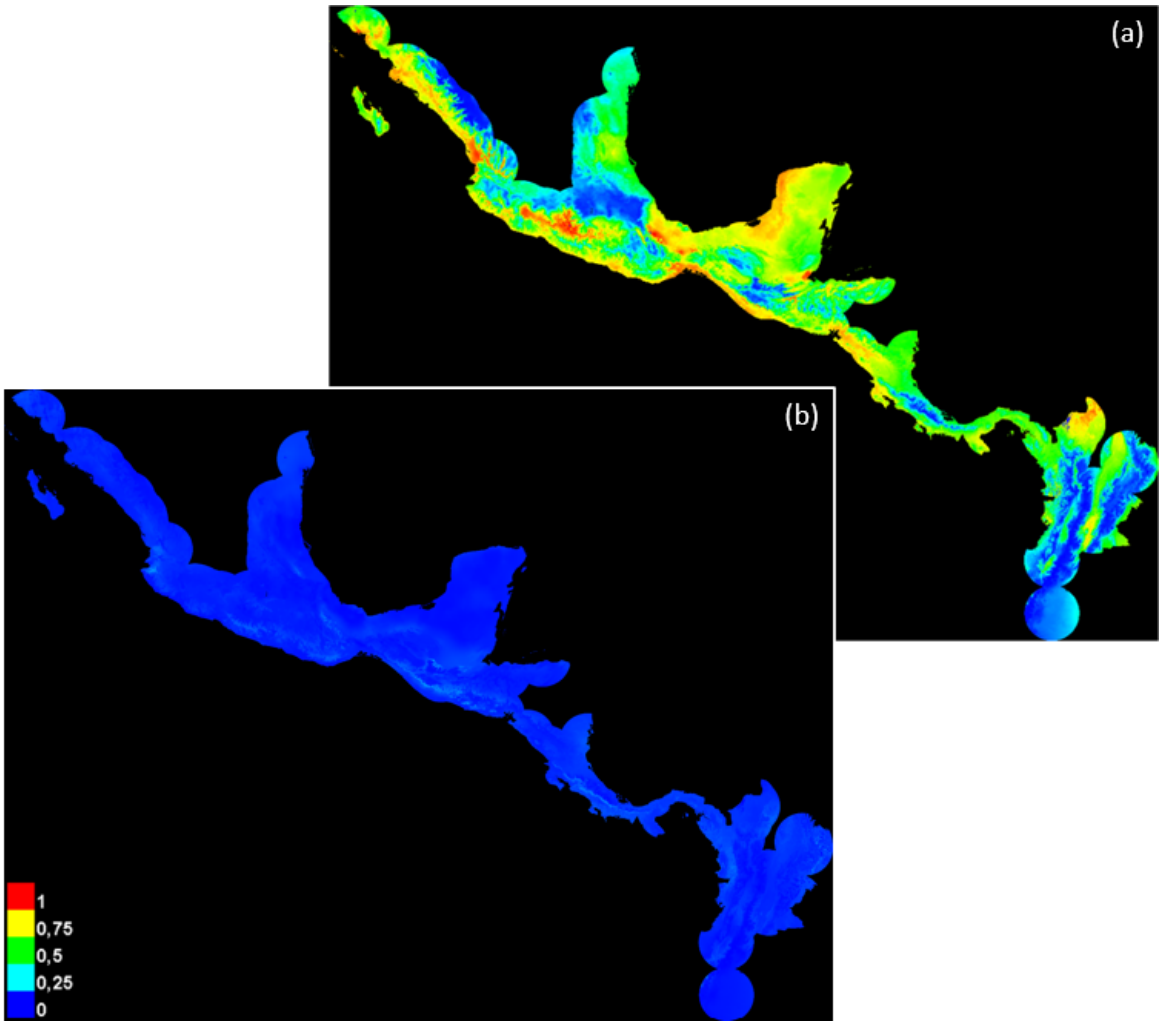


Figura 17: Modelo de nicho para el Culex quinquefasciatus
(a) Mediana de las 10 iteraciones; (b) Desviación estándar

7.5.4 Modelo seleccionado Vs la mediana de los modelos candidatos

Como se mencionó antes, los 4 modelos seleccionados como los mejores (Tabla 9), no presentan grandes diferencias estadísticas entre sí, por este motivo se propone una comparación entre el modelo final seleccionado y la mediana de los 4 modelos (Figura 18) para observar sus diferencias.

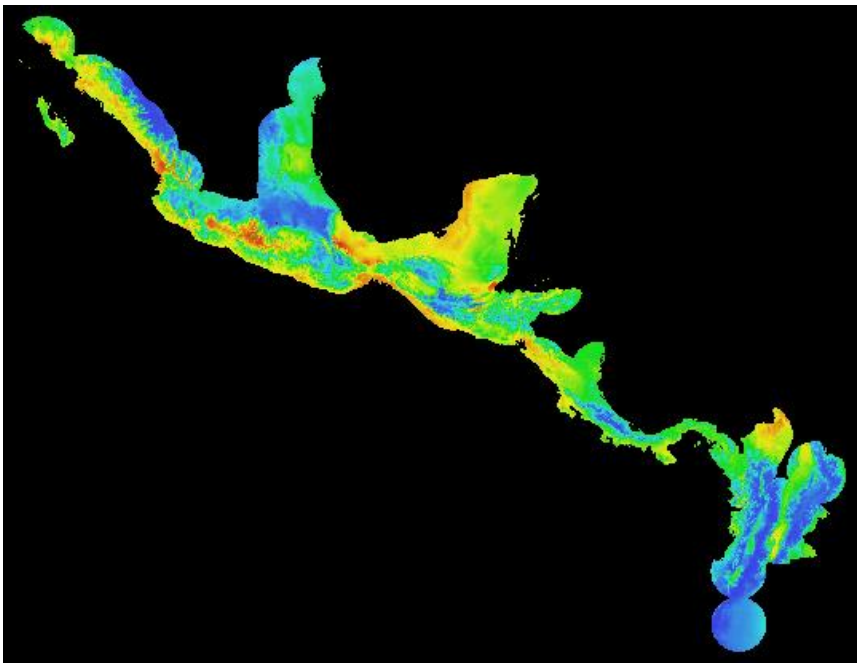


Figura 18: Mediana de los modelos seleccionados

Las diferencias a simple vista no son fáciles de percibir ya que los cambios son pocos. En la Tabla 10 se observa la ganancia o pérdida en los diferentes valores de idoneidad y como se puede apreciar, los cambios no son significativos para una extensión de la M tan extensa, siendo el mayor de 3.8%.

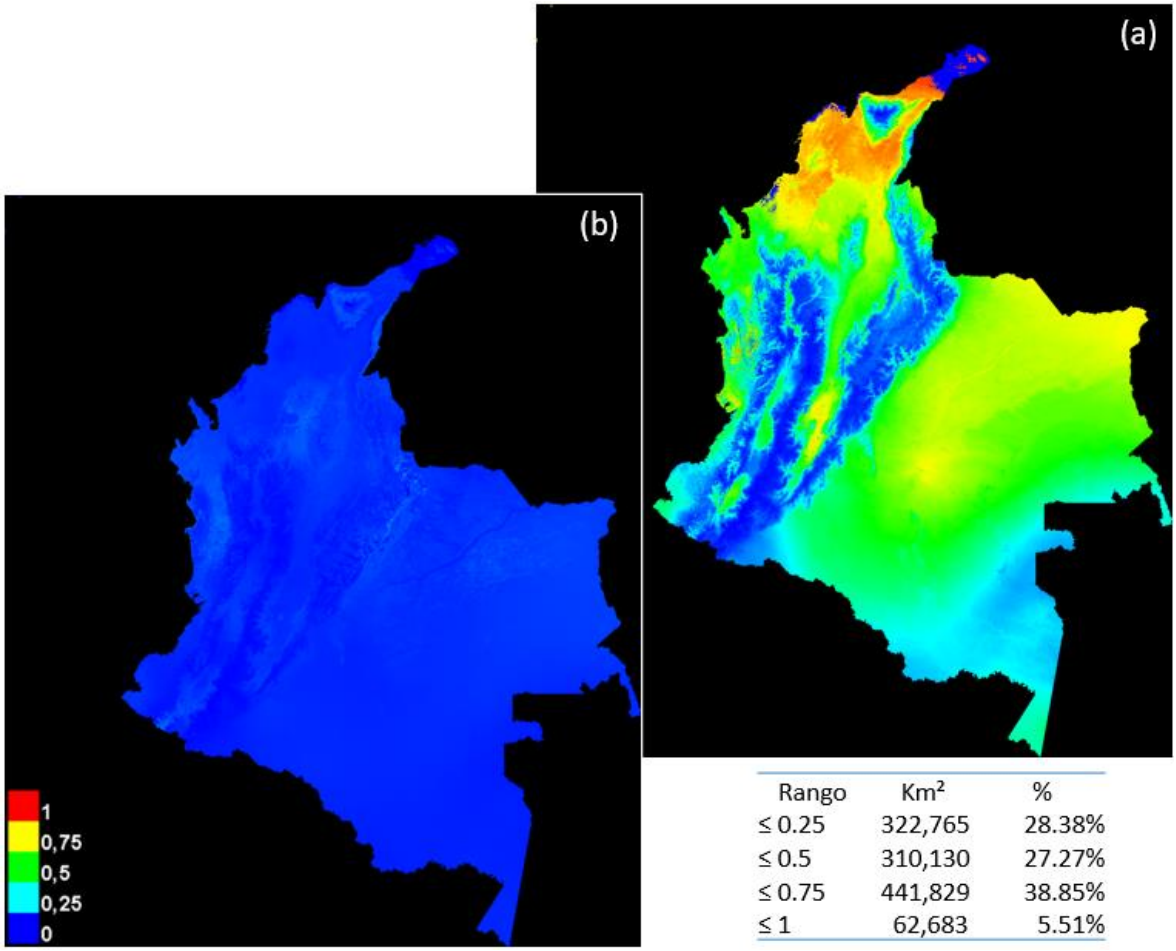
Tabla 10: Comparación modelo final de nicho Vs mediana de modelos seleccionados

	Mediana modelo final seleccionado		Mediana de modelos			
Rango de idoneidad	**Número de píxeles**	**Área (Km²)**	**Número de píxeles**	**Área (Km²)**	**Diferencia en Área (Km²)**	**Discrepancia (%)**
0 – 0.24	630255	522.024	653538	541.195	-19.171	3,67
0.25 – 0-4	545586	444.394	559097	455.896	-11.502	2,59
0-5 – 0.74	900815	736.536	875208	714.703	21.833	3,05
0.75 – 1	294704	238.781	283517	229.941	8.840	3,84

7.5.5 Transferencia del modelo al territorio colombiano

Como se hizo referencia en la metodología, el paquete Kuenm de R permite realizar la transferencia del nicho a otro lugar, a otro tiempo o a ambos. Para esta investigación se realizó la transferencia a todo el territorio colombiano en el tiempo presente. Esta transferencia de nicho se realiza utilizando los mismos argumentos y parámetros que se usaron para el modelo final seleccionado.

La Figura 19a muestra la imagen de idoneidad calculada para el *Culex quinquefasciatus* en Colombia, utilizando el promedio de las 10 iteraciones.



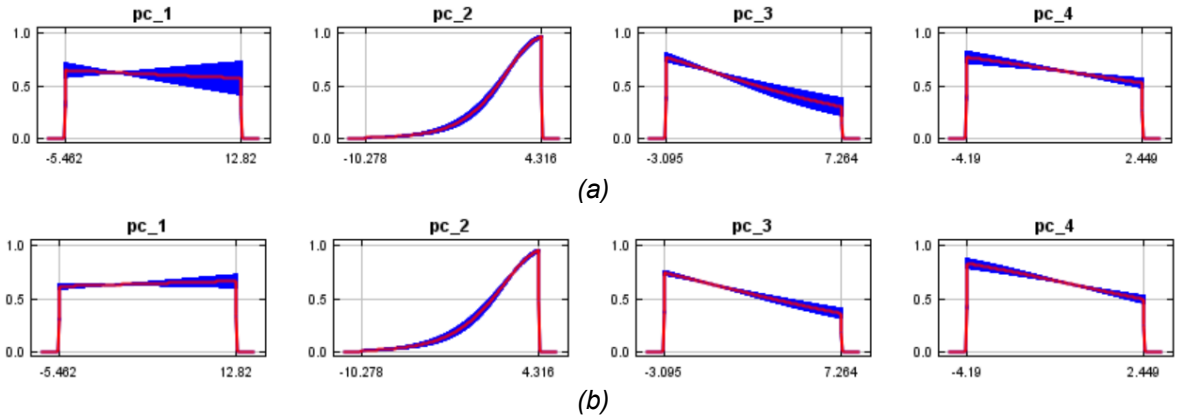
Rango	Km²	%
≤ 0.25	322,765	28.38%
≤ 0.5	310,130	27.27%
≤ 0.75	441,829	38.85%
≤ 1	62,683	5.51%

Figura 19: Nicho del Culex quinquefasciatus *transferido al territorio colombiano (a) Media de las 10 iteraciones; (b) Desviación estándar*

Se puede notar que existe una idoneidad superior al 0.75 en gran parte del territorio nacional (44.4%), con una concentración al norte del país (región caribe). Por otro lado, se descartan algunas zonas de la amazonia y de las cordilleras como posibles zonas idóneas para la existencia del vector ya que presentan valores cercanos a cero. Además, se observa que la desviación estándar (Figura 19b) está por debajo del 0.25 en todo el territorio nacional.

7.5.6 Curvas de respuesta

Estas curvas muestran cómo cada una de las 4 componentes principales utilizadas en el modelo afecta la predicción de Maxent. Las curvas muestran cómo cambia la probabilidad predicha de presencia a medida que varía cada componente, manteniendo todas las demás componentes en su valor muestral promedio. En otras palabras, las curvas muestran el efecto marginal de cambiar exactamente una componente, mientras que el modelo puede aprovechar conjuntos de variables que cambian juntas. Las curvas muestran la respuesta media de las 10 ejecuciones de Maxent replicadas en rojo y la media +/- una desviación estándar en azul (Figura 20a). En contraste con las curvas de respuesta marginal, cada una de las curvas mostradas en la Figura 20b representa un modelo diferente, es decir, un modelo de Maxent creado utilizando solo la variable correspondiente. Estas gráficas reflejan la dependencia de la idoneidad prevista tanto de la variable seleccionada como de las dependencias inducidas por las correlaciones entre la variable seleccionada y otras variables. Es visible que la segunda componente principal es quien más afecta el modelo.



(a)

(b)

Figura 20: Curvas de respuesta

7.5.7 Análisis de contribución de las variables

La Tabla 11 proporciona estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent. Para determinar la primera estimación, en cada iteración del algoritmo de entrenamiento se suma el aumento de la ganancia regularizada a la contribución de la variable correspondiente, o se le resta si el cambio en el valor absoluto de lambda es negativo. Para la segunda estimación, para cada variable ambiental, los

valores de esa variable sobre la presencia de entrenamiento y los datos de fondo se permutan aleatoriamente. El modelo se vuelve a evaluar en los datos permutados y la caída resultante en el AUC de entrenamiento se muestra en la tabla, normalizada a porcentajes.

Tabla 11: Contribución de las variables al modelo

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
PC_2	81.1	71.8
PC_4	7.8	7.3
PC_3	7.6	11.4
PC_1	3.5	9.5

La segunda componente principal es quien más aporta al modelo, de hecho, su aporte está muy por encima de las demás componentes. Este resultado es consecuente con las características climáticas donde se presentan las enfermedades tropicales como la FL, pues como se describió en numeral 7.4 en el análisis de componentes principales, las variables que más aportan a este componente son, la temperatura media del trimestre más cálido (0.41), la temperatura máxima del mes más cálido (0.40) y la temperatura media del trimestre más húmedo (0.40). Esta combinación entre altas temperaturas y humedad son factores determinantes en la proliferación del vector.

Por su parte, la cuarta componente situada en segundo lugar de importancia tiene como variables trazadoras la estacionalidad de la precipitación (-0.54), la precipitación del mes más húmedo (-0.47) y la precipitación del cuarto más húmedo (-0.46). Apareciendo de nuevo la humedad como un factor determinante en el modelo.

Finalmente, para complementar aún más esta relación de alta temperatura y humedad, la tercera componente tiene como variable de mayor peso la precipitación del trimestre más cálido (0.41), seguido por la estacionalidad de la temperatura (0.38).

7.5.8 Resultado del análisis de MESS

La Figura 21 muestra dos imágenes que comparan la similitud ambiental de las variables en Colombia con los datos ambientales utilizados para entrenar el modelo, a lo que se conoce como análisis de MESS. En la Figura 21a, las áreas en rojo tienen una o más variables ambientales fuera del rango presente en los datos de entrenamiento, por lo que las predicciones en esas áreas deben tratarse con mucha precaución. La Figura 21b

muestra la variable más disímil, es decir, la que se encuentra más lejos de su rango de entrenamiento.

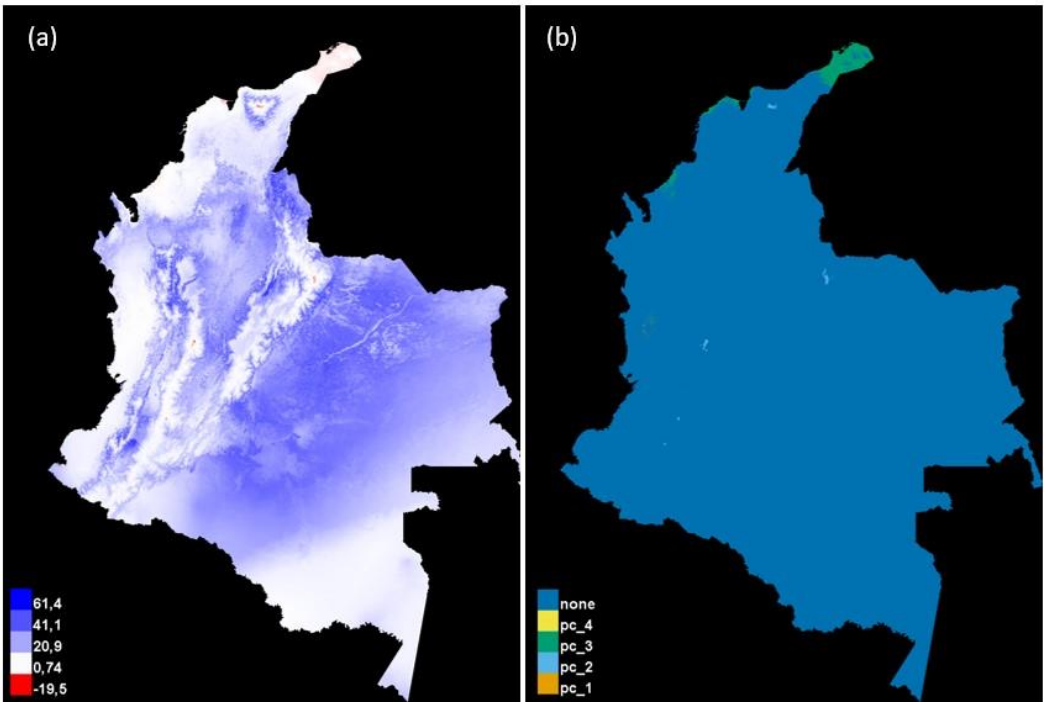


Figura 21: Análisis MESS del modelo

La transferencia logró una similitud del 99.01% entre el modelo de entrenamiento y los datos de proyección (extrapolación) del modelo en todo el país, lo que quiere decir que solo el 0.99% del territorio presenta diferencias ambientales y gran parte de ellas están presentes en la Guajira (Figura 21a). Cabe recordar que valores negativos indican que no se encontró similitud y valores positivos incluyendo el cero representan que si la hay.

Las áreas con valores negativos requieren de un estudio más profundo para determinar si existe o no el vector en dicho territorio. Esto se podría lograr mediante la realización de visitas de campo o ampliando la M utilizada en el modelo de entrenamiento.

Otro resultado importante que se aprecia en la Figura 21b, es poder determinar la disimilitud por cada una de las componentes principales (CP), donde la CP3 con un 0.92% ocupa el primer lugar, seguida por la CP2 y CP3 con el 0.07% y 0.01% respectivamente.

7.5.9 Binarización del modelo a través del umbral de corte

Para poder generar las zonas de mayor riesgo de presencia del vector y por ende posibles casos de FL en el país, se propone una binarización del modelo a partir de umbrales de corte. MaxEnt, a partir de un conjunto de métricas, genera estos umbrales para el modelo seleccionado (Tabla 12), que permite que los valores de corte no sean arbitrarios, si no que respondan a un soporte estadístico.

Tabla 12:Umbrales comunes y tasas de omisión

Umbral acumulativo	Umbral de obstrucción	Descripción	Área predicha fraccionada	Tasa de omisión de entrenamiento
1	0.114	Valor acumulado fijo 1	0.8787	0.0033
5	0.268	Valor acumulativo fijo 5	0.7309	0.0314
10	0.376	Valor acumulado fijo 10	0.6336	0.1096
1.0837	0.115	Presencia mínima de entrenamiento	0.878	0
9.552	0.367	Presencia de entrenamiento de percentil 10	0.6412	0.0977
36.8036	0.625	Igual sensibilidad y especificidad del entrenamiento	0.3536	0.3534
31.0514	0.593	Máxima sensibilidad al entrenamiento más especificidad	0.4008	0.2838
2.2772	0.170	Equilibrar la omisión de entrenamiento, el área prevista y el valor umbral	0.8199	0.0033
3.8591	0.230	Equiparar la entropía de las distribuciones umbraladas y originales	0.7615	0.0205

Los umbrales comúnmente utilizados son, por un lado, el de presencia mínima de entrenamiento, que asume que todos los puntos de entrenamiento estarán incluidos en el umbral y por consiguiente el área predicha fraccionada tiende a hacer muy grande (88%), y por otro lado, el de presencia de entrenamiento de percentil 10, que asume que el 10% de los puntos de entrenamiento quedarán por fuera y, por ende, se reduce el área predicha fraccionada (64%).

Sin embargo, como se expresó en la metodología, para esta investigación se necesita seleccionar los umbrales más restrictivos, y es por ello, que los tres con menores valores de área predicha fraccionada fueron seleccionados; el de igual sensibilidad y especificidad del entrenamiento con un área del 35%, seguido por el de máxima sensibilidad al entrenamiento más especificidad con el 40% y el ya descrito de presencia de entrenamiento de percentil 10.

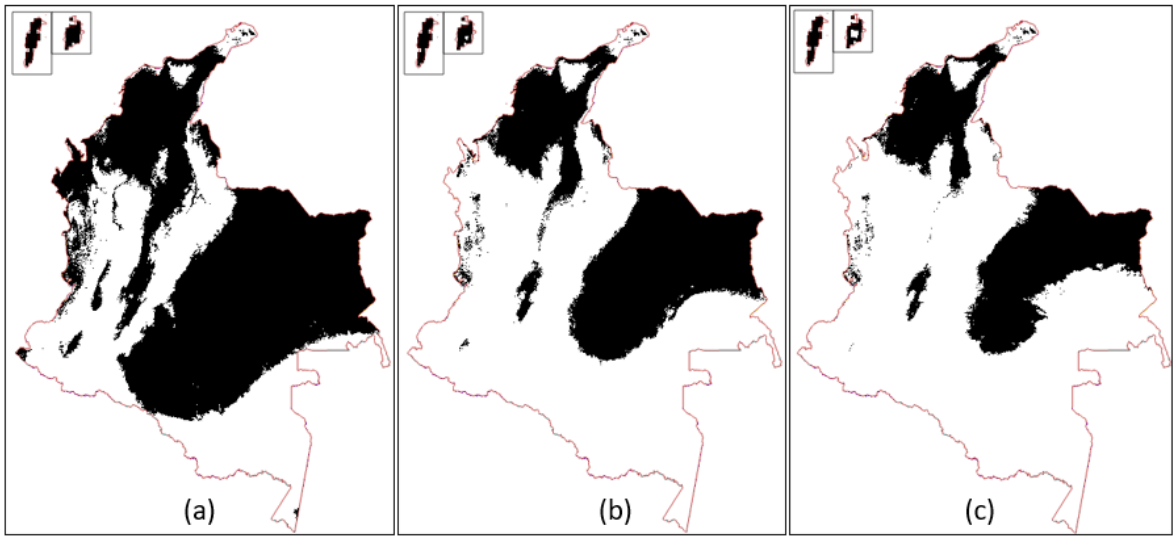


Figura 22: Umbrales de corte
(a) Presencia de entrenamiento de percentil 10, (b) Máxima sensibilidad al entrenamiento más especificidad, (c) Igual sensibilidad y especificidad del entrenamiento

La Figura 22 muestra el resultado de la aplicación de los tres umbrales de corte, en donde se aprecia el cambio en las áreas catalogadas como idóneas en un modelo de presencia y ausencia binario. La zona de distribución del *Culex quinquefasciatus* menos restrictiva (Figura 22a) abarca una extensión de 668.247 Km^2, es decir un 58% del territorio colombiano, seguida por la zona intermedia (Figura 22b) con 381.904 Km^2 (33%) y la zona más restrictiva (Figura 22c) que cuenta con 304.922 Km^2, lo que representa el 27% del área del país. De aquí en adelante se denotarán estos tres umbrales como de restricción baja, media y alta, para una mejor descripción de los resultados.

En la esquina superior izquierda de los mapas se incluye el Archipiélago de San Andrés y Providencia con coordenadas 12°33′00″N 81°43′00″O, que presenta zonas idóneas para el vector en la mayor parte de su extensión.

7.6 MAPA DE PREVALENCIA DE FILARIASIS LINFÁTICA EN COLOMBIA

Para realizar el mapa de prevalencia se tomaron en cuenta los casos reportados a SISPRO entre el año 2009 y 2020 para el territorio nacional y las proyecciones de población realizadas por el DANE para los mismos años 2009 a 2020.

Solo se tomaron en cuenta los diagnósticos de FL debida a *Wuchereria bancrofti*, pues es el único parasito transmisor en las Américas y que tuvo un incremento en el número de casos del 221% entre los años 2019 y 2020 con respecto a los casos de los años anteriores.

Se encontró que 22 de los 33 departamentos del país presentan al menos un caso de FL reportado en SISPRO. Cabe aclarar que no se incluye en el mapa el archipiélago de San Andrés y Providencia por no contar con ningún caso reportado de la enfermedad en los años mencionados.

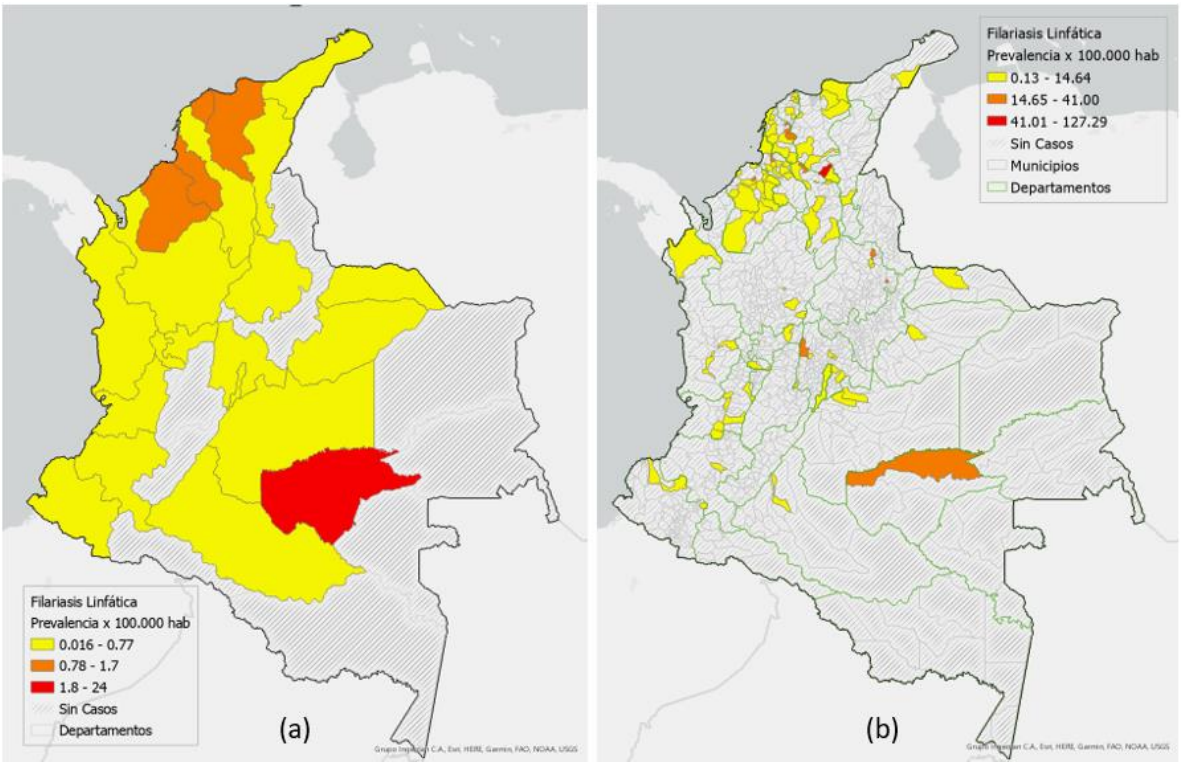


Figura 23: Prevalencia de Filariasis linfática en Colombia
(a) Departamental, (b) Municipal

En la Figura 23a se observa a simple vista que el departamento del Guaviare es quien presenta la mayor prevalencia en el país (24.3), concentrando los todos los casos reportados en su capital, San José de Guaviare, seguido de lejos por los departamentos de Atlántico (1.75), Sucre (1.58), Córdoba (1.33) y Magdalena (1.0). Sin embargo, es el departamento de Atlántico quien presenta el mayor número de casos en el país con un total de 138 casos, seguido por Córdoba con 94.

Cabe recordar que la FL adopta formas asintomáticas, agudas y crónicas, predominando la mayoría de las infecciones asintomáticas sin presencia de signos externos, lo que hace que su diagnóstico puede darse muy tarde y no de manera inmediata. Es por ello por lo que se tomó como referencia para el estudio el lugar de residencia que reportó la persona y no el lugar de atención, considerando que este tipo de enfermedades afectan principalmente a las poblaciones más pobres y con un limitado acceso a los servicios de salud; especialmente aquellos que viven en áreas rurales remotas y en barrios marginales, lo que obliga a estas personas a desplazarse generalmente a las capitales a ser atendidas.

A nivel municipal (Figura 23b), el Guamal en el departamento de Magdalena es quien presenta la mayor prevalencia (127.2), seguido por Málaga en Santander (41.0) y San José del Guaviare en Guaviare (37.7). Todos estos municipios están localizados en las zonas presentadas en los mapas de distribución potencial de la especie mostrados en la Figura 22. Barranquilla es la ciudad con mayor número de casos (105), seguida por Bogotá (65) y Montería (53). El caso de Bogotá no es muy claro, pues no es un sitio que cuentes con las mejores condiciones climáticas para el desarrollo del vector, se sospecha que puede ser personas que adquirieron la enfermedad por la picadura del mosquito en otras regiones, pero su lugar de residencia es la capital del país.

Llama la atención que la región caribe es la que presenta el mayor número de municipios con casos de FL del país, coincidiendo plenamente con una de las zonas predichas por el modelo como idónea para el desarrollo del vector. En total son 94 de los 1.121 municipios los que presentan al menos 1 caso reportado de la enfermedad.

7.7 FILARIASIS LINFÁTICA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE DEL *CULEX QUINQUEFASCIATUS*

Al cruzar los municipios donde se presentan casos de FL debida a *Wuchereria bancrofti* en el país y las zonas de distribución de la especie del *Culex quinquefasciatus* halladas en la presente investigación, se encontraron los siguientes resultados expuestos en la Tabla 13, tomando como referencia los umbrales de restricción baja y alta.

Tabla 13: Filariasis linfática y zonas de distribución del Culex quinquefasciatus

	Presencia de entrenamiento de percentil 10	**Igual sensibilidad y especificidad del entrenamiento**
Área total de predicción	668.247 Km^2	304.922 Km^2
Municipios que intersecan con el área de predicción	700 de 1.121	388 de 1.121
Porcentaje municipios que intersecan con el área de predicción	62%	35%
Municipios con reporte de casos que intersecan con el área de predicción	83 de 94	68 de 94
Porcentaje de municipios con reporte de casos que intersecan con el área de predicción	88%	72%

Como se observa en la Figura 24, los municipios en verde son los que han presentado algún caso de FL entre el año 2009 y 2020, y la zona sombreada representa el nicho donde existe la probabilidad de la existencia del vector, dentro de un umbral de restricción baja (Figura 24a) y alta (Figura 24b). Esta información reafirma que el modelo de distribución del *Culex quinquefasciatus* generado en esta investigación abarca de manera importante las zonas donde se han presentado casos de FL debida a *Wuchereria bancrofti* en el país, pero al tiempo deja al descubierto las zonas donde podría estar presentándose un subregistro de los casos y donde sería importante indagar un poco más sobre la enfermedad.

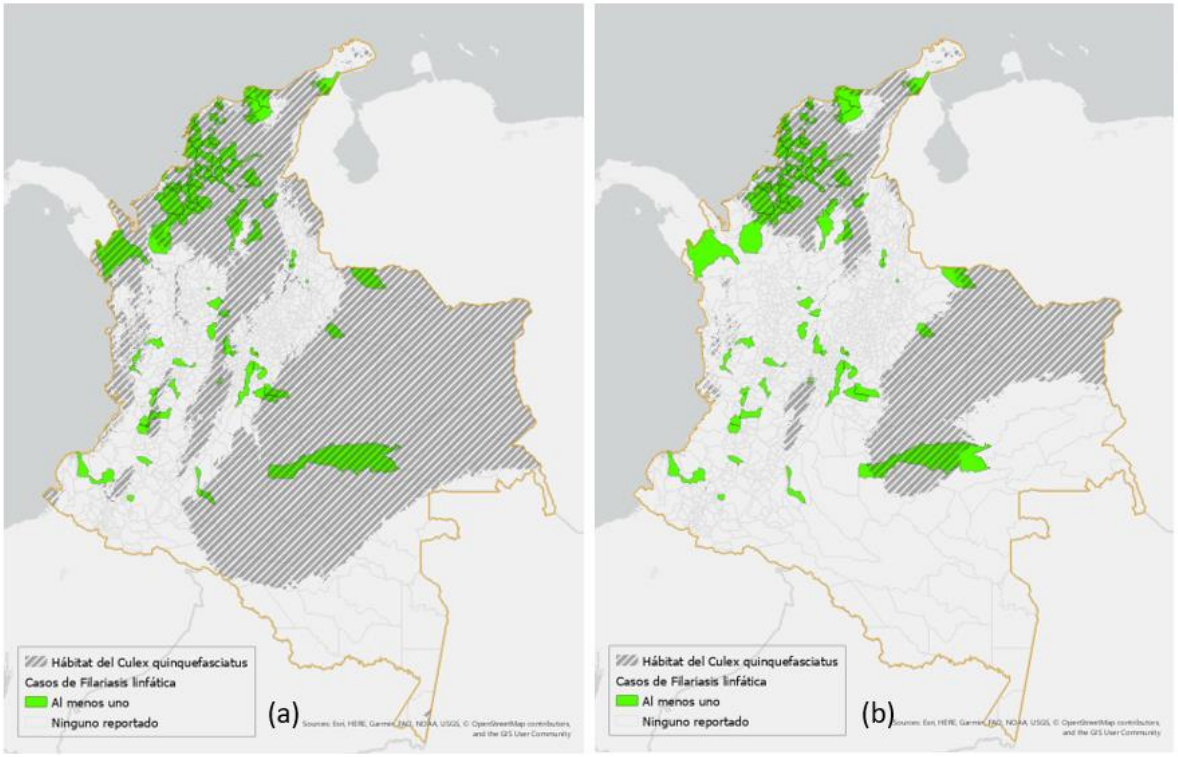


Figura 24: Municipios con casos de filariasis y hábitat del Culex quinquefasciatus

7.8 MAPA DE RIESGO

La Figura 25 evidencia el resultado de la presente investigación con la caracterización de cuatro zonas de riesgo para FL debida al parásito *Wuchereria bancrofti* a partir del modelamiento del nicho del vector *Culex quinquefasciatus*, principal transmisor de la enfermedad en Colombia.

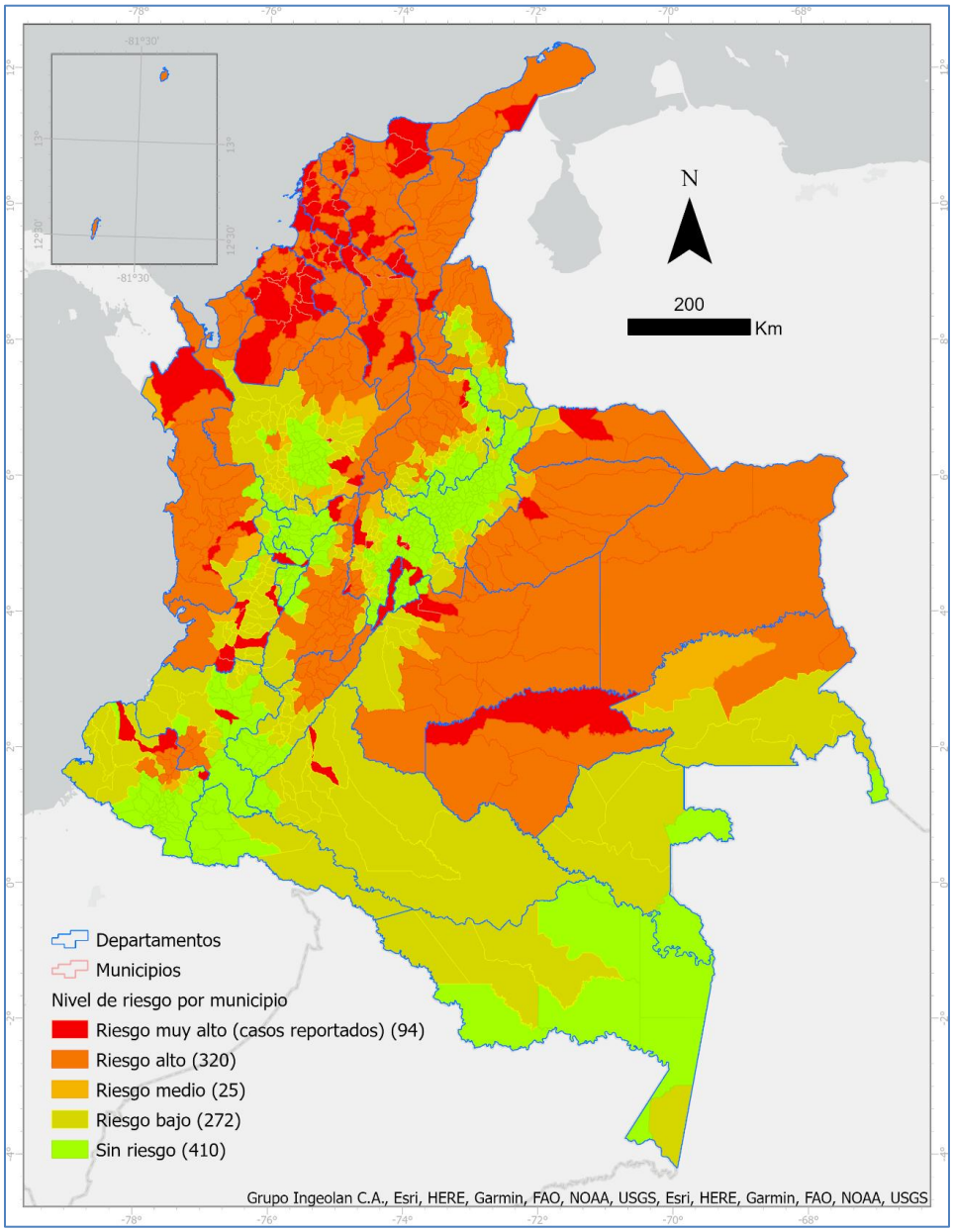


Figura 25: Mapa de zona de riesgo de Filariasis Linfática

Para realizar una descripción más generalizada de los resultados, se tomarán como referencia las seis regiones naturales de Colombia definidas en la Figura 26, aunque estas regiones ya no son muy utilizadas y han ido siendo reemplazadas por ecorregiones y biomas más específicos, para simpleza en la descripción se tomaran en cuenta como áreas de descripción.

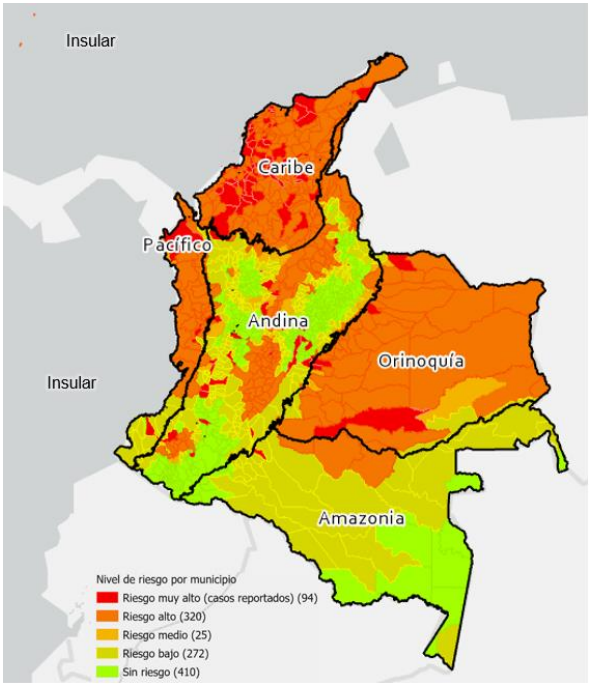


Figura 26: Regiones naturales de Colombia y zonas de riesgo

La región Caribe es quien en la actualidad presenta el área con mayor riesgo catalogado como alto y muy alto, seguida de la región Orinoquía con toda su extensión en riesgo alto. A estas dos regiones se le suma la región Pacífico con riesgo alto al norte y centro de su área y riesgo medio al sur de la región.

Por su parte, la región Amazónica presenta un riesgo bajo en la mayoría de su extensión e incluso zonas sin riesgo de contar con la presencia del vector y así lo ratifica la no existencia de casos reportados de FL en los años de estudio en la esta región.

Como se pudo apreciar en la idoneidad del nicho del vector, esta disminuye radicalmente en las zonas montañosas (Figura 19a), por lo que gran parte de la región Andina presenta

riesgo bajo o nulo, a excepción de las zonas no montañosas que hacia el centro y norte presentan un riesgo alto y medio.

Finalmente, en la región insular, más específicamente en el archipiélago de San Andrés y Providencia, a pesar de que no existen reportes de la enfermedad en la zona, esta presenta condiciones climáticas favorables para la proliferación del vector, lo que la convierte en una región de riesgo alto.

La clasificación del riesgo se realizó con base en los 1.121 municipios del país, donde el 8.4% se encuentra en riesgo muy alto, pues existe reporte de casos en el municipio, seguido por el 28.5% en riesgo alto, al ser municipios que cruzan con el umbral de restricción alta, el 2.2% en riesgo medio, al cruzar con el umbral de restricción media, el 24.3% en riesgo bajo, al cruzar con el umbral de restricción baja y 36,6% sin riesgo. Para ver la clasificación de riesgo por municipio ver Anexo C.

Las cifras anteriores demuestran que gran parte del territorio nacional cuenta con las condiciones apropiadas para la proliferación del vector y por ende la posible existencia de la enfermedad.

7.9 FILARIASIS POR *BRUGIA MALAYI* Y *BRUGIA TIMORI*

Como se mencionó en el planteamiento del problema y se describió en la Tabla 1, llama la atención el aumento de casos reportados al SISPRO en los últimos años de FL ocasionada por dos especies de parásitos que no deberían existir en el país. La especie *Brugia malayi*, característica del Sudeste de China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas y las islas del Pacífico, y *Brugia timori*, que solo está presente en las Islas de Timor e Indonesia.

Una posible teoría es que los casos hubieran sido importados por viajeros, sin embargo, en los años 2019 y 2020 el número de casos por *Brugia malayi* aumentó a 276 casos reportados de tan solo 28 entre los años 2009 y 2018, lo que significa un aumento del 886% y el panorama es aún peor para los casos por *Brugia timori*, que en las mismas fechas paso de 9 casos a 262, es decir un 2.811% más de personas con FL debido a este parasito.

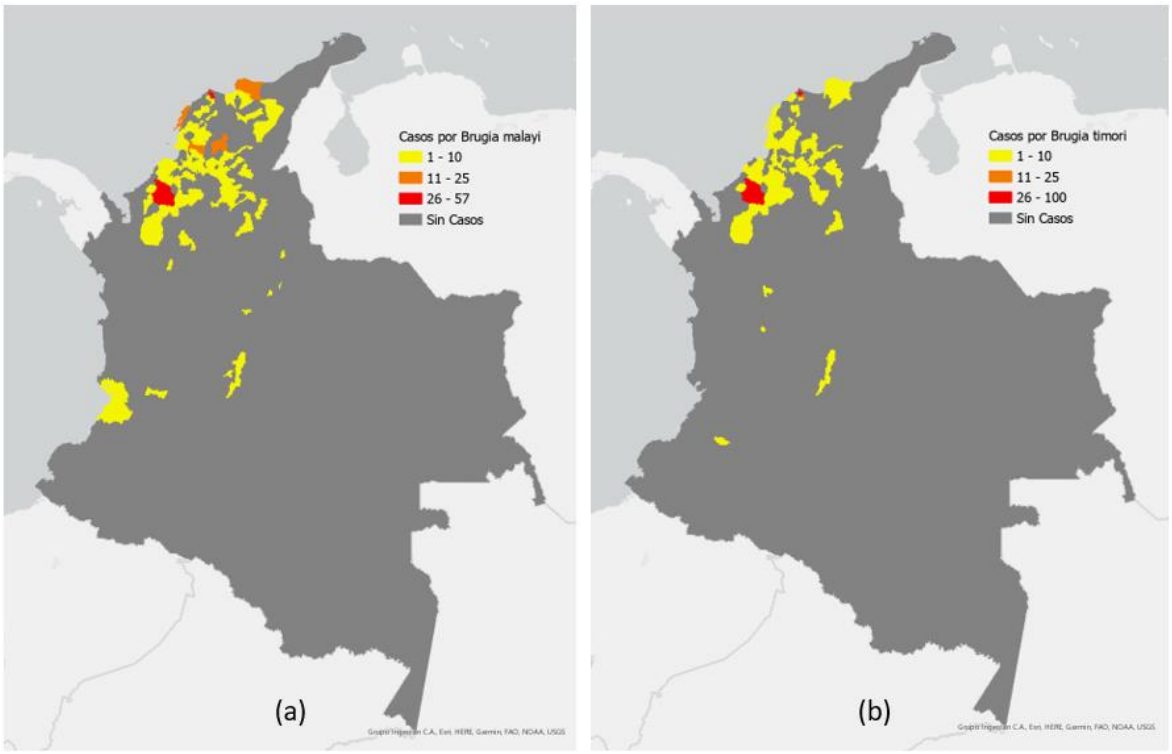


Figura 27: Casos reportados de Filariasis debido a otros parásitos
(a) Brugia malayi, y (b) Brugia timori

En la Figura 27 se observa un panorama general de la ubicación por municipio de los casos reportados de FL debido a estos dos parásitos y lo primero que llama la atención es que se encuentran mayormente en la región caribe, siendo el municipio de Barranquilla quien cuenta con el mayor número de casos reportados para ambas especies, con un total de 105 para *Brugia malayi* y 57 para *Brugia timori*, seguido por Montería con 41 y 48 casos y Soledad con 26 y 19 casos respectivamente.

Por otra parte, no son pocos los municipios que cuentan con al menos un reporte de FL debido a ambos parásitos a lo largo de los años de estudio. Por el lado de *Brugia malayi* se observan 77 municipios correspondiente al 6.9% del total de municipios del país y por el lado de *Brugia timori* son 62, que corresponden al 5.5%

Es muy importante poder hacerles seguimiento a estos casos y verificar su diagnóstico mediante pruebas clínicas de laboratorio, pues de comprobarse que los contagios se han dado dentro del territorio nacional, se deberían tomar medidas para evitar su propagación.

8. CONCLUSIONES

El compromiso asumido por los Estados Miembros de la Asamblea Mundial de la Salud, incluido Colombia, de eliminar la FL como problema de salud pública a través de la resolución WHA50.29 para el año 2020 (OMS, 2020), está lejos de ser cumplido y por el contrario, esta investigación encontró que los casos registrados en SISPRO van en aumento con el pasar de los años sin la existencia de una política clara por parte del gobierno nacional para su prevención y erradicación.

Sumado a lo anterior, las dudas en los casos reportados a SISPRO, ya bien sea por mala digitación del parasito causante, por falta de comprobación del diagnóstico o actualización de este, podrían empeorar esta situación que ya supero en un 539% en los años 2019 y 2020 los casos reportados en los años anteriores entre 2009 y 2018.

La presente investigación encontró que a través del modelado de nicho y la distribución de especies, fue posible generar zonas de riesgo para casos de FL a partir del descubrimiento del hábitat idóneo del vector *Culex quinquefasciatus* dentro del territorio colombiano, contestando así la pregunta de investigación planteada. Dentro del desarrollo de la investigación se encontró que la mayoría de los casos de FL debida al parásito *Wuchereria bancrofti* reportados a SISPRO, se encontraban dentro de las zonas predichas por el modelo como idóneas para la proliferación del vector.

Por su parte, se pudo determinar que las variables climáticas que más favorecen la presencia del vector fueron las asociadas a periodos de temperaturas altas y periodos de humedad principalmente, lo que es muy consecuente con la biología de la especie y en general con los vectores que transmiten las enfermedades conocidas como tropicales, entre ellas la FL.

La zona de distribución calculada del *Culex quinquefasciatus* menos restrictiva abarca una extensión de 668.247 Km^2, es decir un 58% del territorio colombiano y la zona más restrictiva cuenta con 304.922 Km^2, lo que representa el 27% del área del país. El departamento con el mayor número de casos reportados es Atlántico, seguido por Córdoba

y Magdalena, pero es el departamento de Guaviare quien presenta la mayor prevalencia con 24.26 casos por 100.000 habitantes, estando muy por encima del resto de la media país, lo que invita a la generación de programas de prevención y erradicación de la enfermedad por parte del gobierno nacional, en especial en su capital San José de Guaviare, donde se presentan los casos.

En total son 94 municipios en riesgo muy alto y 320 en riesgo alto. Se podría proponer un plan piloto en las diferentes regiones del país con acciones encaminadas a la captura de mosquitos de la especie *Culex* y posterior evaluación en laboratorio de estos, para determinar la presencia del parásito *Wuchereria bancrofti* o lo que es más preocupante, la presencia de *Brugia malayi*, o *Brugia timori*, que no deberían estar presentes en Colombia, pero llama la atención el aumento de FL debido a estos dos parásitos en los últimos años en el territorio nacional.

Finalmente, se espera que con esta investigación se puedan desarrollar acciones e investigaciones encaminadas a trabajo en campo, que permitan comprobar la situación real en los territorios de los casos de FL y de ser necesario tomar las acciones necesarias para detener su avance.

9. REFERENCIAS

Anderson, R. P., Lewc, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling, 162*, 211-232.

Barbosa, A., Real, R., & Vargas, J. (2009). Transferability of environmental favourability models in geographic space: the case of the Iberian desman (Galemys pyrenaicus) in Portugal and Spain. Ecological Modelling. *220*, 747-754.

Barnes, J., & Delborne, J. (2019). Rethinking restoration targets for American chestnut using species distribution modeling. *Biodivers. Conserv, 28*, 3199-3220.

Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., P.Maher, S., Townsend Peterson, A., . . . Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling, 222*(11), 1810–1819.

Busby, J. R. (1991). BIOCLIM - A bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly, 6*, 8-9.

CABI. (2022). *Culex quinquefasciatus (southern house mosquito)*. Obtenido de Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International: www.cabi.org/isc

Chase, J. M., & Leibold, M. A. (2003). *Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches.* The University of Chicago Press.

Cobos, M., Peterson, A., Barve, N., & Osorio-Olvera, L. (2019). kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7:e6281. doi:https://doi.org/10.7717/peerj.6281

Di Bitetti, M. S. (2012). ¿Qué es el hábitat? Ambigüedad en el uso de jerga técnica. *Ecología Austral, 22*, 137-143.

Díaz-Menéndez, M., Norman, F., Monge-Maillo, B., Pérez-Molina, J. A., & López-Vélez, R. (2011). Las filariasis en la práctica clínica. *Enferm Infecc Microbiol Clin, 29(Supl 5)*, 27-37.

Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution, 1*, 330-342.

Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers. Distrib., 17*, 43-57.

Espitia, H., & Trujillo, J. (1998). Comparación de pruebas de diagnóstico de mansonelosis en el estudio de prevalencia en comunidades del río Atabapo, Departamento del Guanía, Colombia 1996. *Biomedica, 18(1)*, 37-44.

Fick, S., & Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology, 37*(12), 4302-4315. doi:https://doi.org/10.1002/joc.5086

Fletcher, R., & Fortin, M.-J. (2018). *Spatial Ecology and Conservation Modeling: Applications with R.* Cham: Springer Nature Switzerland.

GBIF.org. (13 de 01 de 2020). *GBIF Home Page*. Obtenido de https://www.gbif.org

GBIF.org. (5 de 10 de 2021). *GBIF Occurrence Download* . Obtenido de https://doi.org/10.15468/dl.v8tqfj

Hassan, M., Kenawy, M., Al Ashry, H., & Shobrak, M. (2017). Influence of Climatic Factors on the Abundance of Culex Pipiens and Cx. Quinquefasciatus(Diptera: Culicidae) Adults in the Western Coast of Saudi Arabia. *Journal of Entomological and Acarological Research, 49*, 54-58. doi:10.4081/jear.2017.6442

Hernandez, P., Graham, C., Master, L., & Albert, D. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography, 29*, 773-785.

Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., & Perrin, N. (2002). Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data. *Ecology, 83*, 2027-2036.

Hutchinson, G. (1957). Cold spring harbor symposia on quantitative biology. *Concluding remarks, 22*, 415-427.

IGAC. (2021). *Colombia en Mapas*. Recuperado el 22 de abr de 2021, de IGAC Web site: https://www.colombiaenmapas.gov.co/

Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., & Hortal, J. (s.f.). Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions, 14(6)*, 885-890.

Kang, D. S., Tomas, R., & Sim, C. (2017). The Effects of Temperature and Precipitation on Culex quinquefasciatus (Diptera: Culicidae) Abundance: A Case Study in the Greater Waco City, Texas. *Vector Biology Journal*, 2:1.

Kozek, W. J., D'Alessandro, A., & Hoyos, M. (1982). Filariasis in Colombia: presence of Dipetalonema perstans in the Comisaría del Guainía. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 31(3 Pt 1)*, 486-489.

Kozek, W. J., D'Allessandro, A., Saliva, J., & Navarette, S. (1982). Filariasis in Colombia: Prevalence of mansonellosis in the teenage and adult population of the Colombian bank of the Amazon, Comisaria del Amazonas. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 31(6)*, 1131-1136.

Kozek, W. J., Palma, G., Henao, A., García, H., & Hoyos, M. (1983). Filariasis in Colombia: prevalence and distribution of Mansonella ozzardi and Mansonella (=Dipetalonema) perstans infections in the Comisaría del Guainía. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 32(2)*, 379-384.

Kozek, W. J., Palma, G., Valencia, W., Montalvo, C., & Spain, J. (1984). Filariasis in Colombia: prevalence of Mansonella ozzardi in the Departamento de Meta,

Intendencia del Casanare, and Comisaría del Vichada. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 33(1)*, 70-72.

Lawton, J., & Woodroffe, G. (1991). Habitat and the Distribution of Water Voles: Why are there Gaps in a Species' Range? *Journal of Animal Ecology, 60(1)*, 79-91.

Lightner, L. K., Ewert, A., Corredor, A., & Sabogal, E. (1980). A parasitologic survey for Mansonella ozzardi in the Comisaría del Vaupés, Colombia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 29(1)*, 42-45.

Liu, C., Berry, P., Dawson, T., & Pearson, R. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species. *Ecography, 28*(3), 385-393.

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography, 17*, 145-151.

Martínez-Meyer, E., & Sanchez-Cordero, V. (2006). Uso de datos de las colecciones mastozoológicas. *Colecciones Mastozoológicas de México*, 177-187.

Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography, 36*(10), 1058-1069.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2011). Sistema Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO) [Bodega de Datos]. *Cubo de prestación de servicios de salud*. Colombia. Recuperado el 12 de abr de 2021

Mota-Vargas, C., & Rojas-Soto, O. R. (2012). The impor-tance of defining the geographic distributionof species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation, 20*, 10-17.

OMS. (2 de mar de 2020). *Filariasis linfática*. Recuperado el 14 de abr de 2021, de Página de la Organización Mundial de la Salud: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lymphatic-filariasis

OPS. (2020). *Filariasis linfática*. Recuperado el 14 de abr de 2021, de Sitio web de la Organización Panamericana de la Salud: https://www.paho.org/es/temas/filariasis-linfatica

OPS Colombia. (2009). *Sobre las enfermedades infecciosas desatendidas*. Recuperado el 14 de abr de 2021, de OPS Colombia Web Site: https://www.paho.org/col/index.php?option=com_content&view=article&id=1474:sobre-las-enfermedades-infecciosas-desatendidas&Itemid=561

Parra-Henao, G. (2010). Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores. *CES Med, 24(2)*, 75-90.

Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution – on the form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurements of organs. *Proceedings of the Royal Society of London, 60*, 268-286.

Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr., 34*, 102-117.

Pérez Gutiérrez, C., & Muñoz Nieto, A. L. (2006). *Teledetección. Nociones y Aplicaciones.* España: Carlos Perez.

Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling, 213*(1), 63-72. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008

Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions.* Princeton University Press.

Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49).* Princeton: Princeton University Press. doi:https://doi.org/10.1515/9781400840670

Phillips, S. (2009). A Brief Tutorial on Maxent. *Network of Conservation Educators and Practitioners, Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History, 3*, 108-135.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling, 190*, 231-259.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography, 40*(7), 887–893.

Radosavljevic, A., & Anderson, R. P. (2014). Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography, 41*, 629-643.

Rotenberry, J. T., Preston, K. L., & Knick, S. T. (2006). GIS-based niche modeling for mapping species' habitat. *Ecology, 87*, 1458–1464.

Soberón, J. (2010). Niche and area of distribution modeling: A population ecology perspective. *Ecography, 33*, 159-167.

Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods,and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106 (Supplement 2)*, 19644-19650.

Sotomayor-Tribin, H. A. (2014). Anotaciones médicas y literarias de la historia de la filariasis por Wuchereria Bancrofti en Cartagena y en Colombia. *Revista Ciencias Biomédicas, 5*(2), 374-381. doi:https://doi.org/10.32997/rcb-2014-3032

Stockwell, D., & Peters, D. P. (1999). The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Systems, 13*, 143-158.

Stockwell, D., & Peterson, A. (2002). Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecol. Model., 148*, 1-13.

Suárez Mattos, A., Calderón, A., & Acevedo, A. (2018). Hallazgo incidental de microfilarias de Mansonella ozzardi en un paciente pediátrico con linfoma T anaplásico. *Revista Colombiana de Cancerología, 22*, 88-91.

Talipouo, A., Mavridis, K., Nchoutpouen, E., Djiappi-Tchamen, B., Fotakis, E. A., Kopya, E., . . . Antonio-Nkondjio, C. (2021). High insecticide resistance mediated by different mechanisms in Culex quinquefasciatus populations from the city of Yaoundé, Cameroon. *Scientific Reports, 11(1)*, 1-11.

Tyagi, B. K. (2018). *Lymphatic Filariasis : Epidemiology, Treatment and Prevention - The Indian Perspective.* Springer.

Ukubuiwe, A., Olayemi, I., Arimoro, F., James, I., Baba, B., Ukubuiwe, C., . . . Adeniyi, K. (2018). Influence of rearing-water temperature on life stages' vector attributes, distribution and utilisation of metabolic reserves in Culex quinquefasciatus (Diptera: Culicidae): implications for disease transmission and vector control. *JoBAZ, 79*, 32. doi:https://doi.org/10.1186/s41936-018-0045-3

Valdez, L., Sibona, G., Diaz, L., Contigian, M., & Condat, C. (2017). Effects of rainfall on Culex mosquito population dynamics. *Journal of Theoretical Biology, 421*, 28-38.

Véliz, C. (2020). *Aprendizaje automático. Introducción al aprendizaje profundo.* Lima, Peru: El Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Vera, H., & Trujillo, J. (1997). Prevalencia de mansonelosis en comunidades del río Atabapo del departamento de Guanía, Colombia. *Biomedica, 17(4)*, 306-312.

Walker, P. A., & Cocks, K. D. (1991). HABITAT: A procedure for modelling a disjoint environmental envelope for a plant or animal species. *Global Ecology and Biogeography Letters, 1*, 108-118.

Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications, 21*(2), 335-342.

Wynd, S., Melrose, W., Durrheim, D., Carron, J., & Gyapong, M. (1 de jun de 2007). Understanding the community impact of lymphatic filariasis: a review of the sociocultural literature. *Public health reviews, Vol. 85 Issue 6*, 493-498.

Xue, Z., Zou, Y., Zhang, Z., Lyu, X., Jiang, M., Wu, H., . . . Tong, S. (2018). Reconstruction and future prediction of the distribution of wetlands in China. *Earth's Future, 6*, 1508-1517.

Zhong, Y., Xue, Z., Jiang, M., Liu, B., & Wang, G. (2020). The application of species distribution modeling in wetland restoration: A case study in the Songnen Plain, Northeast China. *Ecological Indicators, 121*.

ANEXOS

ANEXO A

Resultados del análisis de PCA para las 19 variables bioclimáticas usadas en la investigación.

Var	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19
bio01	0.14	0.37	-0.06	0.05	-0.02	-0.06	0.03	-0.04	-0.01	0.24	0.01	-0.06	-0.02	0.12	0.28	-0.17	0.80	0.09	0.00
bio02	-0.26	0.07	0.26	-0.09	-0.60	0.11	0.13	-0.32	-0.06	-0.02	-0.01	-0.05	-0.32	0.05	-0.26	-0.42	-0.01	0.03	0.00
bio03	0.23	-0.18	-0.25	0.03	-0.57	-0.01	-0.33	-0.06	0.58	-0.03	-0.02	0.00	0.26	-0.05	0.06	0.10	0.04	-0.01	0.00
bio04	-0.23	0.16	0.38	0.16	0.29	0.13	-0.31	0.10	0.39	-0.18	-0.02	-0.04	0.19	-0.04	-0.10	-0.34	0.09	-0.43	0.00
bio05	-0.02	0.40	0.13	0.03	-0.13	0.08	0.14	-0.13	-0.11	0.13	0.08	0.04	0.47	-0.17	-0.33	0.33	0.00	-0.03	-0.50
bio06	0.26	0.21	-0.24	0.04	0.06	-0.08	0.04	0.03	-0.04	0.08	0.04	-0.03	0.17	-0.10	-0.62	-0.16	0.00	0.01	0.60
bio07	-0.27	0.12	0.34	-0.01	-0.16	0.15	0.08	-0.13	-0.04	0.03	0.03	0.06	0.22	-0.04	0.33	0.42	0.00	-0.03	0.62
bio08	0.06	0.40	0.08	0.11	0.05	-0.06	-0.21	0.03	0.30	0.08	-0.12	0.00	-0.63	0.12	-0.19	0.46	-0.09	0.01	0.00
bio09	0.18	0.34	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.02	0.03	-0.19	-0.88	0.05	0.08	-0.03	-0.03	0.12	0.02	0.04	0.01	0.00
bio10	0.06	0.41	0.07	0.10	0.06	0.01	-0.09	0.03	0.14	0.13	-0.03	-0.02	0.15	-0.02	0.29	-0.34	-0.47	0.57	0.00
bio11	0.22	0.29	-0.20	-0.02	-0.15	-0.09	0.11	-0.04	-0.13	0.24	0.00	-0.01	-0.05	0.05	0.32	-0.14	-0.34	-0.69	0.00
bio12	0.31	-0.05	0.18	-0.11	0.04	0.18	0.11	-0.05	0.03	0.03	-0.57	0.31	-0.11	-0.59	0.06	-0.06	0.07	-0.02	0.00
bio13	0.28	0.00	0.15	-0.47	0.15	0.20	0.11	-0.11	0.26	0.03	0.67	0.22	-0.14	-0.11	0.03	-0.03	0.00	0.00	0.00
bio14	0.26	-0.10	0.33	0.29	-0.16	-0.14	0.34	0.38	0.07	-0.03	0.19	-0.55	-0.08	-0.27	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
bio15	-0.23	0.15	0.01	-0.54	-0.23	-0.09	-0.16	0.72	-0.09	0.09	-0.06	0.07	0.02	-0.07	-0.04	-0.02	0.04	0.00	0.00
bio16	0.28	0.00	0.16	-0.46	0.10	0.18	0.17	-0.09	0.12	-0.09	-0.38	-0.41	0.18	0.48	-0.05	0.06	-0.04	0.00	0.00
bio17	0.27	-0.10	0.31	0.28	-0.14	-0.05	0.20	0.29	0.01	0.02	-0.02	0.58	0.09	0.49	-0.08	-0.04	-0.01	0.00	0.00
bio18	0.23	-0.08	0.41	-0.17	0.00	-0.66	-0.43	-0.26	-0.24	0.02	0.03	-0.01	0.07	-0.04	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.00
bio19	0.29	-0.08	0.11	0.15	-0.09	0.59	-0.52	0.10	-0.43	0.12	0.11	-0.13	-0.05	0.05	-0.02	0.02	-0.01	0.01	0.00

ANEXO B

Resultados estadísticos de los 210 modelos generados.

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_0.1_F_l_Set_2CP	1.163597	0	0.05063291	12708.19	179.39380	5.31E-42	2
M_0.1_F_l_Set_4CP	1.169017	0	0.06329114	12702.12	173.32198	1.11E-40	4
M_0.1_F_l_Set_8CP	1.176470	0	0.07594937	12702.34	173.54732	9.97E-41	8
M_0.1_F_q_Set_2CP	1.142652	0	0.02531646	12743.59	214.79097	1.11E-49	2
M_0.1_F_q_Set_4CP	1.124487	0	0.02531646	12747.88	219.08658	1.30E-50	4
M_0.1_F_q_Set_8CP	1.127907	0	0.02531646	12729.92	201.12595	1.04E-46	8
M_0.1_F_p_Set_2CP	1.084188	0	0.03797468	12884.57	355.77357	2.74E-80	1
M_0.1_F_p_Set_4CP	1.041565	0	0.10126582	12847.78	318.98554	2.68E-72	6
M_0.1_F_p_Set_8CP	1.078697	0	0.07594937	12731.55	202.75202	4.67E-47	28
M_0.1_F_lq_Set_2CP	1.168868	0	0.07594937	12640.42	111.62466	2.88E-27	4
M_0.1_F_lq_Set_4CP	1.157264	0	0.07594937	12649.60	120.80329	2.94E-29	8
M_0.1_F_lq_Set_8CP	1.152768	0	0.10126582	12636.21	107.41129	2.39E-26	15
M_0.1_F_lp_Set_2CP	1.160313	0	0.05063291	12707.31	178.51412	8.74E-42	3
M_0.1_F_lp_Set_4CP	1.190453	0	0.03797468	12675.19	146.39709	8.28E-35	10
M_0.1_F_lp_Set_8CP	1.133313	0	0.11392405	12575.60	46.80099	3.53E-13	36
M_0.1_F_qp_Set_2CP	1.111997	0	0.03797468	12730.95	202.15204	6.54E-47	3
M_0.1_F_qp_Set_4CP	1.117741	0	0.05063291	12712.67	183.86867	6.14E-43	10
M_0.1_F_qp_Set_8CP	1.119116	0	0.11392405	12643.08	114.27795	7.97E-28	36
M_0.1_F_lqp_Set_2CP	1.165673	0	0.06329114	12621.56	92.75881	3.77E-23	5
M_0.1_F_lqp_Set_4CP	1.160223	0	0.08860759	12625.57	96.77627	5.09E-24	14
M_0.1_F_lqp_Set_8CP	1.121166	0	0.11392405	12528.80	0.00000	5.26E-03	41
M_0.2_F_l_Set_2CP	1.163729	0	0.05063291	12708.16	179.36450	5.96E-42	2
M_0.2_F_l_Set_4CP	1.171845	0	0.06329114	12702.10	173.30266	1.24E-40	4
M_0.2_F_l_Set_8CP	1.178321	0	0.07594937	12702.27	173.47314	1.15E-40	8
M_0.2_F_q_Set_2CP	1.151230	0	0.02531646	12743.95	215.14834	1.03E-49	2
M_0.2_F_q_Set_4CP	1.133659	0	0.02531646	12748.07	219.27239	1.31E-50	4
M_0.2_F_q_Set_8CP	1.131505	0	0.02531646	12730.06	201.25795	1.08E-46	8
M_0.2_F_p_Set_2CP	1.083749	0	0.03797468	12884.56	355.76153	3.05E-80	1
M_0.2_F_p_Set_4CP	1.038839	0	0.10126582	12847.91	319.10820	2.80E-72	6
M_0.2_F_p_Set_8CP	1.081402	0	0.08860759	12727.99	199.18919	3.08E-46	27
M_0.2_F_lq_Set_2CP	1.165483	0	0.07594937	12640.79	111.99085	2.67E-27	4
M_0.2_F_lq_Set_4CP	1.149447	0	0.07594937	12649.74	120.94744	3.05E-29	8
M_0.2_F_lq_Set_8CP	1.158504	0	0.10126582	12639.24	110.43818	5.86E-27	16
M_0.2_F_lp_Set_2CP	1.164116	0	0.05063291	12707.28	178.47901	9.90E-42	3

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_0.2_F_lp_Set_4CP	1.194497	0	0.03797468	12675.65	146.85358	7.34E-35	10
M_0.2_F_lp_Set_8CP	1.139790	0	0.11392405	12577.97	49.17138	1.20E-13	36
M_0.2_F_qp_Set_2CP	1.112357	0	0.03797468	12731.33	202.52876	6.04E-47	3
M_0.2_F_qp_Set_4CP	1.122476	0	0.05063291	12712.72	183.92553	6.65E-43	10
M_0.2_F_qp_Set_8CP	1.123885	0	0.11392405	12642.78	113.98041	1.03E-27	36
M_0.2_F_lqp_Set_2CP	1.168974	0	0.07594937	12622.56	93.76047	2.55E-23	5
M_0.2_F_lqp_Set_4CP	1.157294	0	0.06329114	12625.72	96.92677	5.27E-24	14
M_0.2_F_lqp_Set_8CP	1.130562	0	0.11392405	12529.70	0.89901	3.76E-03	40
M_0.3_F_l_Set_2CP	1.162403	0	0.05063291	12708.14	179.33775	6.77E-42	2
M_0.3_F_l_Set_4CP	1.171209	0	0.06329114	12702.08	173.28622	1.40E-40	4
M_0.3_F_l_Set_8CP	1.176782	0	0.07594937	12702.21	173.40885	1.33E-40	8
M_0.3_F_q_Set_2CP	1.142741	0	0.02531646	12744.31	215.51585	9.60E-50	2
M_0.3_F_q_Set_4CP	1.134078	0	0.02531646	12748.28	219.48302	1.33E-50	4
M_0.3_F_q_Set_8CP	1.130471	0	0.02531646	12730.22	201.42265	1.12E-46	8
M_0.3_F_p_Set_2CP	1.084083	0	0.03797468	12884.55	355.75028	3.46E-80	1
M_0.3_F_p_Set_4CP	1.038330	0	0.10126582	12848.05	319.25340	2.93E-72	6
M_0.3_F_p_Set_8CP	1.075897	0	0.10126582	12727.25	198.45393	5.02E-46	27
M_0.3_F_lq_Set_2CP	1.162940	0	0.07594937	12641.18	112.38546	2.47E-27	4
M_0.3_F_lq_Set_4CP	1.157133	0	0.07594937	12649.93	121.13574	3.13E-29	8
M_0.3_F_lq_Set_8CP	1.151862	0	0.10126582	12640.75	111.95620	3.10E-27	16
M_0.3_F_lp_Set_2CP	1.160252	0	0.05063291	12707.25	178.44786	1.14E-41	3
M_0.3_F_lp_Set_4CP	1.186055	0	0.02531646	12675.89	147.08818	7.38E-35	10
M_0.3_F_lp_Set_8CP	1.140794	0	0.10126582	12580.83	52.03589	3.25E-14	36
M_0.3_F_qp_Set_2CP	1.118282	0	0.03797468	12731.72	202.92252	5.62E-47	3
M_0.3_F_qp_Set_4CP	1.113971	0	0.05063291	12712.83	184.03226	7.15E-43	10
M_0.3_F_qp_Set_8CP	1.123043	0	0.11392405	12643.49	114.69671	8.19E-28	36
M_0.3_F_lqp_Set_2CP	1.167532	0	0.07594937	12623.61	94.81521	1.71E-23	5
M_0.3_F_lqp_Set_4CP	1.158353	0	0.06329114	12626.31	97.51491	4.47E-24	14
M_0.3_F_lqp_Set_8CP	1.129000	0	0.10126582	12530.99	2.19020	2.25E-03	39
M_0.4_F_l_Set_2CP	1.159029	0	0.05063291	12708.11	179.31356	7.81E-42	2
M_0.4_F_l_Set_4CP	1.170417	0	0.06329114	12702.07	173.27249	1.61E-40	4
M_0.4_F_l_Set_8CP	1.177289	0	0.07594937	12702.14	173.34320	1.57E-40	8
M_0.4_F_q_Set_2CP	1.142832	0	0.02531646	12744.69	215.89350	9.08E-50	2
M_0.4_F_q_Set_4CP	1.143364	0	0.02531646	12748.51	219.71719	1.35E-50	4
M_0.4_F_q_Set_8CP	1.133752	0	0.02531646	12730.42	201.62347	1.16E-46	8
M_0.4_F_p_Set_2CP	1.084118	0	0.03797468	12884.54	355.74003	3.98E-80	1
M_0.4_F_p_Set_4CP	1.040051	0	0.10126582	12848.22	319.42113	3.09E-72	6
M_0.4_F_p_Set_8CP	1.083500	0	0.07594937	12724.30	195.50705	2.51E-45	26
M_0.4_F_lq_Set_2CP	1.166615	0	0.07594937	12641.60	112.80647	2.30E-27	4
M_0.4_F_lq_Set_4CP	1.153266	0	0.07594937	12650.16	121.36733	3.20E-29	8

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_0.4_F_lq_Set_8CP	1.157518	0	0.07594937	12642.37	113.56870	1.59E-27	16
M_0.4_F_lp_Set_2CP	1.160056	0	0.05063291	12707.22	178.42085	1.33E-41	3
M_0.4_F_lp_Set_4CP	1.184514	0	0.02531646	12676.32	147.52402	6.84E-35	10
M_0.4_F_lp_Set_8CP	1.138618	0	0.10126582	12584.48	55.68004	6.06E-15	36
M_0.4_F_qp_Set_2CP	1.113732	0	0.03797468	12732.13	203.33244	5.29E-47	3
M_0.4_F_qp_Set_4CP	1.120085	0	0.05063291	12713.00	184.20638	7.58E-43	10
M_0.4_F_qp_Set_8CP	1.121539	0	0.11392405	12641.04	112.24285	3.23E-27	35
M_0.4_F_lqp_Set_2CP	1.168459	0	0.07594937	12624.71	95.91031	1.15E-23	5
M_0.4_F_lqp_Set_4CP	1.158844	0	0.06329114	12626.84	98.04672	3.97E-24	14
M_0.4_F_lqp_Set_8CP	1.130270	0	0.10126582	12534.01	5.21614	5.75E-04	38
M_0.5_F_l_Set_2CP	1.163491	0	0.05063291	12708.09	179.29169	9.19E-42	2
M_0.5_F_l_Set_4CP	1.172837	0	0.06329114	12702.06	173.26201	1.89E-40	4
M_0.5_F_l_Set_8CP	1.175528	0	0.07594937	12702.08	173.27973	1.89E-40	8
M_0.5_F_q_Set_2CP	1.151824	0	0.02531646	12745.08	216.28140	8.74E-50	2
M_0.5_F_q_Set_4CP	1.133756	0	0.02531646	12748.77	219.97461	1.39E-50	4
M_0.5_F_q_Set_8CP	1.138041	0	0.02531646	12730.65	201.85743	1.20E-46	8
M_0.5_F_p_Set_2CP	1.084872	0	0.03797468	12884.53	355.73060	4.69E-80	1
M_0.5_F_p_Set_4CP	1.039975	0	0.10126582	12848.41	319.61102	3.30E-72	6
M_0.5_F_p_Set_8CP	1.082016	0	0.07594937	12723.72	194.91768	3.97E-45	26
M_0.5_F_lq_Set_2CP	1.166580	0	0.07594937	12642.05	113.25240	2.17E-27	4
M_0.5_F_lq_Set_4CP	1.157519	0	0.07594937	12650.44	121.64158	3.29E-29	8
M_0.5_F_lq_Set_8CP	1.153752	0	0.07594937	12644.19	115.39309	7.55E-28	16
M_0.5_F_lp_Set_2CP	1.163292	0	0.05063291	12707.20	178.39823	1.59E-41	3
M_0.5_F_lp_Set_4CP	1.178688	0	0.05063291	12676.97	148.17540	5.85E-35	10
M_0.5_F_lp_Set_8CP	1.137792	0	0.10126582	12587.77	58.96918	1.39E-15	36
M_0.5_F_qp_Set_2CP	1.114173	0	0.03797468	12732.56	203.75855	5.07E-47	3
M_0.5_F_qp_Set_4CP	1.118934	0	0.05063291	12713.27	184.47582	7.87E-43	10
M_0.5_F_qp_Set_8CP	1.121792	0	0.11392405	12638.92	110.11957	1.11E-26	34
M_0.5_F_lqp_Set_2CP	1.168863	0	0.07594937	12625.85	97.05663	7.71E-24	5
M_0.5_F_lqp_Set_4CP	1.156485	0	0.06329114	12627.45	98.65290	3.50E-24	14
M_0.5_F_lqp_Set_8CP	1.124637	0	0.10126582	12539.33	10.53285	4.82E-05	38
M_0.6_F_l_Set_2CP	1.164070	0	0.05063291	12708.07	179.27262	1.11E-41	2
M_0.6_F_l_Set_4CP	1.170835	0	0.06329114	12702.05	173.25419	2.27E-40	4
M_0.6_F_l_Set_8CP	1.175378	0	0.07594937	12702.03	173.22779	2.33E-40	8
M_0.6_F_q_Set_2CP	1.143698	0	0.02531646	12745.48	216.67876	8.62E-50	2
M_0.6_F_q_Set_4CP	1.136421	0	0.02531646	12749.05	220.25546	1.46E-50	4
M_0.6_F_q_Set_8CP	1.134458	0	0.02531646	12730.92	202.12406	1.27E-46	8
M_0.6_F_p_Set_2CP	1.086881	0	0.03797468	12884.52	355.72190	5.70E-80	1
M_0.6_F_p_Set_4CP	1.040365	0	0.10126582	12848.62	319.82325	3.59E-72	6
M_0.6_F_p_Set_8CP	1.079510	0	0.07594937	12723.46	194.65795	5.48E-45	26

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_0.6_F_lq_Set_2CP	1.165795	0	0.07594937	12642.52	113.72150	2.08E-27	4
M_0.6_F_lq_Set_4CP	1.161495	0	0.07594937	12650.74	121.94297	3.45E-29	8
M_0.6_F_lq_Set_8CP	1.151090	0	0.07594937	12645.97	117.17058	3.79E-28	16
M_0.6_F_lp_Set_2CP	1.158157	0	0.05063291	12707.18	178.37969	1.96E-41	3
M_0.6_F_lp_Set_4CP	1.183399	0	0.05063291	12675.76	146.95783	1.32E-34	9
M_0.6_F_lp_Set_8CP	1.138566	0	0.10126582	12592.47	63.67724	1.62E-16	36
M_0.6_F_qp_Set_2CP	1.112810	0	0.03797468	12733.00	204.19973	5.00E-47	3
M_0.6_F_qp_Set_4CP	1.114785	0	0.05063291	12713.67	184.87133	7.97E-43	10
M_0.6_F_qp_Set_8CP	1.130233	0	0.11392405	12637.12	108.32108	3.38E-26	33
M_0.6_F_lqp_Set_2CP	1.167225	0	0.07594937	12627.04	98.24357	5.27E-24	5
M_0.6_F_lqp_Set_4CP	1.163628	0	0.06329114	12628.06	99.26270	3.20E-24	14
M_0.6_F_lqp_Set_8CP	1.128442	0	0.10126582	12550.36	21.56469	2.41E-07	40
M_0.7_F_l_Set_2CP	1.164476	0	0.05063291	12708.05	179.25582	1.40E-41	2
M_0.7_F_l_Set_4CP	1.171422	0	0.06329114	12702.05	173.24938	2.85E-40	4
M_0.7_F_l_Set_8CP	1.176581	0	0.07594937	12701.98	173.17962	2.99E-40	8
M_0.7_F_q_Set_2CP	1.151011	0	0.02531646	12745.88	217.08568	8.84E-50	2
M_0.7_F_q_Set_4CP	1.140975	0	0.02531646	12749.36	220.55865	1.58E-50	4
M_0.7_F_q_Set_8CP	1.132891	0	0.02531646	12731.22	202.42434	1.38E-46	8
M_0.7_F_p_Set_2CP	1.084601	0	0.03797468	12884.51	355.71412	7.24E-80	1
M_0.7_F_p_Set_4CP	1.040481	0	0.10126582	12848.86	320.05757	4.06E-72	6
M_0.7_F_p_Set_8CP	1.078825	0	0.07594937	12723.06	194.26251	8.50E-45	26
M_0.7_F_lq_Set_2CP	1.167364	0	0.07594937	12643.01	114.21237	2.08E-27	4
M_0.7_F_lq_Set_4CP	1.157493	0	0.07594937	12651.10	122.30676	3.68E-29	8
M_0.7_F_lq_Set_8CP	1.151256	0	0.07594937	12648.21	119.41453	1.58E-28	16
M_0.7_F_lp_Set_2CP	1.159497	0	0.05063291	12707.16	178.36503	2.54E-41	3
M_0.7_F_lp_Set_4CP	1.176186	0	0.05063291	12674.66	145.86097	2.94E-34	8
M_0.7_F_lp_Set_8CP	1.134265	0	0.10126582	12595.77	66.97654	4.02E-17	35
M_0.7_F_qp_Set_2CP	1.112668	0	0.03797468	12733.45	204.65605	5.18E-47	3
M_0.7_F_qp_Set_4CP	1.119786	0	0.05063291	12714.07	185.27300	8.50E-43	10
M_0.7_F_qp_Set_8CP	1.126651	0	0.11392405	12637.81	109.01180	3.13E-26	33
M_0.7_F_lqp_Set_2CP	1.168352	0	0.08860759	12628.25	99.45676	3.77E-24	5
M_0.7_F_lqp_Set_4CP	1.161896	0	0.06329114	12629.16	100.35820	2.44E-24	14
M_0.7_F_lqp_Set_8CP	1.129787	0	0.10126582	12554.10	25.29915	4.93E-08	39
M_0.8_F_l_Set_2CP	1.159896	0	0.05063291	12708.04	179.24171	1.87E-41	2
M_0.8_F_l_Set_4CP	1.170660	0	0.06329114	12702.04	173.24727	3.80E-40	4
M_0.8_F_l_Set_8CP	1.175469	0	0.07594937	12701.93	173.13244	4.09E-40	8
M_0.8_F_q_Set_2CP	1.146518	0	0.02531646	12746.30	217.50210	9.65E-50	2
M_0.8_F_q_Set_4CP	1.139954	0	0.02531646	12749.68	220.88377	1.81E-50	4
M_0.8_F_q_Set_8CP	1.128672	0	0.02531646	12731.55	202.75643	1.59E-46	8
M_0.8_F_p_Set_2CP	1.084175	0	0.03797468	12884.50	355.70690	9.90E-80	1

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_0.8_F_p_Set_4CP	1.041895	0	0.08860759	12849.11	320.31388	4.88E-72	6
M_0.8_F_p_Set_8CP	1.081998	0	0.08860759	12720.68	191.88521	3.84E-44	25
M_0.8_F_lq_Set_2CP	1.162198	0	0.07594937	12643.52	114.72338	2.23E-27	4
M_0.8_F_lq_Set_4CP	1.155709	0	0.07594937	12651.50	122.69906	4.20E-29	8
M_0.8_F_lq_Set_8CP	1.156952	0	0.07594937	12647.72	118.92559	2.82E-28	15
M_0.8_F_lp_Set_2CP	1.163539	0	0.05063291	12707.15	178.35474	3.58E-41	3
M_0.8_F_lp_Set_4CP	1.176736	0	0.06329114	12675.64	146.84193	2.54E-34	8
M_0.8_F_lp_Set_8CP	1.132668	0	0.10126582	12598.53	69.73667	1.44E-17	34
M_0.8_F_qp_Set_2CP	1.114462	0	0.03797468	12733.92	205.12622	5.84E-47	3
M_0.8_F_qp_Set_4CP	1.121457	0	0.05063291	12714.56	185.76535	9.55E-43	10
M_0.8_F_qp_Set_8CP	1.127639	0	0.11392405	12636.78	107.97958	7.59E-26	32
M_0.8_F_lqp_Set_2CP	1.172388	0	0.07594937	12629.50	100.70214	2.95E-24	5
M_0.8_F_lqp_Set_4CP	1.157204	0	0.06329114	12629.98	101.17963	2.37E-24	14
M_0.8_F_lqp_Set_8CP	1.133031	0	0.10126582	12556.04	27.24393	2.75E-08	37
M_0.9_F_l_Set_2CP	1.163927	0	0.05063291	12708.03	179.22988	2.80E-41	2
M_0.9_F_l_Set_4CP	1.168641	0	0.06329114	12702.05	173.24790	5.70E-40	4
M_0.9_F_l_Set_8CP	1.175379	0	0.07594937	12701.90	173.10238	6.28E-40	8
M_0.9_F_q_Set_2CP	1.141862	0	0.02531646	12746.73	217.92758	1.19E-49	2
M_0.9_F_q_Set_4CP	1.137324	0	0.02531646	12750.03	221.23085	2.34E-50	4
M_0.9_F_q_Set_8CP	1.129761	0	0.02531646	12731.92	203.12110	2.05E-46	8
M_0.9_F_p_Set_2CP	1.083183	0	0.03797468	12884.50	355.70074	1.56E-79	1
M_0.9_F_p_Set_4CP	1.042849	0	0.08860759	12849.39	320.59207	6.72E-72	6
M_0.9_F_p_Set_8CP	1.080778	0	0.08860759	12720.78	191.98623	5.83E-44	25
M_0.9_F_lq_Set_2CP	1.164227	0	0.07594937	12644.05	115.25355	2.76E-27	4
M_0.9_F_lq_Set_4CP	1.148648	0	0.07594937	12651.92	123.12054	5.57E-29	8
M_0.9_F_lq_Set_8CP	1.153100	0	0.07594937	12649.54	120.74652	1.88E-28	15
M_0.9_F_lp_Set_2CP	1.165699	0	0.05063291	12707.15	178.34817	6.03E-41	3
M_0.9_F_lp_Set_4CP	1.176573	0	0.06329114	12676.73	147.92927	2.51E-34	8
M_0.9_F_lp_Set_8CP	1.134092	0	0.10126582	12600.78	71.98384	8.05E-18	33
M_0.9_F_qp_Set_2CP	1.112263	0	0.03797468	12734.41	205.61041	8.02E-47	3
M_0.9_F_qp_Set_4CP	1.121955	0	0.05063291	12715.12	186.32637	1.28E-42	10
M_0.9_F_qp_Set_8CP	1.115340	0	0.11392405	12633.78	104.98080	6.14E-25	30
M_0.9_F_lqp_Set_2CP	1.167079	0	0.07594937	12630.76	101.96472	2.88E-24	5
M_0.9_F_lqp_Set_4CP	1.165124	0	0.06329114	12631.10	102.29820	2.54E-24	14
M_0.9_F_lqp_Set_8CP	1.132283	0	0.10126582	12559.59	30.79734	8.91E-09	36
M_1_F_l_Set_2CP	1.166047	0	0.05063291	12708.02	179.22051	5.49E-41	2
M_1_F_l_Set_4CP	1.169886	0	0.06329114	12702.05	173.25169	1.14E-39	4
M_1_F_l_Set_8CP	1.175403	0	0.07594937	12701.88	173.07829	1.30E-39	8
M_1_F_q_Set_2CP	1.148104	0	0.02531646	12747.16	218.36223	2.01E-49	2
M_1_F_q_Set_4CP	1.142062	0	0.02531646	12750.40	221.59889	4.21E-50	4

Model	Mean_AUC_ratio	pval_pROC	Omission rate_at_5%	AICc	delta_AICc	W_AICc	num_param
M_1_F_q_Set_8CP	1.135088	0	0.02531646	12732.31	203.51666	3.76E-46	8
M_1_F_p_Set_2CP	1.083268	0	0.03797468	12884.49	355.69553	3.60E-79	1
M_1_F_p_Set_4CP	1.042395	0	0.08860759	12849.69	320.89146	1.39E-71	6
M_1_F_p_Set_8CP	1.080070	0	0.10126582	12716.32	187.52478	1.35E-42	23
M_1_F_lq_Set_2CP	1.164938	0	0.07594937	12644.60	115.80148	5.47E-27	4
M_1_F_lq_Set_4CP	1.153226	0	0.07594937	12652.37	123.57358	1.22E-28	8
M_1_F_lq_Set_8CP	1.150824	0	0.07594937	12651.65	122.85735	1.90E-28	15
M_1_F_lp_Set_2CP	1.162374	0	0.05063291	12707.14	178.34604	1.86E-40	3
M_1_F_lp_Set_4CP	1.176858	0	0.07594937	12677.87	149.06907	4.71E-34	8
M_1_F_lp_Set_8CP	1.134145	0	0.10126582	12601.43	72.63361	2.10E-17	31
M_1_F_qp_Set_2CP	1.112711	0	0.03797468	12734.91	206.10780	2.49E-46	3
M_1_F_qp_Set_4CP	1.127438	0	0.05063291	12715.75	186.95154	4.19E-42	10
M_1_F_qp_Set_8CP	1.121225	0	0.11392405	12635.44	106.64366	1.38E-24	30
M_1_F_lqp_Set_2CP	1.166398	0	0.06329114	12632.07	103.27370	9.26E-24	5
M_1_F_lqp_Set_4CP	1.159632	0	0.06329114	12630.13	101.33580	3.24E-23	13
M_1_F_lqp_Set_8CP	1.132679	0	0.10126582	12557.76	28.96339	2.50E-07	33

ANEXO C

Categorización del riesgo para los 1.121 municipios del país.

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
05001	Medellín	Sin Riesgo	19318	Guapi	Bajo	52405	Leiva	Alto
05002	Abejorral	Bajo	19355	Inzá	Sin Riesgo	52411	Linares	Bajo
05004	Abriaquí	Sin Riesgo	19364	Jambaló	Sin Riesgo	52418	Los Andes	Alto
05021	Alejandría	Sin Riesgo	19392	La Sierra	Bajo	52427	Magüí	Bajo
05030	Amagá	Bajo	19397	La Vega	Bajo	52435	Mallama	Sin Riesgo
05031	Amalfi	Medio	19418	López De Micay	Bajo	52473	Mosquera	Bajo
05034	Andes	Sin Riesgo	19450	Mercaderes	Alto	52480	Nariño	Sin Riesgo
05036	Angelópolis	Sin Riesgo	19455	Miranda	Bajo	52490	Olaya Herrera	Bajo
05038	Angostura	Sin Riesgo	19473	Morales	Sin Riesgo	52506	Ospina	Sin Riesgo
05040	Anorí	Alto	19513	Padilla	Bajo	52520	Francisco Pizarro	Bajo
05042	Santa Fé De Antioquia	Alto	19517	Páez	Bajo	52540	Policarpa	Alto
05044	Anzá	Bajo	19532	Patía	Alto	52560	Potosí	Sin Riesgo
05045	Apartadó	Alto	19533	Piamonte	Sin Riesgo	52565	Providencia	Sin Riesgo
05051	Arboletes	Alto	19548	Piendamó - Tunía	Sin Riesgo	52573	Puerres	Sin Riesgo
05055	Argelia	Bajo	19573	Puerto Tejada	Bajo	52585	Pupiales	Sin Riesgo
05059	Armenia	Bajo	19585	Puracé	Sin Riesgo	52612	Ricaurte	Sin Riesgo
05079	Barbosa	Sin Riesgo	19622	Rosas	Bajo	52621	Roberto Payán	Bajo
05086	Belmira	Sin Riesgo	19693	San Sebastián	Sin Riesgo	52678	Samaniego	Sin Riesgo
05088	Bello	Sin Riesgo	19698	Santander De Quilichao	Bajo	52683	Sandoná	Sin Riesgo
05091	Betania	Sin Riesgo	19701	Santa Rosa	Sin Riesgo	52685	San Bernardo	Sin Riesgo
05093	Betulia	Bajo	19743	Silvia	Sin Riesgo	52687	San Lorenzo	Bajo
05101	Ciudad Bolívar	Bajo	19760	Sotará - Paispamba	Sin Riesgo	52693	San Pablo	Sin Riesgo
05107	Briceño	Bajo	19780	Suárez	Sin Riesgo	52694	San Pedro De Cartago	Sin Riesgo
05113	Buriticá	Bajo	19785	Sucre	Bajo	52696	Santa Bárbara	Bajo
05120	Cáceres	Alto	19807	Timbío	Sin Riesgo	52699	Santacruz	Sin Riesgo
05125	Caicedo	Sin Riesgo	19809	Timbiquí	Bajo	52720	Sapuyes	Sin Riesgo
05129	Caldas	Sin Riesgo	19821	Toribío	Sin Riesgo	52786	Taminango	Alto
05134	Campamento	Bajo	19824	Totoró	Sin Riesgo	52788	Tangua	Sin Riesgo
05138	Cañasgordas	Bajo	19845	Villa Rica	Bajo	52835	San Andrés De Tumaco	Bajo
05142	Caracolí	Bajo	20001	Valledupar	Alto	52838	Túquerres	Sin Riesgo
05145	Caramanta	Bajo	20011	Aguachica	Alto	52885	Yacuanquer	Sin Riesgo
05147	Carepa	Alto	20013	Agustín Codazzi	Alto	54001	San José De Cúcuta	Alto
05148	El Carmen De Viboral	Sin Riesgo	20032	Astrea	Alto	54003	Ábrego	Bajo
05150	Carolina	Sin Riesgo	20045	Becerril	Alto	54051	Arboledas	Bajo
05154	Caucasia	Alto	20060	Bosconia	Alto	54099	Bochalema	Bajo
05172	Chigorodó	Bajo	20175	Chimichagua	Alto	54109	Bucarasica	Bajo
05190	Cisneros	Muy alto	20178	Chiriguaná	Alto	54125	Cácota	Sin Riesgo
05197	Cocorná	Sin Riesgo	20228	Curumaní	Alto	54128	Cáchira	Alto
05206	Concepción	Sin Riesgo	20238	El Copey	Alto	54172	Chinácota	Bajo
05209	Concordia	Bajo	20250	El Paso	Alto	54174	Chitagá	Bajo
05212	Copacabana	Sin Riesgo	20295	Gamarra	Alto	54206	Convención	Alto

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
05234	Dabeiba	Bajo	20310	González	Sin Riesgo	54223	Cucutilla	Sin Riesgo
05237	Donmatías	Sin Riesgo	20383	La Gloria	Muy alto	54239	Durania	Alto
05240	Ebéjico	Bajo	20400	La Jagua De Ibirico	Alto	54245	El Carmen	Alto
05250	El Bagre	Alto	20443	Manaure Balcón Del Cesar	Alto	54250	El Tarra	Alto
05264	Entrerríos	Sin Riesgo	20517	Pailitas	Alto	54261	El Zulia	Alto
05266	Envigado	Sin Riesgo	20550	Pelaya	Alto	54313	Gramalote	Bajo
05282	Fredonia	Bajo	20570	Pueblo Bello	Alto	54344	Hacarí	Bajo
05284	Frontino	Bajo	20614	Río De Oro	Alto	54347	Herrán	Sin Riesgo
05306	Giraldo	Sin Riesgo	20621	La Paz	Alto	54377	Labateca	Bajo
05308	Girardota	Sin Riesgo	20710	San Alberto	Alto	54385	La Esperanza	Alto
05310	Gómez Plata	Bajo	20750	San Diego	Alto	54398	La Playa	Sin Riesgo
05313	Granada	Sin Riesgo	20770	San Martín	Alto	54405	Los Patios	Alto
05315	Guadalupe	Bajo	20787	Tamalameque	Alto	54418	Lourdes	Sin Riesgo
05318	Guarne	Sin Riesgo	23001	Montería	Muy alto	54480	Mutiscua	Sin Riesgo
05321	Guatapé	Sin Riesgo	23068	Ayapel	Alto	54498	Ocaña	Bajo
05347	Heliconia	Bajo	23079	Buenavista	Alto	54518	Pamplona	Sin Riesgo
05353	Hispania	Bajo	23090	Canalete	Muy alto	54520	Pamplonita	Sin Riesgo
05360	Itagüí	Sin Riesgo	23162	Cereté	Muy alto	54553	Puerto Santander	Alto
05361	Ituango	Bajo	23168	Chimá	Alto	54599	Ragonvalia	Sin Riesgo
05364	Jardín	Sin Riesgo	23182	Chinú	Muy alto	54660	Salazar	Bajo
05368	Jericó	Bajo	23189	Ciénaga De Oro	Muy alto	54670	San Calixto	Bajo
05376	La Ceja	Sin Riesgo	23300	Cotorra	Muy alto	54673	San Cayetano	Alto
05380	La Estrella	Sin Riesgo	23350	La Apartada	Alto	54680	Santiago	Medio
05390	La Pintada	Bajo	23417	Lorica	Alto	54720	Sardinata	Alto
05400	La Unión	Sin Riesgo	23419	Los Córdobas	Alto	54743	Silos	Sin Riesgo
05411	Liborina	Bajo	23464	Momil	Alto	54800	Teorama	Alto
05425	Maceo	Bajo	23466	Montelíbano	Alto	54810	Tibú	Alto
05440	Marinilla	Sin Riesgo	23500	Moñitos	Muy alto	54820	Toledo	Bajo
05467	Montebello	Sin Riesgo	23555	Planeta Rica	Muy alto	54871	Villa Caro	Sin Riesgo
05475	Murindó	Alto	23570	Pueblo Nuevo	Muy alto	54874	Villa Del Rosario	Alto
05480	Mutatá	Bajo	23574	Puerto Escondido	Alto	63001	Armenia	Sin Riesgo
05483	Nariño	Bajo	23580	Puerto Libertador	Alto	63111	Buenavista	Sin Riesgo
05490	Necoclí	Alto	23586	Purísima De La Concepción	Alto	63130	Calarcá	Sin Riesgo
05495	Nechí	Alto	23660	Sahagún	Muy alto	63190	Circasia	Sin Riesgo
05501	Olaya	Bajo	23670	San Andrés De Sotavento	Muy alto	63212	Córdoba	Sin Riesgo
05541	Peñol	Sin Riesgo	23672	San Antero	Muy alto	63272	Filandia	Sin Riesgo
05543	Peque	Bajo	23675	San Bernardo Del Viento	Alto	63302	Génova	Sin Riesgo
05576	Pueblorrico	Bajo	23678	San Carlos	Alto	63401	La Tebaida	Bajo
05579	Puerto Berrío	Alto	23682	San José De Uré	Alto	63470	Montenegro	Sin Riesgo
05585	Puerto Nare	Alto	23686	San Pelayo	Muy alto	63548	Pijao	Sin Riesgo
05591	Puerto Triunfo	Muy alto	23807	Tierralta	Muy alto	63594	Quimbaya	Sin Riesgo
05604	Remedios	Medio	23815	Tuchín	Muy alto	63690	Salento	Sin Riesgo
05607	Retiro	Sin Riesgo	23855	Valencia	Alto	66001	Pereira	Muy alto
05615	Rionegro	Sin Riesgo	25001	Agua De Dios	Alto	66045	Apía	Sin Riesgo
05628	Sabanalarga	Bajo	25019	Albán	Sin Riesgo	66075	Balboa	Sin Riesgo
05631	Sabaneta	Sin Riesgo	25035	Anapoima	Bajo	66088	Belén De Umbría	Sin Riesgo
05642	Salgar	Bajo	25040	Anolaima	Sin Riesgo	66170	Dosquebradas	Sin Riesgo
05647	San Andrés De Cuerquía	Bajo	25053	Arbeláez	Bajo	66318	Guática	Sin Riesgo
05649	San Carlos	Muy alto	25086	Beltrán	Alto	66383	La Celia	Sin Riesgo
05652	San Francisco	Bajo	25095	Bituima	Sin Riesgo	66400	La Virginia	Sin Riesgo
05656	San Jerónimo	Bajo	25099	Bojacá	Sin Riesgo	66440	Marsella	Sin Riesgo

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
05658	San José De La Montaña	Sin Riesgo	25120	Cabrera	Sin Riesgo	66456	Mistrató	Sin Riesgo
05659	San Juan De Urabá	Alto	25123	Cachipay	Bajo	66572	Pueblo Rico	Bajo
05660	San Luis	Bajo	25126	Cajicá	Sin Riesgo	66594	Quinchía	Sin Riesgo
05664	San Pedro De Los Milagros	Sin Riesgo	25148	Caparrapí	Bajo	66682	Santa Rosa De Cabal	Sin Riesgo
05665	San Pedro De Urabá	Alto	25151	Cáqueza	Sin Riesgo	66687	Santuario	Sin Riesgo
05667	San Rafael	Bajo	25154	Carmen De Carupa	Sin Riesgo	68001	Bucaramanga	Muy alto
05670	San Roque	Bajo	25168	Chaguaní	Medio	68013	Aguada	Sin Riesgo
05674	San Vicente Ferrer	Sin Riesgo	25175	Chía	Sin Riesgo	68020	Albania	Bajo
05679	Santa Bárbara	Bajo	25178	Chipaque	Sin Riesgo	68051	Aratoca	Alto
05686	Santa Rosa De Osos	Sin Riesgo	25181	Choachí	Sin Riesgo	68077	Barbosa	Sin Riesgo
05690	Santo Domingo	Sin Riesgo	25183	Chocontá	Sin Riesgo	68079	Barichara	Alto
05697	El Santuario	Sin Riesgo	25200	Cogua	Sin Riesgo	68081	Barrancabermeja	Alto
05736	Segovia	Alto	25214	Cota	Sin Riesgo	68092	Betulia	Alto
05756	Sonsón	Medio	25224	Cucunubá	Sin Riesgo	68101	Bolívar	Alto
05761	Sopetrán	Medio	25245	El Colegio	Bajo	68121	Cabrera	Medio
05789	Támesis	Bajo	25258	El Peñón	Sin Riesgo	68132	California	Sin Riesgo
05790	Tarazá	Alto	25260	El Rosal	Sin Riesgo	68147	Capitanejo	Bajo
05792	Tarso	Bajo	25269	Facatativá	Sin Riesgo	68152	Carcasí	Sin Riesgo
05809	Titiribí	Bajo	25279	Fómeque	Muy alto	68160	Cepitá	Alto
05819	Toledo	Bajo	25281	Fosca	Sin Riesgo	68162	Cerrito	Sin Riesgo
05837	Turbo	Alto	25286	Funza	Sin Riesgo	68167	Charalá	Sin Riesgo
05842	Uramita	Bajo	25288	Fúquene	Sin Riesgo	68169	Charta	Sin Riesgo
05847	Urrao	Bajo	25290	Fusagasugá	Bajo	68176	Chima	Bajo
05854	Valdivia	Alto	25293	Gachalá	Bajo	68179	Chipatá	Sin Riesgo
05856	Valparaíso	Bajo	25295	Gachancipá	Sin Riesgo	68190	Cimitarra	Alto
05858	Vegachí	Bajo	25297	Gachetá	Sin Riesgo	68207	Concepción	Sin Riesgo
05861	Venecia	Bajo	25299	Gama	Sin Riesgo	68209	Confines	Sin Riesgo
05873	Vigía Del Fuerte	Alto	25307	Girardot	Muy alto	68211	Contratación	Bajo
05885	Yalí	Bajo	25312	Granada	Sin Riesgo	68217	Coromoro	Sin Riesgo
05887	Yarumal	Bajo	25317	Guachetá	Sin Riesgo	68229	Curití	Bajo
05890	Yolombó	Bajo	25320	Guaduas	Muy alto	68235	El Carmen De Chucuri	Alto
05893	Yondó	Alto	25322	Guasca	Sin Riesgo	68245	El Guacamayo	Bajo
05895	Zaragoza	Alto	25324	Guataquí	Alto	68250	El Peñón	Bajo
08001	Barranquilla	Muy alto	25326	Guatavita	Sin Riesgo	68255	El Playón	Bajo
08078	Baranoa	Alto	25328	Guayabal De Síquima	Sin Riesgo	68264	Encino	Sin Riesgo
08137	Campo De La Cruz	Alto	25335	Guayabetal	Sin Riesgo	68266	Enciso	Bajo
08141	Candelaria	Muy alto	25339	Gutiérrez	Sin Riesgo	68271	Florián	Bajo
08296	Galapa	Muy alto	25368	Jerusalén	Alto	68276	Floridablanca	Muy alto
08372	Juan De Acosta	Alto	25372	Junín	Sin Riesgo	68296	Galán	Alto
08421	Luruaco	Alto	25377	La Calera	Muy alto	68298	Gámbita	Sin Riesgo
08433	Malambo	Muy alto	25386	La Mesa	Bajo	68307	Girón	Alto
08436	Manatí	Alto	25394	La Palma	Bajo	68318	Guaca	Sin Riesgo
08520	Palmar De Varela	Alto	25398	La Peña	Bajo	68320	Guadalupe	Bajo
08549	Piojó	Alto	25402	La Vega	Bajo	68322	Guapotá	Bajo
08558	Polonuevo	Alto	25407	Lenguazaque	Sin Riesgo	68324	Guavatá	Sin Riesgo
08560	Ponedera	Alto	25426	Machetá	Sin Riesgo	68327	Güepsa	Sin Riesgo
08573	Puerto Colombia	Alto	25430	Madrid	Sin Riesgo	68344	Hato	Bajo
08606	Repelón	Alto	25436	Manta	Sin Riesgo	68368	Jesús María	Sin Riesgo
08634	Sabanagrande	Muy alto	25438	Medina	Bajo	68370	Jordán	Alto
08638	Sabanalarga	Muy alto	25473	Mosquera	Sin Riesgo	68377	La Belleza	Bajo
08675	Santa Lucía	Alto	25483	Nariño	Alto	68385	Landázuri	Bajo
08685	Santo Tomás	Alto	25486	Nemocón	Sin Riesgo	68397	La Paz	Bajo
08758	Soledad	Muy alto	25488	Nilo	Alto	68406	Lebrija	Alto
08770	Suan	Alto	25489	Nimaima	Bajo	68418	Los Santos	Alto

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
08832	Tubará	Alto	25491	Nocaima	Bajo	68425	Macaravita	Sin Riesgo
08849	Usiacurí	Alto	25506	Venecia	Sin Riesgo	68432	Málaga	Muy alto
11001	Bogotá, D.C.	Muy alto	25513	Pacho	Sin Riesgo	68444	Matanza	Muy alto
13001	Cartagena De Indias	Muy alto	25518	Paime	Bajo	68464	Mogotes	Bajo
13006	Achí	Alto	25524	Pandi	Bajo	68468	Molagavita	Bajo
13030	Altos Del Rosario	Alto	25530	Paratebueno	Alto	68498	Ocamonte	Sin Riesgo
13042	Arenal	Alto	25535	Pasca	Sin Riesgo	68500	Oiba	Sin Riesgo
13052	Arjona	Muy alto	25572	Puerto Salgar	Alto	68502	Onzaga	Bajo
13062	Arroyohondo	Alto	25580	Pulí	Bajo	68522	Palmar	Medio
13074	Barranco De Loba	Alto	25592	Quebradanegra	Bajo	68524	Palmas Del Socorro	Bajo
13140	Calamar	Muy alto	25594	Quetame	Sin Riesgo	68533	Páramo	Sin Riesgo
13160	Cantagallo	Alto	25596	Quipile	Bajo	68547	Piedecuesta	Bajo
13188	Cicuco	Alto	25599	Apulo	Bajo	68549	Pinchote	Bajo
13212	Córdoba	Muy alto	25612	Ricaurte	Alto	68572	Puente Nacional	Sin Riesgo
13222	Clemencia	Alto	25645	San Antonio Del Tequendama	Sin Riesgo	68573	Puerto Parra	Alto
13244	El Carmen De Bolívar	Muy alto	25649	San Bernardo	Sin Riesgo	68575	Puerto Wilches	Alto
13248	El Guamo	Muy alto	25653	San Cayetano	Sin Riesgo	68615	Rionegro	Alto
13268	El Peñón	Alto	25658	San Francisco	Sin Riesgo	68655	Sabana De Torres	Alto
13300	Hatillo De Loba	Muy alto	25662	San Juan De Rioseco	Bajo	68669	San Andrés	Bajo
13430	Magangué	Muy alto	25718	Sasaima	Bajo	68673	San Benito	Sin Riesgo
13433	Mahates	Alto	25736	Sesquilé	Sin Riesgo	68679	San Gil	Bajo
13440	Margarita	Alto	25740	Sibaté	Sin Riesgo	68682	San Joaquín	Bajo
13442	María La Baja	Muy alto	25743	Silvania	Sin Riesgo	68684	San José De Miranda	Bajo
13458	Montecristo	Muy alto	25745	Simijaca	Sin Riesgo	68686	San Miguel	Sin Riesgo
13468	Mompós	Alto	25754	Soacha	Sin Riesgo	68689	San Vicente De Chucurí	Alto
13473	Morales	Alto	25758	Sopó	Sin Riesgo	68705	Santa Bárbara	Sin Riesgo
13490	Norosí	Alto	25769	Subachoque	Sin Riesgo	68720	Santa Helena Del Opón	Alto
13549	Pinillos	Alto	25772	Suesca	Sin Riesgo	68745	Simacota	Alto
13580	Regidor	Alto	25777	Supatá	Sin Riesgo	68755	Socorro	Bajo
13600	Río Viejo	Alto	25779	Susa	Sin Riesgo	68770	Suaita	Sin Riesgo
13620	San Cristóbal	Alto	25781	Sutatausa	Sin Riesgo	68773	Sucre	Bajo
13647	San Estanislao	Alto	25785	Tabio	Sin Riesgo	68780	Suratá	Sin Riesgo
13650	San Fernando	Alto	25793	Tausa	Sin Riesgo	68820	Tona	Sin Riesgo
13654	San Jacinto	Alto	25797	Tena	Sin Riesgo	68855	Valle De San José	Sin Riesgo
13655	San Jacinto Del Cauca	Alto	25799	Tenjo	Sin Riesgo	68861	Vélez	Alto
13657	San Juan Nepomuceno	Muy alto	25805	Tibacuy	Bajo	68867	Vetas	Sin Riesgo
13667	San Martín De Loba	Alto	25807	Tibirita	Sin Riesgo	68872	Villanueva	Medio
13670	San Pablo	Alto	25815	Tocaima	Alto	68895	Zapatoca	Alto
13673	Santa Catalina	Alto	25817	Tocancipá	Muy alto	70001	Sincelejo	Muy alto
13683	Santa Rosa	Muy alto	25823	Topaipí	Sin Riesgo	70110	Buenavista	Alto
13688	Santa Rosa Del Sur	Alto	25839	Ubalá	Bajo	70124	Caimito	Alto
13744	Simití	Muy alto	25841	Ubaque	Sin Riesgo	70204	Colosó	Muy alto
13760	Soplaviento	Alto	25843	Villa De San Diego De Ubaté	Sin Riesgo	70215	Corozal	Muy alto
13780	Talaigua Nuevo	Muy alto	25845	Une	Sin Riesgo	70221	Coveñas	Muy alto
13810	Tiquisio	Muy alto	25851	Útica	Bajo	70230	Chalán	Alto
13836	Turbaco	Muy alto	25862	Vergara	Bajo	70233	El Roble	Alto
13838	Turbaná	Alto	25867	Vianí	Sin Riesgo	70235	Galeras	Muy alto
13873	Villanueva	Alto	25871	Villagómez	Sin Riesgo	70265	Guaranda	Alto
13894	Zambrano	Alto	25873	Villapinzón	Sin Riesgo	70400	La Unión	Alto
15001	Tunja	Sin Riesgo	25875	Villeta	Muy alto	70418	Los Palmitos	Muy alto

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
15022	Almeida	Sin Riesgo	25878	Viotá	Bajo	70429	Majagual	Alto
15047	Aquitania	Sin Riesgo	25885	Yacopí	Medio	70473	Morroa	Muy alto
15051	Arcabuco	Sin Riesgo	25898	Zipacón	Sin Riesgo	70508	Ovejas	Alto
15087	Belén	Sin Riesgo	25899	Zipaquirá	Muy alto	70523	Palmito	Alto
15090	Berbeo	Bajo	27001	Quibdó	Alto	70670	Sampués	Alto
15092	Betéitiva	Sin Riesgo	27006	Acandí	Alto	70678	San Benito Abad	Alto
15097	Boavita	Bajo	27025	Alto Baudó	Alto	70702	San Juan De Betulia	Alto
15104	Boyacá	Sin Riesgo	27050	Atrato	Alto	70708	San Marcos	Muy alto
15106	Briceño	Sin Riesgo	27073	Bagadó	Bajo	70713	San Onofre	Muy alto
15109	Buenavista	Bajo	27075	Bahía Solano	Alto	70717	San Pedro	Muy alto
15114	Busbanzá	Sin Riesgo	27077	Bajo Baudó	Alto	70742	San Luis De Sincé	Muy alto
15131	Caldas	Sin Riesgo	27099	Bojayá	Alto	70771	Sucre	Alto
15135	Campohermoso	Bajo	27135	El Cantón Del San Pablo	Alto	70820	Santiago De Tolú	Alto
15162	Cerinza	Sin Riesgo	27150	Carmen Del Darién	Alto	70823	San José De Toluviejo	Alto
15172	Chinavita	Sin Riesgo	27160	Cértegui	Alto	73001	Ibagué	Alto
15176	Chiquinquirá	Sin Riesgo	27205	Condoto	Alto	73024	Alpujarra	Alto
15180	Chiscas	Sin Riesgo	27245	El Carmen De Atrato	Sin Riesgo	73026	Alvarado	Alto
15183	Chita	Sin Riesgo	27250	El Litoral Del San Juan	Alto	73030	Ambalema	Medio
15185	Chitaraque	Sin Riesgo	27361	Istmina	Alto	73043	Anzoátegui	Bajo
15187	Chivatá	Sin Riesgo	27372	Juradó	Medio	73055	Armero	Alto
15189	Ciénega	Sin Riesgo	27413	Lloró	Alto	73067	Ataco	Alto
15204	Cómbita	Sin Riesgo	27425	Medio Atrato	Alto	73124	Cajamarca	Sin Riesgo
15212	Coper	Bajo	27430	Medio Baudó	Alto	73148	Carmen De Apicalá	Alto
15215	Corrales	Sin Riesgo	27450	Medio San Juan	Muy alto	73152	Casabianca	Sin Riesgo
15218	Covarachía	Bajo	27491	Nóvita	Alto	73168	Chaparral	Alto
15223	Cubará	Bajo	27495	Nuquí	Alto	73200	Coello	Alto
15224	Cucaita	Sin Riesgo	27580	Río Iró	Alto	73217	Coyaima	Alto
15226	Cuítiva	Sin Riesgo	27600	Río Quito	Alto	73226	Cunday	Alto
15232	Chíquiza	Sin Riesgo	27615	Riosucio	Muy alto	73236	Dolores	Alto
15236	Chivor	Bajo	27660	San José Del Palmar	Medio	73268	Espinal	Alto
15238	Duitama	Sin Riesgo	27745	Sipí	Bajo	73270	Falan	Bajo
15244	El Cocuy	Sin Riesgo	27787	Tadó	Muy alto	73275	Flandes	Alto
15248	El Espino	Sin Riesgo	27800	Unguía	Alto	73283	Fresno	Sin Riesgo
15272	Firavitoba	Sin Riesgo	27810	Unión Panamericana	Alto	73319	Guamo	Alto
15276	Floresta	Sin Riesgo	41001	Neiva	Alto	73347	Herveo	Sin Riesgo
15293	Gachantivá	Sin Riesgo	41006	Acevedo	Sin Riesgo	73349	Honda	Alto
15296	Gámeza	Sin Riesgo	41013	Agrado	Bajo	73352	Icononzo	Bajo
15299	Garagoa	Sin Riesgo	41016	Aipe	Alto	73408	Lérida	Bajo
15317	Guacamayas	Sin Riesgo	41020	Algeciras	Bajo	73411	Líbano	Bajo
15322	Guateque	Sin Riesgo	41026	Altamira	Bajo	73443	San Sebastián De Mariquita	Medio
15325	Guayatá	Sin Riesgo	41078	Baraya	Alto	73449	Melgar	Alto
15332	Güicán De La Sierra	Sin Riesgo	41132	Campoalegre	Alto	73461	Murillo	Sin Riesgo
15362	Iza	Sin Riesgo	41206	Colombia	Alto	73483	Natagaima	Alto
15367	Jenesano	Sin Riesgo	41244	Elías	Sin Riesgo	73504	Ortega	Alto
15368	Jericó	Sin Riesgo	41298	Garzón	Bajo	73520	Palocabildo	Sin Riesgo
15377	Labranzagrande	Bajo	41306	Gigante	Bajo	73547	Piedras	Alto
15380	La Capilla	Sin Riesgo	41319	Guadalupe	Sin Riesgo	73555	Planadas	Bajo
15401	La Victoria	Sin Riesgo	41349	Hobo	Bajo	73563	Prado	Alto
15403	La Uvita	Sin Riesgo	41357	Íquira	Bajo	73585	Purificación	Alto
15407	Villa De Leyva	Sin Riesgo	41359	Isnos	Sin Riesgo	73616	Rioblanco	Bajo
15425	Macanal	Sin Riesgo	41378	La Argentina	Sin Riesgo	73622	Roncesvalles	Sin Riesgo
15442	Maripí	Bajo	41396	La Plata	Bajo	73624	Rovira	Alto
15455	Miraflores	Bajo	41483	Nátaga	Bajo	73671	Saldaña	Alto
15464	Mongua	Sin Riesgo	41503	Oporapa	Sin Riesgo	73675	San Antonio	Bajo

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
15466	Monguí	Sin Riesgo	41518	Paicol	Bajo	73678	San Luis	Alto
15469	Moniquirá	Sin Riesgo	41524	Palermo	Alto	73686	Santa Isabel	Sin Riesgo
15476	Motavita	Sin Riesgo	41530	Palestina	Sin Riesgo	73770	Suárez	Alto
15480	Muzo	Bajo	41548	Pital	Bajo	73854	Valle De San Juan	Alto
15491	Nobsa	Sin Riesgo	41551	Pitalito	Sin Riesgo	73861	Venadillo	Alto
15494	Nuevo Colón	Sin Riesgo	41615	Rivera	Alto	73870	Villahermosa	Sin Riesgo
15500	Oicatá	Sin Riesgo	41660	Saladoblanco	Sin Riesgo	73873	Villarrica	Bajo
15507	Otanche	Bajo	41668	San Agustín	Sin Riesgo	76001	Cali	Muy alto
15511	Pachavita	Sin Riesgo	41676	Santa María	Bajo	76020	Alcalá	Sin Riesgo
15514	Páez	Bajo	41770	Suaza	Sin Riesgo	76036	Andalucía	Bajo
15516	Paipa	Sin Riesgo	41791	Tarqui	Bajo	76041	Ansermanuevo	Bajo
15518	Pajarito	Bajo	41797	Tesalia	Bajo	76054	Argelia	Sin Riesgo
15522	Panqueba	Sin Riesgo	41799	Tello	Alto	76100	Bolívar	Bajo
15531	Pauna	Bajo	41801	Teruel	Bajo	76109	Buenaventura	Alto
15533	Paya	Medio	41807	Timaná	Sin Riesgo	76111	Guadalajara De Buga	Bajo
15537	Paz De Río	Sin Riesgo	41872	Villavieja	Alto	76113	Bugalagrande	Bajo
15542	Pesca	Sin Riesgo	41885	Yaguará	Alto	76122	Caicedonia	Bajo
15550	Pisba	Bajo	44001	Riohacha	Alto	76126	Calima	Medio
15572	Puerto Boyacá	Alto	44035	Albania	Alto	76130	Candelaria	Bajo
15580	Quípama	Bajo	44078	Barrancas	Alto	76147	Cartago	Bajo
15599	Ramiriquí	Sin Riesgo	44090	Dibulla	Alto	76233	Dagua	Bajo
15600	Ráquira	Sin Riesgo	44098	Distracción	Alto	76243	El Águila	Sin Riesgo
15621	Rondón	Sin Riesgo	44110	El Molino	Alto	76246	El Cairo	Sin Riesgo
15632	Saboyá	Sin Riesgo	44279	Fonseca	Alto	76248	El Cerrito	Bajo
15638	Sáchica	Sin Riesgo	44378	Hatonuevo	Alto	76250	El Dovio	Sin Riesgo
15646	Samacá	Sin Riesgo	44420	La Jagua Del Pilar	Alto	76275	Florida	Bajo
15660	San Eduardo	Sin Riesgo	44430	Maicao	Muy alto	76306	Ginebra	Bajo
15664	San José De Pare	Sin Riesgo	44560	Manaure	Alto	76318	Guacarí	Bajo
15667	San Luis De Gaceno	Medio	44650	San Juan Del Cesar	Alto	76364	Jamundí	Muy alto
15673	San Mateo	Sin Riesgo	44847	Uribia	Alto	76377	La Cumbre	Bajo
15676	San Miguel De Sema	Sin Riesgo	44855	Urumita	Alto	76400	La Unión	Bajo
15681	San Pablo De Borbur	Bajo	44874	Villanueva	Alto	76403	La Victoria	Bajo
15686	Santana	Sin Riesgo	47001	Santa Marta	Muy alto	76497	Obando	Bajo
15690	Santa María	Bajo	47030	Algarrobo	Alto	76520	Palmira	Muy alto
15693	Santa Rosa De Viterbo	Sin Riesgo	47053	Aracataca	Muy alto	76563	Pradera	Bajo
15696	Santa Sofía	Sin Riesgo	47058	Ariguaní	Alto	76606	Restrepo	Bajo
15720	Sativanorte	Sin Riesgo	47161	Cerro De San Antonio	Alto	76616	Riofrío	Muy alto
15723	Sativasur	Sin Riesgo	47170	Chivolo	Alto	76622	Roldanillo	Bajo
15740	Siachoque	Sin Riesgo	47189	Ciénaga	Muy alto	76670	San Pedro	Bajo
15753	Soatá	Bajo	47205	Concordia	Alto	76736	Sevilla	Muy alto
15755	Socotá	Sin Riesgo	47245	El Banco	Muy alto	76823	Toro	Bajo
15757	Socha	Sin Riesgo	47258	El Piñón	Alto	76828	Trujillo	Bajo
15759	Sogamoso	Sin Riesgo	47268	El Retén	Alto	76834	Tuluá	Bajo
15761	Somondoco	Sin Riesgo	47288	Fundación	Alto	76845	Ulloa	Sin Riesgo
15762	Sora	Sin Riesgo	47318	Guamal	Muy alto	76863	Versalles	Sin Riesgo
15763	Sotaquirá	Sin Riesgo	47460	Nueva Granada	Alto	76869	Vijes	Bajo
15764	Soracá	Sin Riesgo	47541	Pedraza	Alto	76890	Yotoco	Muy alto
15774	Susacón	Sin Riesgo	47545	Pijiño Del Carmen	Alto	76892	Yumbo	Bajo
15776	Sutamarchán	Sin Riesgo	47551	Pivijay	Alto	76895	Zarzal	Bajo
15778	Sutatenza	Sin Riesgo	47555	Plato	Muy alto	81001	Arauca	Alto
15790	Tasco	Sin Riesgo	47570	Puebloviejo	Alto	81065	Arauquita	Muy alto
15798	Tenza	Sin Riesgo	47605	Remolino	Alto	81220	Cravo Norte	Alto
15804	Tibaná	Sin Riesgo	47660	Sabanas De San Ángel	Alto	81300	Fortul	Medio
15806	Tibasosa	Sin Riesgo	47675	Salamina	Muy alto	81591	Puerto Rondón	Alto

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
15808	Tinjacá	Sin Riesgo	47692	San Sebastián De Buenavista	Alto	81736	Saravena	Bajo
15810	Tipacoque	Bajo	47703	San Zenón	Alto	81794	Tame	Alto
15814	Toca	Sin Riesgo	47707	Santa Ana	Muy alto	85001	Yopal	Alto
15816	Togüí	Sin Riesgo	47720	Santa Bárbara De Pinto	Alto	85010	Aguazul	Alto
15820	Tópaga	Sin Riesgo	47745	Sitionuevo	Alto	85015	Chámeza	Bajo
15822	Tota	Sin Riesgo	47798	Tenerife	Alto	85125	Hato Corozal	Alto
15832	Tununguá	Bajo	47960	Zapayán	Alto	85136	La Salina	Sin Riesgo
15835	Turmequé	Sin Riesgo	47980	Zona Bananera	Alto	85139	Maní	Alto
15837	Tuta	Sin Riesgo	50001	Villavicencio	Muy alto	85162	Monterrey	Alto
15839	Tutazá	Sin Riesgo	50006	Acacías	Muy alto	85225	Nunchía	Muy alto
15842	Úmbita	Sin Riesgo	50110	Barranca De Upía	Alto	85230	Orocué	Alto
15861	Ventaquemada	Sin Riesgo	50124	Cabuyaro	Alto	85250	Paz De Ariporo	Alto
15879	Viracachá	Sin Riesgo	50150	Castilla La Nueva	Medio	85263	Pore	Alto
15897	Zetaquira	Sin Riesgo	50223	Cubarral	Bajo	85279	Recetor	Bajo
17001	Manizales	Sin Riesgo	50226	Cumaral	Alto	85300	Sabanalarga	Alto
17013	Aguadas	Bajo	50245	El Calvario	Sin Riesgo	85315	Sácama	Bajo
17042	Anserma	Sin Riesgo	50251	El Castillo	Bajo	85325	San Luis De Palenque	Alto
17050	Aranzazu	Sin Riesgo	50270	El Dorado	Bajo	85400	Támara	Medio
17088	Belalcázar	Sin Riesgo	50287	Fuente De Oro	Medio	85410	Tauramena	Alto
17174	Chinchiná	Sin Riesgo	50313	Granada	Medio	85430	Trinidad	Alto
17272	Filadelfia	Sin Riesgo	50318	Guamal	Bajo	85440	Villanueva	Alto
17380	La Dorada	Alto	50325	Mapiripán	Alto	86001	Mocoa	Sin Riesgo
17388	La Merced	Sin Riesgo	50330	Mesetas	Bajo	86219	Colón	Sin Riesgo
17433	Manzanares	Sin Riesgo	50350	La Macarena	Alto	86320	Orito	Sin Riesgo
17442	Marmato	Bajo	50370	Uribe	Bajo	86568	Puerto Asís	Sin Riesgo
17444	Marquetalia	Sin Riesgo	50400	Lejanías	Bajo	86569	Puerto Caicedo	Sin Riesgo
17446	Marulanda	Sin Riesgo	50450	Puerto Concordia	Alto	86571	Puerto Guzmán	Bajo
17486	Neira	Sin Riesgo	50568	Puerto Gaitán	Alto	86573	Puerto Leguízamo	Bajo
17495	Norcasia	Medio	50573	Puerto López	Alto	86749	Sibundoy	Sin Riesgo
17513	Pácora	Bajo	50577	Puerto Lleras	Alto	86755	San Francisco	Sin Riesgo
17524	Palestina	Sin Riesgo	50590	Puerto Rico	Alto	86757	San Miguel	Sin Riesgo
17541	Pensilvania	Sin Riesgo	50606	Restrepo	Alto	86760	Santiago	Sin Riesgo
17614	Riosucio	Sin Riesgo	50680	San Carlos De Guaroa	Alto	86865	Valle Del Guamuez	Sin Riesgo
17616	Risaralda	Sin Riesgo	50683	San Juan De Arama	Alto	86885	Villagarzón	Sin Riesgo
17653	Salamina	Sin Riesgo	50686	San Juanito	Sin Riesgo	88001	San Andrés	Alto
17662	Samaná	Muy alto	50689	San Martín	Alto	88564	Providencia	Alto
17665	San José	Sin Riesgo	50711	Vistahermosa	Alto	91001	Leticia	Bajo
17777	Supía	Sin Riesgo	52001	Pasto	Sin Riesgo	91263	El Encanto	Sin Riesgo
17867	Victoria	Alto	52019	Albán	Sin Riesgo	91405	La Chorrera	Bajo
17873	Villamaría	Sin Riesgo	52022	Aldana	Sin Riesgo	91407	La Pedrera	Sin Riesgo
17877	Viterbo	Sin Riesgo	52036	Ancuya	Sin Riesgo	91430	La Victoria	Sin Riesgo
18001	Florencia	Bajo	52051	Arboleda	Sin Riesgo	91460	Mirití - Paraná	Sin Riesgo
18029	Albania	Sin Riesgo	52079	Barbacoas	Bajo	91530	Puerto Alegría	Bajo
18094	Belén De Los Andaquíes	Bajo	52083	Belén	Sin Riesgo	91536	Puerto Arica	Sin Riesgo
18150	Cartagena Del Chairá	Bajo	52110	Buesaco	Sin Riesgo	91540	Puerto Nariño	Sin Riesgo
18205	Curillo	Sin Riesgo	52203	Colón	Sin Riesgo	91669	Puerto Santander	Bajo
18247	El Doncello	Muy alto	52207	Consacá	Sin Riesgo	91798	Tarapacá	Sin Riesgo
18256	El Paujíl	Bajo	52210	Contadero	Sin Riesgo	94001	Inírida	Alto
18410	La Montañita	Bajo	52215	Córdoba	Sin Riesgo	94343	Barrancominas	Medio
18460	Milán	Bajo	52224	Cuaspud Carlosama	Sin Riesgo	94883	San Felipe	Bajo
18479	Morelia	Bajo	52227	Cumbal	Sin Riesgo	94884	Puerto Colombia	Bajo
18592	Puerto Rico	Bajo	52233	Cumbitara	Bajo	94885	La Guadalupe	Sin Riesgo
18610	San José Del Fragua	Sin Riesgo	52240	Chachagüí	Bajo	94886	Cacahual	Alto

Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo	Código	Municipio	Riesgo
18753	San Vicente Del Caguán	Bajo	52250	El Charco	Muy alto	94887	Pana Pana	Bajo
18756	Solano	Bajo	52254	El Peñol	Alto	94888	Morichal	Bajo
18785	Solita	Bajo	52256	El Rosario	Alto	95001	San José Del Guaviare	Muy alto
18860	Valparaíso	Bajo	52258	El Tablón De Gómez	Sin Riesgo	95015	Calamar	Alto
19001	Popayán	Muy alto	52260	El Tambo	Medio	95025	El Retorno	Alto
19022	Almaguer	Bajo	52287	Funes	Sin Riesgo	95200	Miraflores	Alto
19050	Argelia	Sin Riesgo	52317	Guachucal	Sin Riesgo	97001	Mitú	Bajo
19075	Balboa	Alto	52320	Guaitarilla	Sin Riesgo	97161	Carurú	Bajo
19100	Bolívar	Alto	52323	Gualmatán	Sin Riesgo	97511	Pacoa	Bajo
19110	Buenos Aires	Sin Riesgo	52352	Iles	Sin Riesgo	97666	Taraira	Sin Riesgo
19130	Cajibío	Sin Riesgo	52354	Imués	Sin Riesgo	97777	Papunahua	Bajo
19137	Caldono	Sin Riesgo	52356	Ipiales	Sin Riesgo	97889	Yavaraté	Sin Riesgo
19142	Caloto	Bajo	52378	La Cruz	Muy alto	99001	Puerto Carreño	Alto
19212	Corinto	Bajo	52381	La Florida	Sin Riesgo	99524	La Primavera	Alto
19256	El Tambo	Bajo	52385	La Llanada	Sin Riesgo	99624	Santa Rosalía	Alto
19290	Florencia	Bajo	52390	La Tola	Sin Riesgo	99773	Cumaribo	Alto
19300	Guachené	Bajo	52399	La Unión	Bajo			