

Distribución espacial de poblaciones de *Triatoma dimidiata* y *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander, Colombia.

Mónica Flórez Martínez

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Salud
Departamento de Ciencias Básicas
Maestría Ciencias Básicas Biomédicas
Bucaramanga
2010

Distribución espacial de poblaciones de *Triatoma dimidiata* y *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander, Colombia.

Mónica Flórez Martínez

Trabajo de posgrado para optar al título de Magister en Ciencias Básicas
Biomédicas

Director Víctor Manuel Angulo Silva Médico MsC Director CINTROP/UIS

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Salud
Departamento de Ciencias Básicas
Maestría Ciencias Básicas Biomédicas
Bucaramanga
2010

*a Dios, fuente de fuerza
a mi familia, por su apoyo y cariño*

Agradecimientos

Al proyecto “Eco- epidemiología de las poblaciones Colombianas de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae). Etapa I: estudios biogeográficos, ecológicos, morfológicos y parasitológicos”, COLCIENCIAS, Código 3256-04-18067, por su apoyo financiero.

Al Doctor Víctor Manuel Angulo, por su apoyo para realizar este trabajo.

A los compañeros del CINTROP, por su ánimo y compañía durante las jornadas de trabajo.

Al Programa ETV de la Secretaría de Salud de Santander por su colaboración con la información suministrada.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. GENERAL.....	3
2.2. ESPECÍFICOS.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS.....	6
3.2. LOS SENSORES REMOTOS.....	8
3.3. VARIABLES AMBIENTALES.....	9
3.4. VECTORES.....	11
3.4.1. <i>Triatoma dimidiata</i> (Latreille, 1811).....	12
3.4.2. <i>Panstrongylus geniculatus</i> (Latreille, 1811).....	13

4. METODOLOGÍA	15
4.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	15
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BIOCLIMÁTICO PREDICTIVO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES, <i>T. dimidiata</i> y <i>P. geniculatus</i>	16
4.2.1. Sitios de entrenamiento (SE)	16
4.2.2. Determinación taxonómica	19
4.2.3. Georreferenciación de las unidades geográficas	19
4.2.4. Variables ambientales.....	19
4.2.5. Análisis estadístico	25
4.3. DISTRIBUCIÓN DE LA INFECCIÓN.....	27
4.4. ASPECTOS ÉTICOS.....	28
5. RESULTADOS.....	29
5.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS BIOCLIMÁTICOS DE <i>T. dimidiata</i> Y <i>P. geniculatus</i>	29
5.1.1. Sitios de entrenamiento	29
5.1.2. Determinación taxonómica	33
5.1.3. Georeferenciación de las unidades geográficas	33
5.1.4. Variables ambientales.....	33
5.1.5. Análisis estadístico	34
5.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES DE <i>Triatoma dimidiata</i> (Latreille, 1811) EN SANTANDER	35
5.2.1. Distribución registrada.	35
5.2.2. Distribución potencial. Modelo bioclimático	35

5.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES DE <i>Panstrongylus geniculatus</i> (Latreille, 1811) EN SANTANDER	43
5.3.1. Distribución registrada.	43
5.3.2. Distribución potencial. Modelo bioclimático	44
5.4. DISTRIBUCIÓN DE LA INFECCIÓN POR TRIPANOSOMAS EN <i>T. dimidiata</i> Y <i>P. geniculatus</i> EN SANTANDER	52
6. DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Panorámica de viviendas de los sitios de entrenamiento muestreados: A. El Carmen, B. San Vicente y C. Capitanejo.....	17
Figura 2. Estructura de la matriz de confusión.....	27
Figura 3. Promoción de la vigilancia comunitaria.....	30
Figura 4. Panorámica de algunas viviendas visitadas en las veredas muestreadas.	31
Figura 5. Algunas de las estructuras muestreadas en las viviendas visitadas.....	31
Figura 6. Búsqueda pasiva método cebo animal.. ..	31
Figura 7. Búsqueda activa método trampa de luz Shannon.	32
Figura 8. Unidades geográficas digitalizadas y georeferenciadas. Departamento Santander	33
Figura 9. Mapa de distribución espacial de <i>T. dimidiata</i> en Santander.....	38
Figura 10. Modelos predictivos de distribución de <i>T. dimidiata</i> en Santander (Td0 – Td5).	40
Figura 11. Modelos predictivos de distribución de <i>T. dimidiata</i> en Santander (Td6 – Td10, Td13).	41
Figura 12. Modelos predictivos de distribución de <i>T. dimidiata</i> en Santander (Td15 – Td17).	42
Figura 13. Mapa de distribución espacial de <i>P. geniculatus</i> en Santander.....	46
Figura 14. Modelos predictivos de distribución de <i>P. geniculatus</i> en Santander (Pg0 – Pg5).	48
Figura 15. Modelos predictivos de distribución de <i>P. geniculatus</i> en Santander (Pg6 – Pg11).	49

Figura 16. Modelos predictivos de distribución de <i>P. geniculatus</i> en Santander (Pg12 – Pg17).	50
Figura 17. Distribución de la infección de <i>T. dimidiata</i> en Santander	54
Figura 18. Distribución de la infección de <i>P. geniculatus</i> en Santander.	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Productos descargados del sensor MODIS terra.....	21
Tabla 2. Medidas de concordancias derivadas de la matriz de confusión	26
Tabla 3. Viviendas visitadas para la promoción de la vigilancia entomológica	29
Tabla 4. Individuos capturados en los sitios de entrenamiento muestreados	32
Tabla 5. Variables utilizadas en la construcción del modelo bioclimático.	34
Tabla 6. Criterios usados para la construcción de los sitios de entrenamiento.....	35
Tabla 7. Reporte consolidado de la distribución de <i>T. dimidiata</i> en Santander	37
Tabla 8. Medidas de concordancia para <i>T. dimidiata</i>	39
Tabla 9. Ecuaciones para cada función de presencia (SI) y ausencia (NO) de los sitios de entrenamiento de <i>T. dimidiata</i>	43
Tabla 10. Coeficientes estandarizados y funciones de clasificación de las variables discriminadas en el modelo predictivo (1) de <i>T. dimidiata</i>	43
Tabla 11. Reporte consolidado de la distribución de <i>P. geniculatus</i> en Santander	45
Tabla 12. Medidas de concordancia para <i>P. geniculatus</i>	47
Tabla 13. Ecuaciones para cada función de presencia (SI) y ausencia (NO) de <i>P. geniculatus</i>	51
Tabla 14. Coeficientes estandarizados y funciones de clasificación de las variables discriminadas en el modelo predictivo (0) de <i>P. geniculatus</i>	52
Tabla 15. Infección por tripanosomatidos de <i>T. dimidiata</i> y <i>P. geniculatus</i> según la procedencia.....	52
Tabla 16. Consolidado de la infección de <i>T. dimidiata</i> en Santander	53
Tabla 17. Consolidado de la infección de <i>P. geniculatus</i> en Santander	55

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Algunos índices de vegetación y sus formulas.....	81
Anexo 2. Afiche de promoción de la vigilancia entomológica	83
Anexo 3. Caracterización ecológica de los sitios de entrenamiento muestreados.	84

RESUMEN

TITULO:

Distribución espacial de poblaciones de *Triatoma dimidiata* y *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander, Colombia*

AUTOR:

Mónica Flórez Martínez **

PALABRAS CLAVE:

Triatoma dimidiata, *Panstrongylus geniculatus*, Triatominae, SIG, Santander

CONTENIDO:

Se pretendió establecer la distribución espacial de *Triatoma dimidiata* y *Panstrongylus geniculatus* en Santander y su correlación con variables ambientales obtenidas con sensores remotos para la construcción de un modelo bioclimático predictivo.

Se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG), a nivel veredal, con información obtenida de los programas de vigilancia de la enfermedad de Chagas (1996-2008) y con datos obtenidos de campo (vigilancia comunitaria, búsqueda activa hora/hombre, trampa de luz y búsqueda pasiva con cebo animal) en tres de sus municipios. Las veredas se digitalizaron y georeferenciaron a partir de mapas análogos y digitales. Se utilizaron 60 variables ambientales: mínimos, máximos, promedios y varianzas de 6 bandas espectrales y 2 productos operacionales (NDVI, EVI) del sensor remoto MODIS terra (lpdaac.usgs.gov) y mínimos, máximos y promedios de 9 índices de vegetación calculados con las bandas espectrales respectivas y un modelo de elevación digital, en el análisis multivariado discriminante por pasos y utilizando 18 matrices con diferentes criterios para escoger el mejor modelo bioclimático.

T. dimidiata se reporta en 120 veredas y 13 cascos urbanos de 32 municipios de Santander. Su modelo bioclimático discriminó la temperatura diurna máxima de la superficie y NDVI máximo, clasificando correctamente 73% de las presencias y 99% de las ausencias. *P. geniculatus* se registro en 125 veredas y 12 cascos urbanos distribuidos en 40 municipios. El modelo obtenido mostró como factores, que explican 92% de las presencias y 95% de las ausencias, a la temperatura nocturna máxima de la superficie y diurna promedio y al mínimo del índice de vegetación EVI.

Se establecieron áreas con registros reales y potenciales de ocurrencia de estos vectores mediante la construcción de mapas temáticos de distribución espacial y modelos bioclimáticos predictivos cuyos resultados pueden orientar las acciones de prevención y control de la enfermedad de Chagas.

* Tesis de Maestría

** Facultad de Salud. Departamento Ciencias Básicas. Maestría Ciencias Básicas Biomédicas. Director: Víctor Manuel Àngulo Silva Méd. MsC Director CINTROP/UIS

ABSTRACT

TITLE:

Spatial distribution of *Triatoma dimidiata* and *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Santander, Colombia*

AUTHOR:

Mónica Flórez Martínez **

KEY WORDS:

Triatoma dimidiata, *Panstrongylus geniculatus*, Triatominae, GIS, Santander

CONTENT:

Spatial distribution of *Triatoma dimidiata* and *Panstrongylus geniculatus* in Santander and its correlation with environmental variables obtained from remote sensing for building a predictive bioclimatic model was established.

A Geographic Information System (GIS), with information obtained from vigilance programs of Chagas disease (1996-2008) in the department of Santander and from field data (community vigilance, active search, light trap and animal bait) in three of its municipalities was built. The locations were digitized and georeferenced from analog and digital maps. 60 environmental variables were used: minimum, maximum, mean and variance of 6 spectral bands and 2 vegetation indices (NDVI, EVI) from remote sensor MODIS terra (lpdaac.usgs.gov) and minimum, maximum and average of 9 vegetation indices calculated with the respective spectral bands and a digital elevation model, in a multivariate discriminant analysis using 18 matrices with different criteria for choosing the best bioclimatic model.

T. dimidiata is reported in 120 villages and 13 urban areas from 32 municipalities of Santander. Their bioclimatic model discriminated maximum day temperature of the surface and maximum NDVI, with 73% of sensitivity and 99% of specificity. *P. geniculatus* was registered in 125 villages and 12 urban areas in 40 municipalities. Their model showed 92% of sensitivity and 95% of specificity and the maximum night and average day of surface temperature and the minimum vegetation index EVI were discriminated.

Areas with potential and actual records of occurrence of these vectors were established by constructing thematic maps of spatial distribution and predictive bioclimatic models whose results can guide the actions of prevention and control of Chagas disease.

* Mastery Thesis

** Health Faculty, Medicine School. Basics Sciences Department. Biomedical Basic Sciences Mastery. Director: Víctor Manuel Angulo Silva Med. MsC Leader CINTROP/UIS

INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Chagas, cuyo agente etiológico es el parásito conocido como *Trypanosoma cruzi*, es transmitida por insectos hematófagos de la subfamilia Triatominae (Hemiptera, Heteróptera, Reduviidae). En el mundo se conocen 144 especies de Triatominae (Aldana *et al.*, 1996; Galvao *et al.*, 1999; Schofield & Galvao, 2009), de las cuales 26 se han reportado en Colombia y 15 se han encontrado naturalmente infectadas con *T. cruzi* (Guhl *et al.*, 2007, Sandoval *et al.*, 2007).

Tradicionalmente por su capacidad vectorial y carácter domiciliado, las especies de Triatominae consideradas vectores primarios son *Rhodnius prolixus*, en la región andina, y *Triatoma infestans*, en los países del cono sur (Lent y Wygodzinsky, 1979). La distribución geográfica de estas especies está ampliamente documentada; sin embargo, se encuentra en constante cambio debido a las acciones de los programas de control vectorial y a las migraciones humanas (Rodríguez y Gorla, 2004). En áreas donde estas especies son las responsables de la transmisión, se han reducido los índices de infestación debido a estas acciones de control (Silveira y Vinhaes, 1999; Oliveira-Filho, 1997; Gurtler *et al.*, 2007; Angulo y Flórez, 2007; Barbu *et al.*, 2009); sin embargo, en áreas donde hay especies de Triatominae con poblaciones silvestres y/o peridomésticas eventualmente se han observado procesos de desplazamiento de nicho ecológico. Estas especies pueden ocupar el nicho vacío dejado por las especies domiciliadas, ya sea reinfestando las viviendas o incursionando con mayor frecuencia en ellas, como se ha reportado en varias zonas (Oscherov *et al.*, 2001; Damborsky *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 1992), pudiendo tener un papel importante en la transmisión de la enfermedad. En Colombia, Triatominae como *P. geniculatus* y *T. dimidiata*, son un ejemplo de este proceso.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los análisis espaciales y los sensores remotos son una herramienta de gran utilidad ya que pueden identificar variables climáticas y ambientales que contribuyan al conocimiento del ciclo de transmisión de una enfermedad, proveer información más exacta de distribuciones preexistentes de las enfermedades, parásitos y/o vectores en espacio y/o tiempo, establecer el riesgo de un área determinada o producir modelos de pronóstico en áreas no estudiadas, entre otros, con el fin de ser transferidos a los servicios de salud y asistir en el diseño y formulación de planes de prevención y control de la enfermedad y sus vectores y en el desarrollo de estructuras adecuadas para el monitoreo y evaluación, mejorando su efectividad y eficiencia, tanto en logros como en costos (Cox, 2007).

En conjunto, estos análisis se conocen como “análisis ecológicos” o “eco epidemiología”, ya que se pueden inferir relaciones entre los indicadores de un evento (variable dependiente: positividad, incidencia, prevalencia) y los factores ambientales y climáticos (variable explicatoria) (Cringoli *et al.*, 2005).

Con base en esto se propuso un estudio ecológico que aplique estas herramientas para la construcción de un modelo bioclimático que prediga la distribución espacial de los Triatominae, *T. dimidiata* y *P. geniculatus*, vectores de la enfermedad de Chagas, e identifique áreas potenciales donde estas especies pueden ser exitosas o su presencia no ha sido detectada, usando datos climáticos y ambientales obtenidos por sensores remotos.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

- Establecer la distribución espacial de poblaciones de triatominos en Santander mediante la construcción de un modelo bioclimático utilizando datos ambientales obtenidos de sensores remotos.

2.2. ESPECÍFICOS

- Establecer la distribución espacial de poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander mediante la construcción de un modelo bioclimático utilizando datos ambientales obtenidos de sensores remotos.
- Establecer la distribución espacial de poblaciones de *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander mediante la construcción de un modelo bioclimático utilizando datos ambientales obtenidos de sensores remotos.
- Contribuir al conocimiento de la distribución de la infección por tripanosomas en *Triatoma dimidiata* y *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) en Santander.

3. MARCO TEÓRICO

En la actualidad, 21 países son endémicos para la enfermedad de Chagas, se estiman 7.694.500 personas infectadas, 28 millones de personas en riesgo, 12.500 muertes anuales, 14.385 casos nuevos por Chagas congénito por año, 41.200 casos nuevos anuales de infección por transmisión vectorial, 55.585 personas por año necesitarían tratamiento etiológico para *Trypanosoma cruzi*, 20.000 defunciones debidas a esta enfermedad y menos de 500.000 años de vida ajustados por discapacidad (OMS, 2007; OMS, 2008). A pesar de que estas estadísticas han disminuido, de que se ha certificado la eliminación de la transmisión en países como Uruguay en 1997, Chile en 1999, algunas provincias o departamentos de Argentina en 2001, Paraguay en 2002 y en toda el área endémica de Brasil en 2006 (WHO, 1997; WHO, 1998; WHO, 2000a; WHO, 2000b; OPS, 2003; Moncayo, 2003; OPS, 2006; Souza, 2007); de que en el 2005 fue incorporada en la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de enfermedades desatendidas, de la creación de la Red Global de la OMS para la Eliminación de Chagas, el objetivo, fijado por la Asamblea de la Salud en su resolución WHA51.14 para el 2010, de eliminar la transmisión domiciliaria de la enfermedad a través de la interrupción de la transmisión vectorial domiciliaria de *Trypanosoma cruzi* y de otras vías de transmisión y convertir finalmente a esta enfermedad en una zoonosis enzoótica silvestre que esporádica y accidentalmente se transmita al hombre, no podrá ser alcanzado y la enfermedad se está propagando a otras zonas donde no es endémica (OMS, 2008).

En Colombia, se ha estimado que el 5% de la población que vive en áreas endémicas esta infectada y cerca de 3 millones se encuentran en riesgo de adquirirla. Entre los departamentos con mayores tasas de infección se encuentran Arauca (21,1 x 100), Casanare (10), Santander (6,3), Norte de Santander (5,2), Boyacá (3,7), Cundinamarca (1,9) and Meta (1,7) (Moncayo, 2003). El relieve y

clima de estos departamentos hace que en ellos haya lugares propicios para la aparición, surgimiento y expansión de la enfermedad de Chagas, así como de otras enfermedades tropicales.

La distribución geográfica de los vectores de enfermedades y la influencia que ejercen los factores ambientales sobre ellos, es un campo de amplio reconocimiento (Rogers y Randolph, 1991; Rogers *et al.*, 1996; Carcavallo, 1999; Thomson y Connor, 2000; Graham *et al.*, 2004a), no obstante, la evaluación cuantitativa de tales eventos se empezó a medir de forma adecuada con el surgimiento y aplicación de los Sistemas de Información geográfica (SIG), los análisis espaciales y los sensores remotos (Hay y Lennon, 1999; Graham *et al.*, 2004a). Se considera que estas técnicas tienen un gran potencial para contribuir a la investigación y a los estudios operativos en epidemiología y en las ciencias de la salud ya que pueden manejar la dimensión de espacial e integrar datos provenientes de diversas fuentes de manera que se pueden dilucidar nuevos patrones y relaciones espaciales. Lo anterior sumado a la reducción en los costos y el incremento en el fácil acceso de los datos obtenidos por sensores remotos ha permitido que su uso esté dentro del alcance de la mayoría de investigadores (Graham *et al.*, 2004a).

La distribución de los eventos de transmisión de las enfermedades puede agruparse en tiempo y/o espacio y de esta forma proveer pistas sobre las causas de los procesos, asistir en el monitoreo, formulación de planes de prevención y control y toma de decisiones en salud pública mediante la construcción y prueba de modelos predictivos basados en una inferencia estadística (Ward y Carpenter, 2000; Lin y Zhang, 2004; Graham *et al.*, 2004a).

Desde este punto de vista, los futuros estudios epidemiológicos deben buscar hacer uso explícito de la información espacial e incluir la medición de la localización espacial de los fenómenos, que permita hacer un análisis completo de los escenarios epidemiológicos de las enfermedades (Graham *et al.*, 2004a).

El uso de datos referenciados espacial y temporalmente puede ser aplicado en numerosos tipos de estudios. Se ha utilizado con éxito para predecir distribuciones de aves (Seoane *et al.*, 2004), de orquídeas (Remm *et al.*, 2009); en numerosos estudios para estimar el tipo de vegetación (Cairns, 2001), en la acuicultura (Nath *et al.*, 2000), agricultura (Chen *et al.*, 2006). En el área de la salud se han realizado estudios para predecir distribución de especies vectores de enfermedades como la leishmaniasis (Peterson *et al.*, 2004), malaria (Levine *et al.*, 2004; Leonardo *et al.*, 2005), trypanosomiasis (Rogers y Randolph, 1991; Rogers *et al.*, 1996), dengue (Rosa-Freitas *et al.*, 2003; Ali *et al.*, 2003), schistosomiasis (Yang *et al.*, 2005), Lyme (Estrada-Peña, 1999; Guerra *et al.*, 2001; Brownstein *et al.*, 2003), entre otras (Thomson y Connor, 2000); para modelar la distribución espacial de enfermedades (Perez *et al.*, 2002; Guerra *et al.*, 2001; Michel *et al.*, 2002; Pleydell *et al.*, 2004, Graham *et al.*, 2004b; Miranda *et al.*, 1998, Camargo-Neves *et al.*, 2001; Malone, 2005); para establecer el riesgo y modo de prevención de enfermedades como la diarrea (Njemanze *et al.*, 1999), caracterizar áreas con riesgo de infección por geohelminths (Cascone *et al.*, 2005), entre otros.

3.1. LA ENFERMEDAD DE CHAGAS

Los estudios de la enfermedad de Chagas se han enfocado en hacer predicciones de la presencia/ausencia del vector, densidad, tasas de infección natural y riesgo de la enfermedad por el vector (Gorla, 2002a; Gorla *et al.*, 1997; Rodriguero y Gorla, 2004; Dumonteil y Gourbiere, 2004; Peterson *et al.*, 2002; Arboleda *et al.*, 2009).

La distribución geográfica de *T. infestans* se ha correlacionado con variables biofísicas calculadas a partir de datos obtenidos por satélites meteorológicos a escala continental (Gorla, 2002b) y también se ha correlacionado con el efecto de la temperatura (Gorla *et al.*, 1997).

Se han desarrollado modelos de distribución geográfica usando datos ambientales obtenidos de sensores remotos para especies de Triatominae como *R. pallenscens* (Arboleda *et al.*, 2009); *Triatoma pseudomaculata*, *Triatoma wygodzinskyi* (Carbajal de la Fuente *et al.*, 2009) y *R. neglectus* en Brasil (Gurgel-Goncalves y Cuba, 2009); *T. gerstaeckeri* en el sur de Texas en EEUU (Beard *et al.*, 2003); especies del complejo *Protracta* y sus potenciales reservorios en México (Peterson *et al.*, 2002); así como para analizar la distribución de otras especies de Triatominae en México (Sandoval-Ruiz *et al.*, 2008); diferenciar nichos ecológicos de *T. brasiliensis* en el noreste de Brasil (Costa *et al.*, 2002).

Otros estudios han determinado la presencia de un gradiente latitudinal en la riqueza de especies de triatominos del nuevo mundo para explorar la relevancia del área geográfica y la disponibilidad de energía y evaluaron la tendencia longitudinal para analizar la posible interacción entre la longitud y otras variables (Rodríguez y Gorla, 2004).

También se han utilizado para determinar factores y mecanismos que expliquen los patrones espaciotemporales de reinfestación en Triatominae como *T. guasayana* en Argentina (Vazquez *et al.*, 2005).

En México, exploraron la relación entre la distribución de *T. dimidiata* y factores bioclimáticos usando los SIG y desarrollaron modelos predictivos de su abundancia doméstica y de sus tasas de infección por *T. cruzi*; estas predicciones se usaron para construir el primer mapa de riesgo de la transmisión natural para la enfermedad de Chagas en la península de Yucatán, como un instrumento muy valioso para la implementación de programas de control efectivos en la región (Dumonteil y Gourbiere, 2004).

3.2. LOS SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son una tecnología que incluye un sistema de sensores de aire y radiómetros instalados en plataformas espaciales o satélites, los cuales miden la cantidad de energía electromagnética reflejada o radiada por los diferentes rasgos de la superficie de la tierra desde el espacio, en diferentes longitudes de onda que permiten luego la combinación de señales. Se pueden obtener y calcular, mediante algoritmos, datos globales y sistemáticos de variables geofísicas que pueden ser usados para caracterizar principalmente el clima y otras variables de la superficie de un área determinada como de interés a diferentes resoluciones espaciales (Cringoli *et al.*, 2005).

Esta tecnología espacial empezó a implementarse en los setentas con el lanzamiento de la serie de satélites Landsat y otros sensores ópticos como el HIRS-2 (*High Resolution Infrared Radiation Sounder*), el AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), el TOMS (*Total Ozone Monitoring Spectrometer*) y el CZCS (*Coastal Zone Color Scanner*). A mediados de los ochentas empezó a diseñarse el sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*), el cual fue uno de los cinco instrumentos científicos lanzados en 1999 a bordo del satélite Terra, como parte del programa EOS (*Earth Observation System*) de la Nasa; este sensor incluyó características relevantes del *Landsat Thematic Mapper* (TM),

muchos de los atributos de los sensores CZCS, AVHRR, HIRS y nuevos avances tecnológicos sobre estos como una mejor resolución (250m, 500m y 1 Km), adición de bandas espectrales en el medio de la banda larga del infrarrojo (IR) y canales espectrales para mejorar la caracterización atmosférica permitiendo la medición de numerosos parámetros geofísicos, entre otros (Justice *et al.*, 2002; Salomonson *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2007). El sensor MODIS, es considerado un poderoso instrumento en el campo de los recursos de observación de la tierra ya que integra simultáneamente alta resolución espacial, temporal y espectral (Zhao *et al.*, 2009; Xiong *et al.*, 2009).

En la actualidad existe un buen número de satélites y sensores con sistemas de observación de la tierra funcionando y nuevos están siendo lanzados con avances notables en la resolución espacial, espectral y temporal, los cuales mejoraran la exactitud y precisión de los diversos estudios (Nasa, 2006). Aunque algunos de estos sensores tienen copyright, los puestos en órbita por la NASA, que hacen parte del programa EOS se pueden acceder libremente por internet a través de los centros de distribución de datos (*Distributed Active Archive Centers, DAACs*: <http://nasadaacs.eos.nasa.gov/about.html>)

3.3. VARIABLES AMBIENTALES

Los sensores remotos permiten medir y calcular variables ambientales como índices de vegetación, temperatura, humedad del suelo, altura sobre el terreno, entre otros (Cringoli *et al.*, 2005).

Los índices de vegetación (VIs) son transformaciones espectrales de 2 o más bandas diseñados para medir las propiedades de la vegetación y permiten hacer comparaciones confiables espacio-temporales de la actividad fotosintética terrestre y las variaciones estructurales del dosel. Existe un número considerable

de VIs de los cuales el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) es el más ampliamente utilizado. Este índice se usa como un indicador del régimen de humedad y se considera sensible a las variaciones en la biomasa en un rango amplio de condiciones de la vegetación y resistente a los efectos atmosféricos y del fondo del dosel (Huete *et al.*, 1997); aunque tiene algunas desventajas por su no linealidad y la influencia de ruidos adicionales puede complementarse con la medición de otros índices, entre ellos el **MNDVI** (*Modified Normalized Difference Vegetation Index*), **MNDVI2** (*Modified Normalized Difference Vegetation Index*), **EVI** (*Enhanced Vegetation Index*), **DVI** (*Difference Vegetation Index*), **SAVI** (*Soil Adjusted Vegetation Index*), **ARVI** (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*), **SARVI** (*Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index*), **SARVI2** (*Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index 2*), **SR** (*Simple Ratio*), **Ratio** (*Ratio NDVI y Temperatura de superficie*), **NDII** (*Normalized Difference Infrared Index*), **GEMI** (*Global Environmental Monitoring Index*), **MSR** (*Modified Simple Ratio*), entre otros (Anexo 1). Estos índices se han desarrollado para diversos fines y pueden ser calculados a partir de la información de las bandas espectrales que miden los sensores remotos (Huete *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2006; Yebra, 2008)

La temperatura es una variable ambiental clave para muchos procesos que combinan interacciones atmosfera-superficie y los flujos de energía entre ellos y por tanto requerida para una amplia variedad de investigaciones climatológicas, ecológicas y biológicas (Liu *et al.*, 2007). En el caso de los artrópodos vectores de enfermedades su carácter ectotérmico los hace sensibles a las fluctuaciones de la temperatura afectando su desarrollo, reproducción, conducta y dinámica poblacional; además también puede afectar el desarrollo del patógeno dentro del vector e influenciar la supervivencia del vector (Gage *et al.*, 2008). Los sensores remotos pueden medir la temperatura del aire y de la superficie, LST (*Land Surface Temperature*); esta última se define como la radiación emitida por la superficie de la tierra o temperatura cinética efectiva de la misma.

Estas variables ambientales pueden tener una relación directa o indirecta con variables biológicas que contribuyen al desempeño de una especie de Triatominae (Forattini *et al.*, 1974; Lent y Wygodzinsky, 1979; Gorla, 2002b). La relación entre el clima, la temperatura, la precipitación y altura sobre el terreno con variables biológicas se ha mostrado anteriormente para diferentes especies de Triatominae (Forattini *et al.*, 1974; Carcavallo, 1999; Ramsey *et al.*, 2000).

De acuerdo a Carcavallo (1999) la temperatura es considerada como un buen indicador de la potencial distribución y capacidad de crecimiento de una especie de Triatominae. Gorla *et al* (1997) encontraron una fuerte asociación entre el modelo de regresión de la temperatura y la tasa intrínseca de crecimiento natural (r) de poblaciones de *T. infestans* y su distribución conocida; basándose en un modelo de la regulación de la abundancia poblacional de *T. infestans* que supone que poblaciones con muy bajas densidades crecerían según el valor de r , sin estar afectadas por factores de regulación de la abundancia dependientes de la densidad.

En algunos casos la relación entre las variables ambientales y las biológicas de los Triatominae depende de factores específicos; como en ciertas especies de *Rhodnius* y *Parabelminus*, las cuales presentan una estrecha asociación con ciertas especies de bromeliáceas o palmas (Lent y Wygodzinsky, 1979). En el caso de los Triatominae domiciliados, se considera que la vegetación tiene poca o ninguna asociación, siendo los factores socio-demográficos y culturales los determinantes de su distribución (Gorla, 2002b).

3.4. VECTORES

3.4.1. *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): Es una especie distribuida en 12 países desde el sur de México, Guatemala, Belize, San Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Ecuador, hasta el norte de Perú (Lent y Wygodzinsky, 1979; Barges *et al.*, 2008). En Colombia se ha reportado en 14 departamentos (Gulh *et al.*, 2007).

Es el principal vector de la enfermedad de Chagas en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica y el segundo vector más importante en Honduras y Colombia (Dorn *et al.*, 2007).

Sus poblaciones, fuertemente influenciadas por factores climáticos, se han encontrado en diversas zonas de vida y ecosistemas, así como en una gran variedad de ecotopos silvestres (bajo estiércol de vaca, huecos y corteza de árboles muertos, palmas, pilas de rocas, ruinas mayas, en cuevas asociados a murciélagos, serpientes, lagartos y roedores y en nidos de varios animales como zarigüeyas y armadillos) y artificiales, donde frecuentemente constituye colonias domiciliarias y peridomiciliarias, tanto en zonas rurales como urbanas (Zeledón *et al.*, 2005; Dorn *et al.*, 2007).

Se han reportado altos índices de dispersión veredal (33-95%), así como de infestación doméstica (35-61%); sus tasas de infección doméstica por *T. cruzi* ha variado del 0-50% y la selvática se ha encontrado del 25-43%. Su alimentación es ecléctica e incluye una amplia variedad de animales como aves, sapos, serpientes y mamíferos, que incluyen al hombre especialmente con alta prevalencia en ambientes domésticos (Farfán, 2007; Dorn *et al.*, 2007).

Según Bargues *et al* (2008) es el Triatominae con mayor variabilidad genética intraespecífica. En relación con sus divergencias evolutivas consideraron dos líneas de colonización, un clado, *T. sp. aff. dimidiata*, quedó confinado en Yucatán, Chiapas, Guatemala y Honduras; y el segundo clado origino cuatro subespecies: *T. d. dimidiata*, en Guatemala and México (Chiapas) hasta Honduras, Nicaragua, Isla Providencia e introducido en Ecuador; *T. d. capitata* en Panamá and Colombia; *T. d. maculipennis* en México y Guatemala; y *T. d. hegneri* en la isla Cozumel. De acuerdo a esto los autores sugieren que las actividades de control para esta especie en Colombia serán difíciles por ser formas autóctonas a diferencia de Ecuador donde esta especie fue introducida.

3.4.2. *Panstrongylus geniculatus* (Latreille, 1811): Es la especie de más amplia distribución entre las 13 de su género, la cual abarca 18 países de Latinoamérica (México, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Trinidad, Guyana, Surinam, Guyana Francesa, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Argentina) (Leite *et al*, 2007; Patterson *et al.*, 2009). En Colombia, de acuerdo a Gulh *et al* (2007), se ha reportado en 25 departamentos.

Es un Triatominae silvestre con ejemplares adultos encontrados eventualmente en los domicilios atraídos a la luz, tanto rurales como urbanos (Lent y Wygodzinsky, 1979; Patterson *et al.*, 2009; Carrasco *et al.*, 2005); aunque evidencias de domiciliación se han reportado en Brasil (Valente *et al.*, 2009), Venezuela (Reyes y Rodríguez, 2000; Feliciangeli *et al.*, 2004; Carrasco *et al.*, 2005) y Colombia (Wolff y Castillo, 2000). Valente (1999) lo encontró asociado a corrales de cerdos y Reyes y Rodríguez (2000) a ratas, en ambientes domésticos. Wolff y Castillo (2000) observaron que la atracción de esta especie a la vivienda no era exclusivamente debida a la luz.

Por sus características ecológicas es considerada una especie euritérmica adaptada a ecotopos secos o muy secos a húmedos encontrándose en una gran variedad de hábitats selváticos que incluyen cuevas de armadillos, osos hormigueros, faras, roedores, murciélagos, nidos de aves, así como en huecos de arboles o bajo su corteza, bromelias y palmas (Patterson *et al.*, 2009).

Es conocido transmisor de *Trypanosoma cruzi*, zimodemas I y III, con tasas del 16,46%-76,1% (Valente, 1999; Wolff y Castillo, 2000, Guhl *et al.*, 2007; Feliciangeli *et al.*, 2004; Carrasco *et al.*, 2005; Patterson *et al.*, 2009). Carrasco *et al.* (2005) encontraron que el hombre es la fuente alimenticia de mayor frecuencia (98%) y de estos el 41% se encontró a su vez infectado con *T. cruzi*; también se ha encontrado alimentado de gallinas, gatos, aves, roedores, marsupiales, murciélagos, faras, osos hormigueros, armadillos (Carrasco *et al.*, 2005; Molinari *et al.*, 2007; Patterson *et al.*, 2009)

Su importancia epidemiológica y competencia como vector se ha empezado a sugerir por varios autores; como el hecho de que defeca durante su alimentación, su infección con *T. cruzi* I (ZI), altas tasas de alimentación con sangre humana, y al parecer esta implicada en casos fatales de Chagas agudo en Venezuela y en recientes infecciones transmitidas vía oral por ingestión accidental de jugos de fruta contaminados en Venezuela y Colombia (Carrasco *et al.*, 2005; Patterson *et al.*, 2009; Niño *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009).

Aunque una actualización de la distribución geográfica de esta especie obtenido por una extensiva revisión de la literatura fue presentando por Leite *et al.*, (2007), no se han realizado estudios que involucren variables ambientales obtenidas por sensores remotos para predecir su distribución.

4. METODOLOGÍA

Para obtener los modelos bioclimáticos de predicción de la distribución de especies de triatominos y su infección se construyó un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Figura 1) como se describe a continuación:

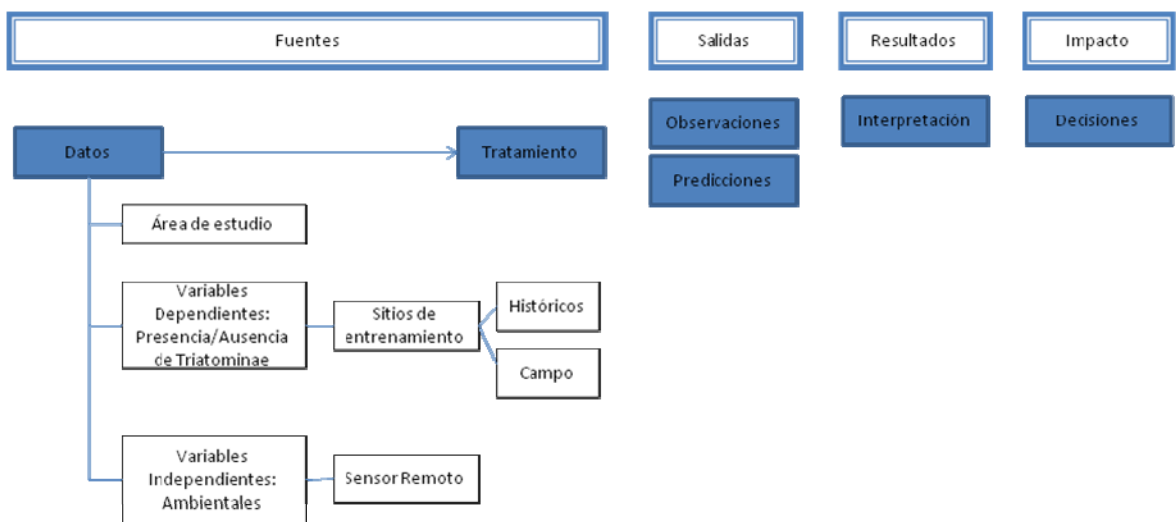


Figura 1. Arquitectura del SIG

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Santander está situado al noroeste de Colombia, en la vertiente occidental de la cordillera oriental en la región andina, entre los 05°42'34" y 08°07'58" de latitud Norte y los 72°26' y 74°32' de longitud Oeste. Tiene 87 municipios, distribuidos en una superficie de 30.950 Km² y cuenta con paisajes y climas diversos. El 64% de su superficie está ubicado entre los 70-1.500 msnm y tiene un clima cálido; en el restante, 26%, las altitudes están por encima de los 1.500 msnm y se pueden encontrar los climas, templado, frío y páramo. Su relieve comprende dos grandes unidades fisiográficas: el Valle Medio del Magdalena y la cordillera Oriental. En el Valle Medio del Magdalena, al occidente del

departamento, la temperatura media es de 29°C y la precipitación alcanza los 3.800 mm anuales; su modelado es plano y suavemente ondulado, y en sus márgenes predomina la vegetación selvática; al oriente de éstas, hay una faja de bosque ecuatorial. En la cordillera Oriental, la cual ocupa la mayor parte del departamento, el relieve es quebrado con pendientes fuertes y alturas superiores a los 3.000 msnm; en el flanco de la cordillera disminuye la temperatura y la precipitación es de 1.500-2.000 mm en promedio anual; a excepción del sur y especialmente en el cañón del Chicamocha donde la precipitación es menor de 500 mm, y temperaturas alcanzan los 32°C; en los páramos se registran temperaturas inferiores a los 7°C y precipitación es escasa (IGAC, 1996).

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BIOCLIMÁTICO PREDICTIVO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES, *T. dimidiata* y *P. geniculatus*:

La construcción del modelo bioclimático predictivo se baso en la clasificación supervisada de imágenes de sensores remotos mediante la detección de firmas espectrales o patrones de respuesta espectral de la superficie terrestre específicos sobre datos estadísticos de caracterización extraídos de ejemplos conocidos en la imagen, llamados sitios de entrenamiento, usando un enfoque similar al usado exitosamente para predecir la distribución geográfica de poblaciones domésticas y peridomésticas de *T. infestans*, otras especies del genero *Triatoma* (Gorla 2002ab, Carbajal de la Fuente *et al.*, 2009) y *R. pallescens* (Arboleda *et al.*, 2009).

4.2.1. Sitios de entrenamiento (SE): Los sitios de entrenamiento se basaron en la distribución conocida de la presencia de *T. dimidiata* y *P. geniculatus*, a nivel de vereda, obtenidos de la construcción de una base de datos entomológica (datos históricos) y un muestreo sistemático en dos localizaciones ambientalmente diferentes de Santander (datos de campo).

4.2.1.1. Datos históricos: Se construyó una base de datos con la distribución, de la presencia y ausencia de *T. dimidiata* y *P. geniculatus* y su infección, a nivel de vereda, utilizando los informes de la vigilancia entomológica realizada por el Programa ETV de la Secretaría de Salud de Santander, el ingreso de triatominos al laboratorio de entomología del CINTROP, a partir de 1996 y hasta el 2008 y los registros de la literatura.

4.2.1.2. Datos de campo: Se tomaron dos localizaciones, ambientalmente diferentes, de zonas conocidas con reporte previo para cada vector (Figura 1): A. Magdalena Medio, municipios El Carmen y San Vicente con zonas de vida de Bosque muy Húmedo Tropical. B. Núcleo García Rovira, municipio de Capitanejo con zonas de vida de Bosque Húmedo Premontano y Montano bajo y se realizó un muestreo sistemático de Triatominae mediante cuatro estrategias, como se describe a continuación. El número de veredas a muestrear se determinó sumando el total de éstas en cada municipio, con una prevalencia de infestación del 30% y un nivel de confianza del 95%, para un total de 8 veredas y en cada una se visitaron todas las viviendas.



Figura 2. Panorámica de viviendas de los sitios de entrenamiento muestreados: A. El Carmen, B. San Vicente y C. Capitanejo. Fuente: CINTROP/UIS

Vigilancia entomológica: mediante charlas y visitas a las viviendas de los sitios de entrenamiento se promovió en las comunidades de cada sitio la búsqueda y

captura de Triatominae; esta técnica se ha probado como método efectivo para la captura de triatomíneos de acuerdo a Esteban *et al* (2006).

Búsqueda activa método hora/hombre: esta búsqueda se realizó en los habitats intradomiciliar (interior de la unidad principal de vivienda, que incluye dormitorios, cocinas, sala, cuartos de chécheres en lugares como ranuras y dentro o detrás de objetos colgados en las paredes, techo, cajas de cartón, debajo de costales, debajo del colchón, camas en el piso y debajo de objetos colocados en el piso, etc) y peridomiciliar (estructuras con techo separadas de la unidad de vivienda como lugares de reposo de animales domésticos construidos artificialmente, otras estructuras de almacenamiento, procesamiento en las cuales pueden reposar animales como hornos, caney, trapiche, enramadas para inservibles y desechos de cosechas, graneros o trojas, etc y accidentes naturales como cuevas entre rocas o debajo de arrume de piedras o artificiales como arrumes de leña e inservibles).

Búsqueda pasiva método cebo animal: medida como trampa/noche. Se utilizó una trampa con gallina como cebo animal (Ángulo, datos no publicados), la cual se instaló en el horario de 6 pm a 7 am en hábitat silvestre (cuevas de rocas y animales).

Búsqueda activa método trampa de luz Shannon: medida como trampa/hora. Esta trampa se utilizó en el horario de 7-9 pm en el peridomicilio de una vivienda con reporte de previo de la presencia de las especies de Triatominae.

Los Triatominae capturados se almacenaron en un frasco plástico debidamente etiquetado para su transporte al laboratorio. En cada sitio de captura se tomaran los datos de coordenadas geográficas (grados decimales hd.ddddd° N / hhd.ddddd° W y Datum observatorio Bogotá) y altitud (metros sobre el nivel del mar) con un GPSMAP 60CSx Garmin®; datos de temperatura (grados

centígrados) y humedad relativa (porcentaje) con un termo-higrómetro OPPUS.

4.2.2. Determinación taxonómica: La determinación taxonómica se realizó usando las claves de Lent y Wygodzinsky (1979) y Bérenger y Blanchet (2007).

4.2.3. Georreferenciación de las unidades geográficas: Se utilizó como unidad geográfica la vereda y/o zona urbana; estas se digitalizaron y georreferenciaron a partir de mapas análogos y digitales obtenidos mediante comunicación directa con los municipios o de las páginas web oficiales de estos (ejemplo, el mapa del municipio de Albania se encuentra disponible en línea en la dirección, <http://albania-santander.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m1m1--&x=2173801>). Los límites veredales fueron transformados en polígonos y se georreferenciaron usando como referencia un mapa municipal de proyección conocida usando el programa ArcView 9.1, cada uno con un identificador y ligado a la base de datos de distribución de vectores.

4.2.4. Variables ambientales: Se utilizaron variables ambientales obtenidas directamente por el sensor MODIS terra, las cuales son productos operacionales del sensor y otras se calcularon con las bandas espectrales respectivas tomadas por el sensor; también se utilizó la altitud obtenida de un modelo de elevación digital procesado por Clark Labs.

4.2.4.1. Productos descargados del sensor remoto: Las imágenes tomadas por el sensor MODIS terra, fueron descargadas sin costo a través de internet en los centros de distribución de datos (*Distributed Active Archive Centers*, DAACs: <http://lpdaac.usgs.gov/datapool/datapool.asp>.) del programa EOS de la NASA. Los productos descargados se muestran en la tabla 1. Las imágenes se descargan

desde un sitio ftp, luego de ser ordenadas en la pagina mencionada. Primero se escogió el tipo de producto, luego se buscó la localización geográfica del sitio de interés (Santander), usando una coordenada geográfica conocida y se definió el período de tiempo. Se seleccionaron las imágenes con la mínima cobertura de nubes, en formato .hdf y con proyección geográfica.

Todas las imágenes fueron transformadas a una proyección cartográfica común, Latitud/Longitud, usando la *metadata* de cada imagen y los instrumentos de proyección del software IDRISI, con una precisión sobre las localizaciones de terreno menores a 2 pixeles sobre cada tipo de producto digital. Cada imagen es representada como una matriz numérica que se despliega como un raster donde cada celda o pixel contiene un valor de la variable. La resolución espacial se unificó para los productos digitales descargados del sensor MODIS.

Se calcularon productos mensuales de las imágenes descargadas por el método del máximo valor para minimizar la contaminación por nubes. Con base en estos productos se calcularon los descriptivos estadísticos, media, mínimo, máximo y varianza y se uso el factor de conversión que transforma los valores de la imagen en las unidades correspondientes para cada una (Tabla 1). Los valores de temperatura fueron adicionalmente convertidos de grados Kelvin a Celsius.

4.2.4.2. Modelo de elevación digital: Se utilizó el modelo de elevación digital de cobertura global (DEM), en formato IDRISI, con una resolución aproximada de un kilometro, procesado por Clark Labs, para la ventana de observación W100N40. Los archivos se pueden descargar del centro de datos USGS EROS DAAC-GTOPO30 disponible en la página web, <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html> y luego convertidos a imágenes de

IDRISI, manteniendo la división, proyección, definición de los datos y resolución espacial.

4.2.4.3. Índices de Vegetación: Con las bandas espectrales respectivas, en el modulo VEGINDEX del programa IDRISI, se calcularon y generaron imágenes de índices de vegetación, desarrollados por varios autores, como se describe a continuación, de acuerdo al manual de Idrisi (Eastman, 2006). Las imágenes de los índices NDVI y EVI correspondieron a los productos operacionales del sensor MODIS.

Tabla 1. Productos descargados del sensor MODIS terra.

Código	Descripción	Unidades	Factor Conversión
Producto: MOD13Q1V4. Resolución espacial: 250 m. Resolución radiométrica: 16 bits. Resolución temporal: 16 días.			
ARAA	Angulo Azimuth Relativo	Grados	0.1
ASZA	Angulo Zenith Solar	Grados	0.01
AVZA	Angulo Zenith Vista	Grados	0.01
BR	Reflectancia Azul	Reflectancia	0.00001
EVI	Índice de vegetación promovida	EVI	0.00001
MIR	Reflectancia infrarojo medio	Reflectancia	0.00001
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada	NDVI	0.00001
NIR	Reflectancia infrarojo cercano	Reflectancia	0.00001
RED	Reflectancia Roja	Reflectancia	0.00001
Producto: MOD11A2V4. Resolución espacial: 1 km. Resolución temporal: 8 días.			
QCN	Control de calidad noche	-	-
QCD	Control de calidad día	-	-
NVT	Tiempo de vista nocturno	Horas	0.1
NVA	Vista zenith del ángulo nocturno	Grados	1
LSTN	Temperatura de la superficie nocturna	Kelvin	0.02
LSTD	Temperatura de la superficie diurna	Kelvin	0.02
E32	Emisividad Banda 31	-	0.002
E31	Emisividad Banda 31	-	0.002
DVT	Tiempo de vista diurno	horas	0.1
DVA	Vista zenith del ángulo diurno	Grados	1
CSN	Cobertura nubes nocturno	-	0.0005
CSD	Cobertura nubes diurno	-	0.0005

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*): Fue desarrollado por Rouse *et al.*, (1974) con el fin de separar la vegetación verde del brillo del suelo. Es un producto operacional del sensor MODIS, pero además se calculó de acuerdo a la fórmula escrita a continuación. Se expresa como la diferencia entre las bandas del infrarrojo cercano y la roja normalizado por la suma de estas bandas.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Es el índice más comúnmente usado y tiene la habilidad de minimizar los efectos de la iluminación, sombras de nubes y variaciones topográficas produciendo una escala de medida lineal. Los errores por la división por cero son reducidos significativamente y se obtiene una medida en un rango de -1 a 1. Valores de 0.2-0.4 indican presencia de vegetación poco densa, 0.5 áreas de mayor cobertura, 0.6 áreas boscosas, 0.7-1 cultivos de gran extensión y <0.2 urbano, agua, suelo desnudo.

EVI (*Enhanced Vegetation Index*): Es un índice mejorado desarrollado por Huete *et al.* (1994) con una sensibilidad incrementada para estimar la biomasa en doseles de densa vegetación desacoplando la señal del fondo del dosel y una reducción en la influencia de la reflectancia atmosférica y del suelo. Es un producto operacional del sensor MODIS.

RATIO (*Ratio Vegetation Index*): Fue propuesto por Rouse *et al.*, (1974) con el fin de separar la vegetación verde del suelo, capturando el contraste entre las bandas roja y la del infrarrojo cercano para pixeles con vegetación. Este índice es la simple división de los valores de la reflectancia de la banda del infrarrojo cercano por la de la banda roja.

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

Aunque no tiene problemas con la variable iluminación resultado de la topografía, el índice es susceptible a la división por cero, por tanto su escala de medida no es lineal y su distribución no es normal.

TVI (*Transformed Vegetation Index*): Fue propuesto por Deering *et al.* (1975) con el fin de modificar el NDVI adicionando una constante de 0.50 al total y calculando la raíz cuadrada de los resultados.

$$TVI = \sqrt{\frac{NIR - RED}{NIR + RED} + 0.5}$$

La constante, 0.50, se introdujo para evitar los valores negativos y el cálculo de la raíz cuadrada para corregir los valores que se aproximan a la distribución de *Poisson*. Sin embargo, se obtienen valores negativos cuando el valor de NDVI es menor de -0.5. Detecta la vegetación activa de la imagen en los mismos términos del NDVI.

CTVI (*Corrected Transformed Vegetation Index*): Fue propuesto por Perry y Lautenschlager (1984) con el fin de corregir el TVI, eliminando por completo los valores negativos del NDVI y generando una imagen similar al NDVI.

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

TTVI (*Thiam's Transformed Vegetation Index*): Propuesto por Thiam (1997) para evitar el "ruido" producido por la sobrestimación de la intensidad del verde en la imagen del CTVI; simplificando su ecuación.

$$TTVI = \sqrt{ABS (NDVI + 0.5)}$$

RVI (*Ratio Vegetation Index*): Fue sugerido por Richardson y Wiegand (1977) como un índice más simple y gráficamente con las mismas ventajas y desventajas del TVI. Es el inverso del índice estándar RATIO.

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

NRVI (*Normalized Ratio Vegetation Index*): Baret y Guyot (1991) lo sugirieron como una modificación del RVI. Reduce los efectos atmosféricos, de iluminación y topográficos y crea una distribución normal deseable estadísticamente.

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

AVI (*Ashburn Vegetation Index*): Presentado por Ashburn (1978) como una medida de la vegetación verde en crecimiento.

$$AVI = 2NIR - RED$$

MSAVI (*Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*): Sugerido por Qi *et al* (1994) con la intención de corregir el brillo del fondo del suelo en diferentes condiciones de cobertura de vegetación.

$$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR+1)^2 - 8(NIR-RED)}}{2}$$

4.2.5. Análisis estadístico: Se extrajeron los valores de las bandas espectrales particulares BR, MIR, NIR, RED, E31 y E32; de los productos operacionales del sensor remoto, LSTN, LSTD, NDVI y EVI; y de los índices de vegetación calculados como se describe en el numeral 4.2.4. para cada unidad geográfica georeferenciada (vereda). Los valores obtenidos para cada vereda fueron promediados sin tener en cuenta los valores menores de cero.

Se usó el análisis multivariado discriminante por pasos para estimar el mejor conjunto de variables que permitiera la construcción del mejor modelo predictivo. De acuerdo a Manel *et al* (1999) el análisis discriminante, la regresión logística y las redes neuronales artificiales cuando se usan para predecir la distribución de especies difieren solo marginalmente en ejecución.

Las funciones discriminantes para los sitios de presencia y ausencia se usan para clasificar sitios con características ambientales similares a estos. De cada función discriminante se obtiene una imagen que se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$f_{\text{presencia/ausencia}} = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + c$$

donde k es el número de variables que tienen la discriminación más alta; b_1, b_2, \dots, b_k representan los coeficientes de las funciones de presencia/ausencia, X_1, X_2, \dots, X_k son los valores de la variable en el pixel correspondiente y c el valor del intercepto.

Las dos imágenes resultantes de cada función discriminante se compararon pixel por pixel y como resultado se obtuvo una imagen que clasifica cada pixel como un sitio de presencia o ausencia de acuerdo a la función que tenga el máximo valor.

Para validar el modelo se utilizó la resustitución, la cual incluyó la construcción de 18 matrices denominadas “sitios de entrenamiento” usando criterios derivados de los datos históricos y de campo y la comparación del número de predicciones correctas/incorrectas mediante el cálculo de las siguientes medidas: 1) Índice Kappa (k), teniendo en cuenta la escala de valoración del grado de acuerdo así, 0.00-0.20, insignificante, 0.21-0.40, discreto, 0.41-0.60, moderado, 0.61-0.80, sustancial o bueno, 0.81-1.00, bueno o casi perfecto (Landis y Koch, 1977); 2) Análisis ROC (*Receiver Operator Characteristic*), evaluando la bondad de la prueba con el área bajo la curva (AUC) cuyos valores menores de 0.5 corresponderían a una prueba inútil y de 1 a una prueba perfecta (Brooker *et al.*, 2002; Rogers, 2000) y 3) Las medidas de concordancia (Tabla 2) derivadas de la matriz de confusión (Figura 2). El análisis ROC también se estimó para las predicciones con los valores no promediados por vereda en el programa IDRISI.

Tabla 2. Medidas de concordancias derivadas de la matriz de confusión

Medidas de concordancia	Formula
Sensibilidad o Razón de Verdaderos Positivos (VPR)	$VPR = VP / (VP + FN)$
Razón de Falsos Positivos (FPR)	$FPR = FP / (FP + VN)$
Especificidad (ESPC) o Razón de Verdaderos Negativos	$SPC = VN / (FP + VN) = 1 - FPR$
Exactitud (EXACT)	$ACC = (VP + TN) / (VP+FN+FP+VN)$
Valor Predictivo Positivo (PPV)	$PPV = VP / (VP + FP)$
Valor Predictivo Negativo (NPV)	$NPV = VN / (VN + FN)$
Razón de Falsos Descubrimientos (FDR)	$FDR = FP / (FP + VP)$
Coefficiente Correlación Matthews (CCM)	$\sqrt{(VP \times VN - FP \times FN) / ((VP+FN)(FP+VN)(VP+FP)(FN+VN))}$

		Valor real	
		+	-
Predicción	+	Verdaderos Positivos VP	Falsos Positivos FP
	-	Falsos Negativos FN	Verdaderos Negativos VN

Figura 3. Estructura de la matriz de confusión.

Para los análisis con imágenes se usó el programa IDRISI Versión Taiga y los análisis estadísticos con el programa SPSS.

4.3. DISTRIBUCIÓN DE LA INFECCIÓN

Los individuos de *T. dimidiata* y *P. geniculatus* colectados, vivos o de muerte reciente, en los sitios de entrenamiento y los que ingresaron al laboratorio de entomología del 2007 al 2009, fueron examinados mediante disección del intestino para establecer su infección por tripanosomatidos. El contenido intestinal se resuspendió en 50 µl de solución salina y observó directamente al microscopio para detectar formas de tripanosomatidos. La lámina portaobjetos se coloreó con Giemsa.

Con base en ésta información y en la revisión de la base de datos históricos (ver numeral 4.2.1. Sitios de entrenamiento/Datos históricos) se construyó un mapa de la distribución de la infección de cada una de las especies de triatomíneos.

4.4. ASPECTOS ÉTICOS

Este trabajo se rigió de acuerdo a los artículos 63, 65, 66, 67 (literal c) y 69 del capítulo I, sobre la Bioseguridad de las Investigación y el manejo de material biológico (en este caso triatomíneos) que puedan contener microorganismos patógenos, del Título IV de la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de la República de Colombia. No se determinaron categorías de riesgo en humanos.

5. RESULTADOS

5.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS BIOCLIMÁTICOS DE *T. dimidiata* Y *P. geniculatus*.

5.1.1. Sitios de entrenamiento

5.1.1.1. Datos históricos: La base de datos construida cuenta con 479 registros de la distribución de presencia de Triatominae, a nivel de vereda en Santander y se incluyeron 51 variables, así: identificador, nombre de municipio, nombre de vereda, disponibilidad de mapa, observaciones, presencia/ausencia de 12 especies de Triatominae (*E. cuspidatus*, *R. pallescens*, *P. rufotuberculatus*, *T. venosa*, *B. herreri*, *T. maculata*, *P. humeralis*, *P. rufotuberculatus*, *B. corredori*, *R. colombiensis*, *T. dimidiata* y *P. geniculatus*) y reporte de presencia por año (1997-2009), número de viviendas, estadio reportado (ninfas, adultos), número de insectos con datos de infección por tripanosomatidos para *T. dimidiata* y *P. geniculatus*.

5.1.1.2. Datos de campo:

Vigilancia entomológica: Se realizaron visitas a 237 viviendas (Tabla 3) y a escuelas con el fin de promover en la comunidad la vigilancia entomológica, haciendo entrega de material para la captura de triatominos y un afiche de promoción de la vigilancia (Anexo 2). Entre las escuelas visitadas están las de las veredas Santa Rosa y Granada y el colegio Agua Blanca del municipio de San Vicente (Figura 3).

Búsqueda activa método hora/hombre: Esta búsqueda se realizó en las 237 viviendas visitadas para la promoción de la vigilancia comunitaria (Figuras 4 y 5).

El número de individuos capturados en las dos localizaciones seleccionadas como sitios de entrenamiento, se muestra en la tabla 4.

Tabla 3. Viviendas visitadas para la promoción de la vigilancia entomológica

Municipio	Vereda	Total Viviendas
Capitanejo	Chorreras	20
Total Capitanejo		20
El Carmen	Cirales	26
	El Diviso	16
	Honduras alto	12
	Honduras Bajo	13
Total El Carmen		67
San Vicente	El Peltrecho	48
	Granada	37
	Pradera	3
	Santa Rosa	51
Total San Vicente		139
Total general		237



Figura 4. Promoción de la vigilancia comunitaria. A. Escuela Granada. B. Escuela Santa Rosa. C. Vivienda Vereda Granada. Fuente: CINTROP/UIS

Búsqueda pasiva método cebo animal: Las trampas Ángulo se instalaron en cuevas y afloraciones de rocas, de acuerdo al paisaje observado en cada sitio de entrenamiento (Figura 6); en total se instalaron 80 trampas, 20 en cada una de las siguientes veredas: Chorreras (Capitanejo), Granada (San Vicente), El Peltrecho (San Vicente) y Cirales (El Carmen). El número de individuos capturados se muestra en la tabla 4.

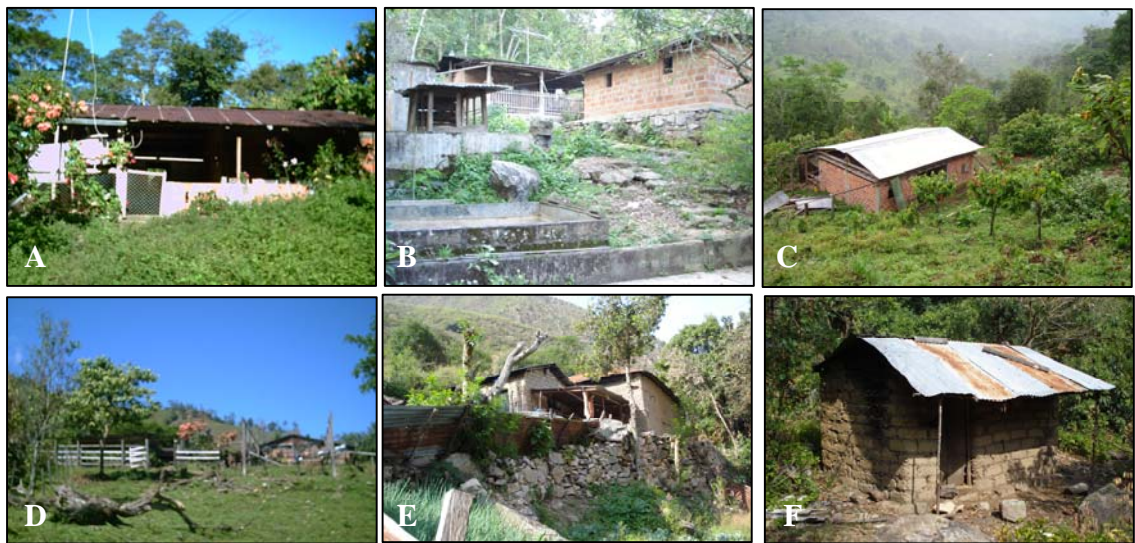


Figura 5. Panorámica de algunas viviendas visitadas en las veredas muestreadas. A. Pradera. B. Granada. C. Cirales. D. Peltrecho Alto. E y F. Chorreras. Fuente: CINTROP/UIS



Figura 6. Algunas de las estructuras muestreadas en las viviendas visitadas. Fuente: CINTROP/UIS



Figura 7. Búsqueda pasiva método cebo animal. A. Afloraciones de rocas (San Vicente). B. Cuevas de rocas (El Carmen). C. Cuevas de rocas (Capitanejo). Fuente: CINTROP/UIS

Búsqueda activa método trampa de luz Shannon: Esta trampa se instaló durante tres noches seguidas en las veredas Granada (San Vicente) y Chorreras (Capitanejo) (Figura 7). No se capturaron Triatominae con este método.



Figura 8. Búsqueda activa método trampa de luz Shannon. Fuente: CINTROP/UIS

Tabla 4. Individuos capturados en los sitios de entrenamiento muestreados

Método de muestreo	Sitio de entrenamiento	<i>T. dimidiata</i>				<i>P. geniculatus</i>			
		Ninfas	Hembras	Machos	Total	Ninfas	Hembras	Machos	Total
Vigilancia comunitaria	San Vicente	0	6	2	8	0	27	17	44
	Capitanejo	0	10	21	31	0	1	13	14
	Total	0	16	23	39	0	28	30	58
Búsqueda activa. Hora/Hombre	San Vicente	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capitanejo	103	14	30	147	0	0	0	0
	Total	103	14	30	147	0	0	0	0
Búsqueda pasiva. Cebo animal. Trampa Ángulo	San Vicente	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capitanejo	16	0	2	18	0	0	0	0
	Total	16	0	2	18	0	0	0	0
Búsqueda activa. Trampa Shannon	San Vicente	0	0	0	0	0	0	0	0
	Capitanejo	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0

Una caracterización ecológica de estos sitios de entrenamiento se puede encontrar en los anexos 3, 4 y 5.

5.1.2. Determinación taxonómica: En total se colectaron 204 individuos de *T. dimidiata* y 58 de *P. geniculatus* (Tabla 4).

5.1.3. Georeferenciación de las unidades geográficas: Se digitalizaron y georeferenciaron, en total, 401 unidades geográficas, 374 veredas y 27 zonas urbanas de Santander (Figura 8).

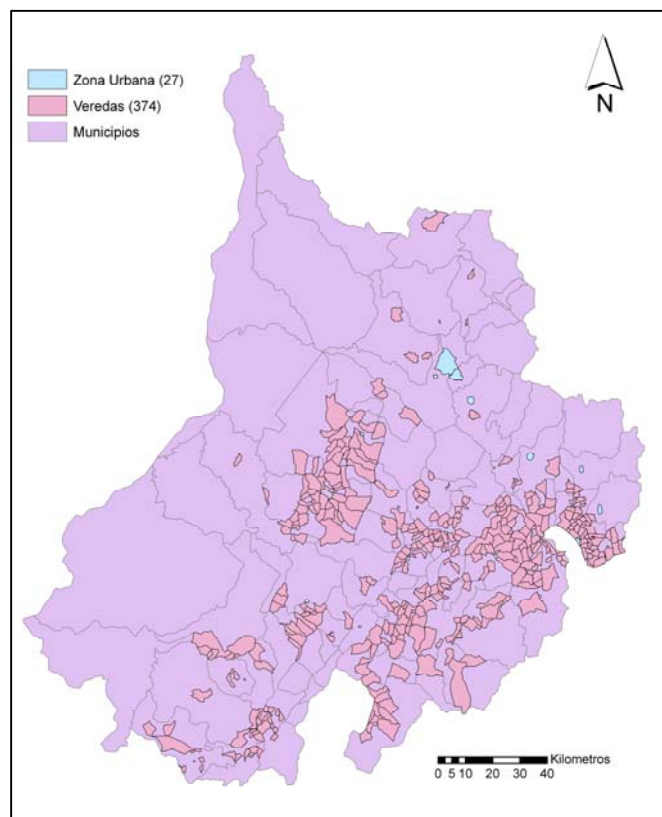


Figura 9. Unidades geográficas digitalizadas y georeferenciadas. Departamento Santander

5.1.4. Variables ambientales: En total se descargaron del sensor remoto MODIS terra, 38 gránulos del producto, MOD13Q1V4, de la serie de tiempo del 2001-2006 y 68 gránulos del producto MOD11A2V4, de la serie de tiempo del 2004-2006.

Luego de procesar los productos descargados, se obtuvieron 60 variables: el modelo de elevación digital (DEM), los mínimos (MIN), máximos (MAX), promedios (PROM) y varianza (VAR) de 6 bandas espectrales y 2 productos operacionales (NDVI, EVI) del sensor MODIS terra y los mínimos (MIN), máximos (MAX), promedios (PROM) de 9 índices calculados con el programa IDRISI (Tabla 5).

Tabla 5. Variables utilizadas en la construcción del modelo bioclimático.

Nombre Variable	Código	Estadísticos	Código	Fuente
Reflectancia Azul	BR			
Reflectancia Roja	RED			
Reflectancia infrarojo medio	MIR	Mínimos	MIN	Variables obtenidas directamente del sensor MODIS
Reflectancia infrarojo cercano	NIR	Máximos	MAX	
Temperatura de la superficie nocturna	LSTN	Promedios	PROM	
Temperatura de la superficie diurna	LSTD	Varianza	VAR	
<i>Enhanced Vegetation Index</i>	EVI			
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	NDVI			
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Calculado)	NDVIC			
<i>Ratio Vegetation Index</i>	RATIO			
<i>Transformed Vegetation Index</i>	TVI		MIN	Variables calculadas con el programa IDRISI
<i>Corrected Transformed Vegetation Index</i>	CTVI	Mínimos	MAX	
<i>Thiam's Transformed Vegetation Index</i>	TTVI	Máximos	PROM	
<i>Ratio Vegetation Index</i>	RVI	Promedios		
<i>Normalized Ratio Vegetation Index</i>	NRVI			
<i>Ashburn Vegetation Index</i>	AVI			
<i>Modified Soil-Adjusted Vegetation Index</i>	MSAVI			
<i>Digital Elevation Model</i>	DEM			Clark Labs

5.1.5. Análisis estadístico: Se construyeron 18 matrices o sitios de entrenamiento basados en los datos históricos y de campo, de acuerdo a los criterios de presencia de cada especie descritos en la tabla 6.

De las localidades reportadas en la base de datos, se registraron 135 ausencias para *P. geniculatus* y *T. dimidiata*. Para la construcción del modelo, las ausencias se asumieron como aquellas veredas ubicadas en municipios donde no se han reportado cada una de estas especies, pero si hay presencia de otros Triatominae, resultando en 86 veredas para *P. geniculatus* y 90 para *T. dimidiata*.

Tabla 6. Criterios usados para la construcción de los sitios de entrenamiento.

N° SE	Descripción	Origen de los datos
0	Veredas y zonas urbanas positivas	
1	Veredas positivas con >10 viviendas	
2	Veredas con 1 vivienda positiva	
3	Veredas con 2-5 viviendas positivas	
4	Veredas con 6-9 viviendas positivas	
5	Veredas positivas en los años 90s	
6	Veredas positivas en los años 00,-05	
7	Veredas positivas en los años 04-08	
8	Veredas positivas en los años 06-08	Históricos
9	Veredas positivas en los años 98-06	
10	Veredas positivas nuevas en el año 06	
11	Veredas nuevas en el año 07	
12	Veredas nuevas en el año 08	
13	Veredas nuevas en los años 06-08	
14	Veredas nuevas en los años 07-08	
15	Solo Zonas urbanas	
16	Solo Veredas	
17	Sitios de entrenamiento muestreados	Campo

5.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES DE *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) EN SANTANDER

5.2.1. Distribución registrada: Se reporta la presencia de *T. dimidiata* en 32 municipios de Santander, distribuido en 120 Veredas y 13 cascos urbanos (Tabla 7 y Figura 9). La dispersión veredal vario del 0-95% y los estadios reportados se pueden revisar en la tabla 7. En el área metropolitana de Bucaramanga solo se ha reportado en el barrio Porvenir. 16 registros no pudieron ser identificados, ya que el nombre de la vereda registrada no correspondía a las veredas de cada municipio o en la etiqueta del frasco faltaba esa información.

5.2.2. Distribución potencial. Modelo bioclimático: Los modelos bioclimáticos obtenidos y sus medidas de concordancia se muestran en la Tabla 8. Los mapas predictivos obtenidos se pueden observar en las figuras 10, 11 y 12 y las ecuaciones utilizadas para obtenerlos en la tabla 9. No se obtuvieron modelos

para los SE, 11, 12 y 14. El conjunto de datos seleccionado fue el correspondiente al SE "1", que incluye veredas con más de 10 viviendas positivas, el cual obtuvo las medidas de concordancia y estadísticas más aceptables de todos los SE. Este modelo clasificó correctamente 73% de los sitios de presencia (sensibilidad) y el 99%, de los sitios de ausencia (especificidad); con un grado de acuerdo bueno (0.65) según el índice Kappa y valores de ROC de 0.82 para los datos promediados y de 0.80 para los no promediados. El Modelo bioclimático seleccionado muestra 2 variables, en orden de mayor a menor contribución, el máximo del índice de vegetación NDVI y el máximo de la temperatura de la superficie diurna, como las que mejor describen la distribución geográfica de *T. dimidiata* en Santander. Las funciones de clasificación y los coeficientes estandarizados que muestran el nivel de importancia de estas variables se muestra en la tabla 10.

Tabla 7. Reporte consolidado de la distribución de *T. dimidiata* en Santander

Provincia	Municipio	Reporte Urbano	N° Veredas	% Dispersión Veredal	N° Registros sin confirmar	Estadios
Comunera	Chima		2	12.50	0	adultos
	El Guacamayo		1	8.33	0	ninfas
	Guadalupe	x	0	0.00	0	adultos
	Guapota		0	0.00	1	ninfas
	Hato		2	28.57	0	adultos
	Socorro		5	22.73	0	adultos, ninfas
	Suaita		2	8.00	0	adultos, ninfas
García Rovira	Capitanejo	x	18	94.74	1	adultos, ninfas
	Carcasi	x	0	0.00	0	ninfas
	Concepción	x	0	0.00	0	adultos, ninfas
	Enciso		9	75.00	0	adultos, ninfas
	Macaravita	x	7	70.00	1	adultos, ninfas
	Málaga		1	11.11	0	adultos
	Molagavita		7	41.18	3	adultos, ninfas
	San Andrés	x	1	4.76	0	adultos, ninfas
	San José Miranda		3	18.75	0	adultos, ninfas
	San Miguel		6	60.00	0	adultos, ninfas
Guanentina	Barichara	x	1	5.56	1	adultos
	Cabrera		2	20.00	0	adultos
	Cepita		1	6.67	0	adultos
	Charala		1	2.94	0	adultos
	Curití		1	2.56	0	adultos
	Mogotes	x	10	35.71	0	adultos, ninfas
	Onzaga	x	4	28.57	2	adultos, ninfas
	Pinchote	x	4	50.00	2	adultos
	San Gil	x	13	43.33	2	adultos, ninfas
	San Joaquín	x	7	58.33	1	adultos, ninfas
Valle de San José		1	7.14	0	adultos	
Mares	El Carmen		5	7.69	0	adultos
	San Vicente Chucuri		5	13.16	2	adultos, ninfas
Soto	Bucaramanga	x	0	-	0	adultos
Vélez	Bolívar		1	0.75	0	adultos
TOTAL	32	13	120	17.27	16	

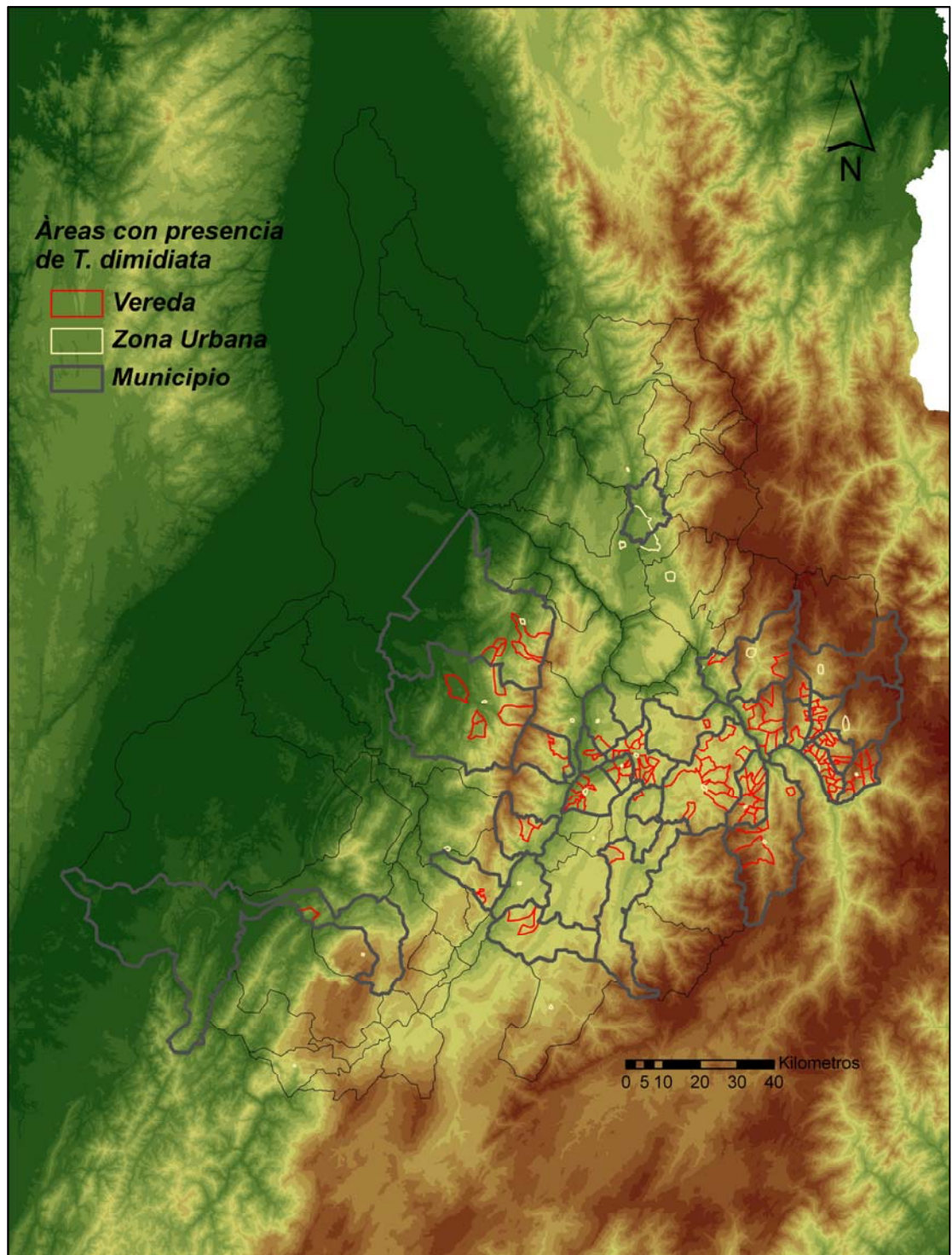


Figura 10. Mapa de distribución espacial de *T. dimidiata* en Santander

Tabla 8. Medidas de concordancia para *T. dimidiata*. *Valores promedio. **Valores sin promediar.

SE	VPR	FPR	ESPC	EXACT	PPV	NPV	FDR	CCM	K	Eigen valor	Corr Canónica	Wilk & Apos	Nº Variables	ROC*	ROC**
0	0.870	0.226	0.774	0.830	0.844	0.809	0.156	0.649	0.648	0.498	0.576	0.668	4	0.822	0.805
1	0.727	0.011	0.989	0.937	0.941	0.936	0.059	0.793	0.783	1.186	0.737	0.457	2	0.939	0.763
2	0.433	0.090	0.910	0.718	0.765	0.704	0.235	0.401	0.370	0.188	0.397	0.842	1	0.735	0.792
3	0.524	0.476	0.524	0.809	0.808	0.815	0.192	0.540	0.516	0.411	0.540	0.709	1	0.811	0.774
4	0.455	0.045	0.955	0.900	0.556	0.934	0.444	0.448	0.445	0.434	0.550	0.697	1	0.928	0.888
5	0.409	0.056	0.944	0.767	0.783	0.764	0.217	0.439	0.401	0.243	0.442	0.804	1	0.773	0.766
6	0.856	0.124	0.876	0.866	0.883	0.848	0.117	0.731	0.731	0.899	0.688	0.527	4	0.865	0.801
7	0.697	0.124	0.876	0.794	0.828	0.772	0.172	0.587	0.580	0.599	0.612	0.625	3	0.8	0.791
8	0.545	0.045	0.955	0.844	0.818	0.850	0.182	0.578	0.559	0.544	0.594	0.648	3	0.834	0.802
9	0.850	0.180	0.820	0.838	0.871	0.793	0.129	0.668	0.667	0.564	0.600	0.640	4	0.832	0.797
10	0.143	0.022	0.978	0.917	0.333	0.935	0.667	0.180	0.163	0.196	0.405	0.836	2	0.634	0.799
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0.071	0.022	0.978	0.854	0.333	0.870	0.667	0.100	0.073	0.133	0.342	0.883	1	0.602	0.738
14	0.000	0.000	1.000	0.927	-	0.927	-	-	0.000	0.062	0.241	0.942	1	-	-
15	0.385	0.045	0.955	0.882	0.556	0.914	0.444	0.399	0.391	0.432	0.549	0.698	1	0.735	0.890
16	0.828	0.169	0.831	0.829	0.871	0.779	0.129	0.654	0.653	0.460	0.561	0.685	4	0.825	0.792
17	0.500	0.045	0.955	0.926	0.429	0.966	0.571	0.424	0.422	0.188	0.398	0.842	2	0.697	0.892

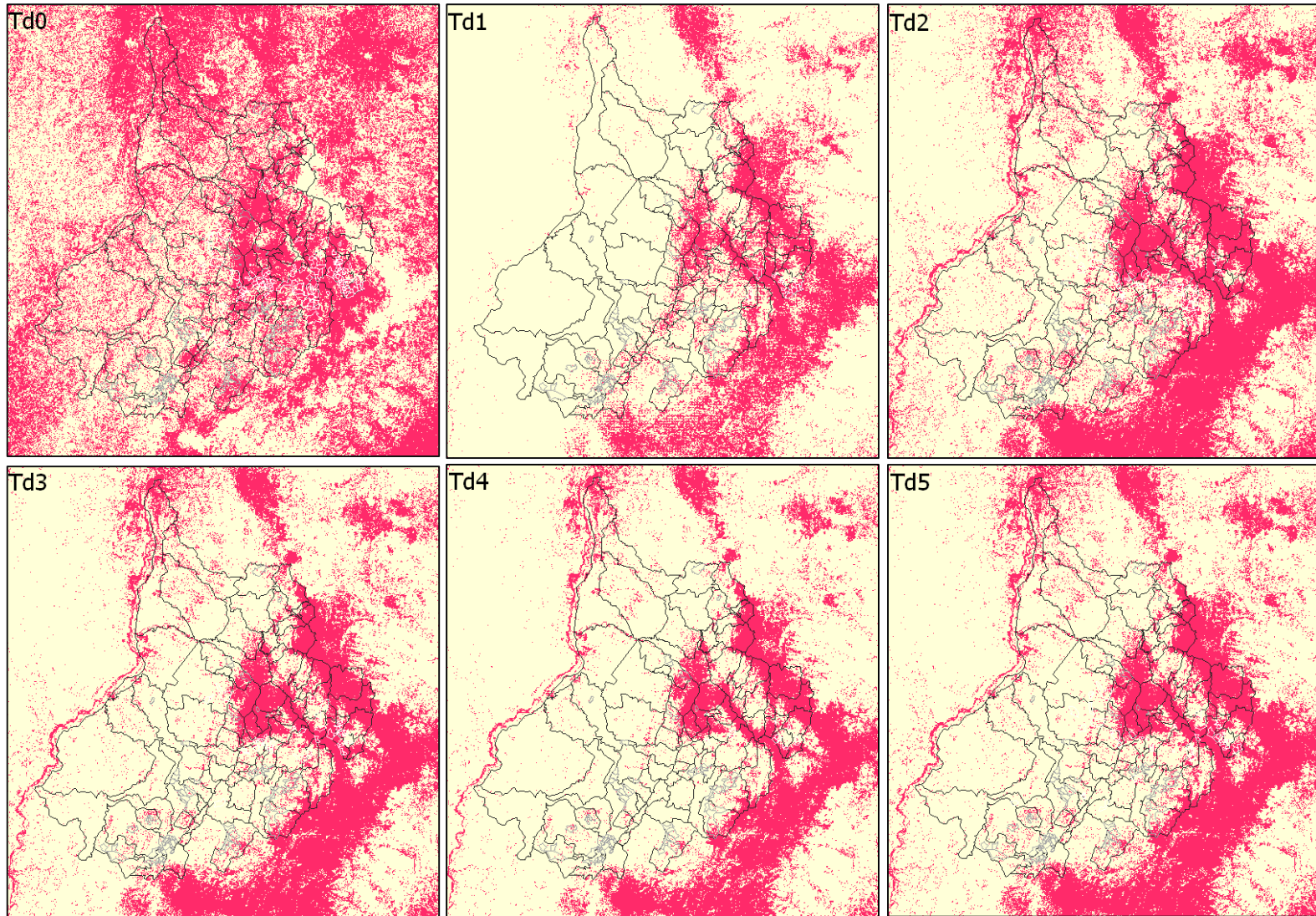


Figura 11. Modelos predictivos de distribución de *T. dimidiata* en Santander (Td0 – Td5). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia

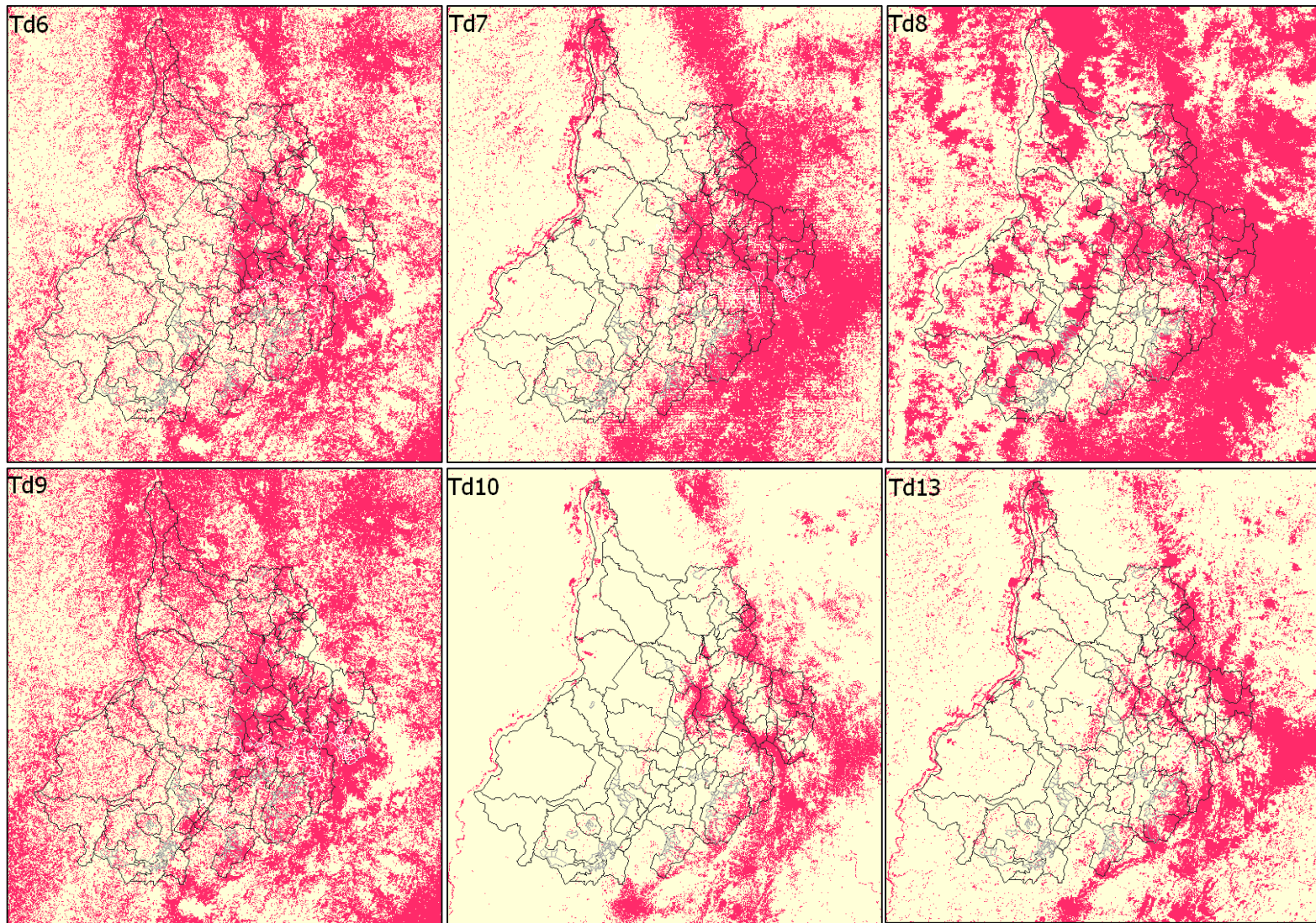


Figura 12. Modelos predictivos de distribución de *T. dimidiata* en Santander (Td6 – Td10, Td13). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia.

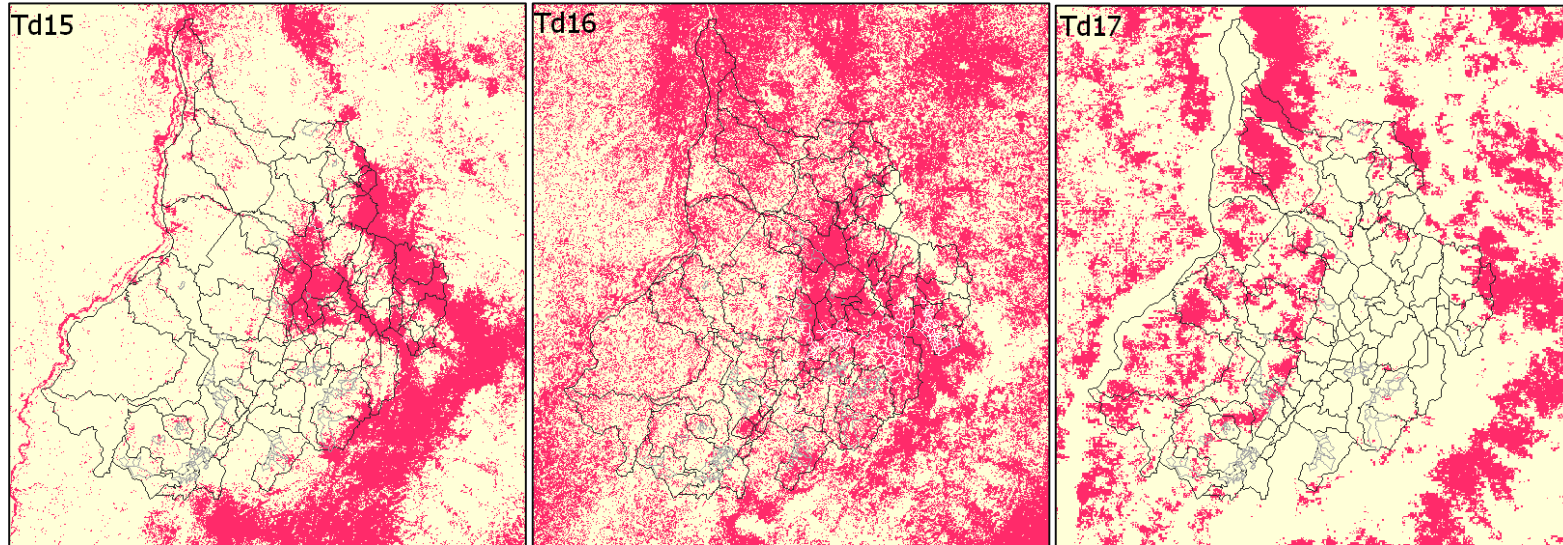


Figura 13. Modelos predictivos de distribución de *T. dimidiata* en Santander (Td15 – Td17). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia.

Tabla 9. Ecuaciones para cada función de presencia (SI) y ausencia (NO) de los sitios de entrenamiento de *T. dimidiata*

SE	Función	Ecuaciones
TD0	SI	10227.28*[MSAVI2MIN]-0.17*[AVIMIN]-7660.95*[NDVICMIN]+16.10*[LSTNMAX]-1626.27
	NO	10107.33*[MSAVI2MIN]-0.15*[AVIMIN]-7562.77*[NDVICMIN]+15.82*[LSTNMAX]-1596.96
TD1	SI	0.43*[LSTDMAX] + 539.88*[NDVIMAX] - 228.86
	NO	0.51*[LSTDMAX] + 606.98*[NDVIMAX] - 288.39
TD2	SI	-118.88*[NRVIMIN] - 40.60
	NO	-130.58*[NRVIMIN] - 48.41
TD3	SI	-105.67*[NRVIMIN] - 34.34
	NO	-123.36*[NRVIMIN] - 45.63
TD4	SI	-133.51*[NRVIMIN] - 41.88
	NO	-164.76*[NRVIMIN] - 60.54
TD5	SI	-99.93*[NRVIMIN] - 33.56
	NO	-112.83*[NRVIMIN] - 41.78
TD6	SI	10459.31*[MSAVIMIN]-0.09*[AVIMIN]-7946.71*[NDVICMIN]+15.74*[LSTNMAX] -1631.35
	NO	10281.27*[MSAVIMIN]-0.06*[AVIMIN]-7796.79*[NDVICMIN]+15.48*[LSTNMAX] -1590.81
TD7	SI	-0.23*[AVIMIN]+0.27*[LSTDMAX]+442.05*[NDVIMAX] -171.28
	NO	-0.21*[AVIMIN]+0.30*[LSTDMAX]+458.66*[NDVIMAX] -191.94
TD8	SI	5.11*[LSTDPROM]+906.42*[NDVIMAX]-177.28*[NIRRMIN] -432.29
	NO	5.27*[LSTDPROM]+941.47*[NDVIMAX]-155.39*[NIRRMIN] -470.58
TD9	SI	10220.16*[MSAVIMIN]-0.17*[AVIMIN]-7683.73*[NDVICMIN]+15.96*[LSTNMAX] -1615.76
	NO	10082.83*[MSAVIMIN]-0.15*[AVIMIN]-7570.29*[NDVICMIN]+15.68*[LSTNMAX] -1582.49
TD10	SI	-836.98*[EVIVAR]+73.6379*[EVIMAX] -40.09
	NO	-999.42*[EVIVAR]+88.00*[EVIMAX] -53.57
TD13	SI	0.15*[AVIMIN] -16.97
	NO	0.18*[AVIMIN] -21.44
TD15	SI	-137.95*[NRVIMIN] -43.75
	NO	-167.44*[NRVIMIN] -61.55
TD16	SI	7684.66*[MSAVIMIN]-0.09*[AVIMIN]+5795.55*[NRVIMIN]+13.18*[LSTNMAX] -1220.60
	NO	7591.17*[MSAVIMIN]-0.073*[AVIMIN]+5717.61*[NRVIMIN]+12.93*[LSTNMAX] -1198.84
TD17	SI	-6.48*[LSTDVAR]+13042.59*[REDRPPROM] -1837.80
	NO	-6.66*[LSTDVAR]+13323.88*[REDRPPROM] -1937.34

Tabla 10. Coeficientes estandarizados y funciones de clasificación de las variables discriminadas en el modelo predictivo (1) de *T. dimidiata*

Variable	Coeficiente estandarizado	Función de clasificación	
		Presencia	Ausencia
LSTDMAX	0.45	+0.43	+0.51
NDVIMAX	0.99	+539.88	+606.98

5.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POBLACIONES DE *Panstrongylus geniculatus* (Latreille, 1811) EN SANTANDER

5.3.1. **Distribución registrada:** Se reporta la presencia de *P. geniculatus* en 40

municipios de Santander, distribuido en 125 Veredas y 12 cascos urbanos (Tabla 11). El mapa con su distribución se muestra en la figura 13. Todos los registros corresponden a ejemplares adultos de *P. geniculatus*, a excepción de cinco municipios de la provincia de García Rovira y uno en la comunera, donde se reporta la captura de ninfas (Tabla 11). En el área metropolitana de Bucaramanga, se han capturado triatominos en los barrios Bucaramanga, Terrazas, Porvenir, Ciudadela, Real de Minas, Mutis, Sotomayor, Ciudad Venecia, Chorreras de San Juan, Campo Hermoso, San Alonso (Bucaramanga), Altos de Caracolí, Altos Campestre, Versalles (Floridablanca) y El Refugio (Piedecuesta). 26 registros no pudieron ser identificados, ya que el nombre de la vereda registrado no se encontró en el listado de veredas de cada municipio o en la etiqueta del frasco faltaba esa información.

5.3.2. Distribución potencial. Modelo bioclimático: Los modelos bioclimáticos obtenidos en los SE para *P. geniculatus* mostraron en líneas generales buenas medidas de concordancia y de acuerdo (Tabla 12); además las áreas de distribución de la ausencias y presencias fueron similares para la mayoría de las matrices como se puede observar en las figuras 14, 15 y 16. Las ecuaciones utilizadas para obtenerlos se encuentran en la tabla 13.

El conjunto de datos seleccionado fue el SE "0", ya que éste representa todos los sitios de presencia registrados para esta especie. Este modelo clasificó correctamente 92% de los sitios de presencia (sensibilidad) y 95% de los sitios de ausencia (especificidad); su valor de Kappa se ubica en el grado de acuerdo muy bueno (0.86) y los valores de ROC tanto para los datos promediados (0.92) como sin promediar (0.93) son cercanos a 1. El Modelo bioclimático seleccionado muestra, en orden de mayor a menor contribución, 3 variables, dos correspondientes a la temperatura de la superficie y un índice de vegetación, LSTNMAX, LSTDROM y EVIMIN, como las que mejor describen la distribución

geográfica de *P. geniculatus* en Santander. Las funciones de clasificación y los coeficientes estandarizados que muestran el nivel de importancia de estas variables se muestra en la tabla 14.

Tabla 11. Reporte consolidado de la distribución de *P. geniculatus* en Santander

Provincia	Municipio	Reporte Urbano	N° veredas Confirmadas	% Dispersión veredal	N° Veredas sin confirmar	Estadios
Comunera	Contratación		1	8.33	0	adultos
	El Guacamayo		2	16.67	0	adultos
	Galán	x	0	0.00	0	adultos
	Oiba		1	4.00	0	adultos
	Santa Helena Opón	x	0	0.00	0	adultos
	Simacota		1	2.78	0	adultos
	Socorro		3	13.64	0	adultos, n4
García Rovira	Capitanejo	x	10	52.63	1	adultos, n5
	Concepción	x	0	0.00	0	adultos, n4
	Enciso		4	33.33	1	adultos, n4, n5
	Macaravita		5	50.00	0	adultos
	Málaga		2	22.22	0	adultos, n5
	Molagavita		4	23.53	2	adultos
	San José Miranda		3	18.75	0	n4
San Miguel		1	10.00	0	adultos	
Guanentina	Barichara		5	27.78	0	adultos
	Cabrera		3	30.00	0	adultos
	Cepita		3	20.00	0	adultos
	Curiti		1	2.56	0	adultos
	Jordán		1	16.67	1	adultos
	Mogotes		3	10.71	1	adultos
	Onzaga	x	0	0.00	0	adultos
	Pinchote	x	2	25.00	2	adultos
	San Gil		4	13.33	0	adultos
	San Joaquín	x	0	0.00	1	adultos
Villanueva		1	6.67	0	adultos	
Mares	Betulia		2	5.00	1	adultos
	El Carmen	x	26	40.00	2	adultos
	San Vicente Chucuri		18	47.37	8	adultos
Soto	Bucaramanga	x	0	0.00	0	adultos
	El Playón		1	6.25	3	adultos
	Floridablanca	x	0	0.00	0	adultos
	Lebrija		3	4.76	0	adultos
	Piedecuesta	x	1	1.79	0	adultos
	Rio negro	x	0	0.00	0	adultos
Vélez	Bolívar		3	2.26	0	adultos
	Florián		2	6.67	0	adultos
	La Belleza		2	14.29	0	adultos
	La Paz		6	27.27	0	adultos
	Sucre		1	3.85	3	adultos
TOTAL	40	12	125	11.69	26	

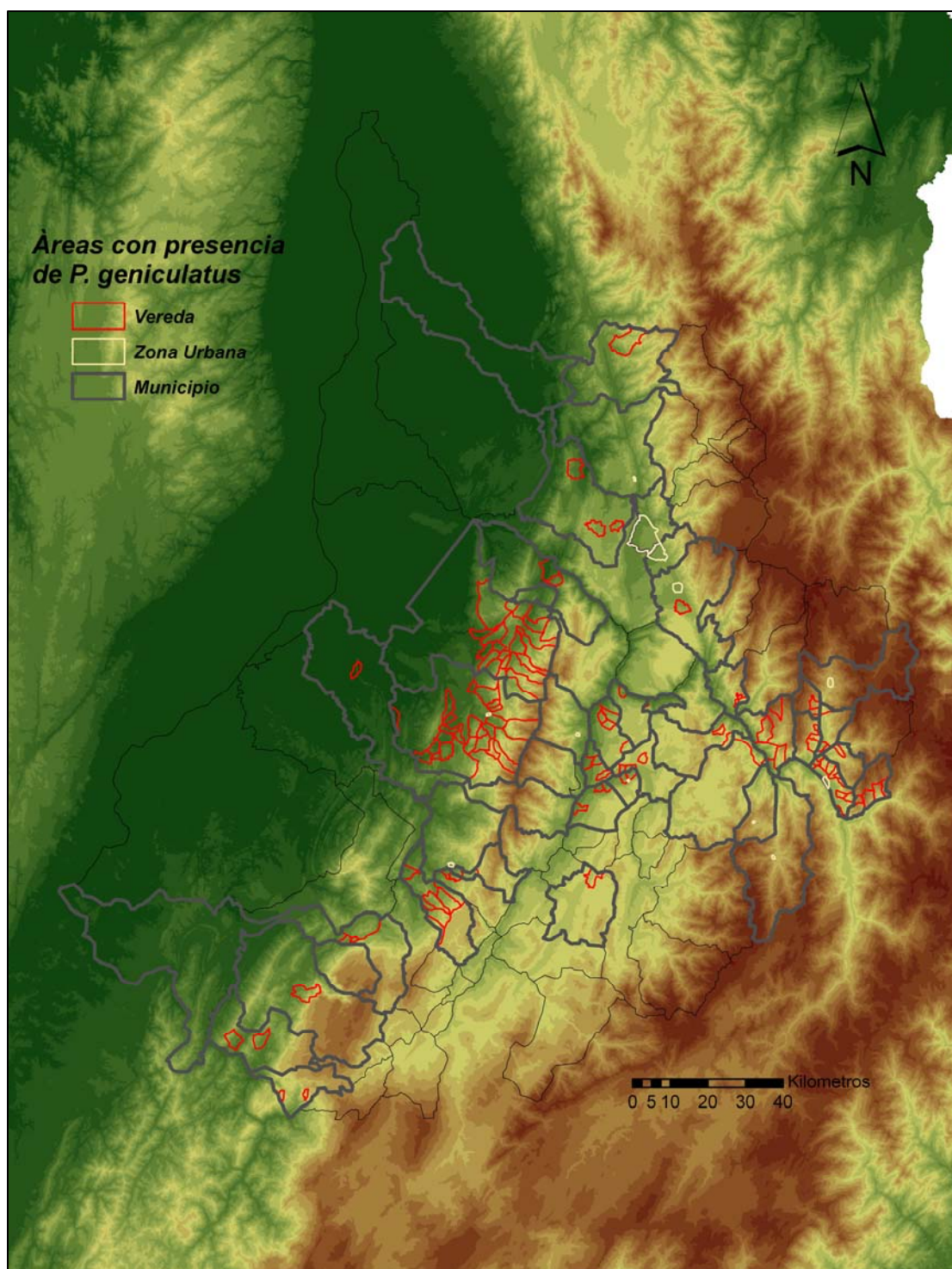


Figura 14. Mapa de distribución espacial de *P. geniculatus* en Santander.

Tabla 12. Medidas de concordancia para *P. geniculatus*. *Valores promedio. **Valores sin promediar.

SE	VPR	FPR	ESPC	EXACT	PPV	NPV	FDR	CCM	K	Eigen valor	Corr Canónica	Wilk & Apos	Nº Variables	ROC*	ROC**
PG0	0.918	0.047	0.953	0.932	0.969	0.880	0.031	0.860	0.858	2.106	0.823	0.322	3	0.924	0.931
PG1	1.000	0.012	0.988	0.989	0.833	1.000	0.167	0.907	0.903	1.768	0.799	0.361	5	0.917	0.888
PG2	0.894	0.035	0.965	0.929	0.962	0.901	0.038	0.861	0.859	2.382	0.839	0.296	3	0.932	0.940
PG3	0.879	0.035	0.965	0.941	0.906	0.953	0.094	0.852	0.851	2.476	0.844	0.288	4	0.93	0.954
PG4	1.000	0.012	0.988	0.990	0.917	1.000	0.083	0.952	0.951	0.914	3.031	0.867	5	0.958	0.914
PG5	1.000	0.012	0.988	0.993	0.980	1.000	0.020	0.984	0.984	6.782	0.934	0.129	7	0.99	0.968
PG6	0.932	0.071	0.929	0.931	0.920	0.940	0.080	0.861	0.861	2.593	0.849	0.278	7	0.93	0.910
PG7	0.931	0.035	0.965	0.951	0.947	0.953	0.053	0.898	0.898	3.131	0.871	0.242	6	0.95	0.943
PG8	0.944	0.024	0.976	0.967	0.944	0.976	0.056	0.921	0.921	3.906	0.892	0.204	4	0.96	0.949
PG9	0.917	0.035	0.965	0.937	0.974	0.891	0.026	0.873	0.871	2.148	0.826	0.318	3	0.932	0.927
PG10	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	1.000	1.000	4.884	0.911	0.170	7	1.00	0.877
PG11	0.988	0.125	0.875	0.978	0.988	0.875	0.012	0.863	0.863	2.096	0.823	0.323	5	0.932	0.918
PG12	0.750	0.000	1.000	0.989	1.000	0.988	0.000	0.861	0.851	1.273	0.748	0.440	5	0.994	0.887
PG13	0.938	0.023	0.977	0.971	0.882	0.988	0.118	0.892	0.892	3.271	0.875	0.234	4	0.957	0.946
PG14	1.000	0.077	0.923	0.990	0.988	1.000	0.012	0.955	0.954	2.882	0.862	0.258	6	0.962	0.927
PG15	0.667	0.012	0.988	0.948	0.889	0.955	0.111	0.743	0.734	1.245	0.745	0.445	3	0.922	0.903
PG16	0.934	0.057	0.943	0.938	0.958	0.911	0.042	0.873	0.872	2.756	0.857	0.266	8	0.934	0.920
PG17	0.923	0.012	0.988	0.980	0.923	0.988	0.077	0.911	0.911	3.161	0.872	0.240	4	0.956	0.954

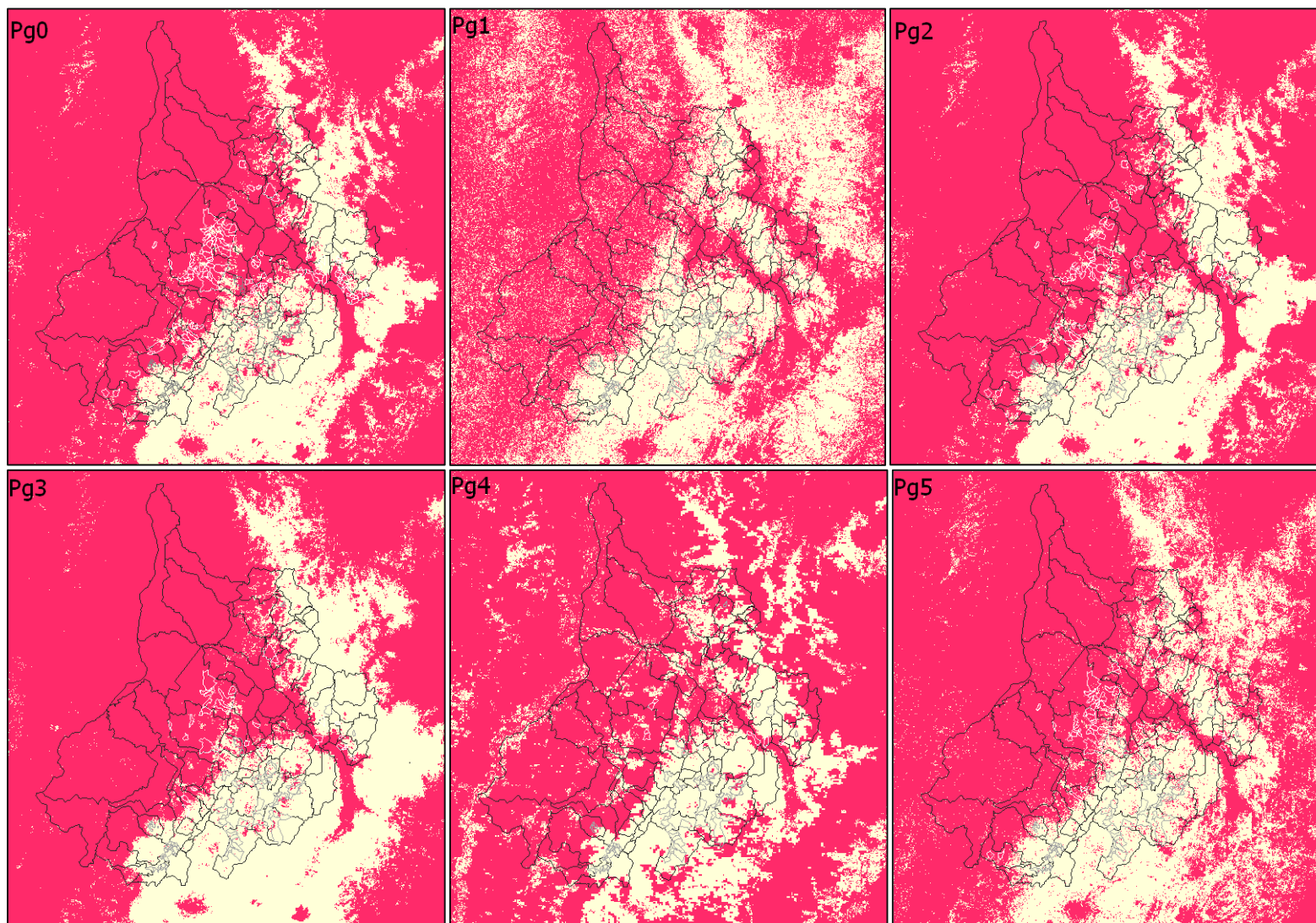


Figura 15. Modelos predictivos de distribución de *P. geniculatus* en Santander (Pg0 – Pg5). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia.

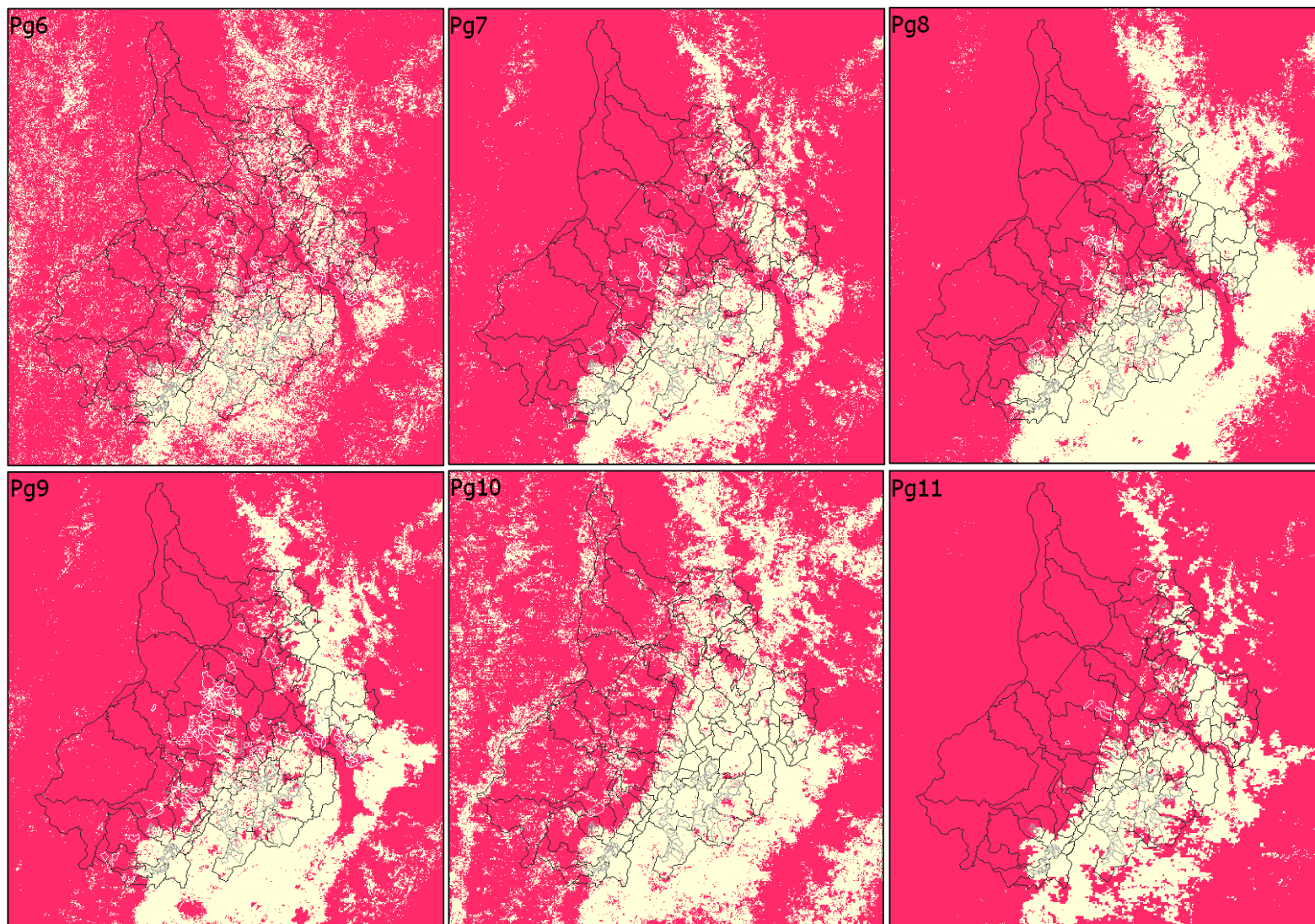


Figura 16. Modelos predictivos de distribución de *P. geniculatus* en Santander (Pg6 – Pg11). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia.

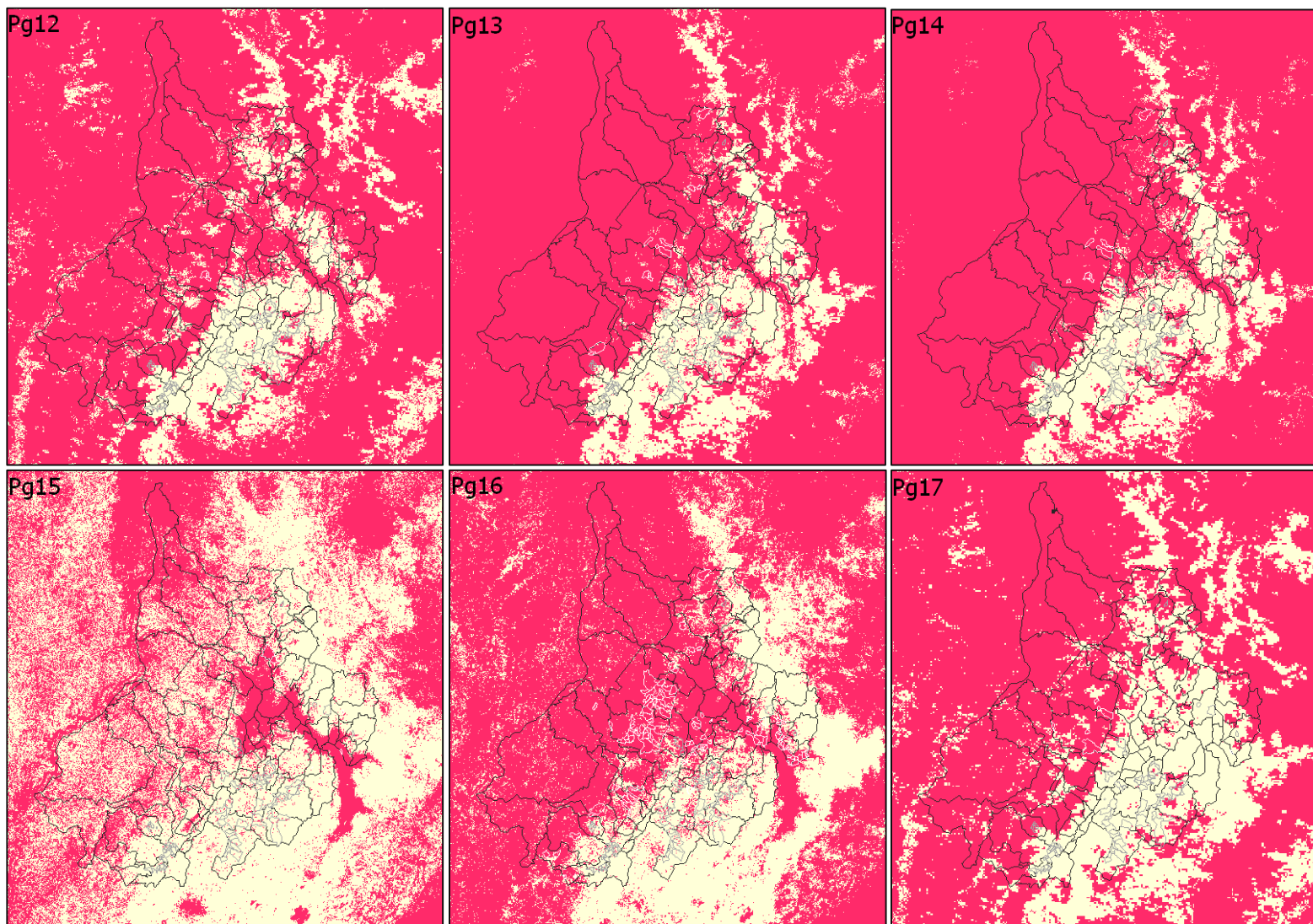


Figura 17. Modelos predictivos de distribución de *P. geniculatus* en Santander (Pg12 – Pg17). Áreas rojas: presencia. Áreas Amarillas: ausencia. Borde negro: división municipal de Santander. Borde blanco: veredas con presencia real. Borde gris: veredas con ausencia.

Tabla 13. Ecuaciones para cada función de presencia (SI) y ausencia (NO) de *P. geniculatus*

SE	Función	Ecuaciones
PG0	SI	$3.58*[LSTNMAX]+0.21*[LSTDPROM]+20.11*[EVIMIN]$ 40.54
	NO	$2.29*[LSTNMAX]+0.39*[LSTDPROM]+53.96*[EVIMIN]$ -33.06
PG1	SI	$34559.31*[MSAVIMIN]-25.47*[AVIMIN]-24.38*[LSTNMAX]+147.908*[NDVIMIN]+251264.818*[REDRMIN]$ -13925.23
	NO	$35500.42*[MSAVIMIN]-26.075*[AVIMIN]-27.10*[LSTNMAX]+169.57*[NDVIMIN]+257791.48*[REDRMIN]$ -14675.24
PG2	SI	$3.92*[LSTNMAX]+0.18*[LSTDPROM]+9.97*[EVIMIN]$ -42.41
	NO	$2.47*[LSTNMAX]+0.34*[LSTDPROM]+47.18*[EVIMIN]$ -32.50
PG3	SI	$-33.55*[MSAVIMAX]+0.047*[AVIMIN]+4.98*[LSTNMAX]+17.20*[NDVIMIN]$ -51.56
	NO	$-22.54*[MSAVIMAX]+0.08*[AVIMIN]+3.10*[LSTNMAX]+28.16*[NDVIMIN]$ -36.10
PG4	SI	$-6.55E-4*[RATIOMIN]+2.08*[LSTNMAX]+7.38*[LSTDMIN]+3.10*[NDVIMIN]+207.81*[EVIMAX]$ -170.23
	NO	$-9.17E-34*[RATIOMIN]-1.66*[LSTNMAX]+8.69*[LSTDMIN]+41.94*[NDVIMIN]+252.18*[EVIMAX]$ -175.75
PG5	SI	$16178.24*[MSAVIMIN]+4.86*[LSTNMAX]-7.26*[LSTDVAR]-359.54*[NDVIMIN]+5944.54*[EVIVAR]+127851.73*[REDRMIN]-10888.74*[NIRRMIN]$ -8691.78
	NO	$16481.19*[MSAVIMIN]+1.98*[LSTNMAX]-7.39*[LSTDVAR]-327.26*[NDVIMIN]+6499.33*[EVIVAR]+130145.05*[REDRMIN]-10986.70*[NIRRMIN]$ -8986.95
PG6	SI	$615.57*[MSAVIPROM]-16.37*[RATIOPROM]+2.94*[LSTNMAX]+4.33*[LSTDPROM]-352.93*[EVIMIN]+98.16*[EVIMAX]+520.58*[NIRRMAX]$ -378.78
	NO	$572.52*[MSAVIPROM]-15.20*[RATIOPROM]+1.81*[LSTNMAX]+4.50*[LSTDPROM]-308.40*[EVIMIN]+125.96*[EVIMAX]+467.94*[NIRRMAX]$ -344.48
PG7	SI	$5.58*[LSTNMAX]+3.91*[LSTDPROM]-10.00*[NDVIMIN]+926.87*[NDVIMAX]-290.01*[NIRRMIN]-96.52*[NIRRMAX]$ -445.02
	NO	$3.67*[LSTNMAX]+4.16*[LSTDPROM]-4.79*[NDVIMIN]+976.75*[NDVIMAX]-224.10*[NIRRMIN]-131.84*[NIRRMAX]$ -461.32
PG8	SI	$10.39*[LSTNMAX]+105.24*[NDVIMIN]-262.99*[NIRRMIN]+172.96*[BRMAX]$ -122.01
	NO	$7.45*[LSTNMAX]+112.24*[NDVIMIN]-174.07*[NIRRMIN]+148.62*[BRMAX]$ -86.16
PG9	SI	$3.62*[LSTNMAX]+0.24*[LSTDPROM]+26.06*[EVIMIN]$ -42.16
	NO	$2.34*[LSTNMAX]+0.41*[LSTDPROM]+59.99*[EVIMIN]$ -34.80
PG10	SI	$-0.068*[AVIPROM]+10.92*[LSTNMAX]+1.14*[LSTDPROM]+328.95*[NIRRMAX]-312.07*[MIRRMIN]+354.99*[MIRRMAX]-132.95*[BRMAX]$ -235.72
	NO	$0.22*[AVIPROM]+6.03*[LSTNMAX]+3.73*[LSTDPROM]+168.95*[NIRRMAX]-917.88*[MIRRMIN]+863.28*[MIRRMAX]-302.87*[BRMAX]$ -181.29
PG11	SI	$0.13*[DEM4]+24.22*[LSTNMAX]+9.02*[LSTDMIN]-38.09*[NIRRMIN]+114.64*[BRMAX]$ -421.28
	NO	$0.14*[DEM4]+21.23*[LSTNMAX]+10.27*[LSTDMIN]+50.51*[NIRRMIN]+76.74*[BRMAX]$ -415.61
PG12	SI	$188510.55*[RVIMIN]+133608.56*[NDVICMIN]-10.02*[LSTNMAX]-14.67*[LSTDVAR]+54.41*[LSTDMIN]$ -68692.87
	NO	$187182.50*[RVIMIN]+132731.00*[NDVICMIN]-12.99*[LSTNMAX]-14.97*[LSTDVAR]+55.87*[LSTDMIN]$ -67975.82
PG13	SI	$-0.31*[AVIMIN]+7.642*[LSTNMAX]+4.30*[LSTDMIN]+258.13*[NIRRMAX]$ -161.69
	NO	$-0.19*[AVIMIN]+3.76*[LSTNMAX]+5.57*[LSTDMIN]+191.54*[NIRRMAX]$ -109.74
PG14	SI	$0.28*[DEM4]-0.43*[AVIMIN]+31.95*[LSTNMAX]+22.92*[LSTDMIN]+2128.23*[NDVIMAX]-165.98*[BRMAX]$ -1599.15
	NO	$0.29*[DEM4]-0.35*[AVIMIN]+29.37*[LSTNMAX]+24.57*[LSTDMIN]+2202.14*[NDVIMAX]-210.43*[BRMAX]$ -1676.84
PG15	SI	$16.57*[NDVICPROM]+4.24*[LSTNMAX]-12.24*[EVIMIN]$ -47.64
	NO	$-1.08*[NDVICPROM]+2.98*[LSTNMAX]+57.69*[EVIMIN]$ -33.17
PG16	SI	$0.09*[DEM4]+1.00*[AVIPROM]+387.78*[NRVIPROM]+5.67*[RATIOPROM]+13.20*[LSTNMAX]-3.96*[LSTDVAR]-122.67*[NDVIMIN]+404.69*[NIRRMIN]$ -1297.59
	NO	$0.088*[DEM4]+0.90*[AVIPROM]+412.83*[NRVIPROM]+7.57*[RATIOPROM]+11.32*[LSTNMAX]-4.02*[LSTDVAR]-110.95*[NDVIMIN]+471.92*[NIRRMIN]$ -296.97
PG17	SI	$-6.14*[LSTNMAX]-3.79*[LSTDVAR]-3.74*[LSTDPROM]+4.89*[LSTDMIN]$ -966.96
	NO	$-8.98*[LSTNMAX]-4.10*[LSTDVAR]-3.26*[LSTDPROM]+6.06*[LSTDMIN]$ -1118.53

Tabla 14. Coeficientes estandarizados y funciones de clasificación de las variables discriminadas en el modelo predictivo (0) de *P. geniculatus*

Variable	Coeficiente estandarizado	Función de clasificación	
		Presencia	Ausencia
LSTNMAX	-0,974882	3.58	2.29
LSTDPROM	0,413645	0.21	0.39
EVIMIN	0,784848	20.11	53.96

5.4. DISTRIBUCIÓN DE LA INFECCIÓN POR TRIPANOSOMAS EN *T. dimidiata* Y *P. geniculatus* EN SANTANDER

En total se procesaron por examen directo del contenido intestinal, 124 individuos, 114 de *T. dimidiata* y 10 de *P. geniculatus*; los resultados se observan en la tabla 15.

Tabla 15. Infección por tripanosomatidos de *T. dimidiata* y *P. geniculatus* según la procedencia

Municipio	Nº individuos positivos /Nº examinados	% Infección	Especie
Capitanejo	11/88	12.5	<i>T. dimidiata</i>
	0/0	-	<i>P. geniculatus</i>
El Carmen	2/2	100	<i>T. dimidiata</i>
	0/0	-	<i>P. geniculatus</i>
San Vicente	0/2	0	<i>T. dimidiata</i>
	3/5	60	<i>P. geniculatus</i>
Concepción	1/20	5	<i>T. dimidiata</i>
Macaravita	0/2	0	<i>T. dimidiata</i>
Rio Negro	1/1	100	<i>P. geniculatus</i>
Floridablanca	2/2	100	<i>P. geniculatus</i>
Piedecuesta	0/1	0	<i>P. geniculatus</i>
Lebrija	0/1	0	<i>P. geniculatus</i>

Con base en la información consolidada en la base de datos históricos se estableció un porcentaje de infección natural de *T. dimidiata* del 13.8% luego de los registros de exámenes realizados en 783 individuos procedentes de 19 municipios (Tabla 16) y de 45.6% en *P. geniculatus* en 79 individuos de 22 municipios (Tabla 17).

En la figura 17, se encuentra el mapa con la distribución de la infección de *T. dimidiata* y en la figura 18 de *P. geniculatus* en Santander.

Tabla 16. Consolidado de la infección de *T. dimidiata* en Santander

Municipio	Procedencia	Dispersión	
		Veredal de la infección	% Infección
Cabrera	Rural	0/1	0.00
Capitanejo	Zu	1/1	50.00
	Rural	10/14	17.67
Cepita	Rural	0/1	0.00
Chima	Rural	0/1	0.00
Concepción	Zu	1/1	5.00
El Carmen	Rural	1/1	100.00
Enciso	Rural	3/5	21.43
Macaravita	Rural	6/6	9.57
	Zu	1/1	18.18
Mogotes	Rural	1/2	50.00
	Zu	1/1	16.67
Molagavita	Rural	1/3	10.00
Onzaga	Rural	1/1	27.78
	Zu	0/1	0.00
Pinchote	Rural	1/2	12.50
San Gil	Rural	2/2	50.00
	Zu	1/1	100.00
San Joaquín	Rural	0/3	0.00
	Zu	1/1	3.70
San José Miranda	Rural	0/2	0.00
San Miguel	Rural	1/3	40.00
San Vicente de Chucuri	Rural	0/2	0.00
Socorro	Rural	1/2	25.00
Suaita	Rural	0/1	0.00

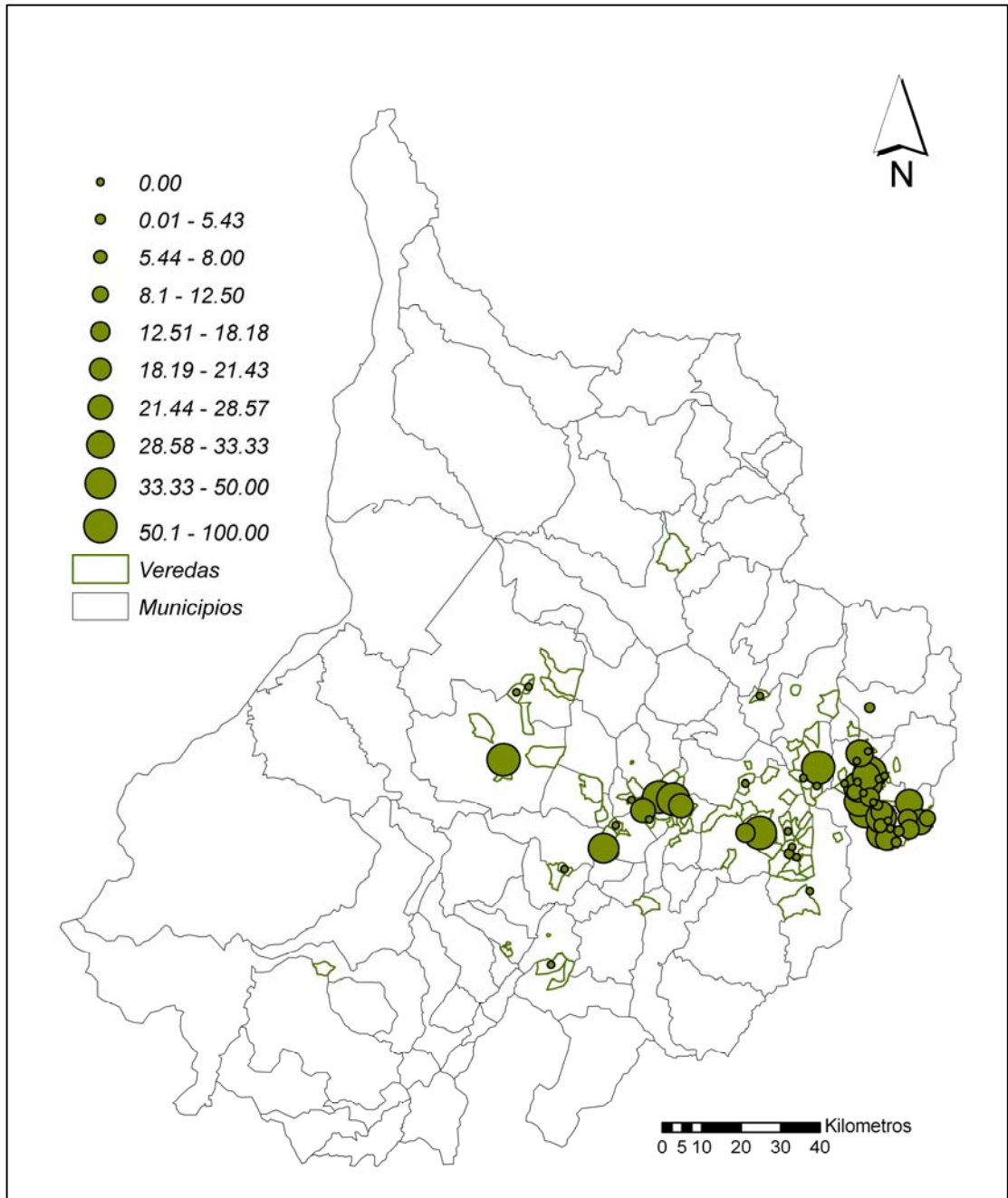


Figura 18. Distribución de la infección de *T. dimidiata* en Santander

Tabla 17. Consolidado de la infección de *P. geniculatus* en Santander

Municipio	Procedencia	Dispersión Veredal de la infección	% Infección
Betulia	Rural	0/1	0.00
Bucaramanga	Urbana	1/1	100.00
Cabrera	Rural	0/1	0.00
Capitanejo	Urbana	0/1	0.00
El Carmen	Rural	3/6	36.36
Enciso	Rural	0/1	0.00
Florián	Rural	0/3	0.00
Floridablanca	Rural	1/1	100.00
La Belleza	Urbana	1/1	100.00
La Paz	Rural	1/2	33.33
Lebrija	Rural	3/4	62.50
Macaravita	Rural	0/1	0.00
Mogotes	Rural	1/3	12.50
Molagavita	Rural	1/1	50.00
Piedecuesta	Rural	1/1	66.67
Pinchote	Urbana	0/1	0.00
Rio negro	Rural	1/1	100.00
San Joaquín	Rural	1/1	100.00
San José Miranda	Urbana	1/1	50.00
San Vicente de Chucuri	Urbana	0/1	0.00
Socorro	Rural	0/1	0.00
Sucre	Rural	0/1	0.00

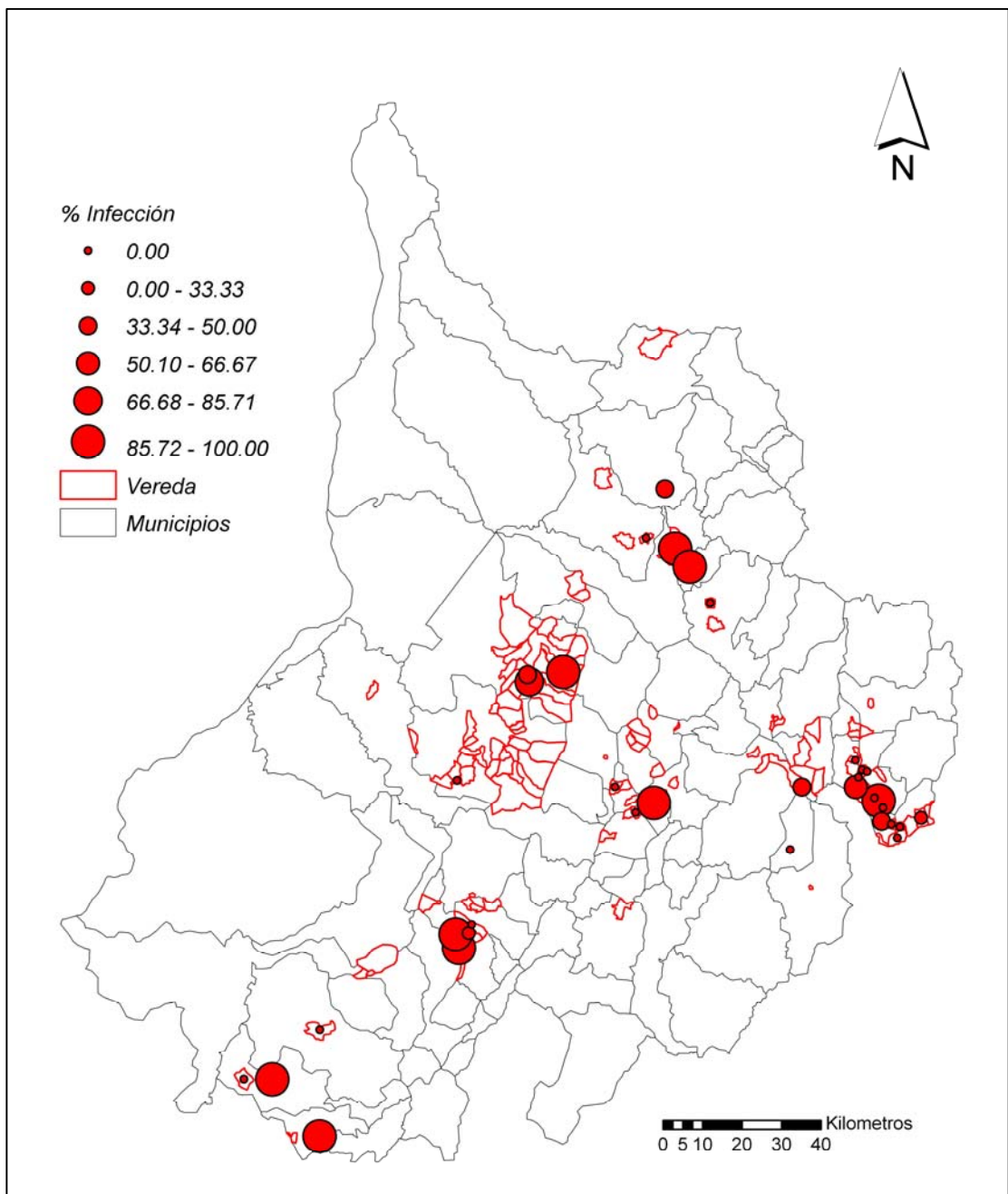


Figura 19. Distribución de la infección de *P. geniculatus* en Santander.

6. DISCUSIÓN

Triatoma dimidiata (Latreille, 1811)

Se amplían los registros de su distribución en Santander, de 29 municipios reportados por Angulo *et al* (2006) a 32, principalmente de las provincias Guanentina, Comunera y de García Rovira; en esta última se observan municipios con las mayores tasas de dispersión veredal (95%) del departamento; reportes similares se han observado en otras zonas (Dorn *et al.*, 2007).

En Santander esta especie es un Triatominae con poblaciones silvestres, adaptado al domicilio y peridomicilio, especialmente donde hay sitios de reposo de animales domésticos, y cuyos estadios, adultos y ninfas, se han capturado en viviendas tanto rurales como urbanas (Tabla 7) (Angulo, 2005; Angulo, 2006; Farfán, 2007).

Dorn *et al* (2007) reportan tasas de infección de *T. dimidiata* en el rango de 0-50%; y en Santander, y en el consolidado de infección en el vector por municipio se reportan tasas de 0-100% en 19 municipios donde se han realizado exámenes de *T. dimidiata*; aunque cabe notar que los dos reportes de la tasa con valor de 100%, corresponden a dos individuos examinados en El Carmen y a uno en la zona urbana de San Gil.

De acuerdo al mapa predictivo generado, la distribución espacial de *T. dimidiata* en Santander está restringida a zonas al oriente del departamento, principalmente en una franja que corresponde al cañón del Chicamocha. Las variables climáticas que determinaron esta distribución fueron el índice de vegetación, NDVI y la

temperatura diurna máxima, las cuales, solas o junto con otras variables, han modelado la distribución de otras especies de Triatominae como *T. infestans* (Gorla, 2002b), *T. wygodzinskyi* y *T. pseudomaculata* (Carbajal de la Fuente *et al.*, 2009), *R. neglectus* (Gurgel-Goncalves y Cuba, 2009) y *R. pallescens* (Arboleda *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta los valores de estas variables en los sitios de presencia, las temperaturas de la superficie son menores y el valor de NDVI es menor que en aquellas zonas donde no está presente el vector. Según esto, aunque la relación de la temperatura con los artrópodos vectores es reconocida, en este caso, *T. dimidiata* prefiere zonas con menor temperatura respecto a otras especies de Triatominae en Santander. En cuanto al índice de vegetación, de acuerdo a Gorla (2002b) aunque es una variable sintética y cuya relación no es directa, refleja cambios en la temperatura, disponibilidad de agua y propiedades edáficas que pueden afectar los vectores que tienen estrechas relaciones con las viviendas humanas.

Sin embargo, aunque el modelo predictivo obtenido tuvo una capacidad suficiente para describir la distribución de esta especie que mantiene relaciones estrechas con las estructuras humanas con dos variables, la temperatura y el índice de vegetación (NDVI); puede ser mejorado con la inclusión de otras variables discriminadas (velocidad del viento, la precipitación y humedad relativa) para esta misma especie por Dumonteil y Gourbiere (2004)

Panstrongylus geniculatus Latreille, 1811)

Se amplían los registros de su distribución en Santander, de 14 municipios reportados por Guhl *et al* (2007) a 40. Estos registros en Santander ubican a esta

especie como un Triatominae de amplia distribución, principalmente silvestre e intruso, con ejemplares adultos capturados frecuentemente en viviendas tanto rurales como urbanas, como ya se ha visto en la mayoría de poblaciones de otras zonas geográficas (Lent y Wygodzinsky, 1979; Patterson *et al.*, 2009; Carrasco *et al.*, 2005); además se observan algunos indicios de domiciliación evidenciados por los hallazgos de ninfas específicamente en algunos municipios de la provincia de García Rovira y uno en la Comunera, como también se ha observado en poblaciones de Brasil, Venezuela y Colombia (Valente *et al.*, 2009; Reyes y Rodríguez, 2000; Feliciangeli *et al.*, 2004; Carrasco *et al.*, 2005; Wolff y Castillo, 2000). La domiciliación de esta especie se ha sugerido es independiente del tipo y calidad de la construcción y cobra importancia en esta región tradicionalmente reconocida por la presencia de Triatominae domiciliados, los cuales han disminuido su presencia gracias a las acciones de control, pero pueden estar siendo desplazados de su nicho por esta especie (Reyes y Rodríguez, 2000). Cabe resaltar que los registros de *P. geniculatus* en Santander son casi exclusivamente debidos a la vigilancia entomológica realizada por la comunidad, la cual a pesar de los problemas observados principalmente en el registro mal diligenciado de los datos de campo, ha sido exitosa en el departamento.

En cuanto, a los registros de infección en el vector se reportan tasas de 0-100% en 22 municipios donde se han realizado exámenes de *P. geniculatus*. Estos reportes de infección son importantes ya que provienen de individuos que se han acercado al ambiente doméstico o peridoméstico, posiblemente no solo atraídos por la luz sino buscando fuentes de alimentación, humanos y animales domésticos, como se ha sugerido en Venezuela donde identificaron sangre de humanos, vacas, cerdos y perros en su contenido intestinal en individuos infectados con el parásito (Carrasco *et al.*, 2005).

Son de importancia también los registros de esta especie en el área de influencia de la capital del departamento, especialmente, debido a los casos agudos de la enfermedad de Chagas presentados en los años 2008 y 2009 en los municipios de Lebrija y Bucaramanga y Piedecuesta. Aunque la transmisión fue oral, no se pudo establecer la fuente de la contaminación alimentaria, quedando como posibles causas deyecciones de reservorios naturales del parásito (fara) o heces de Triatominae contaminadas, las cuales de alguna forma entraron en contacto con alimentos que consumieron las personas afectadas (Niño *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009).

De acuerdo al mapa predictivo generado, el cual es el primero que se hace para esta especie, la distribución espacial de *P. geniculatus* en Santander puede ser más amplia de la registrada hasta el momento, especialmente en la región occidental del departamento donde no hay reportes previos de esta, sugiriendo a esta zona como blanco específicamente de los programas de prevención de la enfermedad de Chagas. Esta zona actualmente se encuentra desatendida, a pesar de que estos municipios fueron clasificados en riesgo medio y alto por el Programa de prevención y control de la enfermedad de Chagas y la cardiopatía infantil implementado por el otrora ministerio de Salud de Colombia a partir de 1997 (Gulh *et al.*, 2005). Además el modelo muestra una franja correspondiente al cañón del Chicamocha donde comparte distribución con *T. dimidiata*.

La amplia dispersión veredal en municipios como El Carmen y San Vicente de Chucuri en la provincia de Mares y Capitanejo y Macaravita en la provincia de García Rovira, los cuales tienen zonas de vida diferentes, junto con la amplia distribución espacial del modelo predictivo en Santander, discriminada principalmente por la temperatura, confirman el carácter euritérico de esta especie y su exitosa adaptación a una amplia variedad de biomas y ecosistemas (Patterson *et al.*, 2009).

Las variables climáticas que determinaron la distribución en el modelo predictivo fueron la temperatura, LSTNMAX y LSTDPRM, y el índice de vegetación, EVI. De acuerdo a los valores de estas variables en los sitios de presencia las temperaturas de la superficie son mayores y el valor de EVI es menor que en aquellas zonas donde no está presente el vector, representando sitios con menor vegetación. Como ya se menciona, es reconocida la influencia de la temperatura sobre los Triatominae y demás vectores artrópodos (Gorla *et al.*, 1997; Gage *et al.*, 2008), la cual, sola o junto con el índice de vegetación (NDVI) y otras variables, han modelado la distribución de otras especies de Triatominae (Gorla, 2002b; Carbajal de la Fuente *et al.*, 2009; Gurgel-Goncalves y Cuba, 2009; Arboleda *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Se establecen áreas con registros reales y potenciales de ocurrencia de *T. dimidiata* y *P. geniculatus* en Santander mediante el uso de herramientas espaciales modernas como lo son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permitieron la creación de bases con datos espacialmente georeferenciados y análisis posteriores que incluyen la construcción de mapas temáticos de distribución espacial y de modelos bioclimáticos predictivos usando variables ambientales obtenidas por sensores remotos. Este SIG además puede ser alimentado con nueva información y extender su uso para el análisis de otras especies de Triatominae.

T. dimidiata (Latreille, 1811) es un Triatominae de gran importancia, cuya distribución espacial puede ser modelada con variables ambientales obtenidas por sensores remotos, a pesar de que es una especie que además de mantener poblaciones silvestres está asociada estrechamente a estructuras artificiales humanas. La distribución espacial obtenida en el modelo predictivo nos permitió observar una restricción de la dispersión a áreas sobre las estribaciones de la cordillera oriental, probablemente influenciadas por la temperatura y el índice de vegetación, donde las acciones de prevención y control pueden reforzarse y enfocarse en el área de distribución conocida de este vector.

El modelo de distribución de *P. geniculatus* (Latreille, 1811) permitió conocer su amplia dispersión real y potencial en el departamento Santander, asociada principalmente a la temperatura y el índice de vegetación, EVI. Esta amplia dispersión y el contacto frecuente con los humanos debido a su intrusión a las viviendas e indicios de domiciliación, junto a sus tasas de infección, puede estar implicando un ciclo de transmisión silvestre o semi-silvestre de la enfermedad de

Chagas en áreas consideradas de bajo riesgo por el escaso o nulo reporte de Triatominae domiciliados pero que cobran importancia al conocerse la presencia reciente de casos agudos y crónicos de la enfermedad y también en otras áreas donde las tasas de Triatominae domiciliados han disminuido gracias a las acciones de control; razones por las cuales esta especie de Triatominae merece especial atención de parte de los programas de prevención de la enfermedad de Chagas, los cuales deben ser dirigidos especialmente a un amplio número de

BIBLIOGRAFÍA

Aldana E, Lizano E, Ramon F, Valderrama A. Nueva Especie de *Psammolestes bergroth* de la Región Sur-Occidental de Venezuela (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). Caribb J of Sci, 1996;32(2):145–50.

Ali M, Wagatsuma Y, Emch M, Breiman RF. Use of a Geographic Information System for defining spatial risk for dengue transmission in Bangladesh: role for *Aedes albopictus* in an urban outbreak. Am J Trop Med Hyg 2003; 69(6):634-40.

Angulo VM & Flórez M. Impacto del control integrado de la infestación por *Rhodnius prolixus* en 4 municipios de Santander, Colombia. Biomédica, 2007,27(Sup 2):128.

Angulo VM. *Triatoma dimidiata*, aspectos biológicos y eco-epidemiológicos. En: Memorias El uso de Sistemas de Información geográfica y Sensores Remotos (SR) en Salud Pública. Bogotá, Colombia. Editores Gulh y Davies. 2006, p.p.105-115.

Angulo VM. Comportamiento de *Triatoma dimidiata*: un reto para su control. Biomedica, 2005 (Sup. 1):80-2.

Arboleda S, Gorla DE, Porcasi X, Saldaña A, Calzada J, Jaramillo N. Development of a geographical distribution model of *Rhodnius pallescens* Barber, 1932 using environmental data recorded by remote sensing. Infect Genet Evol, 2009;9:441-8.

Barbu C, Dumonteil E, Gourbière S. Optimization of Control Strategies for Non-Domiciliated *Triatoma dimidiata*, Chagas disease vector in the Yucatan Peninsula, Mexico. PLOS Neglected Tropical Diseases, 2009,3(4):1-10.

Bargues MD, Klisiowicz DR, Gonzalez-Candelas F, Ramsey JM, Monroy C, Ponce C, Salazar-Schettino PM, Panzera F, Abad-Franch F, Sousa OE, Schofield CJ, Dujardin JP, Guhl F, Mas-Coma S. Phylogeography and Genetic Variation of *Triatoma dimidiata*, the Main Chagas Disease Vector in Central America, and Its Position within the Genus *Triatoma*. PLoS Negl Trop Dis 2008; 2(5):e233. doi:10.1371/journal.pntd.0000233

Beard CB, Pye G, Steurer FJ, Rodriguez R, Campman R, Peterson A, Ramsey J, Wirtz RW, Robinson LE. Chagas Disease in a Domestic Transmission Cycle, Southern Texas, USA. Emerg Infect Dis, 2003;9(1):103-5.

Bérenger JM y Blanchet D. A new species of the genus *Panstrongylus* from French Guiana (Heteroptera; Reduviidae; Triatominae). Mem Inst Oswaldo Cruz, 2007;102(6):733-6.

Brooker S, Hay SI, Bundy DAP. Tools from ecology: useful for evaluating infection risk models? Trends in parasitology, 2002;18(2):70-4

Brownstein JS, Holford TR y Fish D. A Climate-Based Model Predicts the Spatial Distribution of the Lyme Disease Vector *Ixodes scapularis* in the United States. Environ Health Perspect, 2003;111(9):1152-7.

Cairns DM. A comparison of methods for predicting vegetation type. Plant Ecology, 2001;156:3-18.

Camargo-Neves VL, Katz G, Rodas LA, Poletto DW, Lage LC, Spinola RM, et al. Use of spatial analysis tools in the epidemiological surveillance of American visceral leishmaniasis, Aracatuba, Sao Paulo, Brazil, 1998-1999. *Cad Saude Publica*, 2001,17(5):1263-7.

Carbajal de la Fuente AL, Porcasi X, Noireau F, Diotaiuti L, Gorla DE. The association between the geographic distribution of *Triatoma pseudomaculata* and *Triatoma wygodzinskyi* (Hemiptera: Reduviidae) with environmental variables recorded by remote sensors. *Infect Genet Evol* 2009;9:54–61.

Carcavallo RU. Climatic Factors Related to Chagas Disease Transmission. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 1999,94(Suppl. I):367-9.

Carrasco HJ, Torrellas A, Garcia C, Segovia M, Feliciangeli MD. Risk of *Trypanosoma cruzi* I (Kinetoplastida:Trypanosomatidae) transmission by *Panstrongylus geniculatus* (Hemiptera:Reduviidae) in Caracas (Metropolitan District) and neighboring States, Venezuela. *International Journal for Parasitology* 2005,35:1379–84.

Cascone C, Ippolito A, Rinaldi L, Taddei R. A classification model of grazing areas in southern Italy using Remote Sensing data. *Parassitologia* 2005;47: 177-82.

Castro-Esau KL, Sánchez-Azofeifa GA, Rivard B. Comparison of spectral indices obtained using multiple spectroradiometers. *Remote Sens Environ*, 2006;103:276–88

Chen PY, Fedosejevs G, Tiscareño-López M y Arnold JG. Assessment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI and vegetation-NDVI composite data using agricultural measurements: an example at corn fields in western Mexico. *Environ Monit Assess*, 2006;119:69–82

Costa J, Peterson AT, And Beard CB. Ecologic niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis* neiva, 1911, the most important Chagas' disease vector in northeastern Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *Am J Trop Med Hyg*, 2002; 67(5):516-20.

Cox JS. The role of Geographic Information Systems and spatial analysis in area-wide vector control programmes. In *Area-Wide Control of Insect Pests: From Research to Field Implementation*. Edited by: Vreysen MJB, Robinson AS, Hendrichs J. Dordrecht, The Netherlands: Springer; 2007:199-210.

Cringoli G, Rinaldi L, Veneziano V, Musella V. Disease mapping and risk assessment in veterinary parasitology: some case studies. *Parassitologia* 2005;47:9-25.

Damborsky M, Bar ME, Oscherov EB. Detection of triatomines (Hemiptera: Reduviidae) in domiciliary and extra-domiciliary ecotopes. Corrientes, Argentina. *Cad Saude Publica*, 2001;17(4):843-9.

Dorn P, Monroy C, Curtis A. *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811): A review of its diversity across its geographic range and the relationship among populations. *Infect Gene Evol*, 2007;7:343-52

Dumonteil E & Gourbière S. Predicting *Triatoma dimidiata* abundance and infection rate: a risk map for natural transmission of Chagas disease in the Yucatán peninsula of Mexico. *Am J Trop Med Hyg*, 2004;70:514-19.

Eastman JR. IDRISI Andes. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Manual Versión 15. USA. Clark Labs, Clark University, 2006. 303p.

Esteban L, Luna KP, Davies CR, Campbell-Lendrum D, Angulo VM. Eficiencia de métodos de detección de triatominos en una zona endémica para la enfermedad de Chagas en Santander. En: Memorias Curso Taller Internacional El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores Remotos (SR) en Salud Pública. Felipe Guhl & Clive Davies Eds., Bogotá, Colombia, 2006, pp: 48-53.

Estrada-Peña A. Geostatistics as predictive tools to estimate *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the western Palearctic from AVHRR satellite imagery. *Exp Appl Acarol*, 1999;23:337–49.

Farfán AE. Identificación de hospederos en poblaciones de *Triatoma dimidiata* (Hemiptera: Reduviidae) domiciliarias y extradomiciliarias en Santander, como estrategia para evaluar su comportamiento. Universidad Industrial de Santander. Tesis. 2007

Feliciangeli MD, Carrasco H, Patterson JS, Suarez B, Martínez C, Medina M. Mixed domestic infestation by *Rhodnius prolixus* Stål, 1859 and *Panstrongylus geniculatus* Latreille, 1811, vector incrimination, and seroprevalence for *Trypanosoma cruzi* among inhabitants in El Guamito, Lara State, Venezuela. *Am J Trop Med Hyg*, 2004,71(4):501–5.

Fernandes A, Chiari E, Casanova C, Dias JC, Romanha AJ. The threat of reintroduction of natural transmission of chagas disease in Banbui, Minas Gerais State, Brazil due to *Panstrongylus megistus*. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 1992, 87(2):285-9

Forattini OP, Ferreira OA, Rocha e Silva E, Rabello EX. Aspectos ecológicos da Tripanossomíase americana. VI — Persistência do *Triatoma sordida* após alteração ambiental e suas possíveis relações com a dispersão da espécie. *Rev Saúde públ* 1974; 8:265-82.

Gage K, Burkot T, Eisen R, Hayes E. Climate and Vectorborne Diseases. Am J Prev Med 2008; 35(5):436–50

Galvão C, Rocha D, Cunha V, Presgrave OA, Jurberg J, Carcavallo R. Influência da temperatura no ciclo de vida de *Triatoma melanosoma* Martínez, Olmedo & Carcavallo, 1987 (Hemiptera, Reduviidae). Mem Inst Oswaldo Cruz, 1999;94(6):851-4.

Gorla D, Catala S, Grillo M. Efecto del a temperatura sobre la distribución de *Triatoma infestans* y el riesgo de transmisión vectorial de la enfermedad de chagas en Argentina. Acta Toxicol Argent 1997;5(1):36-9

Gorla D. Sensores remotos y Sistemas de Información geográfica en el estudio de vectores de enfermedades humanas. En Actualizaciones en Artrópodos Sanitaria Argentina. Salomon OD Eds., Buenos Aires: Fundación Mundo Sano, 2002a pp:203-211.

Gorla D. Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera:Reduviidae). Ecología Austral. 2002b;12:117-27.

Graham AJ, Aktinson PM, Danson FM. Spatial analysis for epidemiology. Acta Trop, 2004a;91:219–25.

Graham AJ, Danson FM, Giraudoux P, Craig PS. Ecological epidemiology: landscape metrics and human alveolar echinococcosis. Acta Trop, 2004b;91:267–78

Guerra MA, Walker ED y Kitron U. Canine surveillance system for Lyme borreliosis in Wisconsin and northern Illinois: geographic distribution and risk factor analysis. *Am J Trop Med Hyg*, 2001;65(5):546–52

Guhl F, Aguilera G, Pinto N, Vergara D. Actualización de la distribución geográfica y ecoepidemiología de la fauna de triatomíneos (Reduviidae: Triatominae) en Colombia. *Biomédica*, 2007;27(Suppl. 1):143–62.

Guhl F, Restrepo M, Angulo VM, Antunes CMF, Campbell-Lendrum D, Davies CR. Lessons from a national survey of Chagas disease transmission risk in Colombia. *TRENDS in Parasitology*, 2005;21(6):259-62.

Gurgel-Goncalves R y Cuba CA. Predicting the Potential Geographical Distribution of *Rhodnius neglectus* (Hemiptera, Reduviidae) Based on Ecological Niche Modeling. *J Med Entomol* 2009;46(4):952-60.

Gürtler RE, Kitron U, Cecere MC, Segura EL, Cohen JE. Sustainable vector control and management of Chagas disease in the Gran Chaco, Argentina. *PNAS*, 2007,104:16194-9.

Hay SI y Lennon JJ. Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. *Trop Med Int Health*, 1999;4(1):58-71.

Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X y Ferreira LG. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS Vegetation indices. *Remote Sens Environ*, 2002;83:195–213.

Huete AR, Liu HQ, Batchily K y Van Leeuwen W. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sens Environ*, 1997;59:440-51

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1996. *Diccionario Geográfico de Colombia* (multimedia) Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi Editores.

Justice CO, Townshend JRG, Vermote EF, Masuoka E, Wolfe RE, Saleous N, Roy DP y Morisette JT. An overview of MODIS land data processing and product status. *Remote Sens Environ*, 2002;83(1):3–15.

Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977;33:159-74.

Leite GR, Santos CB, Falqueto A. Insecta, Hemiptera, Reduviidae, *Panstrongylus geniculatus*: Geographic distribution map. *Check List* 2007, 3(2):147-52.

Lent H y Wygodzinsky P. Revision of the triatominae (Hemiptera: Reduviidae) and their significance as vector of Chagas's disease. In: *Bull Am Mus Nat Hist*, 1979, p.p.163-250.

Leonardo LR, Rivera PT, Crisostomo BA, Sarol JN, Bantayan NC, Tiu WU, Bergquist NR. A study of the environmental determinants of malaria and schistosomiasis in the Philippines using Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Parassitologia* 2005;47:105-14

Levine RS, Peterson AT y Benedict MQ. Geographic and ecologic distributions of the *Anopheles gambiae* complex predicted using a genetic algorithm. *Am J Trop Med Hyg*, 2004;70(2):105–9.

Lin G, Zhang T. A method for testing low-value spatial clustering for rare diseases. *Acta Tropica* 2004;91:279–89.

Liu Y, Yamaguchi Y y Ke C. Reducing the Discrepancy Between ASTER and MODIS Land Surface Temperature Products. *Sensors* 2007;7(12):3043-57.

Malone JB. Biology-based mapping of vector-borne parasites by Geographic Information Systems and Remote Sensing. *Parassitologia* 2005;47:27-50.

Michel JF, Dray S, De La Rocque S, Desquesnes M, Solano P, De Wispelaere G, Cuisance D. Modelling bovine trypanosomosis spatial distribution by GIS in an agro-pastoral zone of Burkina Faso. *Preventive Veterinary Medicine*, 2002;56(1):5-18.

Manel S, Dias JM, Ormerod. Comparing discriminant analysis, neural networks and logistic regression for predicting species distributions: a case study with a Himalayan river bird. *Ecological Modelling*, 1999;120(2):337-347.

Miranda C, Marques CC, Massa JL. Sensoramento remoto orbital como recurso para análise da ocorrência da leishmaniose tegumentar americana em localidade urbana da região Sudeste do Brasil. *Rev Saude Publica*, 1998;32(5):455-63.

Molinari J, Aldana E, Nassar JM. *Panstrongylus geniculatus* (Heteroptera:Reduviidae:Triatominae): natural infection with *Trypanosoma cruzi* under cavernicolous conditions in Paraguana Peninsula, Venezuela. *Journal of Cave and Karst Studies*, 2007,69(2):285–7.

Moncayo A. Chagas Disease: Current Epidemiological Trends after the Interruption of Vectorial and Transfusional Transmission in the Southern Cone Countries *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 2003;98(5): 577-91.

NASA. Earth Science Reference Handbook. A Guide to NASA's Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions. Claire L. Parkinson, Alan Ward, Michael D. King Editors. National Aeronautics and Space Administration. Washington, D.C. Design and Production Sterling Spangler. 2006

Nath SS, Bolte JP, Ross LG, Aguilar-Manjarrez J. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering* 2000;23:233–78

Niño EJ, Hernández LM, Ramírez AN, García C, Gualdrón L, Rodríguez LA, Angulo VM. Características epidemiológicas de brotes de Chagas agudo en zonas de bajo riesgo, Santander, Colombia. *Biomédica* 2009;29(Supl.):338-339.

Njemanze FC, Anozie J, Ihenacho JO, Russell MJ, and Uwaeziozi AB. Application of risk analysis and geographic information system technologies to the prevention of diarrheal diseases in Nigeria *Am J Trop Med Hyg*, 1999;61(3):356–60

Oliveira Filho AM. Uso de nuevas herramientas para el control de triatomines en diferentes situaciones entomológicas en el continente americano. *Rev Soc Bras Med Trop* 1997,30:41-6.

OMS. Enfermedad de Chagas: control y eliminación. Informe de la secretaria. Consejo ejecutivo. 124ª reunión, punto 4.14 del orden del día provisional. EB124/17. 2008. Disponible online: http://www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB124/B124_17-sp.pdf

OMS. Reporte sobre la enfermedad de chagas. Eds Gulh & Lazdins-Helds. 2005 actualizado en 2007. TDR/SWG/09. Disponible on line: https://www.who.int/tdr/publications/tdr-research-publications/reportes-enfermedad-chagas/pdf/swg_chagas.pdf

OPS. Informe técnico Programa Nacional de Control de la Enfermedad de Chagas (Argentina, 2002). En: XIII. Reunión de la Comisión Intergubernamental para la Eliminación de *Triatoma infestans* y la Interrupción de la Tripanosomiasis americana por Transfusión INCOSUR/Chagas, Santiago, Chile, marzo de 2003. p 11-34. OPS/DPC/CD/270/03.

OPS. XV^a Reunión de la Comisión Intergubernamental del Cono Sur para la Eliminación de *Triatoma infestans* y la Interrupción de la Transmisión de Tripanosomiasis Transfusional (INCOSUR-Chagas). Brasilia, Brasil, 6–9 junio 2006

Oscherov E, Damborsky MP, Bar ME, Avalos G, Alvarez BM, Presman H and Wisnivesky-Colli C. Interactions Between *Triatoma infestans* and *Triatoma sordida* (Hemiptera: Reduviidae) in Artificial Ecotopes: Population Growth and Age Structure. J Med Entomol 2001;38(2):214-17.

Patterson JS, Barbosa SE, Feliciangeli MD. On the genus *Panstrongylus* Berg 1879: Evolution, ecology and epidemiological significance. Acta Tropica, 2009; 110:187–99.

Perez AM, Ward MP, Torres P, Ritacco V. Use of spatial statistics and monitoring data to identify clustering of bovine tuberculosis in Argentina. Preventive Veterinary Medicine, 2002;56:63-74.

Peterson AT, Pereira RS & De Camargo V. Using epidemiological survey data for infer geographic distributions of leishmaniasis vector species. Rev da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical 2004;37:10-4.

Peterson AT, Sanchez-Cordero V, Beard CB, Ramsey JM. Ecologic niche modeling and potential reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerg Infect Dis* 2002, 8:662–67.

Pleydell DRJ, Raoul F, Tourneux F, Danson FM, Grahamd AJ, Craig PS, Giraudoux P. Modelling the spatial distribution of *Echinococcus multilocularis* infection in foxes. *Acta Tropica*, 2004; 91:253–65.

Ramsey J, Ordoñez R, Cruz-Celis A, Alvera A, Chavez V, Lopez R, *et al.* Distribution of domestic Triatominae and stratification of disease transmission in Oaxaca, Mexico. *Med Vet Entomol* 2000; 14:19–30.

Remm K, Linder M, Remm L. Relative density of finds for assessing similarity-based maps of orchid occurrence. *Ecological modeling*, 2009;220:294–309

Reyes-Lugo M, Rodríguez-Acosta A. Domiciliation of the sylvatic Chagas disease vector *Panstrongylus geniculatus* Latreille, 1811, Triatominae: Reduviidae) in Venezuela. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2000;94:508.

Rodriguero M & Gorla D. Latitudinal gradient in species richness od the New World Triatominae (Reduviidae). *Global Ecology and Biogeography.* 2004;13:75-84.

Rodríguez LA, Jaime ML, Bueno LA, Ángulo VM. Brote por enfermedad de Chagas de presentación aguda y transmisión oral en Bucaramanga, Santander, 2009. *Biomédica* 2009;29(Supl.):320-21.

Rogers DJ & Randolph SE. Mortality rates and population density of tsetse flies correlated with satellite imagery. *Nature*, 1991;351:739-41.

Rogers DJ, Hay SI, Packer MJ. Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 1996;90(3):225-41

Rogers DJ. Satellites, space, time and the African Trypanosomiasis. *Advances in Parasitology*. 2000, 47:130-165.

Rosa-Freitas MG, Tsouris P, Sibajev A, De Souza Weimann ET, Ubirajara A, Ferreira R, Luitgards-Moura JF. Exploratory Temporal and Spatial Distribution Analysis of Dengue Notifications in Boa Vista, Roraima, Brazilian Amazon, 1999-2001. *Dengue Bulletin* 2003; 27:63-80

Salomonson VV, Barnes W y Masuoka EJ. Introduction to MODIS and an Overview of Associated Activities, *Earth Science Satellite Remote Sensing Vol. 1: Science and Instruments*, Tsinghua University Press. 2006

Sandoval CM, Pabón E, Jurberg B, Galvao C. *Belminus ferroae* n. sp. from the Colombian north-east, with a key to the species of the genus (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae). *Zootaxa* 2007;1443:55–64.

Sandoval-Ruiz CA, Zumaquero-Rios JL y Rojas-Soto OR. Predicting Geographic and Ecological Distributions of Triatomine Species in the Southern Mexican State of Puebla Using Ecological Niche Modeling *J. Med. Entomol.* 2008;45(3): 540-6.

Schofield CJ, Galvão C. Classification, evolution, and species groups within the Triatominae. *Acta Trop*, 2009;110(2-3):88-100.

Seoane J, Bustamante J, Díaz-Delgado R. Are existing vegetation maps adequate to predict bird distributions? *Ecological Modelling*, 2004;175:137–49.

Silveira AC & Vinhaes M. Elimination of vector-borne transmission of Chagas disease. Mem Inst Oswaldo Cruz, 1999, 94(Sup. 1): 405-11.

Souza de W. Chagas' disease: facts and reality. Microbes and Infection 2007;9:544-5.

Thomson MC y Connor SJ. Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease. Med Vet Entomol, 2000;14:227-244.

Valente SA, Valente V, Pinto AY, César MJ, Dos Santos M, Miranda C, Cuervo P, Fernandes O. Analysis of an acute Chagas disease outbreak in the Brazilian Amazon: human cases, triatomines, reservoir mammals and parasites. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene. 2009,103(3):291-7.

Valente V. Potential for domestication of *Panstrongylus geniculatus* (Latreille, 1811) (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae) in the municipality of Muaná, Marajó Island, Pará State, Brazil. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical 1999,32(5):595-7.

Vazquez CM, Cecere MC, Canale DM, Gürtler RE y Kitron U. Spatiotemporal Patterns of Reinfestation by *Triatoma guasayana* (Hemiptera: Reduviidae) in a Rural Community of Northwestern Argentina. J Med Entomol. 2005;42(4):571–81.

Ward M y Carpenter TE. Analysis of time-space clustering in veterinary epidemiology. Preventive Veterinary Medicine. 2000;43:225-37.

WHO. Chagas disease, Chile. Certification of Interruption of transmission. [editorial] *Weekly Epidemiol. Rec. WHO* 2000a; 75(2):10-12.

WHO. Chagas disease. Brazil. Interruption of transmission. [editorial] *Weekly Epidemiol. Rec. WHO* 2000b; 75(19):153-155.

WHO. Chagas disease. Interruption of transmission. Brazil. [editorial] *Weekly Epidemiol. Rec. WHO* 1997; 72(1/2):1-4.

WHO. Chagas disease. Interruption of transmission. Uruguay. [editorial] *Weekly Epidemiol. Rec. WHO* 1998; 73(1/2):1-4.

Wolff M, Castillo D. Evidencias de domesticación y aspectos biológicos de *Panstrogylus geniculatus* (Latreille, 1811) (Hemiptera: Reduviidae). *Acta Entomol Chil* 2000;24:77-83

Xiong X, Chiang K, Sun J, Barnes WL, Guenther B, Salomonson VV. NASA EOS Terra and Aqua MODIS on-orbit performance. *Advances in Space Research*. 2009;43:413–22

Yang GJ, Vounatsou P, Zhou XN, Tanner M, Utzinger J. A potential impact of climate change and water resource development on the transmission of *Schistosoma japonicum* in China. *Parassitologia* 2005;47:127-34.

Yebra M. Estimación del contenido de humedad de vegetación mediterránea a partir de imágenes MODIS. Tesis doctoral presentada por Programa de doctorado de Cartografía, S.I.G. y Teledetección Departamento de Geografía Alcalá de Henares, septiembre 2008

Zeledón R, Calvo N, Montenegro VM, Lorosa ES, Arévalo C. A survey on *Triatoma dimidiata* in an urban area of the province of Heredia, Costa Rica. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 2005; 100(6):607-12.

Zhao B, Yan Y, Guo H, He M, Gu Y, Li B. Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecological Indicators*, 2009;9:346–56

ANEXOS

Anexo 1. Algunos índices de vegetación y sus formulas.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN	FORMULA
DVI <i>(Difference Vegetation Index)</i>	$P^{\circ}nir - P^{\circ}red$
NDVI <i>(Normalized Difference Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}red)}$
RDVI <i>(Renormalized Difference Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{\sqrt{(P^{\circ}nir + P^{\circ}red)}}$
SAVI <i>(Soil Adjusted Vegetation Index)</i>	$\frac{(1 + L)(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}red + L)}$
MSAVI <i>(Modified SAVI)</i>	$\frac{2P^{\circ}nir + 1 - \sqrt{(2P^{\circ}nir + 1)^2 - 8(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}}{2}$
MSAVI <i>(Modified SAVI2)</i>	$\frac{P^{\circ}nir - P^{\circ}red}{P^{\circ}nir - P^{\circ}red + L} \times (1 + L)$
OSAVI <i>(Optimized Soil Adjusted Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}red + 0.16)}$
ARVI <i>(Atmospherically Resistant Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}nir - P^{\circ}rb)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}rb)}$ $P^{\circ}rb = P^{\circ}red - (P^{\circ}blue - P^{\circ}red)$
SARVI <i>(Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index)</i>	$\frac{(1 + L)(P^{\circ}nir - P^{\circ}rb)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}rb + L)}$
SARVI2 <i>(Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index 2)</i>	$\frac{2.5(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(1 + P^{\circ}nir + 6P^{\circ}red - 7.5(P^{\circ}blue))}$
MNDVI2 <i>(Modified Normalized Difference Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(P^{\circ}nir + P^{\circ}red - 2P^{\circ}blue)}$
EVI <i>(Enhanced Vegetation Index)</i>	$\frac{Gx(P^{\circ}nir - P^{\circ}red)}{(L + P^{\circ}nir + C1)x(Pred - C2xP^{\circ}blue)}$
SR <i>(Simple Ratio)</i>	$\frac{P^{\circ}nir}{P^{\circ}red}$
Ratio <i>(Ratio NDVI y Temperatura de superficie)</i>	$\frac{NDVI}{Ts}$
NDII <i>(Normalized Difference Infrared Index)</i>	$\frac{P^{\circ}nir - P^{\circ}mir}{P^{\circ}nir + P^{\circ}mir}$
GEMI <i>(Global Enviromental Monitoring Index)</i>	$\frac{\eta(1 - 0.25\eta) - P^{\circ}red - 0.125}{1 - P^{\circ}red}$ $\eta = \frac{2 * (P^{\circ}nir^2 - P^{\circ}) + 1.5P^{\circ}nir + 0.5P^{\circ}red}{P^{\circ}nir + P^{\circ}red + 0.5}$

MSR <i>(Modified Simple Ratio)</i>	$\frac{P^{\circ}\text{nir}-P^{\circ}\text{blue}}{P^{\circ}\text{red}-P^{\circ}\text{blue}}$
MSR2 <i>(Modified Simple Ratio)</i>	$\frac{P^{\circ}\text{nir} + 1}{\frac{P^{\circ}\text{red}}{\sqrt{P^{\circ}\text{nir} + 1}} + P^{\circ}\text{red}}$
TVI <i>(Transformed Vegetation Index)</i>	$\frac{(P^{\circ}\text{nir}-P^{\circ}\text{red}) + 0,5}{\sqrt{(P^{\circ}\text{nir} + P^{\circ}\text{red})}}$
CTVI <i>(Corrected Transformed Vegetation Index)</i>	$\frac{\text{NDVI} + 0,5}{ \text{NDVI} + 0,5 } \times \sqrt{ \text{NDVI} + 0,5 }$
TTVI <i>(Thiam's Transformed Vegetation Index)</i>	$\sqrt{ \text{NDVI} + 0,5 }$
RVI <i>(Ratio Vegetation Index)</i>	$\frac{P^{\circ}\text{red}}{P^{\circ}\text{nir}}$
NRVI <i>(Normalized Ratio Vegetation Index)</i>	$\frac{\text{RVI} - 1}{\text{RVI} + 1}$
AVI <i>(Ashburn Vegetation Index)</i>	$2(P^{\circ}\text{nir}-P^{\circ}\text{red})$

Fuente: Eastman (2006)

Anexo 2. Afiche de promoción de la vigilancia entomológica

SE BUSCAN

MEJOR CONOCIDOS COMO PITOS O TRIATOMINOS (HEMIPTERA:REDUVIIDAE:TRITOMINAE) SON RESPONSABLES DE LA TRANSMISIÓN DE UN PARÁSITO (*Trypanosoma cruzi*) QUE CAUSA LA ENFERMEDAD DE CHAGAS.



<p>R. prolixus Especie de 1,7 a 2,15 cm. Coloración café clara en general y marcas café oscuro en varias regiones del cuerpo y patas.</p>	<p>T. dimidiata Especie de 2,5 a 3,5 cm. Coloración desde amarillo hasta negro.</p>	<p>T. maculata Especie de 1,65 a 2,2 cm. Coloración marrón claro a negro.</p>	<p>P. geniculatus Especie de 2,2 a 2,95 cm. Coloración marrón claro a marrón con naranja claro.</p>	<p>E. cuspidatus Especie de 2,4 a 3,1 cm. Coloración marrón oscura a negra. Lados del cuello y vientre abdominal amarillos.</p>	<p>Pm. arthuri Especie de 1,1 a 1,4 cm. Coloración amarillo paja pálido con manchas marrones dispersas.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

"SU PARTICIPACION ES INDISPENSABLE PARA QUE SU VEREDA ESTE LIBRE DE PITOS"

<p>¿DONDE BUSCARLOS?</p> <p>DENTRO DE LA VIVIENDA</p> <p>Paredes y techos de dormitorios, detrás de objetos colgados en las paredes, cajas de cartón, debajo de costales, colchones, objetos colocados en el piso, camas en el piso, etc y en otros sitios como cocina, sala, cuartos de chécheres, entre otros.</p> <p>ALREDEDOR DE LA VIVIENDA:</p> <p>Lugares de reposo de animales domésticos construidos artificialmente como caballerizas, gallineros, marraneras, establos, corrales, conejeras, homos, trapiche, enramadas para inservibles y desechos de cosechas, graneros o trojas, etc</p> <p>Debajo de arume de piedras o leña e inservibles.</p>	<p>SI LOS ENCUENTRA... ¿QUE DEBE HACER?</p> <ul style="list-style-type: none"> •Trate de capturarlos vivos usando una bolsa plástica como guante, sin presionarlos con fuerza para que no expulsen sus heces, las cuales pueden estar contaminadas. •Guárdelos en una bolsa o recipiente plástico, coloque dentro un pedazo de papel doblado como abanico. Si usa un frasco hágale algunos orificios muy pequeños. •Use un frasco por cada vivienda y por sitio de captura, en el caso de que en una misma vivienda los encuentre, dentro o alrededor. •Mantenga los pitos en un lugar fresco y a la sombra, fuera del alcance de las hormigas. •Evite el contacto directo con los pitos y lávese muy bien las manos con agua y jabón. •Marque el frasco o bolsa con la información descrita a continuación:
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Municipio: Nombre del municipio.
Vereda: Nombre de la vereda.
Casa: Número de la casa.
Jefe de hogar: Nombre jefe de hogar y/o propietario.
Lugar de captura: Nombre del lugar de captura
Colector: Nombre del colector (comunidad, técnico).
Fecha: Día, Mes, Año.

Entregue el frasco o bolsa con los pitos capturados al técnico encargado para tal fin.

Anexo 3. Caracterización ecológica de los sitios de entrenamiento muestreados

SE	Ecosistema Andino			Ecosistema General			Altitud Msnm	Temperatura °C
	Zonobioma	Bioma	Ecosistema	Zonobioma	Bioma	Ecosistema		
Santander, San Vicente, Granada/El Peltrecho	Ecosistemas transformados	Piso bioclimático basal	Agroecosistemas de cultivos mixtos (A1)	Ecosistemas transformados	General	Áreas rurales intervenidas no diferenciadas (<20% de ecosistemas originales remanentes) (II)	617-1930	24
Santander, El Carmen, Cirales			Áreas con predominancia de pastos y vegetación secundaria (>70%) (A6)			Áreas rurales intervenidas no diferenciadas (20 a 50% de ecosistemas originales remanentes) (I)		23
Santander, San Vicente, Pradera		Piso bioclimático subandino	Áreas con predominancia de vegetación secundaria (B6)		Orobiomas Andinos del zonobioma de BHT	Agroecosistemas cafeteros (C1)		27
Santander, Capitanejo, Chorreras		Orobiomas azonales del zonobioma húmedo tropical	Orobioma azonal subandino cañón del Chicamocha		Arbustal y vegetación xerofítica en montaña disolucional (45-MD)	General	Áreas rurales intervenidas no diferenciadas (<20% de ecosistemas originales remanentes) (II)	1500-1900

Fuente: información extraída de los mapas disponible en línea del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2000) para cada localidad (<http://www.humboldt.org.co/unisig/ecosistemas/>).

