



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS y PECUARIAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO Y POSTÍTULO**

**MODELO PREDICTIVO DE LA DISTRIBUCIÓN DE**  
**TRIATOMINOS A ESCALA LOCAL**

**ANTONELLA EUGENIA BACIGALUPO BACIGALUPO**

**Tesis para optar al Grado de**  
**Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias**  
**Mención Medicina Preventiva Animal y al**  
**Título Profesional de Médico Veterinario**

**Santiago-Chile**

**2016**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS y PECUARIAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO Y POSTÍTULO**

**MODELO PREDICTIVO DE LA DISTRIBUCIÓN DE  
TRIATOMINOS A ESCALA LOCAL**

**ANTONELLA EUGENIA BACIGALUPO BACIGALUPO**

Tesis para optar al Grado de  
Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias  
Mención Medicina Preventiva Animal y al  
Título Profesional de Médico Veterinario

**DIRECTORES DE TESIS**  
**DR. PEDRO CATTAN A.**  
**DR. HÉCTOR HERNÁNDEZ P.**

Santiago-Chile

2016



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS y PECUARIAS**  
**ESCUELA DE POSTGRADO Y POSTÍTULO**

INFORME DE APROBACIÓN DE TESIS DE MAGÍSTER

SE INFORMA A LA DIRECCIÓN DE POSTGRADO Y POSTÍTULO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS, QUE LA TESIS DE MAGÍSTER PRESENTADA POR LA CANDIDATA

**ANTONELLA EUGENIA BACIGALUPO BACIGALUPO**

HA SIDO APROBADA POR LA COMISIÓN EVALUADORA DE TESIS COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS ANIMALES Y VETERINARIAS CON MENCIÓN EN MEDICINA PREVENTIVA ANIMAL Y AL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO, EN EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS RENDIDO EL DÍA 19 DE DICIEMBRE DE 2016

**DIRECTORES DE TESIS**

DR. PEDRO CATTAN A. . . . .

DR. HÉCTOR HERNÁNDEZ P. . . . .

**COMISIÓN EVALUADORA E INFORMANTE DE TESIS**

DR. ALDO SOLARI I. . . . .

DRA. GALIA RAMÍREZ T. . . . .

DR. PEDRO ÁBALOS P. . . . .

**Esta Tesis de Grado se realizó en el Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje, Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile y en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Ciencias Biológicas Animales, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile y contó con financiamiento**

**Fondecyt 1100339, “Spatial epidemiology of Chagas disease: using environmental variables and reservoirs distribution to predict the distribution of sylvatic foci of *Triatoma infestans* and *Mepraia spinolai*”**

**Fondecyt 1140650, “Epidemiological relevance of the parasite load in vectors and mammalian reservoirs of Chagas disease regarding diet and foci characteristics of triatomines”**

## BIOGRAFÍA

Antonella nació el 23 de abril de 1979 en Viña del Mar, Región de Valparaíso, Chile. Inició su educación preescolar en la Scuola Italiana Vittorio Montiglio; sus estudios primarios y secundarios los cursó en el Colegio Saint Paul's School de la misma ciudad, entre 1985 y 1996, viviendo en ese periodo con su abuela y su madre. Buscando una carrera que compatibilizara su interés por la biología y los animales, ingresó a la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile en 1997, radicándose en Santiago. Durante sus estudios en la Carrera de Medicina Veterinaria, complementó las asignaturas obligatorias con cursos electivos del área de conservación, fauna silvestre y otros. Egresó en 2003.

Interesada en mantener su enfoque en la fauna silvestre y la ecología, ingresó al laboratorio de Ecología, bajo la tutela del Dr. Cattán. Gracias a una colaboración entre la Unidad de Zoonosis de la Seremi de Salud Región Metropolitana para estudiar la invasión de triatominos, vectores de la enfermedad de Chagas, en dos sectores de la región, mediante la búsqueda de focos, adquiriendo habilidades tanto de trabajo en terreno como en laboratorio. Esta colaboración resultó en el hallazgo de focos silvestres tanto de *Triatoma infestans* como de *Mepraia spinolai* en chaguales, y generó una publicación en la Revista Médica de Chile. Estos resultados dieron pie para postular a un proyecto FONDECYT - Fondo Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología -, número 1070960, titulado "Estimación de la importancia epidemiológica de focos silvestres del vector doméstico, *Triatoma infestans*, en la mantención de la enfermedad de Chagas", donde trabajó como asistente técnico hasta 2009, participando en nuevas publicaciones científicas. Por otro lado, manteniendo siempre su interés en adquirir nuevos conocimientos, asistió a varios cursos que reforzaron sus capacidades de trabajo en laboratorio y sus conocimientos del área de la epidemiología molecular, ecología y fauna silvestre.

En 2010 comenzó su desempeño como coinvestigadora en el proyecto FONDECYT 1100339, afianzando su intención de dedicarse a la investigación científica, y además ingresó al Programa de Magíster en Ciencias Animales y Veterinarias, para obtener el respaldo académico necesario para su quehacer profesional futuro. Actualmente es coinvestigadora del proyecto FONDECYT 1140650.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por haberme permitido estudiar toda mi carrera sin preocupaciones.

A mi nonna, por cuidarme por tantos años ... hasta hoy.

Al Dr. Barría, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía.

Al Dr. Segura, por motivarme a trabajar con las vinchucas en terreno, por enseñarme a subir cerros ... y a apreciar las canciones antiguas.

Al Dr. Cattán, quien me acogió en su laboratorio y confió en mí para trabajar con él durante todos estos años, siempre apoyándome e infundiéndome su actitud relajada por la vida. Espero que sean muchos más.

A Carezza Botto, por su constante disposición para ayudarme a avanzar, y por ser un ejemplo a seguir, combinando la rigurosidad científica con su preocupación por todos.

A Alberto Alaniz, por su invaluable ayuda para destrabar los procesos que se requerían para lograr terminar esta tesis.

Al Dr. Jaime Hernández y al Dr. Miguel Castillo, por abrirme las puertas a los sistemas de información geográfica y geomática, que fueron fundamentales para trabajar con epidemiología espacial.

Al Dr. Solari y a la Dra. Galia Ramírez, quienes mediante sus sugerencias y comentarios me ayudaron a mejorar este escrito.

A CONAF Illapel, por acceso a la Reserva Nacional Las Chinchillas.

A Patricio Arroyo, sin quien no habría podido llevar a cabo la ardua tarea de realizar los muestreos en terreno “en la punta del cerro”. Él me ha apoyado a lo largo de todo este proceso, aguantándome y alimentándome ... cuidándome siempre. Espero poder apoyarte como tú lo has hecho conmigo.

A todos mis amigos con quienes compartí durante la carrera, Magíster, laboratorios y terrenos varios (brujas, modelos, russi@s, etc.). Me encanta saber que cuento con Uds. siempre. Los quiero. ¡Gracias!

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Departamento y Fuentes de Financiamiento.....	4
Biografía.....	5
Agradecimientos.....	6
Índice de Contenidos.....	7
Índice de Ayudas Ilustrativas.....	9
Resumen.....	13
Summary.....	14
1. Introducción.....	15
2. Revisión Bibliográfica.....	17
3. Objetivos.....	28
4. Hipótesis.....	29
5. Materiales y Métodos.....	30
5.1. Descripción del área de estudio.....	30
5.2. Procedimiento de muestreo.....	31
5.3. Evaluación de la existencia de patrones de distribución espacial de los triatominos.....	34
5.4. Análisis de la distribución de triatominos a escala local según posibles variables explicativas espacialmente explícitas.....	35
5.5. Evaluación de modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local.....	38
5.6. Comparación de modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local.....	42

6. Resultados.....	45
6.1. Detección de triatominos.....	45
6.2. Muestreo de variables en terreno.....	50
6.3. Variables obtenidas desde productos de sensores remotos para los puntos muestreados.....	52
6.4. Evaluación de patrones de distribución de triatominos.....	54
6.5. Evaluación de variables espacialmente explícitas que expliquen la distribución de triatominos.....	55
6.6. Evaluación de modelos que utilicen variables espacialmente explícitas.....	58
6.7. Comparación entre modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local.....	70
7. Discusión.....	81
8. Conclusiones.....	96
9. Recomendaciones.....	97
10. Bibliografía.....	98

## ÍNDICE DE AYUDAS ILUSTRATIVAS

Número	Título de la Tabla	Paginación
1	Total de conglomerados y puntos investigados por sitio de estudio.	32
2	Variables evaluadas <i>in situ</i> en cada uno de los puntos que conformaban los conglomerados.	33
3	Procesos desarrollados para obtener variables ambientales espacialmente explícitas desde productos de sensores remotos.	36
4	Localidades utilizadas para generar y proyectar los modelos de distribución de triatominos.	41
5	Triatominos capturados u observados por sitio de estudio.	45
6	Estadística descriptiva de las variables cualitativas medidas en terreno en los puntos investigados, por sitio.	50
7	Estadística descriptiva de las variables cuantitativas medidas en terreno en los puntos investigados: promedio, desviación estándar y mediana, por sitio.	51
8	Estadística descriptiva de las categorías de la variable cuantitativa exposición, calculada desde información obtenida por sensores remotos en los puntos investigados, según localidad.	52
9	Estadística descriptiva de las variables cuantitativas calculadas desde información obtenida por sensores remotos en los puntos investigados: promedio, desviación estándar y mediana, por sitio.	53

<b>Número</b>	<b>Título de la Tabla</b>	<b>Paginación</b>
10	Evaluación de la distribución de los triatominos mediante el Test de Moran.	54
11	Frecuencia de variables cualitativas medidas en terreno según presencia de triatominos.	55
12	Frecuencia de la variable exposición categorizada, según presencia de triatominos.	56
13	Promedios e intervalos de confianza de las variables cuantitativas analizadas, según presencia o ausencia de triatominos.	57
14	Correlación entre pares de variables obtenidas de sensores remotos en los puntos de presencia de triatominos.	59
15	Valor promedio calculado de área bajo la curva (AUC) para cada modelo de predicción Maxent obtenido de la distribución de triatominos.	59
16	Composición porcentual de niveles de idoneidad promedio en los modelos Maxent, por sitio de estudio.	65
17	Contribución porcentual de cada variable en los modelos de distribución de los triatominos.	66
18	Importancia en la permutación de cada variable en los modelos de distribución de los triatominos.	67
19	Nivel de idoneidad umbral utilizado para generar predicción binaria de distribución de triatominos y validación de los modelos binarios generados.	74

Número	Título de la Figura	Paginación
1	Esquema de la distribución espacial de los conglomerados en terreno.	32
2	Matriz de Confusión.	44
3	Resultado positivo de captura en trampa de levadura.	45
4	Distribución de Conglomerados en Aucó.	47
5	Distribución de Conglomerados en Putaendo.	48
6	Distribución de Conglomerados en Til-Til.	49
7	Comparación de resultados de los modelos Maxent a escala 6x6 metros.	60
8	Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 6x6 metros.	61
9	Comparación de resultados de los modelos Maxent a escala 1x1 metro. Sitio de estudio en Aucó.	62
10	Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 1x1 metro.	63

Número	Título de la Figura	Paginación
11	Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 1x1 metro.	64
12	Curvas de respuesta de los modelos Maxent a las variables utilizadas.	69
13	Histogramas de frecuencias con los resultados de las 1.000 iteraciones de ROC parcial para cada modelo de escala 6x6 m con sus respectivas presencias de validación.	72
14	Histogramas de frecuencias con los resultados de las 1.000 iteraciones de ROC parcial para cada modelo de escala 1x1 m con sus respectivas presencias de validación.	73
15	Área predicha en El Maqui, Región de Coquimbo.	75
16	Área predicha en Aucó, Región de Coquimbo.	76
17	Área predicha en El Sobrante, Región de Valparaíso.	77
18	Área predicha en Putaendo, Región de Valparaíso.	78
19	Área predicha en Til-Til, Región Metropolitana.	79
20	Área predicha en Calera de Tango, Región Metropolitana	80

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar un modelo predictivo de distribución de focos de triatominos a escala local en zonas rurales del área endémica de Chile.

Se realizó un muestreo sistemático por conglomerados en 3 zonas de estudio: Aucó, en la Región de Coquimbo; Putaendo, en la Región de Valparaíso; y Til-Til, en la Región Metropolitana, utilizando trampas de levadura en fermentación y observación directa para realizar un recuento de triatominos en cada punto investigado. Se determinó el patrón de distribución de los triatominos mediante el índice de autocorrelación de Moran. Mediante variables medidas en terreno y variables calculadas desde productos de sensores remotos, se determinaron aquellas que resultaron diferentes entre sitios con y sin triatominos, utilizando el test de Kruskal-Wallis. Con las variables derivadas de sensores remotos se generaron modelos predictivos de la distribución de los triatominos mediante el software Maxent, los que se proyectaron en 3 zonas donde no se había realizado el muestreo sistemático. Se compararon los modelos generados al utilizar una resolución espacial de 6x6 metros respecto a una resolución de 1x1 metro, y además se comparó el incorporar el total de las variables al modelo respecto a utilizar sólo aquellas que resultaron significativas previamente. Para la validación de los modelos se utilizó el software Partial ROC para la predicción umbral independiente, y la probabilidad de la distribución binomial en el caso de la predicción binaria al aplicar un umbral, utilizando puntos positivos a triatominos que no habían sido ocupados en la modelación.

El recuento de triatominos fue 211, todos de la especie *Mepraia spinolai*. La distribución espacial de las capturas tuvo un patrón agrupado a nivel de puntos investigados, pero fue aleatoria al analizarlo entre conglomerados. Las variables de terreno que fueron significativamente diferentes entre puntos con y sin triatominos detectados fueron: la pendiente, el porcentaje de piedras, de vegetación herbácea y de vegetación arbustiva, y el promedio de humedad relativa. Las variables producto de sensores remotos que se diferenciaban según la presencia de triatominos fueron: la pendiente, la exposición, el índice de vegetación NDVI y la distancia a construcciones. Los resultados de los modelos predictivos de distribución de *M. spinolai* indicaron que el modelo de resolución espacial 6x6 m con 6 variables (aquellas significativas más la altitud y la distancia a cursos de agua) tuvo el mayor ajuste, por lo que podría utilizarse este modelo para determinar áreas con riesgo elevado de presencia de vectores de la enfermedad de Chagas a escala local en Chile.

**Palabras clave:** Agregación espacial; vectores; idoneidad de hábitat.

## SUMMARY

The goal of this study was to determine a predictive distribution model of triatomines' foci at local scale in rural areas of the endemic area of Chile.

Systematic sampling by clusters was carried out in three study areas: Aucó, in the Region of Coquimbo; Putaendo, in the Region of Valparaiso; and Til-Til, in the Metropolitan Region, using yeast baited traps and direct observation to count triatomines at each assessed point. The distribution pattern of the triatomines was determined using the Moran autocorrelation index. Field variables and variables calculated from remote sensing products were compared between sites with and without triatomines using the Kruskal-Wallis test. Predictive models of the distribution of the triatomines were generated with the variables derived from remote sensors, using Maxent software. These models were projected in 3 areas where systematic sampling was not performed. The models generated were compared using a spatial resolution of 6x6 meters and of 1x1 meter, and comparing the incorporation of the total of the variables to the model or using only those previously significant. Model validation was performed using Partial ROC software for the threshold-independent prediction, and using the binomial distribution probability for the binary prediction, when applying a threshold; triatomine positive points that had not been used previously for modeling were used for validation.

The triatomines' count was 211, all from the species *Mepraia spinolai*. The spatial distribution of the triatomines had a clustered pattern at the point level, but it was random when analyzed between clusters. The field variables that were significantly different between points with and without triatomines were: slope, percentage of stones, herbaceous vegetation and shrub vegetation, and average relative humidity. The variables from remote sensors that differed according to the presence of triatomines were: slope, aspect, NDVI vegetation index and distance to constructions. The predictive distribution models of *M. spinolai* results indicated that the model of spatial resolution 6x6 m with 6 variables (those significant plus elevation and distance to watercourses) had higher accuracy, so it could be used to determine areas with an elevated risk of Chagas disease vectors' presence at a local scale in Chile.

**Keywords:** Spatial clustering; vectors; habitat suitability.

## 1. Introducción

*Trypanosoma cruzi* es un protozoo flagelado (Kinetoplastida: Trypanosomatidae), agente causal de la enfermedad de Chagas, la cual se describe como la tercera enfermedad parasitaria de importancia en el mundo, luego de la malaria y la esquistosomiasis. Su gravedad radica en que es una enfermedad para la cual no existe vacuna, y generalmente la infección pasa desapercibida por muchos años, hasta que finalmente manifiesta los síntomas, que involucran principalmente a los músculos cardíaco y digestivo; las lesiones en los diversos órganos pueden causar incapacidad y muerte.

La transmisión del parásito se realiza principalmente por vía vectorial: insectos de la subfamilia *Triatominae* (Hemiptera: Reduviidae) transmiten el parásito en sus deyecciones, que ingresa al hospedero mamífero por soluciones de continuidad en la piel, o directamente por las mucosas. Potencialmente, todas las especies de triatominos tienen la capacidad de transmitir el protozoo *T. cruzi*.

En las zonas de estudio, correspondientes a la zona Central de Chile, se ha descrito la presencia de dos especies de triatominos: *Triatoma infestans* y *Mepraia spinolai*, las cuales han sido reportadas como vectores de *T. cruzi*. Gracias a la inclusión de Chile en el INCOSUR, se ha logrado controlar la infestación domiciliaria; de hecho, en 1999 se certificó que se interrumpió la transmisión vectorial de la enfermedad de Chagas en el país. A pesar de que en un principio se esperaba erradicar a *T. infestans* por su calidad de vector introducido, de hábitos estrictamente domiciliarios, se ha visto que tiene la capacidad de habitar el ambiente extra-domiciliario; de hecho, se han encontrado focos silvestres tanto en Chile como en Bolivia, Argentina, Brasil y

Paraguay. *Mepraia spinolai* es un vector silvestre, pero que puede fácilmente colonizar el peridomicilio, y podría incluso encontrarse en el ambiente doméstico, por lo que se requiere tener mayor información sobre su hábitat.

En este estudio se pretende investigar la distribución de los vectores de la enfermedad de Chagas en zonas rurales de la zona central de Chile. En particular, se quiere averiguar si existen variables que expliquen su distribución en el espacio a escala local, para construir un modelo con el cual se pueda predecir su ubicación, información que no está disponible actualmente para organismos encargados de su prevención y control, la cual les permitiría optimizar sus recursos, enfocándose en zonas que presenten mayor riesgo de transmisión para el hombre.

## 2. Revisión Bibliográfica

La enfermedad de Chagas existe desde tiempos muy remotos en el continente Americano. Se estima que en América existen 60 millones de personas en riesgo de adquirir la infección. Existirían en América Latina unos 12 a 14 millones de infectados; una minoría creciente vive en países de América del Norte y Europa, principalmente por migración de individuos infectados desde zonas endémicas (Dias, 2007). La estimación del número de infectados en Chile en 2010 era de 119.660 personas (OMS, 2015).

Actualmente, existe vigilancia epidemiológica para la enfermedad en todo Chile y tamizaje obligatorio a la sangre donada en todo el territorio nacional, por el desplazamiento de personas infectadas a lo largo del país, que no se restringen al área endémica - con presencia de vectores -, la que se extiende desde el extremo norte hasta la Región de O'Higgins, incluyendo la Región Metropolitana (MINSAL, 2014). La población humana expuesta ascendería a 873.415 personas aproximadamente, las cuales se concentran en áreas rurales y periurbanas (MINSAL, 2016). En la Encuesta Nacional de Salud 2009-2010, se determinó que la prevalencia en la muestra nacional escrutada fue de 0,7%. En las regiones que son parte de este estudio, la prevalencia fue de 1,8% en la Región de Coquimbo; en la Región de Valparaíso fue 0,9%, y en la Región Metropolitana, 0,7% (MINSAL, 2010).

*Trypanosoma cruzi* es el agente causal de la enfermedad de Chagas. Corresponde a un protozoo mastigóforo perteneciente al Orden Kinetoplastida, Familia Trypanosomatidae, en cuyo ciclo biológico intervienen mamíferos e insectos vectores triatomíneos. Los parásitos son transmitidos a través de las deposiciones infectadas que el vector elimina en el momento de alimentarse

(Atías, 1998). Otras vías de contagio incluyen la vía transfusional, transplacentaria o congénita, trasplante de órganos, vía alimentaria y por accidentes de laboratorio (Schofield, 1994); incluso podría existir transmisión vía sexual (Martin *et al.*, 2015). En Chile se ha interrumpido la transmisión vectorial (OPS, 2009); sin embargo, aún existen hallazgos de triatomínicos intradomiciliarios (ISPCH, 2014), por lo que no se ha podido lograr la meta referente a la eliminación de triatomínicos del intradomicilio (autóctonos o alóctonos), ni tampoco se ha logrado eliminar especies domiciliarias alóctonas de triatomínicos (OPS, 2009).

Los insectos de la subfamilia Triatominae se caracterizan por su hábito hematófago obligado (Lent y Wygodzinsky, 1979). Se han descrito 137 especies de triatomínicos (Galvão *et al.*, 2003). Están muy difundidos en América, ubicándose entre los paralelos 42° de latitud norte y 46° de latitud sur (Schofield, 1994). Existen algunas especies de distribución tropicopolita, como *Triatoma rubrofasciata* (Patterson *et al.*, 2001), y otras que se ubican sólo en el subcontinente indio (Galvão *et al.*, 2002) o en Oceanía (Monteith, 1974).

En Chile se han descrito a la fecha cuatro especies de triatomínicos: *Triatoma infestans*, *Mepraia spinolai*, *Mepraia parapatrica* y *Mepraia gajardoi* (Frías, 2010). *Triatoma infestans* y *M. spinolai* se distribuyen de manera simpátrica (Canals *et al.*, 1997) en la zona Centro-Norte; sin embargo, el área de distribución de *T. infestans* se extiende hasta el extremo norte del país (Schenone y Rojas, 1989). *Mepraia gajardoi* se ubica en el extremo norte de Chile, en la costa de las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá (Frías *et al.*, 1998; Frías, 2010), mientras que *M. parapatrica* se encuentra en el desierto costero de las regiones de Antofagasta y de Atacama (Frías, 2010).

Las preferencias de hábitat, influenciadas por factores climáticos, determinan la distribución de los triatominos. En general, las altas temperaturas podrían extender la distribución geográfica de los vectores silvestres, y la baja humedad podría acortar su ciclo de vida (Carcavallo, 1999). Estos insectos parecen ser capaces de moverse entre microclimas dentro de sus hábitats buscando las condiciones más favorables. Las condiciones ambientales existentes a escala local donde se ubican los triatominos son de interés especial para el control vectorial. Estas condiciones ambientales de interés pueden ser descritas como una función entre la altitud, clima, tipos de vegetación y uso del suelo (Bustamante *et al.*, 2007).

Según Schofield (1979), la selección de microhábitat es influenciada por el sentido de contacto del cuerpo con el substrato - tigmotaxis - y los triatominos prefieren una superficie rugosa y seca. Estudios de preferencia de humedad relativa en *T. infestans* demostraron que tanto los adultos como las ninfas preferían mantenerse en sitios con humedad relativa (HR) cercana a 0%, incluso en el momento de la muda y de la oviposición; al evaluar el efecto de la variación de HR entre 0 y 75% en el éxito de la muda y de la oviposición, no hubo diferencias (Roca y Lazzari, 1994). Al evaluar la preferencia por refugios a distintas temperaturas y HR, *T. infestans* prefirió refugios con una temperatura de 34 °C en vez de 26 °C, y con 20% de HR respecto a los de 80% (Lorenzo y Lazzari, 1999). En *Triatoma brasiliensis*, sin embargo, la baja HR (9,3%) se relacionó con menor éxito de eclosión de los huevos. Además, se observó que la preferencia por HR varió al aumentar el tiempo de hambruna - tiempo desde la última alimentación -, moviéndose a sectores con mayor HR (Guarneri *et al.*, 2002), lo que se relacionaría con una mayor pérdida de agua por parte del insecto expuesto a una baja HR (Prates *et al.*, 2005). Estudios con *M. spinolai* y *T. infestans* chilenos en laboratorio muestran que a temperatura y humedad constantes el tiempo de desarrollo hasta adultos es menor que con temperatura

y humedad variables, que en el caso de *M. spinolai* provocó que los ejemplares murieran antes de alcanzar la adultez (Ehrenfeld *et al.*, 1998; Canals *et al.*, 1992).

Respecto al hábitat silvestre de los triatominos, en general se ha descrito una asociación entre el género *Rhodnius* y palmeras; el género *Panstrongylus* está asociado predominantemente con cavidades de árboles y madrigueras terrestres; y el género *Triatoma* se asocia con hábitats rocosos terrestres y con madrigueras de roedores. Algunas especies de triatominos están muy adaptadas a ciertos nichos especialistas, con coloración que les sirve de camuflaje, como *Microtriatoma trinidadensis* - encontrado en hojas -, *Eratyrus mucronatus* - en árboles huecos -, *Belminus herreri* - entre la corteza de árboles -, *Panstrongylus lignarius* - sobre la corteza - y *Triatoma tibiamaculata* - en bromeliáceas - (Gaunt y Miles, 2000).

A *M. spinolai* se le han descrito distintos ecotopos: chaguales (Bacigalupo *et al.* 2006), pircas - rocas apiladas conformando muros que dividen predios - (Bacigalupo *et al.*, 2010) y acúmulos de piedras en general, como derrumbes en laderas (Botto-Mahan *et al.*, 2005a) y canteras (Cattan *et al.*, 2002), y otros ecotopos silvestres rocosos, asociada con pequeños roedores, conejos, aves marinas y chinchillas (Schofield *et al.*, 1982); también se ha encontrado en viviendas (Canals *et al.*, 1994; ISPCH, 2014), pero es más frecuente en ecotopos peridomésticos como gallineros y corrales de cabras (Schofield *et al.*, 1982).

En cuanto a *T. infestans*, triatomino con un hábitat estrechamente relacionado a estructuras domésticas y peridomésticas, donde el clima es amortiguado de manera importante, se destaca el resultado obtenido por Gorla

(2002), donde la vegetación se muestra como un patrón predictivo de su distribución geográfica, aunque no exista una relación directa sobre él. La interpretación de estos resultados se basa en que la vegetación es una variable que refleja cambios en la temperatura, la disponibilidad del agua y propiedades edáficas que afectan tanto a las tasas demográficas básicas de esta especie como a las de sus hospederos. Por tal razón es posible que para especies más relacionadas con la vegetación, como sería el caso de las especies silvestres, este tipo de estudios produzca mejores resultados en la predicción de su distribución (Sandoval *et al.*, 2006). Para *T. infestans* se han descrito distintos hábitats no domésticos: en Bolivia, sitio donde se reportó por primera vez la existencia de focos silvestres de *T. infestans* en una colina pedregosa (Torrico, 1946, citado por Noireau *et al.*, 2005), se han encontrado otros focos silvestres en árboles huecos (Noireau *et al.* 1999), bromeliáceas terrestres y epífitas, nidos de loros (Noireau *et al.*, 2000), pilas de rocas, bajo rocas en colinas secas y en afloramientos rocosos (Cortez *et al.*, 2007); en Argentina se ha encontrado en árboles - en pie y caídos -, nidos de loros (Ceballos *et al.*, 2009) y huecos de árboles y troncos (Ceballos *et al.*, 2011); en Brasil se encontró en palmeras y huecos de árboles (Barretto *et al.*, 1963) y en grietas y huecos de troncos de árboles vivos, secos o podridos (Barretto *et al.*, 1964); en Paraguay se encontró en ramas, árboles caídos, corteza, madera, madriguera de roedores, nido de aves y en un cactus seco (Rolón *et al.*, 2011). En Chile, en tanto, hay reportes recientes de su localización en bromeliáceas terrestres del género *Puya* (Bacigalupo *et al.*, 2006) y en pircas (Bacigalupo *et al.*, 2010; 2015), además de datos respecto a su hallazgo entre la corteza de un eucaliptus en la Región de Atacama (González, 2006<sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup>GONZÁLEZ, J. 2006. [Comunicación Personal]. Seremi de Salud Atacama, Dpto. de Acción Sanitaria, Jefe de Oficina Provincial Huasco.

Los triatominos tienen una distribución particular en el espacio (a una escala determinada), según su especie. Hay reportes que indican que *Triatoma guasayana* presenta una distribución agrupada en un estudio longitudinal realizado en biotopos de Argentina, en el cual se investigaron cactus (quimiles), chaguales, árboles y troncos, encontrándose mayor cantidad en chaguales y cactus que en árboles y troncos (Wisnivesky-Colli *et al.*, 1997). Los resultados de Vezzani *et al.* (2001) sugieren que la estructura interna de chaguales y quimiles proveen de un mayor número de lugares de descanso y refugio. En la misma especie, se encontró que tenía una distribución significativamente agrupada, y su distribución en ambientes peridomésticos y semi-silvestres estaba determinada por los efectos conjuntos de la abundancia local de cabras y la densidad de hábitats semi-silvestres (Vazquez-Prokopec *et al.*, 2008). Se encontró también distribución agregada para *Triatoma sordida* y *Rhodnius neglectus* en casas y sus anexos, y palmeras, respectivamente, en el sur de Brasil, en un estudio que inspeccionó todos los posibles ecotopos de las áreas muestreadas: las viviendas y estructuras peridomésticas, además de palmeras, árboles secos, nidos de animales, troncos secos y muros de delimitación de recintos (Forattini *et al.*, 1971). En Ecuador, en tanto, *Rhodnius ecuadoriensis* y *Panstrongylus howardi* mostraron distribución agregada, agrupados a distancias generalmente menores de 100 metros; en ese estudio, los factores que explicaban la densidad de triatominos incluyeron: distancia a la vivienda más cercana, tipo de nido, tipo de planta y altura respecto del nivel del suelo (Suarez-Davalos *et al.*, 2010). Un estudio mostró que la distribución agregada de *T. sordida* y *Triatoma brasiliensis* y el patrón de distribución de pequeños mamíferos silvestres y de su infección por *T. cruzi* estaba influenciado por el relieve y por actividades antrópicas, tales como deforestación, quemas y agricultura intensiva (Xavier *et al.*, 2007). En Chile, estudios previos sugerirían que *M. spinolai* presenta distribución agregada, ya que se han detectado variaciones en su abundancia: las capturas totales realizadas periódicamente a

lo largo del año en 4 sitios pedregosos o semi-pedregosos ubicados dentro de un transecto de 3 km en Colina, Región Metropolitana, tuvieron un rango entre 31 y 348 ejemplares por sitio (Ordenes *et al.*, 1996); estas diferencias en abundancia se reflejan en variaciones de densidad de *M. spinolai* entre distintos microhábitats evaluados en la misma zona, siendo mayor la densidad en verano (Cattan *et al.*, 2002). Se ha descrito que *M. spinolai* tiene un ámbito de hogar mayor en verano que en invierno, y tiene mayor capacidad de desplazamiento en verano, probablemente por efecto de las mayores temperaturas; esto fue registrado en la Reserva Nacional Las Chinchillas, Región de Coquimbo (Bottomahan *et al.* 2005b). En *T. infestans* también se ha descrito mayor dispersión en verano en Argentina (Vazquez-Prokopec *et al.*, 2006).

Para modelar la distribución de especies; en este caso, de triatominos, se pueden utilizar métodos de modelación de la distribución de especies o SDM por su nombre en inglés: *Species Distribution Modeling*. SDM extrapola datos de distribución de especies en el tiempo y en el espacio, usualmente basada en un modelo estadístico que describe correlaciones empíricas entre la distribución de especies y variables ambientales (Franklin, 2010). Las relaciones entre organismos y el medio abiótico son una de las causas de los patrones espaciales de distribución, lo que hace que la distribución de los organismos sea descrita razonablemente bien por factores climáticos a escalas espaciales amplias, de kilómetros. Sin embargo, a escalas menores - cientos de metros o menos -, es probable que la distribución responda a factores como la distribución de recursos y variaciones microtopográficas en las condiciones ambientales. Por lo tanto, la extensión espacial y la escala del trabajo condicionan la selección de variables independientes a incluir en la modelación (Mateo *et al.*, 2011).

En cuanto a la enfermedad de Chagas, se ha usado SDM para caracterizar nichos ecológicos, rellenar información acerca de distribuciones previamente desconocidas y para entender relaciones entre hospederos y vectores (Franklin, 2010; Costa y Peterson, 2012). Hay varios estudios que han intentado predecir la ubicación de los triatominos basados en reportes de presencia en sitios puntuales (Gurgel-Gonçalves *et al.*, 2012), a diferentes escalas, utilizando imágenes obtenidas de distintos sensores remotos ubicados en satélites que orbitan la Tierra, midiendo la magnitud de radiación electromagnética reflejada e irradiada por la superficie terrestre y la atmósfera dentro de un rango de longitudes de onda limitado. Los datos de los sensores remotos se guardan y se transmiten como números digitales, y cada valor corresponde a la menor área para la cual el satélite puede registrar datos, los que en pantalla se ven como pixeles (Hay, 2000).

Se han indicado como potenciales relaciones entre factores detectados por sensores remotos y enfermedad de Chagas: el tipo de vegetación o cultivo, donde sería interesante mapear los bosques de palmeras, áreas secas y de bosque degradado como hábitat de triatominos; la deforestación, mapeando nuevos asentamientos en áreas endémicas; y los elementos urbanos, mapeando viviendas que provean de hábitat para los triatominos (Beck *et al.*, 2000).

En cuanto a los sensores remotos, NOAA-AVHRR - *National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer* - el cual tiene una resolución espacial de 1,1 kilómetros, ha sido utilizado para predecir la distribución de varias especies de triatominos (Gorla, 2002; López-Cárdenas *et al.*, 2005; Sandoval-Ruiz *et al.*, 2008; Carbajal *et al.*, 2009; Gurgel-Gonçalves y Cuba, 2009; Batista y Gurgel-Gonçalves, 2009; Gurgel-Gonçalves *et al.*, 2012); MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, que

presenta resoluciones entre 250 metros y 1 kilómetro, ha sido menos utilizado (Porcasi *et al.*, 2006; Carbajal *et al.*, 2009; Vazquez-Prokopec *et al.*, 2012); Landsat, con una resolución de entre 15 y 120 metros ha sido utilizado más recientemente (Gorla, 2006; Sulbarán, 2009; Vazquez-Prokopec *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2013); SPOT-5, con una resolución que varía entre 2,5 y 20 metros sólo ha sido usado una vez para predecir la distribución de triatomos (Roux *et al.*, 2011). IKONOS y Quickbird tienen muy alta resolución, de hasta 1 metro y 61 centímetros, respectivamente, lo que permite realizar análisis de mucho detalle en áreas pequeñas (Gorla, 2006); de éstos, Cecere *et al.* (2004), McGwire *et al.* (2006) y Vazquez-Prokopec *et al.* (2008), han utilizado el primero para estudio sobre vectores de la enfermedad de Chagas. Los sensores Worldview tienen una de las mayores resoluciones espaciales disponible comercialmente: entre 0,3 y 2 metros; sin embargo, no han sido utilizados aún para predecir la ubicación de triatomos, pero sí como fotografía para mostrar un sitio de estudio de la enfermedad de Chagas en Perú (Delgado *et al.*, 2011). Mejorar la resolución espacial puede aumentar el número de sitios con datos de presencia de especies (Carbajal *et al.*, 2009).

El paisaje se puede definir como un área de terreno que contiene un mosaico de elementos o parches, que pueden estar inmersos en una matriz; el tamaño del área o escala depende del objetivo del estudio (Forman, 1995). Las características del paisaje, en conjunto con la demografía, podrían explicar las diferencias encontradas en la prevalencia y abundancia de *T. guasayana* en hábitats silvestres y peridomésticos entre comunidades (Vazquez-Prokopec *et al.*, 2008). Un estudio en el Chaco argentino encontró que se presentaban mayor fragmentación de la vegetación y mayor proporción de suelo desnudo en las localidades con mayor infestación por *T. infestans* (Gorla *et al.*, 2011). Las métricas que se derivan de los mapas categóricos del paisaje cuantifican diferentes aspectos como la forma, el tamaño de un parche, la conectividad de

una clase de cobertura y la heterogeneidad del paisaje (Gorla *et al.*, 2011). En cuanto al efecto del paisaje, en el estudio de Leite *et al.* (2011) se encontró que las variaciones de pendiente tenían una alta correlación con la presencia de triatominos, y los índices de paisajes asociados con el número de triatominos domiciliarios capturados fueron el número de parches, el índice de dimensión fractal, el área núcleo total y el índice de agrupamiento de los parches de bosque.

Mientras continúen las modificaciones de hábitat, las comunidades bióticas y las interacciones entre los organismos se modificarán, por lo que la población humana se verá expuesta a agentes infecciosos zoonóticos, como *T. cruzi*; por tanto, la detección precoz y vigilancia de estas formas de exposición requerirá del análisis de paisajes y de todos los organismos que interactúen con la transmisión del patógeno, además de incluir las costumbres y características culturales y sociales humanas, requiriendo de la participación comunitaria en estrategias preventivas y de control (Ramsey *et al.*, 2012).

Uno de los puntos necesarios para optimizar el control vectorial es determinar de forma precisa la presencia y distribución de poblaciones de triatominos silvestres (Waleckx *et al.*, 2015). Esta tarea es difícil de abordar, por lo extenso de los territorios, y la falta de fondos y personal para realizar estas inspecciones (López-Cárdenas *et al.*, 2005). La OPS (2004) ha recomendado incorporar nuevas tecnologías en la vigilancia epidemiológica, incluyendo sistemas de información geográfica e información proveniente de sensores remotos, a objeto de caracterizar la situación, introduciendo variables temporo-espaciales que permitan focalizar de mejor forma las acciones del programa de control vectorial.

En Chile se realizó un estudio previo basándose en los reportes de avistamiento de triatominos por parte de la población rural en las regiones de Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana, modelando la probabilidad de presencia de triatominos con una resolución espacial de 10; 5 y 2,5 km (Hernández *et al.*, 2013). El mejor modelo de ese estudio, utilizando las variables más importantes con una resolución espacial de 5 km, arrojó un promedio de probabilidad de presencia de triatominos para la Región de Coquimbo de 61,3; para la Región de Valparaíso fue de 39,0 y para la Región Metropolitana fue de 36,0 (Hernández *et al.*, 2013). Sin embargo, la resolución espacial utilizada en ese estudio no permitía lograr discernir la ubicación de potenciales focos de triatominos a escala local.

Este estudio apunta a facilitar la detección de las poblaciones localizadas fuera de los domicilios, para que los programas de control puedan adecuar sus estrategias de acuerdo a las condiciones existentes alrededor de las viviendas que presentan triatominos.

### **3. Objetivos**

#### **Objetivo General**

Determinar un modelo predictivo de distribución de focos de triatominos a escala local en zonas rurales del área endémica de Chile.

#### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar la existencia de patrones no aleatorios de distribución espacial de triatominos a escala local.
2. Determinar las variables espacialmente explícitas que explican estos patrones de distribución de triatominos a escala local.
3. Evaluar y comparar modelos que utilicen estas variables para predecir la distribución de triatominos.

## **4. Hipótesis**

### **Hipótesis 1**

Los focos de triatominos presentan un patrón de distribución espacial agregado a escala local.

### **Hipótesis 2**

La distribución de los focos de triatominos a escala local se explica en una gran proporción por la variación espacial de un conjunto finito de variables ambientales.

### **Hipótesis 3**

Si se conoce la variación espacial del conjunto finito de variables ambientales que explican la distribución observada de triatominos, entonces es posible predecir su distribución en sitios no observados, utilizando modelos espacialmente explícitos.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Descripción del área de estudio

Los sitios de estudio se ubican en la zona Centro-Norte de Chile, que se caracteriza por ser una zona árida, con clima de tipo Mediterráneo árido dominado por movimientos anuales del anticiclón del Océano Pacífico y la corriente fría de Humboldt a lo largo de la costa. La lluvia se concentra en los meses de invierno, entre Mayo y Agosto, pero tiene un marcado déficit de agua durante la mayor parte del año, el cual es reducido en parte por la neblina costera, y por el rocío en el interior. La geografía se caracteriza por presentar una serie de cordones montañosos y valles transversales, en los cuales fluyen ríos. Las laderas de exposición norte y noroeste están particularmente expuestas, y tienen escasa cubierta vegetal; en las laderas de exposición sur se observan algunos pastos gruesos y arbustos. Los valles, en cambio, tienen suelos extremadamente fértiles (Schofield *et al.*, 1982).

El área de estudio incluyó 3 zonas de 25 km<sup>2</sup>, dentro de las cuales se tenía reportes de focos silvestres de triatominos; se excluyeron las zonas urbanas. Las zonas donde se localizaron las áreas de estudio fueron:

- Aucó, Comuna de Illapel, Provincia de Choapa, Región de Coquimbo.
- Putaendo, Comuna de Putaendo, Provincia de San Felipe de Aconcagua, Región de Valparaíso.
- Til-Til, Comuna de Til-Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.

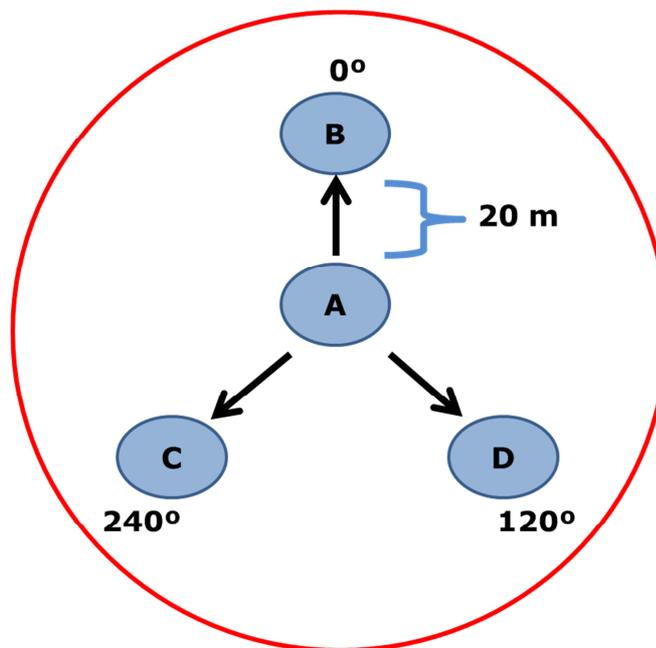
Estas 3 áreas de estudio se ubicaban en sectores correspondientes a probabilidades de presencia promedio de 70,5 (Aucó); 41,7 (Putando) y 47,7 (Til-Til), según el mejor modelo con las variables más importantes de 5x5 km de Hernández *et al.* (2013); es decir, todos los sitios de estudio tenían mayor probabilidad de presencia de triatominos que el promedio regional predicho por ese modelo.

## 5.2. Procedimiento de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio sistemático, utilizando el software Hawth's Tools en ArcGis 9.3, para obtener un mínimo de 25 conglomerados en cada zona [Tabla 1]. El procedimiento en terreno, en cada conglomerado, consistió en posicionarse en el punto sorteado, que se identificó con la letra A. Se georreferenció la ubicación de dos trampas para captura de triatominos, que se colocaron en un radio de 3 metros desde el punto sorteado. Luego, utilizando una brújula, se establecieron otros 3 puntos con 2 trampas cada uno, a 20 metros del punto original, en dirección 0° (Norte magnético) - punto B; - en dirección 240° - punto C -; y en dirección 120° - punto D -. Así, cada conglomerado quedó establecido por 4 puntos: A, B, C y D [Figura 1]. Cada trampa consistió en un recipiente con levadura en fermentación, más un receptáculo para contener a los triatominos separado del cebo; por fuera se agregó un trozo de cinta adherente de doble faz, a la cual podrían adherirse los vectores. Durante la mañana siguiente se retiraron las trampas, registrándose la cantidad de triatominos capturados, indicando cuántos correspondían a cada una de las especies de triatominos descritas en la zona: *M. spinolai* y *T. infestans*. Todo el muestreo se realizó en verano: Til-Til se investigó a fines de diciembre de 2012; Aucó a fines de enero de 2013 y Putando en febrero de 2013; cada área se prospectó en alrededor de 15 días.

**TABLA 1. Total de conglomerados y puntos investigados por sitio de estudio.**

Sitio	Conglomerados	Puntos
Aucó	29	116
Putando	30	120
Til-Til	29	116
<b>TOTAL</b>	<b>88</b>	<b>352</b>



**FIGURA 1. Esquema de la distribución espacial de los conglomerados en terreno.**

En azul aparecen los puntos investigados (A, B, C y D), a los cuales se le colocaron 2 trampas a cada uno, y en rojo se indica que el conjunto de puntos conforma el conglomerado.

Para obtener la posición de los vectores, cada trampa se georreferenció utilizando equipos de geoposicionamiento satelital - GPS - marca Garmin™ modelo GPSMap 78S, utilizando el sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 19 Sur. Los puntos georreferenciados de captura de triatominos fueron traspasados a un ordenador mediante los programas BaseCamp ®4.0.5 y/o MapSource ® Versión 6.16.3 de Garmin™. Se generó una base de datos en formato Excel, con la información respecto a la especie y cantidad de triatominos capturados por punto, y otras variables registradas asociadas a ese punto en terreno [Tabla 2].

**TABLA 2. Variables evaluadas *in situ* en cada uno de los puntos que conformaban los conglomerados.**

Variable	Tipo	Metodología
Presencia de Rocas	Categórica	Apreciación visual dentro de un radio de 3 metros, desde el punto medio entre las dos trampas colocadas
Presencia de Bromeliáceas		
Presencia de Cactáceas		
% de Cobertura Arbórea	Continua	
% de Cobertura Arbustiva		
% de Cobertura Herbácea		
% de Piedras		
% de Suelo Desnudo		
Pendiente en grados	Continua	
Posición UTM WGS84 19S	Continua	Medición mediante GPS
Altitud		
Temperatura en grados Celsius	Continua	Medición mediante Datalogger cada 15 minutos
Humedad Relativa		
Presencia de Triatominos	Categórica	Chequeo de trampas al día siguiente de su colocación, observación durante muestreo
Especie de Triatominos		
Abundancia de Triatominos	Discreta	

### **5.3. Evaluación de la existencia de patrones de distribución espacial de los triatominos**

Para cumplir con el objetivo número 1, se utilizaron sistemas de información geográfica, para analizar si el patrón de distribución de los triatominos se presenta al azar, agrupado o distribuido de manera uniforme en el espacio, a escala local. El modelo teórico más simple indica que los eventos (puntos donde se localizan las observaciones dentro del área estudiada) tienen una distribución de completa aleatoriedad espacial, en la cual los eventos se distribuyen de acuerdo a una misma probabilidad de distribución en el área; si los eventos muestran algún patrón espacial que difiere del azar, ya sea en dirección al agrupamiento – es decir, los eventos tienden a ocurrir en proximidad a otros eventos -, o a la regularidad – los eventos ocurren a intervalos regulares o uniformes –se estaría en presencia de un patrón de distribución espacial agrupado, en el primer caso, o uniforme, en el segundo caso (Gatrell *et al.*, 1996).

Se utilizó el programa ArcGis 10.3 for Desktop, utilizando la herramienta *Spatial Autocorrelation* (Morans I). Ésta mide la autocorrelación espacial basada en la ubicación y los valores de una variable analizada (conteo de triatominos) usando la estadística global de Moran I, indicando si el patrón es agrupado, uniforme o aleatorio, que se calculó por el método del inverso de la distancia en una distancia máxima de 4000 m.

Se realizó el análisis de la distribución con los puntos de captura, y luego con los conglomerados, condensando la información de los cuatro puntos que componían cada conglomerado.

#### **5.4. Análisis de la distribución de triatominos a escala local según posibles variables explicativas espacialmente explícitas**

Para cumplir con el objetivo número 2, se evaluaron en terreno las variables indicadas en la Tabla 2.

Los datos de temperatura y humedad relativa fueron procesados para obtener medidas de tendencia central y de dispersión: promedio, desviación estándar, mínimo y máximo.

Los procesos realizados en ArcGis 10.3 para obtener variables espacialmente explícitas que abarcaban toda el área de estudio de cada sitio se observan en la Tabla 3. Los productos de sensores remotos usados para obtener las variables fueron imágenes de WorldView-2™, las cuales tienen una resolución espacial de 50 cm en su sensor pancromático (1 banda) y de 2 m en el multiespectral (4 bandas), y el modelo digital de elevación (DEM) ASTER GDEM V2 de resolución 30 m. La base de datos de presencias fue llevada desde el formato Excel a un formato CSV, soportado por Maxent. Se extrajo la información correspondiente al valor de las variables PendienteDEM, AltitudDEM, Exposición, NDVI, Distancia\_construcciones y Distancia\_agua en cada punto de muestreo desde los *rasters* obtenidos de 6 m. Esta información se agregó a la base de datos que incluía las variables medidas *in situ* [Tabla 3].

Finalmente, utilizando el programa SPSS Statistics 17.0, se estimó si existían diferencias entre sitios positivos a triatominos respecto de los sitios donde el muestreo fue negativo, utilizando el test exacto de Fisher para variables cualitativas y Kruskal-Wallis para aquellas continuas no normales. La normalidad se midió previamente utilizando el test Shapiro Wilk.

**TABLA 3. Procesos desarrollados para obtener variables ambientales espacialmente explícitas desde productos de sensores remotos.**

Proceso	Objetivo	Método	Resultado
Ortorrectificación de imágenes WorldView-2 de resolución 0,5 m	Corregir la geometría de las imágenes satelitales	Se localizaron entre 400 y 500 puntos de control por imagen (error residual RMS=0). Se corrigieron además las zonas carentes de datos mediante una selección de píxeles con valores nulos, mediante el método de clasificación supervisada	6 imágenes satelitales WorldView-2 geoméricamente rectificadas en formato TIF a 0,5 m de resolución
Cambiar la resolución espacial	Reducción de tamaño de archivos para permitir procesamiento posterior	Se transformaron las imágenes desde una resolución de 0,5 m a resoluciones de 1 y a 6 m, respectivamente.	6 imágenes satelitales WorldView-2 geoméricamente rectificadas en formato TIF a 1 m de resolución y 6 imágenes a 6 m
Obtención de variables espacialmente explícitas desde imágenes rectificadas WorldView-2 de resolución 1 m y de resolución 6 m	Obtener variable "Índice de vegetación diferenciada normalizada (NDVI)"	Cálculo del NDVI, de acuerdo a la fórmula: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ , donde NIR es la banda de radiación infrarroja cercana, y R es la banda de radiación roja visible	Variable NDVI en formato TIF
	Obtener variable "Distancia a construcciones y caminos pavimentados (Distancia_construcciones)"	Digitalización por fotointerpretación de las construcciones y los caminos pavimentados. Medición de la distancia de cada píxel respecto a las construcciones mediante el método de Distancia euclidiana	Variable Distancia_construcciones en formato TIF
Obtención de variables espacialmente explícitas desde imágenes rectificadas WorldView-2 de resolución 1 m y de resolución 6 m	Obtener variable "Distancia a zonas húmedas o de acumulación de agua (Distancia_agua)"	Análisis hidrológico determinando los sitios de acumulación y flujo concentrado de agua en cada paisaje. Se combinó con una digitalización de vaguadas mediante fotointerpretación. Posteriormente se calculó la distancia de cada píxel respecto a las zonas descritas mediante el método de la distancia euclidiana.	Variable Distancia_agua en formato TIF

Proceso	Objetivo	Método	Resultado
Obtención de variables espacialmente explícitas desde el DEM Aster de resolución 30 m	Obtener variable "Altitud o Elevación (AltitudDEM)"	Se redujo la escala del DEM mediante el método de interpolación bilinear, pasando desde una resolución de 30 m a resoluciones de 1 m y de 6m, respectivamente	Variable AltitudDEM en metros en formato TIF
	Obtener variable "Pendiente (PendienteDEM)"	El DEM calibrado de resolución 1 m y el de 6 m fueron utilizados para calcular la pendiente en grados	Variable PendienteDEM en grados en formato TIF
	Obtener variable "Exposición"	El DEM calibrado de resolución 1 m y el de 6 m fueron utilizados para calcular la exposición solar en grados	Variable Exposición en grados en formato TIF
Ensamble de las variables espacialmente explícitas obtenidas	Compilar las variables para cada sitio	Las variables calculadas de manera individual para cada sitio se vincularon para obtener <i>rasters</i> ensamblados, generando mosaicos	Mosaicos de 6 variables para cada uno de los sitios con resolución de 1 m
	Compilar los sitios para trabajar con los 3 sitios de muestreo a la vez	Las variables calculadas de manera individual para cada sitio con resolución 6 m se vincularon para obtener dos <i>rasters</i> finales ensamblados, el primero de Aucó – Putaendo – Til-Til y el segundo de El Maqui – El Sobrante – Calera de Tango.	<i>Rasters</i> de 3 sitios combinados de resolución 6 m, con fondo de píxeles transparente (de valor nulo)
Cambio de formato	Compatibilizar el formato de las variables obtenidas con el formato soportado por el software Maxent.	Se transformaron los <i>rasters</i> obtenidos desde un formato TIF a un formato ASC	Variables ambientales en formato ASC

## 5.5. Evaluación de modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local

Referente al objetivo 3, se seleccionó un método de predicción de la distribución que utiliza sólo presencias, ya que en el caso de haber obtenido un resultado negativo con el trapeo en el sitio una sola vez, es aventurado declarar ese punto como negativo a la infestación, ya que puede haber problemas en la sensibilidad del método de trapeo utilizado. En este contexto, se entiende sensibilidad como la probabilidad de detectar al menos un triatomo en un sitio que está infestado; por lo que se puede traducir como la probabilidad de detección condicionada a la ocurrencia (Abad-Franch *et al.*, 2014). Si la sensibilidad es menor a 1, algunos sitios se clasificarán como no infestados, a pesar de que en realidad estén infestados, por lo que constituirán falsos negativos (Abad-Franch *et al.*, 2014). Por otro lado, los triatominos fueron identificados utilizando claves taxonómicas en laboratorio - Lent y Wygodzinsky (1979) para los adultos y Frías *et al.* (1987) para estadios ninfales y adultos -, por lo que no existió confusión con otros artrópodos que pudiesen generar falsos positivos.

Existe un gran número de métodos que han sido utilizados para modelar la distribución de especies. Entre los SDM disponibles, Maxent o máxima entropía es un método de aprendizaje estadístico automático, cuyo principio indica que la distribución de probabilidad de máxima entropía – la más extendida, cercana a la distribución uniforme – sujeta a restricciones conocidas, es la mejor aproximación a una distribución desconocida, puesto que está de acuerdo con todo lo que se conoce pero evita asumir todo lo que no sea conocido (Phillips *et al.*, 2006). Las restricciones son definidas por el valor esperado de la distribución, que es estimado desde un set de observaciones de

presencia de la especie. Las ubicaciones sin registros de ocurrencia de la especie no son interpretadas como ausencias, sino que representan el entorno ambiental del área de estudio. La distribución estimada es la distribución multivariada de condiciones adecuadas de hábitat asociadas a las ocurrencias de una especie, en el espacio ambiental. Los resultados se pueden someter a interpretación en la forma de funciones de respuesta ambiental. Además, es robusto al trabajar con muestras pequeñas. El programa Maxent para SDM se puede obtener de forma libre (Franklin, 2010). Para evitar el sobreajuste, el programa aplica una regularización, la que asegura que las restricciones empíricas no sean ajustadas de forma demasiado precisa, y que reduce el número de elementos del modelo (Merow *et al.*, 2013). MaxEnt ha sido usado extensamente para SDM (Elith *et al.*, 2011), y entrega comparativamente mayores valores de AUC – área bajo la curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) - que casi todos los otros métodos analizados (Elith *et al.*, 2006). El estadístico umbral-independiente AUC mide la exactitud de la predicción, y se interpreta como la probabilidad de que una presencia seleccionada al azar tenga un valor mayor que un punto aleatorio del entorno (Merow *et al.*, 2013). MaxEnt también fue evaluado por otros métodos – correlación y Kappa -, manteniéndose en el grupo de programas de mejor rendimiento (Elith *et al.*, 2006).

Las variables ambientales obtenidas desde las imágenes Worldview-2 tienen escala espacial muy fina, por lo que se decidió utilizar los puntos que componen los conglomerados como unidades en sí mismas (A, B, C y D), sin combinarlos, ya que restaría información detallada disponible para la coordenada precisa donde fueron capturados los triatomos. Se analizó la correlación entre pares de variables en los puntos de presencia con el test de Spearman utilizando el software SPSS Statistics 17.0. La base de datos de

presencias se transformó desde .xlsx a .csv, de estructura predefinida, requerida por el programa de modelamiento.

Las variables obtenidas desde las imágenes WorldView-2 y desde el DEM se ingresaron al programa Maxent, más los puntos de presencia de triatominos detectados en terreno. Los modelos se generaron utilizando la técnica de remuestreo *bootstrap* con 100 réplicas y 500 iteraciones cada uno, y los modelos finales correspondieron al modelo promedio generado de las réplicas. Su ajuste se evaluó por la métrica de AUC. La importancia de las variables se probó por *jackknife* (Baldwin, 2009).

Para la visualización de los resultados de la modelación se utilizó el programa ArcGis 10.3, previa conversión a formato *raster*, diagramando la función de probabilidad promedio de presencia de estos vectores en las áreas de estudio. Estos mapas representan el hábitat potencial de los triatominos a escala local. Los valores de probabilidad de presencia fueron amplificados por 100 y convertidos en números enteros para su tabulación.

En el caso de los modelos realizados a escala 1x1 metro en el sitio de Aucó, para su visualización se calculó el promedio de los 5 valores promedio de idoneidad.

Para generar el modelo con pixel de tamaño 6 metros, se utilizaron los puntos de presencia e información ambiental de las 3 áreas en estudio combinadas. Para el tamaño de pixel 1 metro, debido al gran tamaño de las imágenes y considerando los requerimientos informáticos, se modeló con los puntos de presencia y variables ambientales de Aucó. Los modelos obtenidos se proyectaron sobre 3 zonas con reporte de triatominos de 5x5 km indicadas

en la Tabla 4, para las cuales se obtuvieron las variables ambientales requeridas por los modelos, realizando los procesos previamente descritos [Tabla 4].

El área de proyección del modelo de El Maqui tenía como antecedente un promedio de probabilidad de presencia de triatominos de 60; el promedio en El Sobrante era de 61,1 y en Calera de Tango alcanzaba 25,1, según el mejor modelo de Hernández *et al.* (2013).

**TABLA 4. Localidades utilizadas para generar y proyectar los modelos de distribución de triatominos.**

Zona	Localidad			Utilización de los datos	
	Comuna	Provincia	Región	Resolución 6 m	Resolución 1 m
El Maqui	Monte Patria	Limarí	Coquimbo	Proyección	Proyección
Aucó	Illapel	Choapa		Modelación	Modelación
El Sobrante	Petorca	Petorca	Valparaíso	Proyección	Proyección
Putando	Putando	San Felipe de Aconcagua		Modelación	Proyección
Til-Til	Til-Til	Chacabuco	Metropolitana	Modelación	Proyección
Calera de Tango	Calera de Tango	Maipo		Proyección	Proyección

## 5.6. Comparación de modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local

Se compararon los modelos según su escala, de acuerdo al número de variables utilizadas para generarlos. La comparación de escala se realizó variando el tamaño de pixel - 6x6 m versus 1x1 m -; es decir, se comparó la resolución espacial a escala local. La comparación de acuerdo al número de variables utilizadas se realizó incorporando las 6 variables disponibles en formato *raster* versus ocupar sólo aquellas variables en formato *raster* que fueron estadísticamente distintas en los puntos con y sin detección de triatominos.

En los 6 sitios se contaba con puntos de ocurrencia de triatominos que no habían sido utilizados para generar los modelos, obtenidos previamente al estudio por muestreo, o detectados fuera de los conglomerados que se utilizaron para modelar durante el estudio, que en lo sucesivo se denominarán “presencias de validación”. *Mepraia spinolai* se había detectado en El Maqui, Aucó, El Sobrante, Putaendo y Til-Til. En Calera de Tango se incluyeron puntos de captura de *T. infestans*.

Se realizaron 2 comparaciones: la primera, ocupando los resultados umbral-independiente que entrega Maxent, y la segunda, aplicando un umbral, el cual fue definido como aquel valor que incluyera como presencias a todos los puntos de presencia con los que se generó el modelo, para así dar mayor importancia a los errores de omisión (falsos negativos) que a los de comisión (falsos positivos) del modelo. Los errores de omisión en predicciones espaciales corresponden a omitir área de distribución de la especie; los errores de

comisión implican incluir áreas no adecuadas en la predicción (Peterson *et al.*, 2008).

La primera comparación se realizó ocupando el software PartialRoc (Barve, 2008), el cual genera el AUC especificando como umbral: 1 – omisión en el eje Y, y como resultado genera la razón entre el AUC en el umbral 1-omisión y el AUC en 0,5 (o 50%, predicción al azar). Para realizar el procedimiento se ingresó el archivo de idoneidad de hábitat obtenido para el área respectiva, el cual fue transformado a un archivo de números enteros multiplicado por 100, con el recuento del número de píxeles por cada valor de idoneidad predicho por el modelo (0-100) para esa área. Además, se incorporaron las presencias de validación, a las cuales se les asoció el valor correspondiente de idoneidad predicho en cada uno de los modelos generados, según su ubicación geográfica. Se ocupó el 50% de los puntos para realizar el remuestreo en cada una de las 1000 iteraciones del modelo, y se definió como valor máximo de omisión el 5% de las presencias, por lo que 1-omisión debía ser mayor que 0,95 (95%). La decisión del mejor modelo se tomó comparando modelos en una misma área según la Razón de AUC, la cual debe ser mayor de 1 (mejor que al azar).

La segunda comparación se realizó utilizando una matriz de confusión [Fig. 2], la cual resume el rendimiento de modelos con presencias y ausencias (Fielding y Bell, 1997), donde se consideró que los resultados de terreno conformaban la realidad, lo cual incorpora el sesgo de que los negativos puedan ser en realidad falsos negativos, y que los resultados al aplicar el umbral conformaban la predicción. El umbral se definió como el valor de idoneidad menor obtenido por las presencias de terreno en el área de modelación; cualquier valor bajo este umbral, correspondió una predicción de ausencia, y los valores iguales o mayores al umbral, fueron predichos como

áreas de presencia. Utilizando las presencias de validación, se calculó la probabilidad de asociación entre esos puntos y la predicción (área predicha como positiva al aplicar el umbral) utilizando el test de distribución binomial acumulada, expresando como número de éxitos las presencias de validación que se ubican dentro de la zona predicha positiva al aplicar el umbral; como número de intentos el total de presencias de validación en la zona de estudio evaluada; y como probabilidad de éxito la razón entre el total de píxeles clasificados como positivos respecto del total de píxeles de la zona de estudio evaluada. Se consideró como significativa una asociación con una probabilidad menor o igual a 0,05.

		Realidad	
		+	-
Predicción	+	a	b
	-	c	d

**FIGURA 2. Matriz de Confusión.**

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Detección de triatominos

Mediante el muestreo por conglomerados se capturó o avistó un total de 211 triatominos, todos pertenecientes a la especie silvestre *Mepraia spinolai*. La Figura 3 ejemplifica resultados positivos de captura con las trampas utilizadas. La distribución de los vectores por sitio de estudio se puede observar en la Tabla 5.



**FIGURA 3. Resultado positivo de captura en trampa de levadura.**

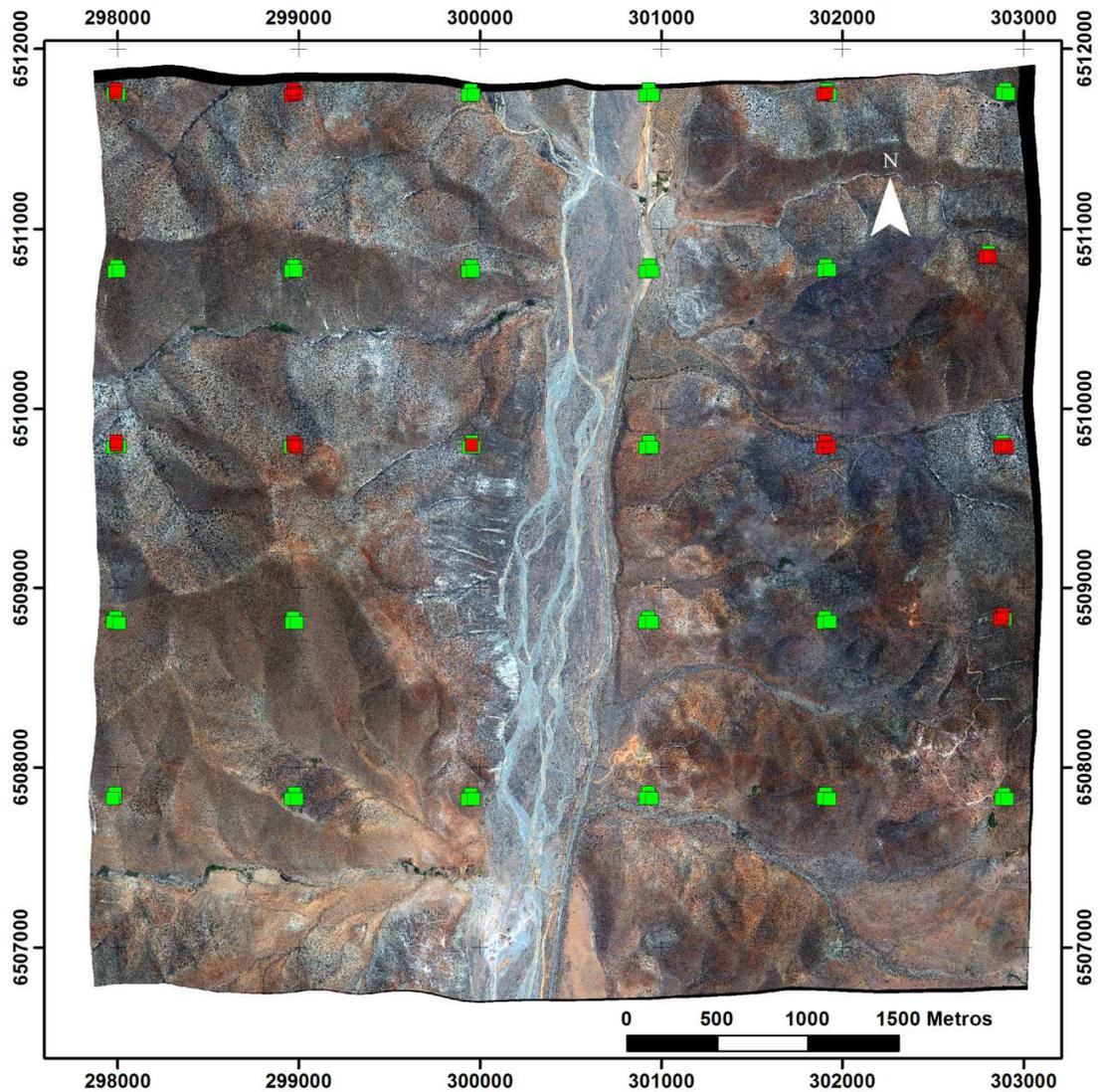
Fotografía izquierda: Captura de *Mepraia spinolai* en cinta adhesiva de doble faz.

Fotografía derecha: Captura de *Mepraia spinolai* en receptáculo superior.

**TABLA 5. Triatominos capturados u observados por sitio de estudio.**

Sitio	Recuento por Especie		Distribución	
	<i>Mepraia spinolai</i>	<i>Triatoma infestans</i>	Conglomerados	Puntos
Aucó	102	0	10	26
Putando	101	0	3	8
Til-Til	8	0	4	4
<b>TOTAL</b>	<b>211</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>38</b>

En general, sólo en algunos puntos de los conglomerados se detectaron los insectos vectores. La distribución de los puntos positivos y negativos por sitio se puede observar en las Figuras 4-6, en la imagen superior; el mapa de la derecha abajo en cada figura muestra la ubicación del sitio de estudio respectivo en la zona central de Chile [Figuras 4-6].



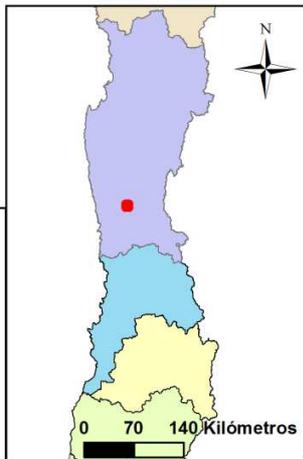
**Aucó**  
**Región de Coquimbo**  
**Conglomerados**  
**Puntos investigados**

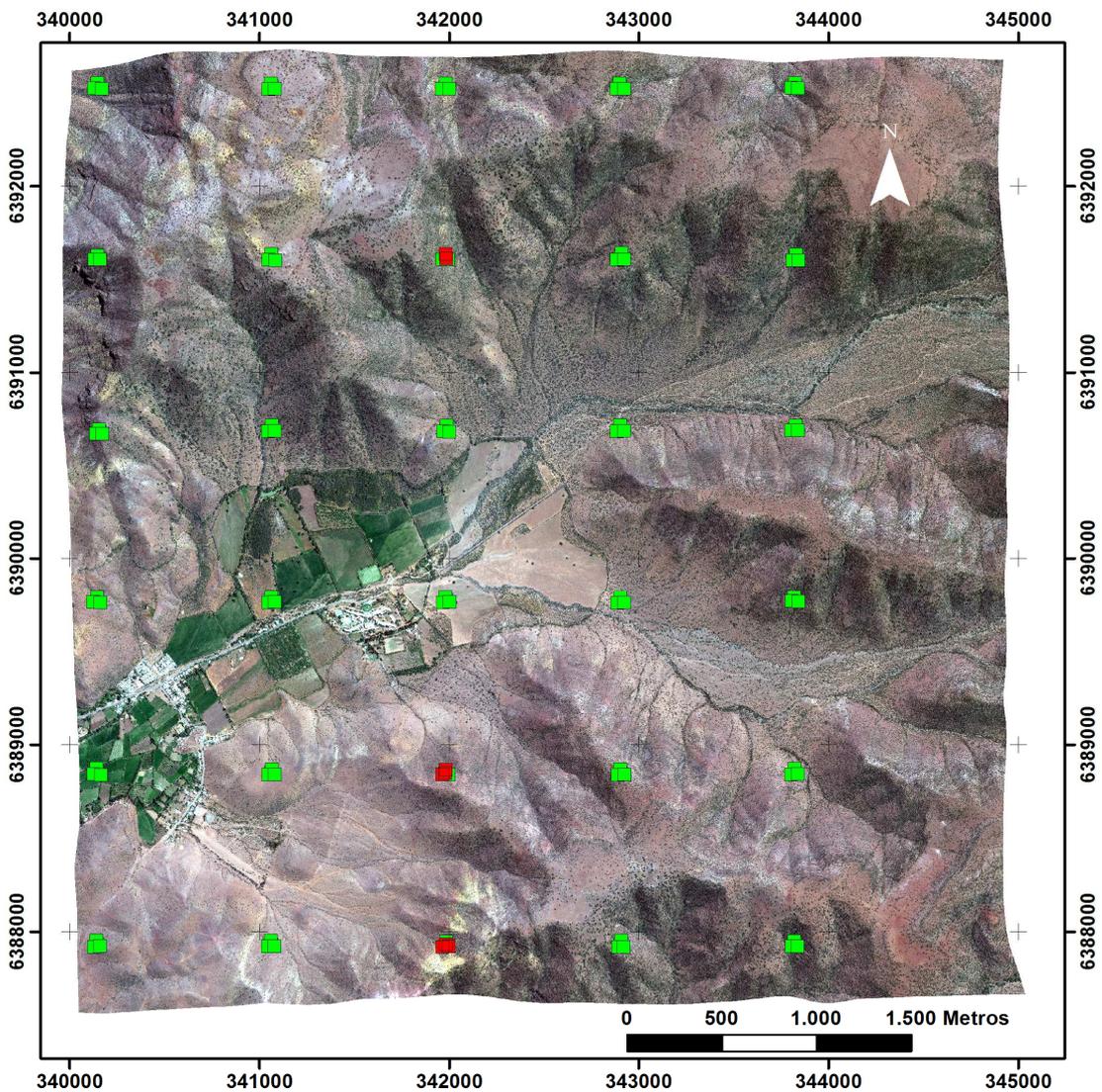
- Sin detección de triatominos
- Presencia de triatominos

**FIGURA 4.**  
**Distribución de**  
**Conglomerados en Aucó.**

**Simbología**

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Región de O'Higgins
- Chile. UTM WGS84 19S





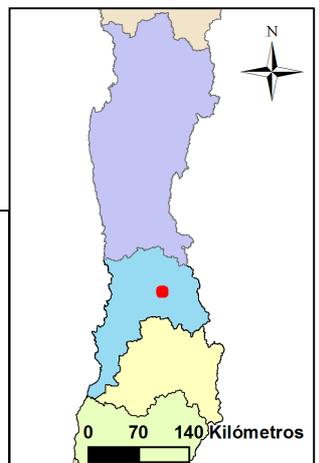
**Putaendo**  
**Región de Valparaíso**  
**Conglomerados**  
**Puntos investigados**

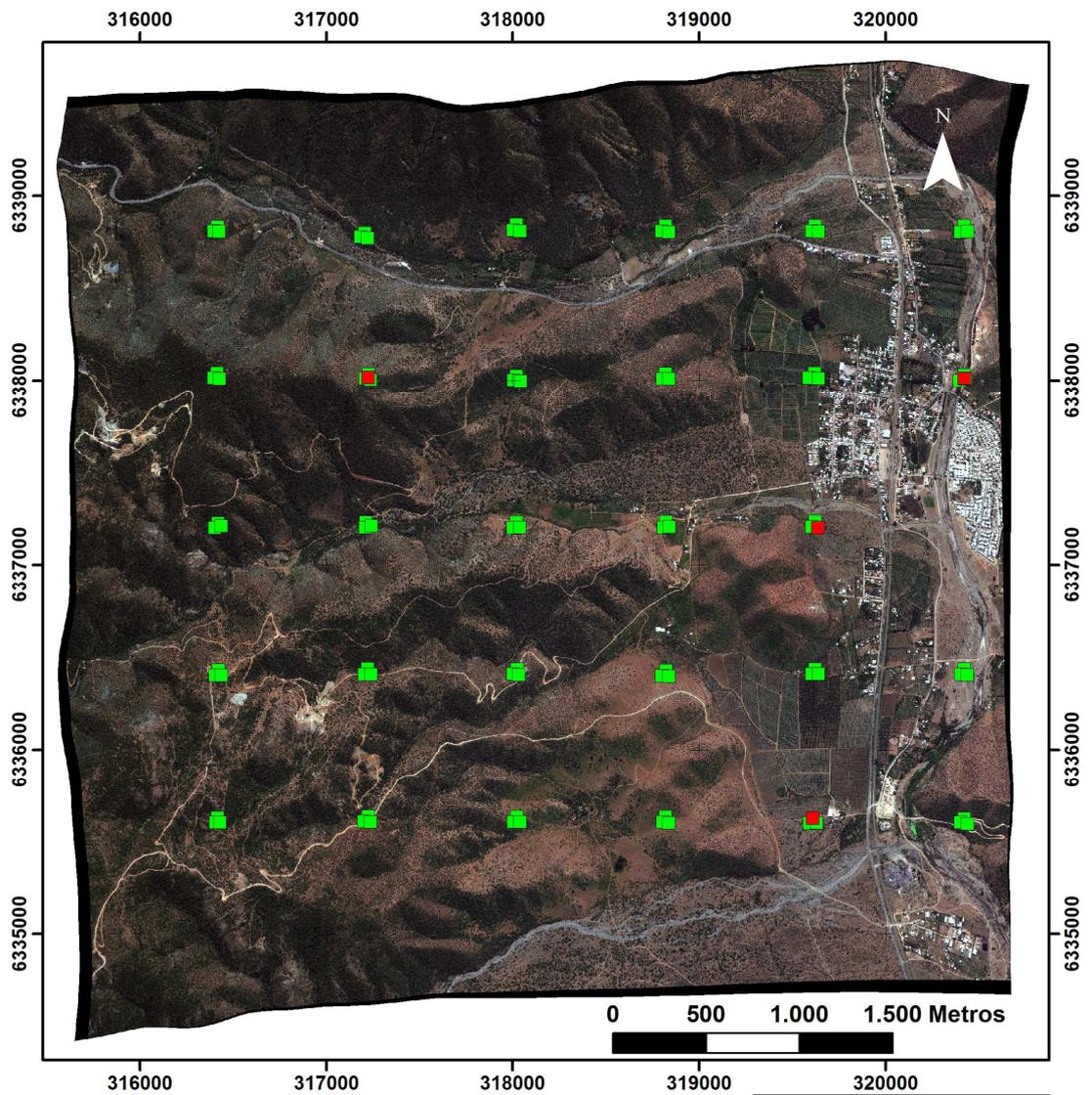
- Sin detección de triatomines
- Presencia de triatomines

**FIGURA 5.**  
**Distribución de conglomerados en Putaendo.**

**Simbología**

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Región de O'Higgins
- Chile. UTM WGS84 19S





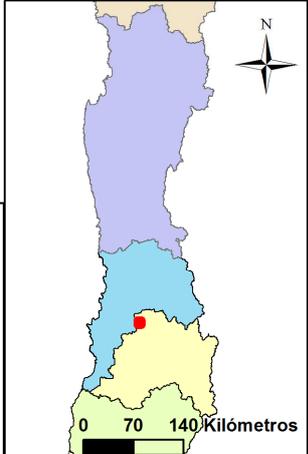
**Til-Til**  
**Región Metropolitana**  
**Conglomerados**  
**Puntos investigados**

- Sin detección de triatominos
- Presencia de triatominos

**FIGURA 6.**  
**Distribución de**  
**conglomerados en Til-Til.**

**Simbología**

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Región de O'Higgins
- Chile. UTM WGS84 19S



## 6.2. Muestreo de variables en terreno

En la Tabla 6 se resumen las frecuencias observadas de las variables cualitativas en los puntos de muestreo.

**TABLA 6. Estadística descriptiva de las variables cualitativas medidas en terreno en los puntos investigados, por sitio.**

Sitio	Roca		Cactácea		Bromeliácea	
	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia	Presencia	Ausencia
Aucó	67	49	50	66	1	115
Putando	92	28	25	95	0	120
Til-Til	33	83	23	93	2	114
<b>TOTAL</b>	<b>192</b>	<b>160</b>	<b>98</b>	<b>254</b>	<b>3</b>	<b>349</b>

En las Tabla 7 se pueden observar los promedios, desviación estándar y mediana de las variables cuantitativas evaluadas en terreno.

Las tablas 6 y 7 resumen la variación espacial de las variables ambientales en los puntos de muestreo.

**TABLA 7. Estadística descriptiva de las variables cuantitativas medidas en terreno en los puntos investigados: promedio, desviación estándar y mediana, por sitio.**

Estadígrafo por Sitio		Pendiente <sup>1</sup>	Herbáceo <sup>2</sup>	Arbustivo <sup>3</sup>	Arbóreo <sup>4</sup>	Piedra <sup>5</sup>	Suelo desnudo <sup>6</sup>	X_T <sup>7</sup>	DE_T <sup>8</sup>	Min_T <sup>9</sup>	Max_T <sup>10</sup>	X_HR <sup>11</sup>	DE_HR <sup>12</sup>	Min_HR <sup>13</sup>	Max_HR <sup>14</sup>	Altitud <sup>15</sup>
Aucó	Promedio	24,2	8,1	29,0	7,4	20,6	45,3	15,1	1,7	12,5	20,5	75,2	6,9	57,0	86,3	734,3
	Desv. Est.	10,1	12,7	18,3	11,6	19,8	26,1	1,3	0,7	1,5	3,1	9,1	2,5	10,4	7,9	151,3
	Mediana	27,0	2,5	37,5	2,5	15,0	37,5	15,5	1,7	12,5	19,5	75,8	6,6	57,7	85,9	744,3
Putando	Promedio	19,7	18,7	14,0	15,2	30,8	27,9	15,8	2,0	12,8	21,3	60,5	6,1	46,9	70,4	1047,4
	Desv. Est.	11,9	19,8	9,9	15,9	23,9	21,8	1,9	0,6	2,3	2,6	15,2	1,8	14,1	14,6	144,9
	Mediana	21,5	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	16,1	1,9	13,4	21,0	60,6	5,7	43,8	74,0	1039,8
Til-Til	Promedio	14,8	46,9	17,8	21,9	13,4	30,6	13,6	2,6	10,2	20,9	73,9	8,2	53,2	84,9	702,4
	Desv. Est.	11,3	30,7	21,9	27,2	18,4	31,1	2,6	0,8	2,8	3,7	12,4	2,6	11,9	11,9	126,4
	Mediana	11,5	37,5	15,0	2,5	2,5	15,0	13,0	2,5	9,7	21,3	74,8	7,8	53,4	87,2	675,8
TOTAL	Promedio	19,6	24,5	20,2	14,8	21,7	34,5	14,8	2,1	11,9	20,9	69,7	7,0	52,3	80,4	830,5
	Desv. Est.	11,7	27,6	18,4	20,1	22,0	27,5	2,2	0,8	2,5	3,2	14,1	2,5	13,0	13,8	210,8
	Mediana	21,5	15,0	15,0	2,5	15,0	26,3	15,1	2,0	11,9	21,0	72,6	6,7	53,3	84,3	823,8

1: Pendiente en grados.  
respectivamente.

2, 3 y 4: Porcentaje de cobertura (%) de Vegetación Herbácea, Arbustiva y Arbórea,

5 y 6: % de Piedras y de Suelo desnudo.

7, 8, 9 y 10: Promedio, Desviación estándar, Mínimo y Máximo de Temperatura.

11, 12, 13 y 14: Promedio, Desviación estándar, Mínimo y Máximo de Humedad Relativa, respectivamente.

15: Altitud en metros.

### 6.3. Variables obtenidas desde productos de sensores remotos para los puntos muestreados

En la Tabla 8 se resumen las frecuencias observadas en los puntos de muestreo de la variable cuantitativa exposición, categorizada en cinco modalidades: norte ( $315^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ); sur ( $135^{\circ}$  -  $225^{\circ}$ ); este ( $46^{\circ}$  -  $134^{\circ}$ ); oeste ( $226^{\circ}$  -  $314^{\circ}$ ); y plano o sin orientación (-1, valor nulo).

**TABLA 8. Estadística descriptiva de las categorías de la variable cuantitativa exposición, calculada desde información obtenida por sensores remotos en los puntos investigados, según localidad.**

Localidad	Exposición u Orientación				
	Norte	Sur	Este	Oeste	Plano
<b>Aucó</b>	25	36	3	9	43
<b>Putando</b>	17	26	12	6	59
<b>Til-Til</b>	10	14	11	1	80
<b>TOTAL</b>	<b>52</b>	<b>76</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>182</b>

En la Tabla 9 se pueden observar los promedios, desviación estándar y mediana de las variables calculadas desde productos de sensores remotos en los puntos investigados. Por tanto, las tablas 8 y 9 resumen la variación espacial de las variables.

**TABLA 9. Estadística descriptiva de las variables cuantitativas calculadas desde información obtenida por sensores remotos en los puntos investigados: promedio, desviación estándar y mediana, por sitio.**

Estadígrafo por Sitio		PendienteDEM <sup>1</sup>	AltitudDEM <sup>2</sup>	Distancia_agua <sup>3</sup>	Distancia_construcciones <sup>4</sup>	NDVI <sup>5</sup>
<b>Aucó</b>	Promedio	23,55263	732,2982	376,9211	1.058,36	0,1088498
	Desviación Estándar	20,48012	152,2816	300,7055	680,5828	0,01999
	Mediana	18	731	313,5	988	0,107287
<b>Putando</b>	Promedio	17,56667	1.036,05	430,45	1.466,942	0,2395869
	Desviación Estándar	19,23833	149,0914	376,6238	904,4416	0,0906735
	Mediana	18	1.034	313	1.455,5	0,2217705
<b>Til-Til</b>	Promedio	11,63793	689,7241	249,5172	266,0603	0,4088822
	Desviación Estándar	18,33523	124,8802	209,8069	243,5442	0,1251661
	Mediana	0	659	191,5	184	0,400568
<b>TOTAL</b>	Promedio	17,55143	822,3314	353,0486	935,8543	0,2531133
	Desviación Estándar	19,90397	210,7702	312,9806	836,3232	0,1517267
	Mediana	0	822,5	267	683	0,2168665

1: Pendiente (grados) calculada desde DEM.

2: Altitud (metros) calculada desde DEM.

3: Distancia (metros) a zonas húmedas o de acumulación de agua.

4: Distancia (metros) a construcciones y caminos pavimentados.

5: Índice de vegetación diferenciada normalizada NDVI.

#### 6.4. Evaluación de patrones de distribución de triatominos

Mediante el test de Moran se obtuvo que la distribución de los triatominos en las 3 áreas combinadas evaluadas es agregado a nivel de puntos investigados, al analizar los recuentos de triatominos por punto muestreado. Al analizar los puntos separadamente por cada localidad, el test de Moran indica que en Til-Til la distribución de triatominos es al azar, mientras que en Putaendo y Aucó los triatominos mantienen una distribución agregada [Tabla 10].

Por otro lado, el análisis utilizando la información condensada por conglomerados arrojó que la distribución de los triatominos fue aleatoria [Tabla 10].

**TABLA 10. Evaluación de la distribución de los triatominos mediante el Test de Moran.**

Distribución evaluada	Localidad	Índice de Moran	z-score	p-value	Resultado Distribución
Triatominos en Puntos	Sitios combinados	0,048741	3,410714	0,000648****	Agregada
	Aucó	0,194701	4,500944	0,000007****	Agregada
	Putaendo	0,024451	6,463132	<0,0001****	Agregada
	Til-Til	-0,025030	-0,472976	0,636230	Aleatoria
Triatominos en Conglomerados	Sitios combinados	-0,010037	0,081760	0,934838	Aleatoria
	Aucó	-0,048154	-0,421529	0,673369	Aleatoria
	Putaendo	-0,025390	1,266461	0,205348	Aleatoria
	Til-Til	-0,059189	-1,072738	0,283389	Aleatoria

## 6.5. Evaluación de variables espacialmente explícitas que expliquen la distribución de triatomínicos

Utilizando el test exacto de Fisher (Fisher), hubo diferencias significativas entre puntos con y sin presencia de triatomínicos, al evaluar la presencia de roca (Fisher  $p=0,005$ ; Fisher 1 cola  $p=0,003$ ) y la presencia de cactáceas (Fisher  $p<0,001$ ; Fisher 1 cola  $p<0,001$ ), pero no de chaguales (Fisher  $p=0,291$ ; Fisher 1 cola  $p=0,291$ ) [Tabla 11].

Las cactáceas observadas fueron “quisco”, “copao”, “gatito” y “sandillón”, correspondientes a los géneros *Echinopsis*, *Eulychnia*, *Cumulopuntia* y *Erioseyca*. Las bromeliáceas detectadas correspondieron al género *Puya*.

**TABLA 11. Frecuencia de variables cualitativas medidas en terreno según presencia de triatomínicos.**

Variable	Ausencia de triatomínicos		Presencia de triatomínicos	
	Variable ausente	Variable presente	Variable ausente	Variable presente
<b>Roca</b>	151	163	9	29
<b>Cactácea</b>	237	77	17	21
<b>Bromeliácea</b>	312	2	37	1

Al analizar la normalidad de las variables cuantitativas mediante el test de Shapiro Wilk, ninguna de ellas mostró distribución normal ( $p<0,001$  en todos los casos), por lo que luego se analizaron mediante el test no paramétrico Kruskal Wallis (KW) para detectar si existían diferencias significativas en las variables cuantitativas entre las presencias y los puntos con muestreo negativo.

Las variables medida en terreno: pendiente (KW  $p<0,0001$ ); piedra (KW  $p<0,0001$ ); herbáceo (KW  $p<0,0001$ ); arbustivo (KW  $p=0,001$ ) y X\_HR (KW

$p=0,029$ ) presentaron diferencias significativas entre sitios con presencia o no de triatominos. Por otra parte, las variables ambientales calculadas desde los productos de sensores remotos: PendienteDEM (KW  $p<0,0001$ ); Exposición (KW  $p<0,0001$ ); NDVI (KW  $p<0,0001$ ) y Distancia\_construcciones (KW  $p=0,004$ ) fueron distintas entre puntos con y sin triatominos. Al analizar la variable Exposición categorizada, mediante el Test exacto de Fisher, se confirmó el resultado (Fisher  $p<0,0001$ ) [Tablas 12 y 13].

**TABLA 12. Frecuencia de la variable exposición categorizada, según presencia de triatominos.**

<b>Categorías de Exposición</b>	<b>Intervalo en grados</b>	<b>Ausencia de triatominos</b>	<b>Presencia de triatominos</b>
<b>Norte</b>	0-45 y 315-360	34	18
<b>Sur</b>	135-225	72	4
<b>Este</b>	46-134	23	3
<b>Oeste</b>	226-314	12	4
<b>Plano</b>	-1 (valor nulo)	173	9

**TABLA 13. Promedios e intervalos de confianza de las variables cuantitativas analizadas, según presencia o ausencia de triatominos.**

Variable		Ausencia de triatominos			Presencia de triatominos		
		Promedio	Límite inferior	Límite superior	Promedio	Límite inferior	Límite superior
Medida en terreno	<b>Herbáceo</b>	26,4448	23,3326	29,5570	6,0526	1,4135	10,6917
	<b>Arbustivo</b>	19,0666	17,0213	21,1118	27,9605	22,0539	33,8671
	<b>Arbóreo</b>	15,3896	13,0667	17,7126	10,3289	5,4426	15,2153
	<b>Piedra</b>	19,5049	17,1464	21,8634	41,0526	33,9462	48,1591
	<b>Suelo desnudo</b>	35,4708	32,3278	38,6137	26,9079	19,4633	34,3525
	<b>Pendiente</b>	18,7890	17,4892	20,0887	27,3421	23,9649	30,7193
	<b>X_T</b>	14,7483	14,5031	14,9935	15,5464	14,7876	16,3051
	<b>DE_T</b>	2,1046	2,0139	2,1954	2,0812	1,8313	2,3311
	<b>Min_T</b>	11,7697	11,4827	12,0567	12,5881	11,8401	13,3362
	<b>Max_T</b>	20,8667	20,5174	21,2161	21,1643	20,0059	22,3227
	<b>X_HR</b>	70,3463	68,7966	71,8961	64,2201	58,9662	69,4741
	<b>DE_HR</b>	7,0428	6,7743	7,3114	6,9442	5,9642	7,9243
	<b>Min_HR</b>	52,7340	51,2950	54,1731	48,7857	44,2219	53,3494
	<b>Max_HR</b>	80,8710	79,3746	82,3674	76,0572	70,3868	81,7277
	<b>Altitud</b>	830,2208	805,9173	854,5243	858,7105	806,1169	911,3042
De sensores remotos	<b>PendienteDEM</b>	16,1790	13,9800	18,3770	29,3160	23,2410	35,3910
	<b>AltitudDEM</b>	819,9550	795,6290	844,9800	853,5790	800,5580	906,6000
	<b>Distancia_agua</b>	354,9120	319,9000	389,9250	367,7370	260,7500	474,7240
	<b>Distancia_construcciones</b>	915,9420	819,9350	1011,9480	1183,7370	982,6200	1384,8540
	<b>NDVI</b>	0,2646	0,2475	0,2816	0,1401	0,1137	0,1665

## 6.6. Evaluación de modelos que utilicen variables espacialmente explícitas

Ninguna de las variables obtenidas de sensores remotos mostró un coeficiente de correlación mayor a 0,6 en los puntos de presencia [Tabla 14].

En la Tabla 15 se pueden observar los valores promedio para el área bajo la curva *Receiver Operating Characteristic* (AUC). En general, los modelos mostraron valores de AUC altos ( $>0,848$ ). Aquellos modelos generados con 4 variables espacialmente explícitas tuvieron valores de AUC menores (promedio de AUC = 0,851) que los que fueron generados con 6 variables (promedio de AUC = 0,917) [Tabla 15].

En las Figuras 7-8 se observan los resultados de idoneidad de hábitat para los modelos en escala 6x6 metros; se comparan los resultados al utilizar 4 o 6 variables obtenidas de productos de sensores remotos.

En las Figuras 9-11 se observa la comparación de los resultados de adecuación para los modelos en escala 1x1 metro, comparando el utilizar 4 o 6 variables.

En la Tabla 16 se resumen los resultados obtenidos de distintos niveles de idoneidad de los modelos. Se observa que para las localidades de la Región Metropolitana - Til-Til y Calera de Tango -, la proporción de píxeles con adecuación mayor a 0,6 es muy baja en todos los modelos.

**TABLA 14. Correlación entre pares de variables obtenidas de sensores remotos en los puntos de presencia de triatominos.**

Test de Correlación de Spearman		PendienteDEM	AltitudDEM	Distancia_agua	Exposición	Distancia_construcciones	NDVI
PendienteDEM	Coeficiente de correlación $r_s$	1,000					
	$p$	.					
AltitudDEM	Coeficiente de correlación $r_s$	0,335*	1,000				
	$p$	0,040	.				
Distancia_agua	Coeficiente de correlación $r_s$	0,071	0,033	1,000			
	$p$	0,673	0,843	.			
Exposición	Coeficiente de correlación $r_s$	0,570**	0,241	0,129	1,000		
	$p$	0,000	0,144	0,439	.		
Distancia_construcciones	Coeficiente de correlación $r_s$	0,087	0,236	0,167	-0,103	1,000	
	$p$	0,602	0,153	0,317	0,537	.	
NDVI	Coeficiente de correlación $r_s$	0,031	0,373*	-0,431**	-0,109	-0,409*	1,000
	$p$	0,855	0,021	0,007	0,515	0,011	.

**TABLA 15. Valor promedio calculado de área bajo la curva (AUC) para cada modelo de predicción Maxent obtenido de la distribución de triatominos.**

Modelo	6x6 metros, 4 variables	6x6 metros, 6 variables	AU-MA 4v.	AU-MA 6 v.	AU-SO 4v.	AU-SO 6v.	AU-PU 4v.	AU-PU 6v.	AU-TT 4v.	AU-TT 6v.	AU-CT 4v.	AU-CT 6v.
AUC	0,854	0,906	0,849	0,918	0,851	0,924	0,851	0,919	0,851	0,919	0,848	0,917

4v.: 4 variables.

6v.: 6 variables.

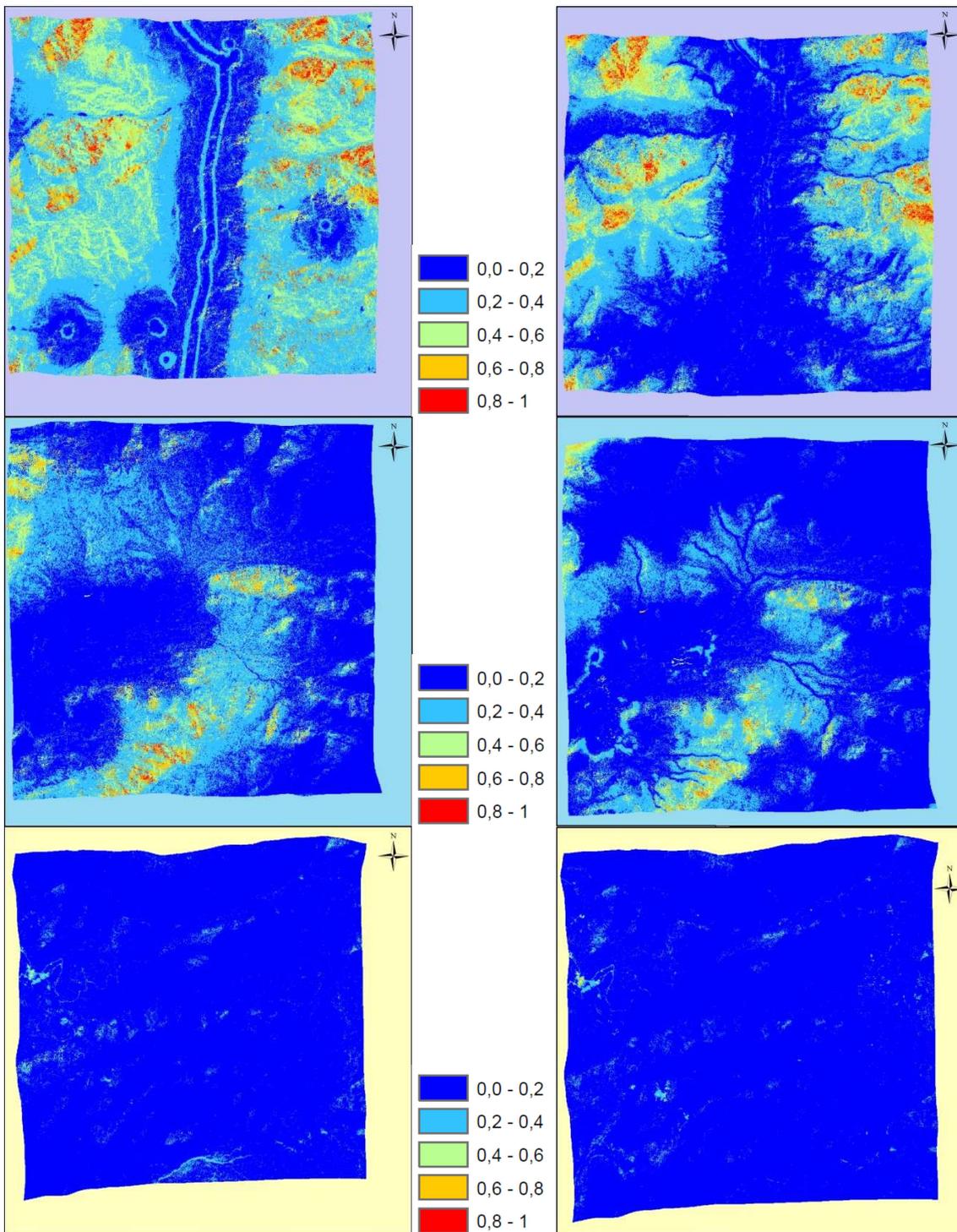
AU-MA: Modelo 1x1 metro proyectado desde Aucó hacia El Maqui.

AU-SO: Modelo 1x1 metro Aucó - El Sobrante.

AU-PU: Modelo 1x1 metro Aucó - Putaendo.

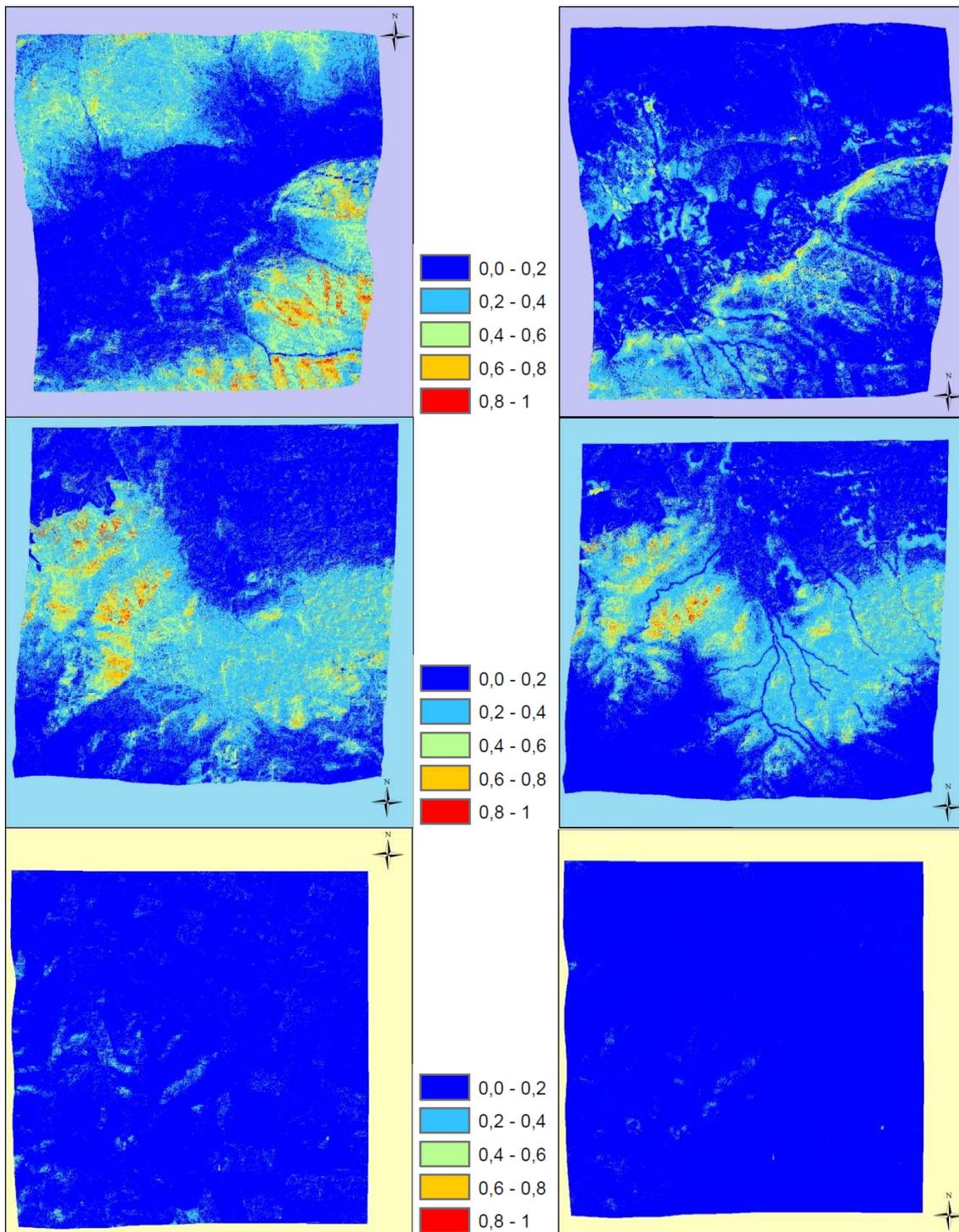
AU-TT: Modelo 1x1 metro Aucó - Til-Til.

AU-CT: Modelo 1x1 metro Aucó - Calera de Tango.



**FIGURA 7: Comparación de resultados de los modelos Maxent a escala 6x6 metros.**

Izquierda: modelo con 4 variables. Al medio: Simbología del nivel de idoneidad de hábitat.  
 Derecha: modelo con 6 variables. Arriba: Sitio de estudio en Aucó.  
 Abajo: Sitio de estudio en Til-Til.



**FIGURA 8: Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 6x6 metros.**

Izquierda: modelo con 4 variables.

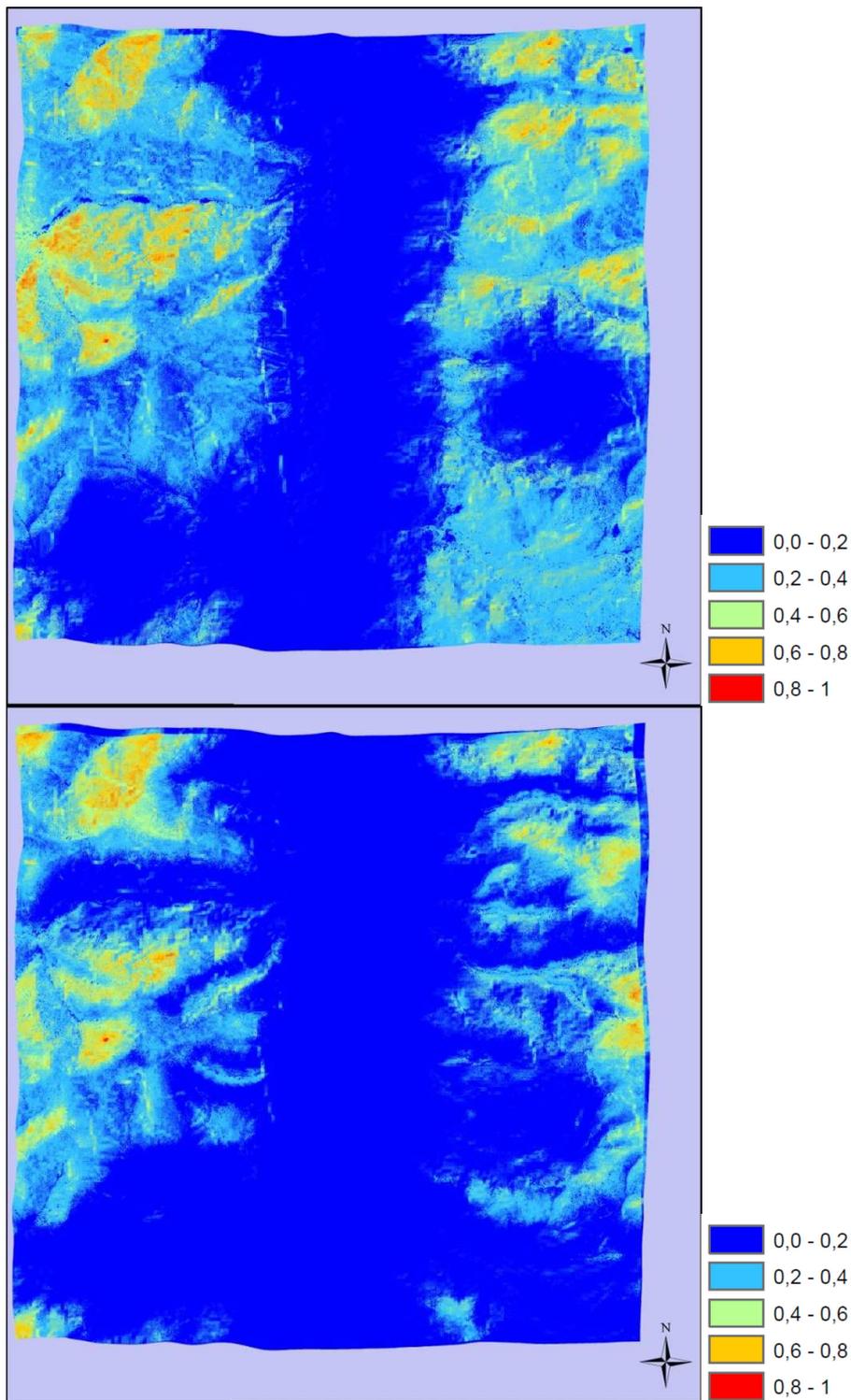
Al medio: Simbología del nivel de idoneidad de hábitat.

Derecha: modelo con 6 variables.

Arriba: Sitio de estudio en El Maqui.

Al medio: Sitio de estudio en El Sobrante.

Abajo: Sitio de estudio en Calera de Tango.

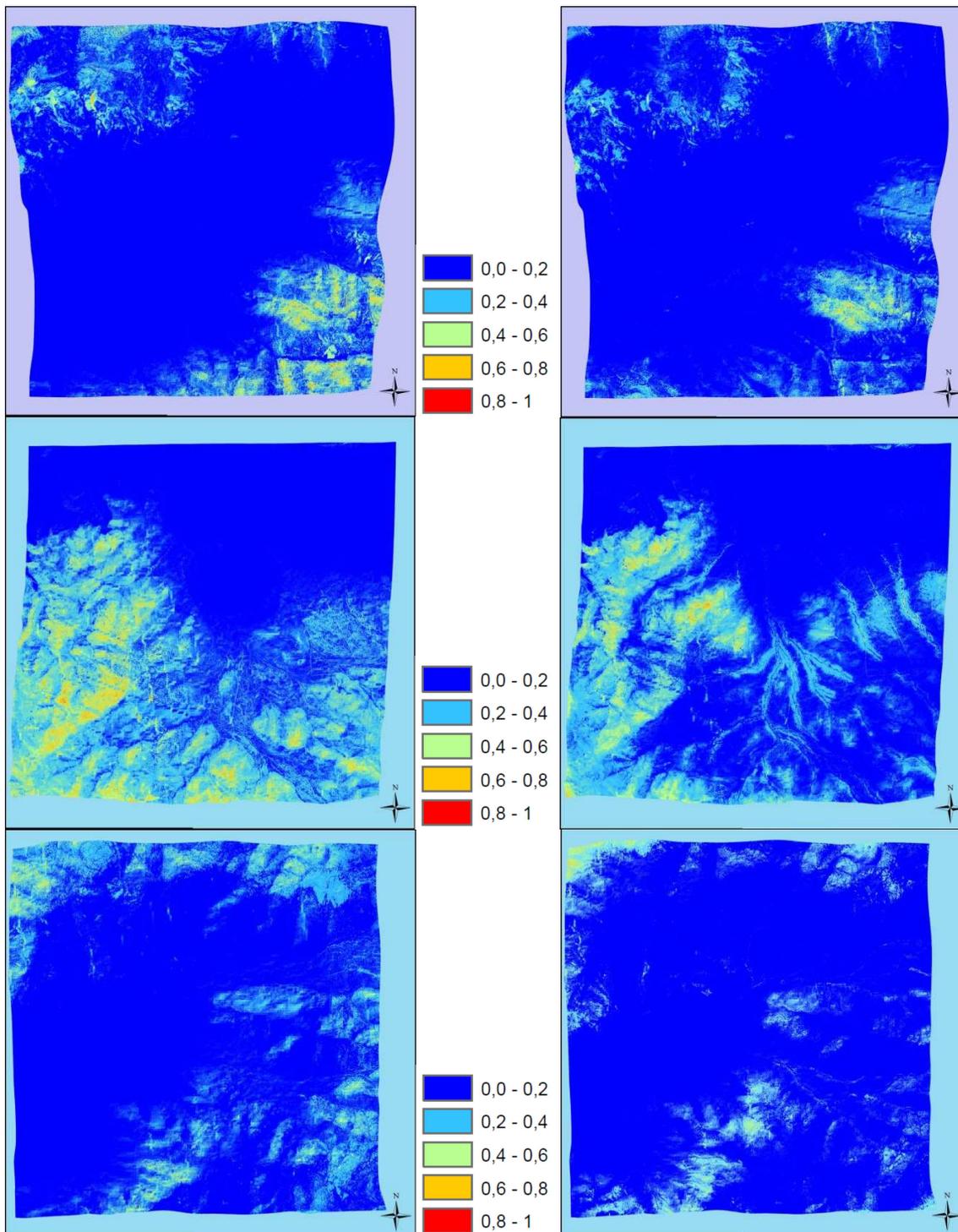


**FIGURA 9: Comparación de resultados de los modelos Maxent a escala 1x1 metro. Sitio de estudio en Aucó.**

Arriba: Promedio de modelos con 4 variables.

Abajo: Promedio de modelo con 6 variables.

Derecha: Simbología del nivel de idoneidad de hábitat.



**FIGURA 10: Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 1x1 metro.**

Izquierda: modelo con 4 variables.

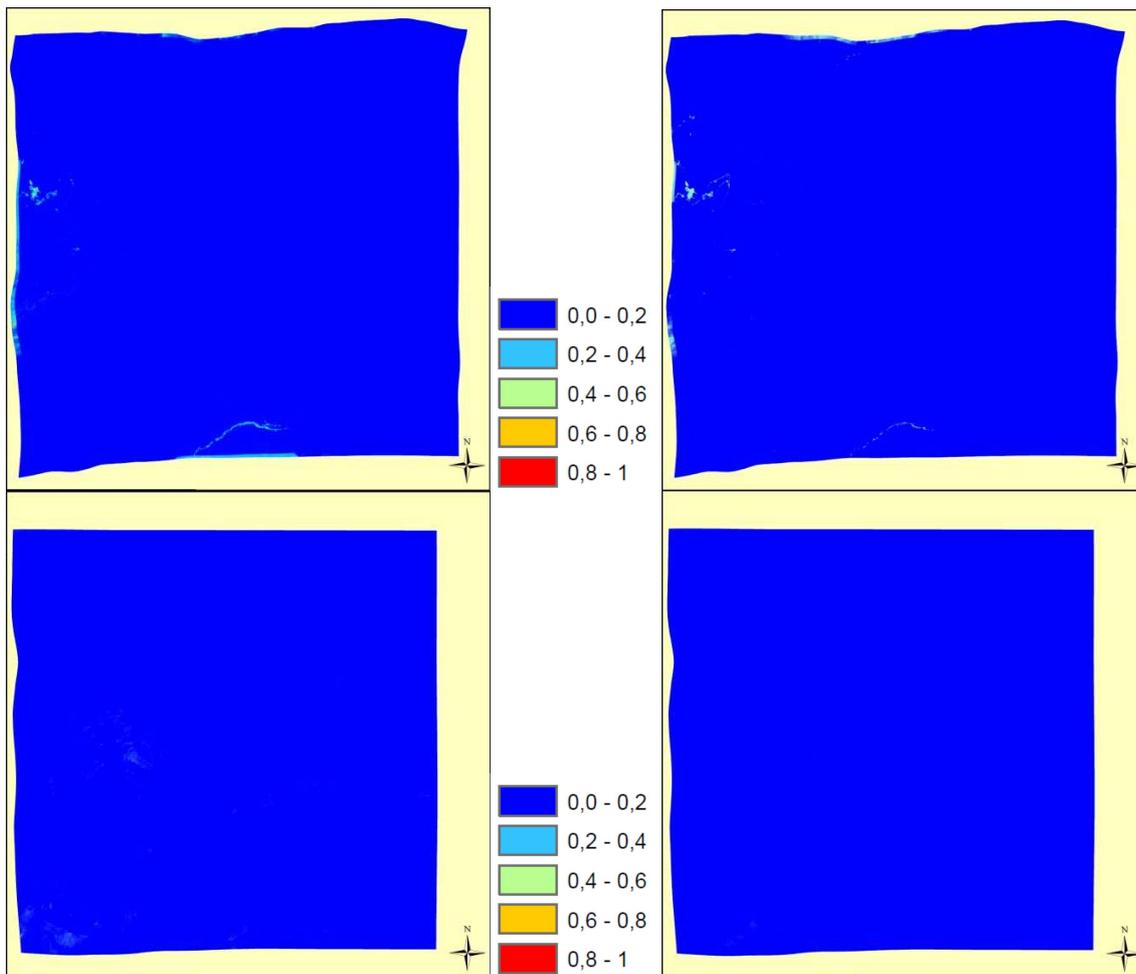
Derecha: modelo con 6 variables.

Arriba: Sitio de estudio en El Maqui.

Abajo: Sitio de estudio en Putaendo.

Al medio: Simbología del nivel de idoneidad de hábitat.

Al medio: Sitio de estudio en El Sobrante.



**FIGURA 11: Comparación de resultados de la proyección de los modelos Maxent a escala 1x1 metro.**

Izquierda: modelo con 4 variables.

Derecha: modelo con 6 variables.

Arriba: Sitio de estudio en Til-Til.

Al medio: Simbología del nivel de idoneidad de hábitat.

Abajo: Sitio de estudio en Calera de Tango.

**TABLA 16. Composición porcentual de niveles de idoneidad promedio en los modelos Maxent, por sitio de estudio.**

Localidad	Modelo	Idoneidad (%)				
		0,0 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0
<b>AU-PU-TT</b>	6x6 metros, 4 variables	58,81	28,05	9,64	2,76	0,75
<b>AU-PU-TT</b>	6x6 metros, 6 variables	72,37	19,59	5,55	2,01	0,48
<b>MA-SO-CT</b>	6x6 metros, 4 variables	64,72	23,76	9,06	2,12	0,34
<b>MA-SO-CT</b>	6x6 metros, 6 variables	76,59	18,38	4,05	0,90	0,08
<b>El Maqui</b>	1x1 metro, 4 variables	82,34	13,43	3,48	0,73	0,01
	1x1 metro, 6 variables	86,84	11,38	1,63	0,15	0,00
<b>Aucó</b>	1x1 metro, 4 variables	48,28	37,71	9,31	4,52	0,18
	1x1 metro, 6 variables	68,05	23,02	6,76	2,10	0,07
<b>El Sobrante</b>	1x1 metro, 4 variables	51,90	33,01	12,27	2,76	0,05
	1x1 metro, 6 variables	65,88	27,20	6,19	0,72	0,01
<b>Putando</b>	1x1 metro, 4 variables	78,97	18,09	2,78	0,16	0,00
	1x1 metro, 6 variables	89,17	9,85	0,90	0,08	0,00
<b>Til-Til</b>	1x1 metro, 4 variables	99,28	0,69	0,03	0,00	0,00
	1x1 metro, 6 variables	99,60	0,37	0,03	0,00	0,00
<b>Calera de Tango</b>	1x1 metro, 4 variables	99,87	0,13	0,00	0,00	0,00
	1x1 metro, 6 variables	99,99	0,01	0,00	0,00	0,00

**AU-PU-TT:** Aucó, Putando y Til-Til combinados.

**MA-SO-CT:** El Maqui, El Sobrante y Calera de Tango combinados.

En cuanto al porcentaje de contribución de las variables a la ganancia regularizada de los modelos Maxent, el orden de la magnitud de contribución de las variables fue distinto entre aquellos modelos que se generaron a la misma escala con diferente número de variables, pero se conservó bastante entre los modelos generados a escala más fina (1 metro) con el mismo número de variables. En ambos modelos a escala de 6 metros, la variable que más contribuye a los modelos es la “Exposición”. En cambio, a escala de 1 metro, varía según el número de variables incluidas: en los modelos con 4 variables, la “Distancia\_construcciones” fue mayor; y en aquellos generados con 6 variables, “AltitudDEM” es la variable que aparece más frecuentemente con mayor contribución [Tabla 17].

**TABLA 17. Contribución porcentual de cada variable en los modelos de distribución de los triatomos.**

Variable	6x6 metros, 4 variables	6x6 metros, 6 variables	AU-MA 4v.	AU-MA 6 v.	AU-SO 4v.	AU-SO 6v.	AU-PU 4v.	AU-PU 6v.	AU-TT 4v.	AU-TT 6v.	AU-CT 4v.	AU-CT 6v.
Exposición	40,9	31,6	39,6	20,7	38,8	23,8	36,9	25,5	36,9	21,6	38,2	22,6
Distancia_ construcciones	26,6	16,0	44,1	13,8	44,6	15,7	46,7	15,2	47,8	15,8	44,8	16,2
NDVI	23,0	26,7	7,8	8,3	5,4	7,1	6,8	5,5	6,6	7,0	6,9	7,6
PendienteDEM	9,5	5,1	8,6	6,9	11,2	6,1	9,6	6,9	8,6	5,8	10,1	6,1
AltitudDEM	-	13,7	-	28,6	-	27,9	-	24,5	-	28,5	-	27,0
Distancia_agua	-	6,9	-	21,8	-	19,4	-	22,4	-	21,3	-	20,4

4v.: 4 variables.

6v.: 6 variables.

AU-MA: Modelo 1x1 metro proyectado desde Aucó hacia El Maqui.

AU-SO: Modelo 1x1 metro Aucó - El Sobrante.

AU-PU: Modelo 1x1 metro Aucó - Putaendo.

AU-TT: Modelo 1x1 metro Aucó - Til-Til.

AU-CT: Modelo 1x1 metro Aucó - Calera de Tango.

Al permutar aleatoriamente los valores que toma la variable entre puntos de presencias y de entorno, se reevalúa el modelo y la baja en su AUC se registra como porcentaje. En el modelo a escala de 6 metros con 4 variables, el “NDVI” fue la variable más importante, seguida por la “Distancia\_construcciones”. En la escala de 6 metros con 6 variables, el “NDVI” también fue la variable que tuvo mayor valor de permutación, seguida por la variable “AltitudDEM”. En los modelos a escala de 1 metro con 4 variables, se conserva el orden de importancia de las variables, con la “Distancia\_construcciones” en primer lugar, seguido por la “Exposición”, “PendienteDEM” y “NDVI”. En los modelos a escala de 1 metro con 6 variables, la variable “AltitudDEM” mostró el mayor valor de permutación, seguida por las variables “Distancia\_agua” y “Distancia\_construcciones”. [Tabla 18].

**TABLA 18. Importancia en la permutación de cada variable en los modelos de distribución de los triatominos.**

Variable	6x6 metros, 4 variables	6x6 metros, 6 variables	AU-MA 4v.	AU-MA 6 v.	AU-SO 4v.	AU-SO 6v.	AU-PU 4v.	AU-PU 6v.	AU-TT 4v.	AU-TT 6v.	AU-CT 4v.	AU-CT 6v.
Exposición	14,1	7,6	24,6	13,4	16,3	10,2	23,5	8,5	30,8	13,5	17,3	14,1
Distancia_construcciones	31,3	17,5	58,2	13,5	64,3	22,0	64,8	24,8	51,7	17,4	66,9	13,7
NDVI	46,1	39,0	6,7	14,1	9,5	8,7	8,2	4,7	11,4	12,9	9,4	7,3
PendienteDEM	8,4	3,8	10,5	3,5	9,9	5,5	3,5	7,5	6,2	5,5	6,4	9,9
AltitudDEM	-	25,4	-	36,1	-	29,7	-	32,9	-	34,2	-	28,7
Distancia_agua	-	6,7	-	19,3	-	23,9	-	21,6	-	16,6	-	26,3

4v.: 4 variables.

6v.: 6 variables.

AU-MA: Modelo 1x1 metro proyectado desde Aucó hacia El Maqui.

AU-SO: Modelo 1x1 metro Aucó - El Sobrante.

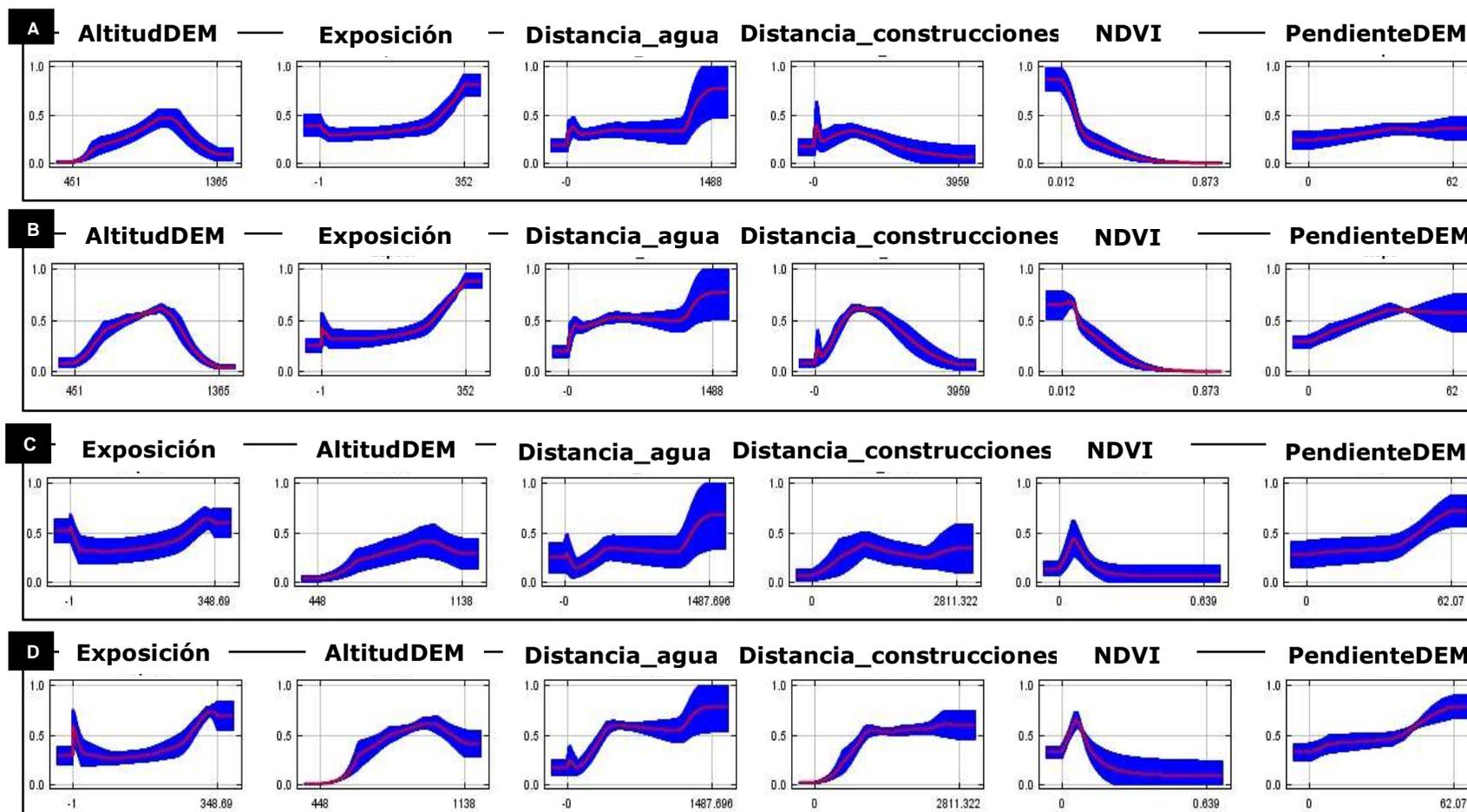
AU-PU: Modelo 1x1 metro Aucó - Putaendo.

AU-TT: Modelo 1x1 metro Aucó - Til-Til.

AU-CT: Modelo 1x1 metro Aucó - Calera de Tango.

Los resultados del test de *jackknife* muestran la importancia de las variables; en los modelos a escala 6 metros, al utilizar la variable “Exposición” como variable única, aparece con la mayor ganancia promedio, por lo que tendría la información más útil por sí misma; por otro lado, al medir la ganancia quitando una variable, al quitar la variable “PendienteDEM” se produce la mayor disminución promedio de la ganancia, por lo que esta variable tendría más información que no está presente en las otras variables. En los modelos a escala 1 metro con 4 variables, las variables “NDVI” y “PendienteDEM” serían aquellas que contienen mayor información que no está presente en las otras variables; y también la variable “Exposición” como variable única tiene la mayor ganancia promedio, seguida por la “Distancia\_construcciones”. En la misma escala con 6 variables, la variable única con mayor ganancia es la “AltitudDEM”, y la variable “PendienteDEM” se repite como aquella que contiene mayor información que no está presente en las otras variables, por la baja en la ganancia promedio al removerla.

En la Figura 12 se observan algunos gráficos de curva de respuesta de los modelos respecto de las variables.



**FIGURA 12. Curvas de respuesta de los modelos Maxent a las variables utilizadas.**

A y C muestran la respuesta del modelo a la variable, al mantener los valores de las otras variables en su promedio; B y D muestran la respuesta del modelo al utilizar sólo la variable en cuestión. Eje X: valores de la variable. Eje Y: valores de la ganancia del modelo.

A y B corresponden a las curvas de respuesta de los modelos a escala 6x6 metros. En particular, al modelo con 6 variables. La respuesta del modelo de 4 variables es muy similar en aquellas variables comunes, por tanto no se incluye en la figura.

C y D corresponden a las curvas de respuesta de los modelos a escala 1x1 metro. Se muestra el resultado del modelo AU-CT con 6 variables. La respuesta de las variables en los otros modelos de escala 1 m, tanto con 4 como con 6 variables, es muy similar, por tanto no se incluyen en la figura.

## **6.7. Comparación entre modelos de predicción de la distribución de triatominos a escala local**

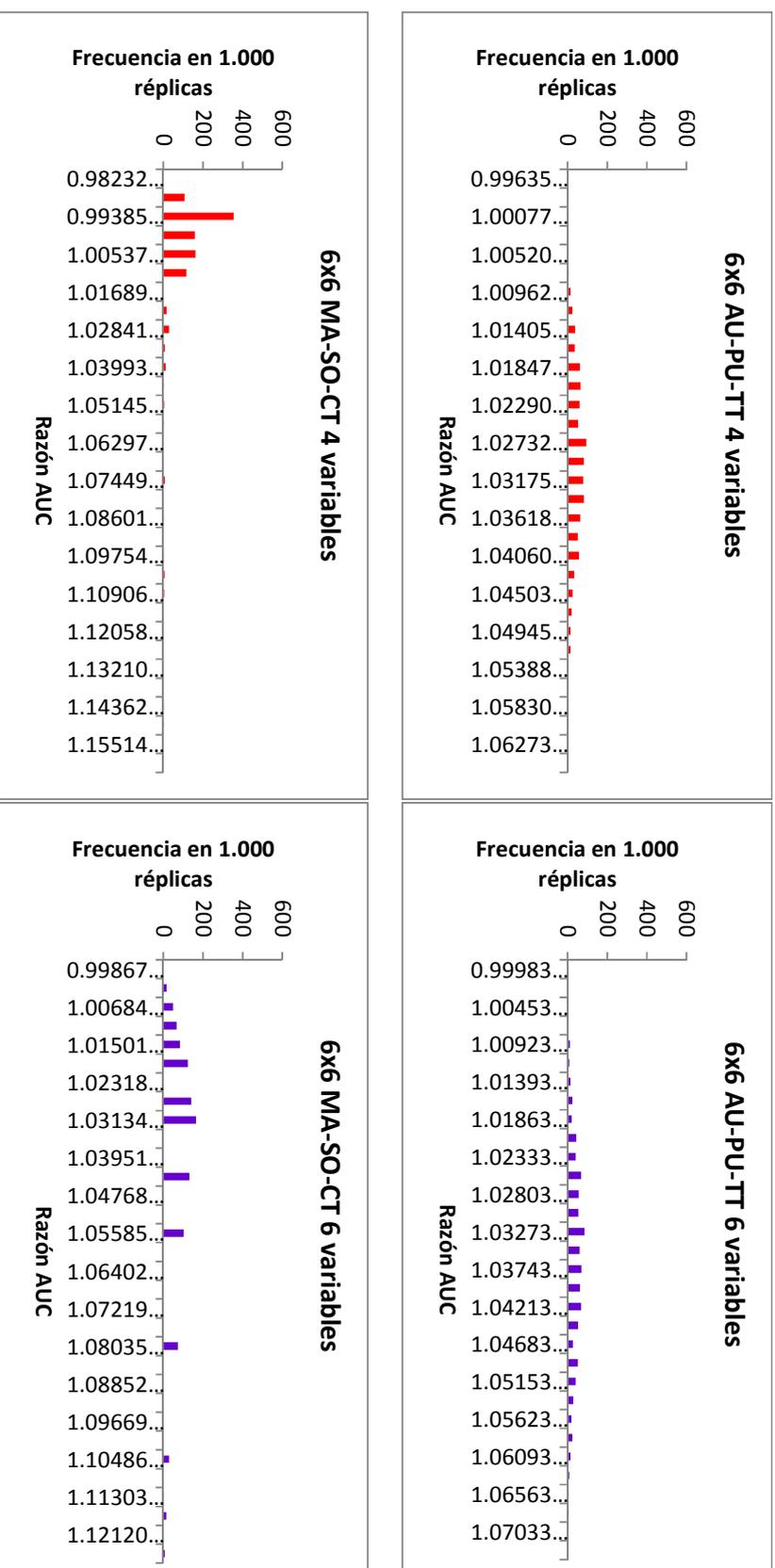
Al analizar la curva ROC parcial, los resultados de la razón entre el AUC 95% (1 - omisión de 5%) y el AUC 50% (azar) de cada modelo se observan en los histogramas de frecuencia de las figuras 13 y 14.

Al evaluar la escala 6x6 m, la comparación entre los modelos AU-PU-TT indica que los modelos con 6 variables tienen mejor rendimiento que aquellos con 4 variables, ya que tienen valores sobre 1 un poco más altos. Las proyecciones a MA-SO-CT también arrojan que el modelo con 6 variables es mejor, ya que en el modelo con 4 variables muchas iteraciones tuvieron resultados menores a 1 [Fig. 13].

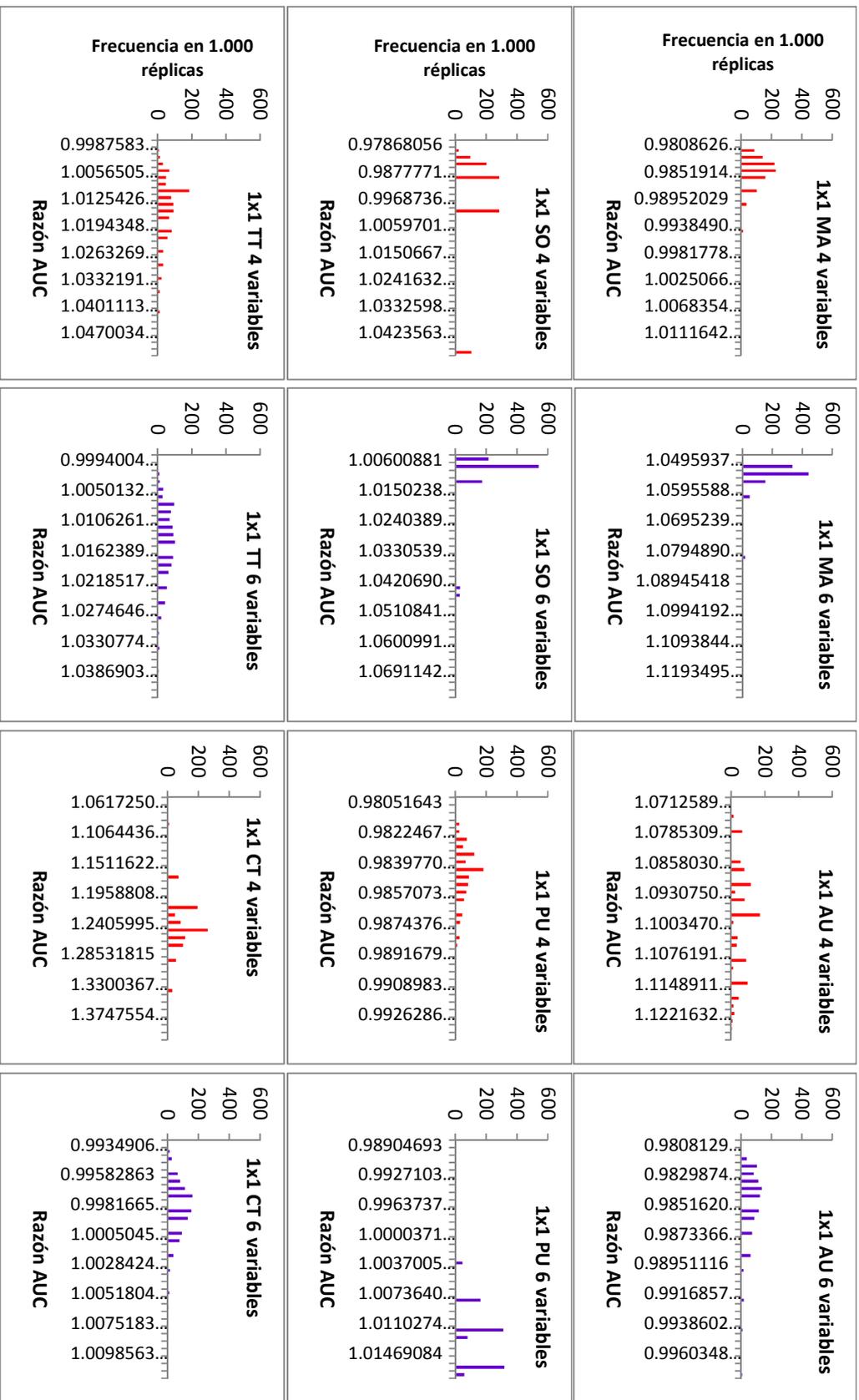
En la escala 1x1 m, el modelo generado en Aucó tuvo mejor resultado con 4 variables que con 6, ya que en este último la mayoría de las iteraciones resultaron menores a 1. En El Maqui, en cambio, la proyección del modelo con 6 variables fue mejor que aquel con 4 variables, al igual que en El Sobrante y Putaendo. En Til-Til ambos modelos tuvieron rendimiento similar, levemente mayores a 1. Por último, en Calera de Tango, el modelo con 4 variables fue mejor que aquel con 6 variables, ya que en este último gran parte de las iteraciones fue menor a 1 [Fig. 14].

Al aplicar el umbral, los resultados de probabilidad de ocurrencia de los puntos positivos de validación de acuerdo con la probabilidad de éxito en cada área se observan en la Tabla 19. Sólo 2 de los 16 modelos testeados arrojaron probabilidad de ocurrencia diferentes del azar: el modelo a escala 6x6 m generado en AU-PU-TT, y el modelo generado a escala 6x4 m proyectado a las áreas de estudio MA-SO-CT [Tabla 19].

Las figuras 15-20 muestran los resultados al aplicar la predicción binaria del modelo 6x6 m, con valor mínimo umbral para considerar el área predicha como positiva de 6, tanto en los sitios de modelación como en los de proyección del modelo [Figs. 15-20].



**FIGURA 13.** Histogramas de frecuencias con los resultados de las 1.000 iteraciones de ROC parcial para cada modelo de escala 6x6 m con sus respectivas presencias de validación. Modelo con 4 variables en rojo; morado, modelo con 6 variables.

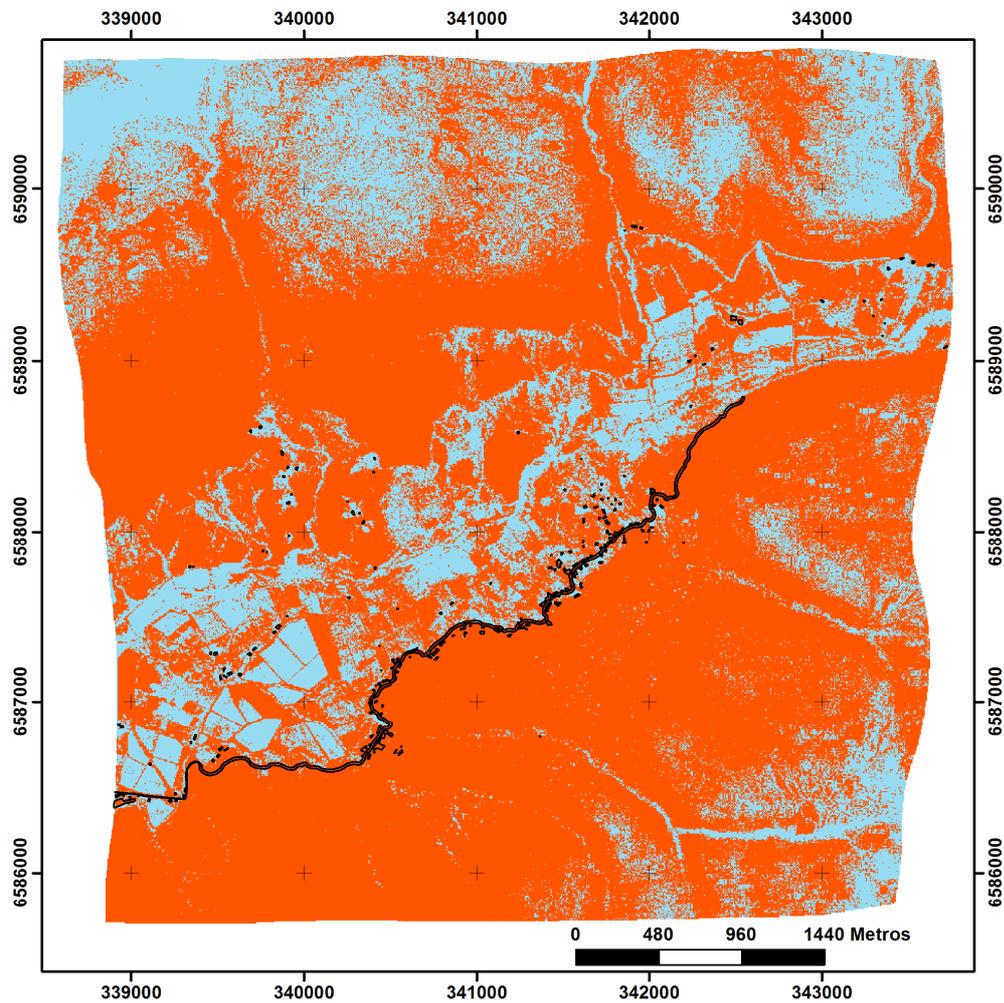


**FIGURA 14.** Histogramas de frecuencias con los resultados de las 1.000 iteraciones de ROC parcial para cada modelo de escala 1x1 m con sus respectivas presencias de validación. Modelo con 4 variables en rojo; morado, modelo con 6 variables.

**TABLA 19. Nivel de idoneidad umbral utilizado para generar predicción binaria de distribución de triatominos y validación de los modelos binarios generados.**

Modelo	Punto de corte <sup>1</sup>	Área predicha	Área total	Probabilidad de éxito	Nº éxitos	Nº intentos	p
AU-PU-TT 6 m, 4 v.	7	1457999	2092861	0,696653528	324	460	0,3813
MA-SO-CT 6 m, 4 v.	7	1357087	2044803	0,663676159	107	126	0,0000 ***
AU-PU-TT 6 m, 6 v.	6	1287983	2092861	0,615417364	316	460	0,0008 ***
MA-SO-CT 6 m, 6 v.	6	1056246	2044803	0,516551472	59	126	0,8798
AU 1 m, 4 v.	12	17962802	26516266	0,677425773	17	73	1,0000
AU-MA 1 m, 4 v.	12	8567326	24513740	0,349490775	0	27	1,0000
AU-SO 1 m, 4 v.	12	15338284	23939183	0,640718775	2	24	1,0000
AU-PU 1 m, 4 v.	12	13917349	24992226	0,556867123	17	241	1,0000
AU-TT 1 m, 4 v.	12	565008	25183298	0,022435822	0	158	0,9723
AU-CT 1 m, 4 v.	12	701962	25118757	0,027945730	0	75	0,8807
AU 1 m, 6 v.	9	14487713	26516266	0,546370782	12	73	1,0000
AU-MA 1 m, 6 v.	9	9857275	24513740	0,402112244	0	27	1,0000
AU-SO 1 m, 6 v.	9	15518305	23939183	0,648238706	5	24	1,0000
AU-PU 1 m, 6 v.	9	12723927	24992226	0,509115395	55	241	1,0000
AU-TT 1 m, 6 v.	9	766239	25183298	0,030426476	0	158	0,9924
AU-CT 1 m, 6 v.	9	323831	25118757	0,012891999	0	75	0,6221

<sup>1</sup> Nivel de idoneidad menor incluido como condición apta para la presencia de triatominos, que se corresponde con el menor valor de idoneidad alcanzado en puntos positivos (con triatominos) en el/las área/s donde se generó el modelo.

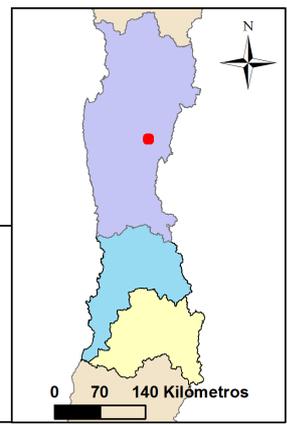


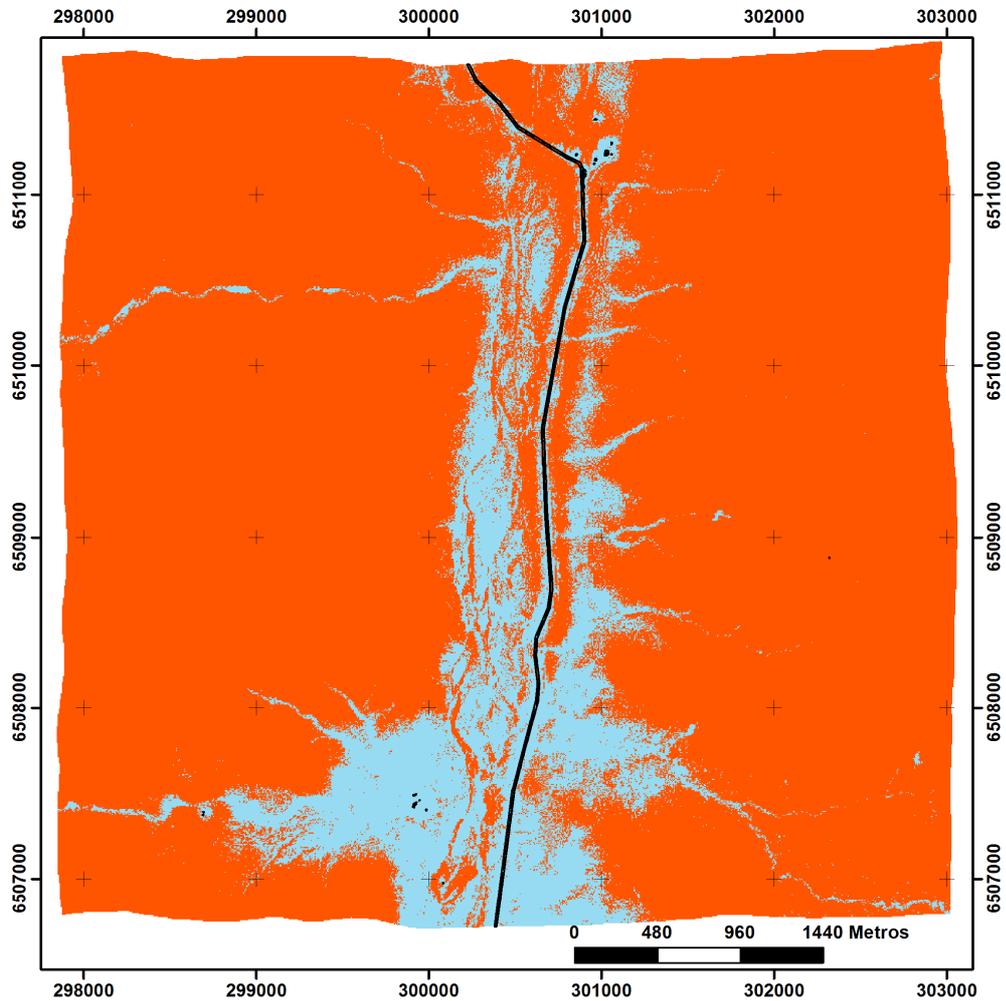
**El Maqui**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatominos**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

-  Construcciones
-  Bajo el umbral
-  Sobre el umbral

**FIGURA 15. Área**  
**predicha en El Maqui,**  
**Región de Coquimbo.**

- Simbología**
-  Región de Coquimbo
  -  Región de Valparaíso
  -  Región Metropolitana
  -  Chile. UTM WGS84 19S





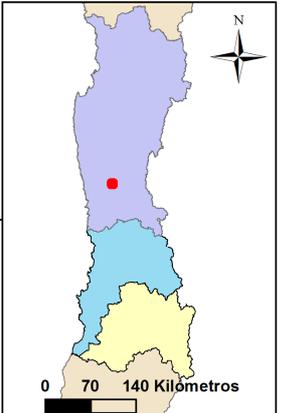
**Aucó**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatominos**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

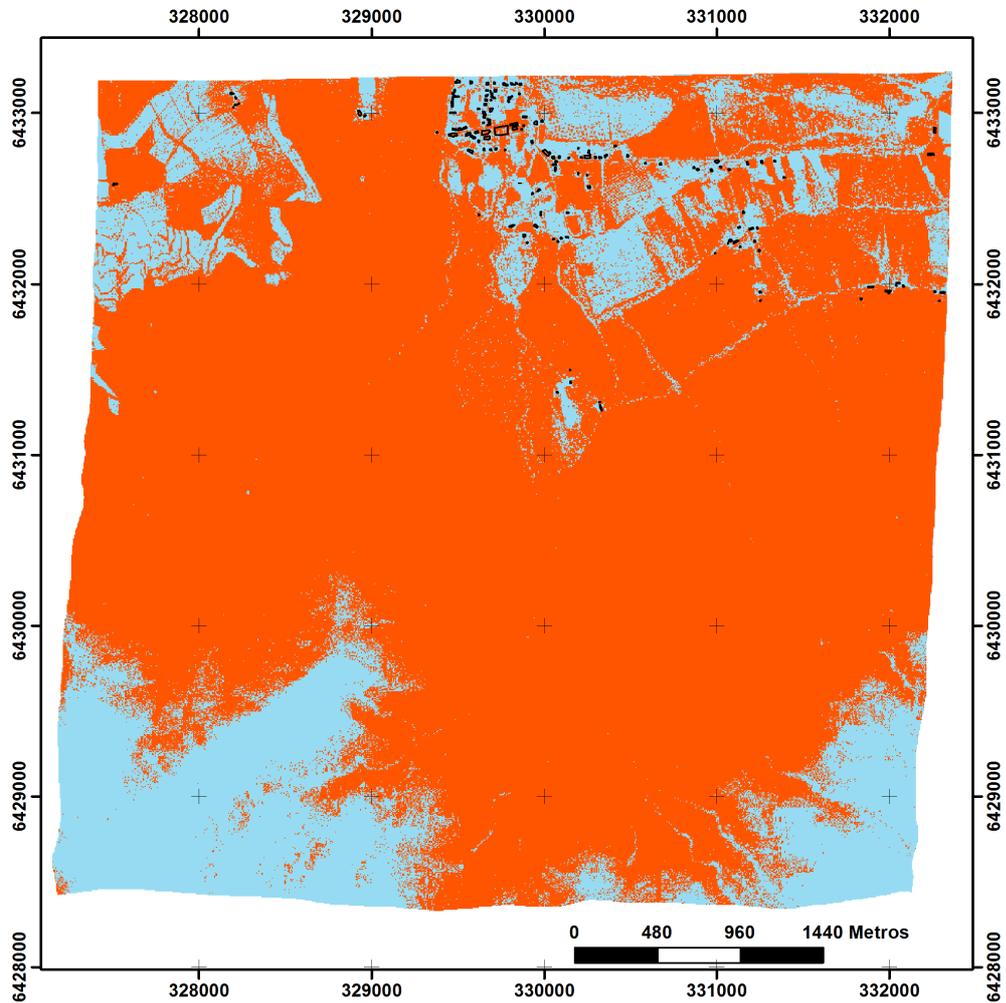
Construcciones  
 Bajo el umbral  
 Sobre el umbral

**FIGURA 16. Área**  
**predicha en Aucó,**  
**Región de Coquimbo.**

**Simbología**

Región de Coquimbo  
 Región de Valparaíso  
 Región Metropolitana  
 Chile. UTM WGS84 19S





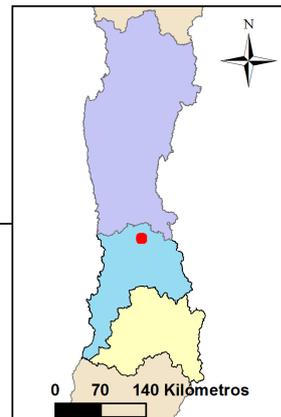
**El Sobrante**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatominos**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

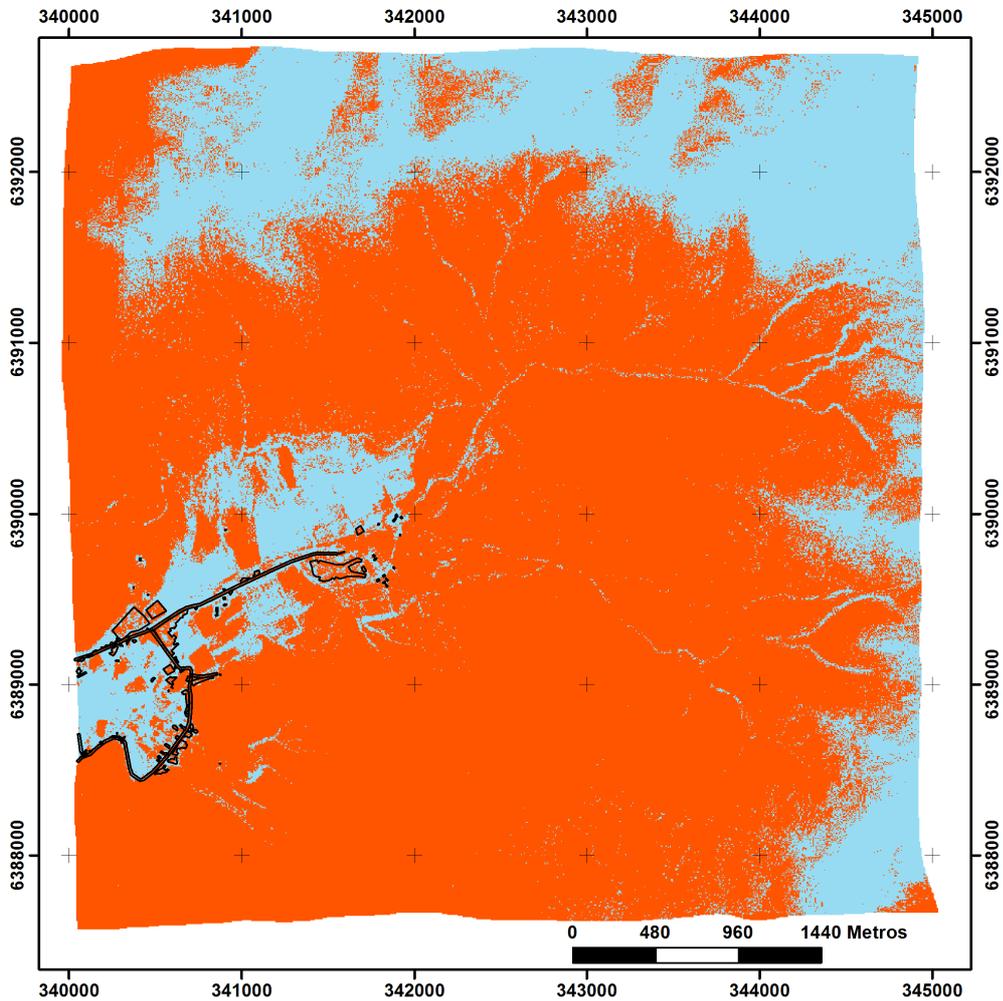
- Construcciones
- Bajo el umbral
- Sobre el umbral

**FIGURA 17. Área**  
**predicha en El Sobrante,**  
**Región de Valparaíso.**

**Simbología**

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Chile. UTM WGS84 19S





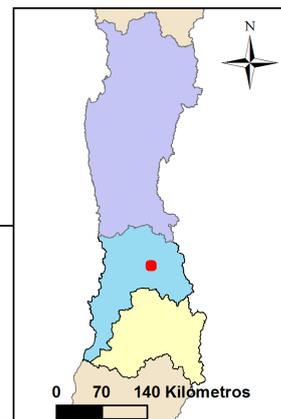
**Putaendo**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatominos**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

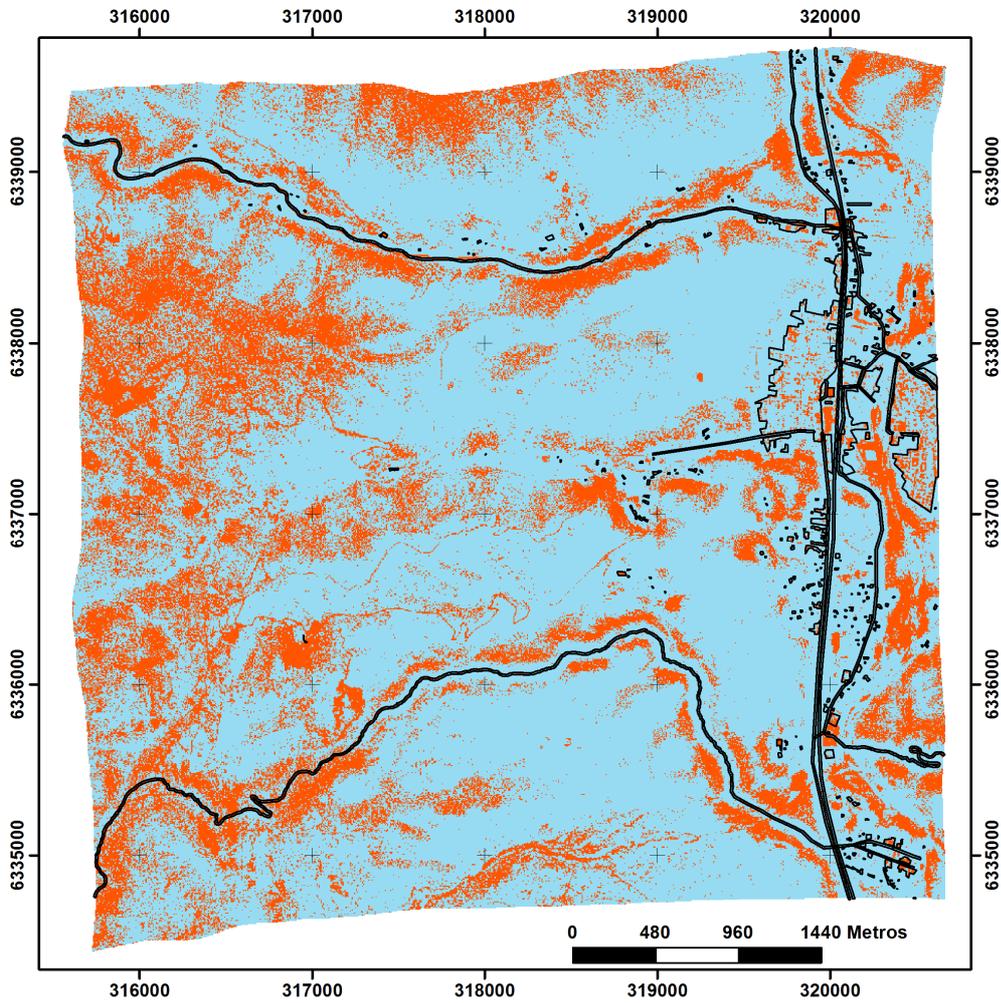
-  Construcciones
-  Bajo el umbral
-  Sobre el umbral

**FIGURA 18. Área**  
**predicha en Putaendo,**  
**Región de Valparaíso.**

**Simbología**

-  Región de Coquimbo
-  Región de Valparaíso
-  Región Metropolitana
-  Chile. UTM WGS84 19S





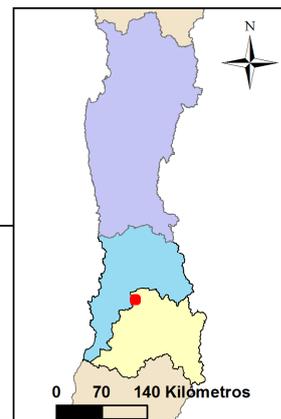
**Til-Til**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatominos**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

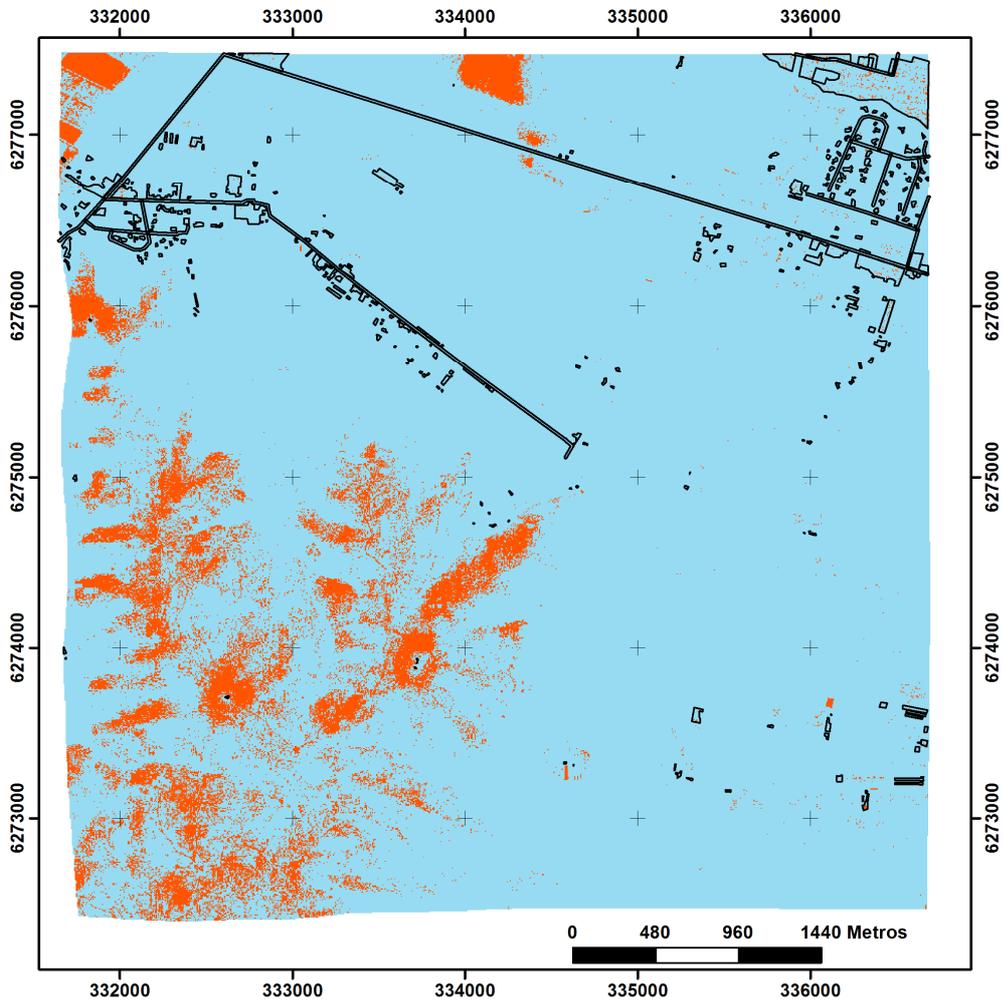
-  Construcciones
-  Bajo el umbral
-  Sobre el umbral

**FIGURA 19.**  
**Área predicha en Til-Til,**  
**Región Metropolitana.**

**Simbología**

-  Región de Coquimbo
-  Región de Valparaíso
-  Región Metropolitana
-  Chile. UTM WGS84 19S





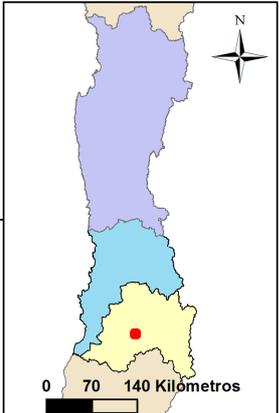
**Calera de Tango**  
**Predicción binaria de**  
**distribución de triatomines**  
**Modelo 6x6 m, 6 variables**

Construcciones  
 Bajo el umbral  
 Sobre el umbral

**FIGURA 20. Área predicha**  
**en Calera de Tango,**  
**Región Metropolitana.**

**Simbología**

- Región de Coquimbo
- Región de Valparaíso
- Región Metropolitana
- Chile. UTM WGS84 19S



## 7. DISCUSIÓN

En Chile, en el período 2005-2010 no habían nuevos casos de transmisión vectorial demostrables. Estos datos son la evidencia del trabajo realizado mediante las campañas de eliminación domiciliaria del vector y medidas de prevención de la enfermedad de Chagas. Ahora bien, nuestro país tiene la obligación de no descuidar la vigilancia vectorial mantenida durante estos años y de continuar controlando al vector de una manera activa con el fin de evitar la aparición de nuevos focos domiciliarios de triatomíneos y de impedir la aparición de casos de transmisión vectorial (Jercic *et al.*, 2012).

La búsqueda activa de triatomíneos ha proporcionado resultados positivos en varias localidades de la zona endémica de Chile (Bacigalupo *et al.*, 2006; 2010; 2015). Sin embargo, realizar trampeos abarcando la totalidad de los sitios que componen la zona endémica del país se ve confrontado con el alto costo del trabajo en terreno, y la gran cantidad de ecotopos que deben ser investigados para poder determinar una zona como libre de triatomíneos fuera de los domicilios. En este estudio se provee una herramienta digital para acotar las zonas de estudio *a priori*, dirigiendo el trabajo de prospección a las áreas que presenten mayor probabilidad de presencia de estos vectores.

Las poblaciones peridomésticas y silvestres son fuente de individuos que pueden recolonizar y/o invadir las viviendas (Gürtler *et al.*, 1999). El 73,5% de los triatomíneos recibidos en el ISPCH correspondió a *Triatoma infestans* (ISPCH, 2014), por lo que se esperaba tener capturas de esta especie en este estudio, lo que no ocurrió. En dos de las tres áreas de estudio se tenían antecedentes de intrusiones de esta especie en viviendas del sector – Putaendo

y Til-Til –; de hecho, en la primera se habían descrito focos silvestres de *T. infestans* en conjunto con *M. spinolai* previamente, asociados a pircas (Bacigalupo *et al.*, 2010). Se han hallado focos silvestres de *T. infestans* en pircas en las Regiones de Atacama y de Coquimbo (MINSAL, 2016; Bacigalupo *et al.*, 2015); en la Región Metropolitana los focos silvestres están dispersos en un área geográfica mayor, asociados con formaciones vegetacionales nativas del género *Puya* (Bacigalupo *et al.*, 2006). Tanto bromeliáceas como pircas casi no estuvieron representadas en la muestra investigada en este estudio, lo que podría explicar la ausencia de *T. infestans* en las capturas.

El 26,5% de los triatominos que invadieron viviendas y fueron enviados por los pobladores para su análisis eran especies silvestres; el 92,1% de ellos fue de la especie *Mepraia spinolai* (ISPCH, 2014). Estas cifras refrendan la importancia de modelar la distribución de esta especie silvestre. En este estudio, de 88 sectores evaluados por muestreo sistemático mediante conglomerados, 17 conglomerados fueron positivos a esta especie endémica (19,3%), lo que demuestra que está bastante difundida en sectores semiáridos de los valles interiores de la zona Central de Chile.

En particular, hubo mayor número de conglomerados positivos a *M. spinolai* en Aucó, área que en su mayoría se encuentra bajo protección de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), conformando la Reserva Nacional Las Chinchillas, por lo que se ha preservado y/o recuperado el hábitat natural, la flora y fauna autóctonas del área, manteniendo animales silvestres de los cuales pueden alimentarse los triatominos y proveyendo de refugios naturales para ellos. En Putaendo el número de conglomerados positivos fue menor, pero la cantidad de individuos encontrados fue muy similar a la de Aucó, por lo que hubo mayor intensidad de captura por sitio que en las otras áreas investigadas. Til-Til mostró un menor número de individuos y de puntos positivos, lo que

podría estar relacionado con su distribución más austral en cuanto a la distribución de esta especie; sin embargo, esta menor detección pudo deberse también a condiciones climáticas, ya que a pesar de que el resumen de las mediciones realizadas con dataloggers no muestra mayores diferencias entre áreas, en Til-Til hubo leves precipitaciones – durante las cuales se suspendió el trabajo - y baja de las temperaturas al inicio del periodo de muestreo, lo que podría relacionarse con una menor detección por la menor actividad de los triatominos a bajas temperaturas (Lazzari, 1992; Botto-Mahan *et al.*, 2005b) y por la menor efectividad de las trampas de levadura a bajas temperaturas (Lorenzo *et al.*, 1998). Por último, tanto en Putaendo como en Til-Til el azar en el muestreo sistemático, combinado con la geografía regular de estas áreas, pudo haber provocado que los conglomerados evaluados estuvieran regularmente en sitios que no cumplían con las características de hábitat para los triatominos.

Dado que el patrón de distribución espacial de los triatominos varió según el nivel de detalle evaluado, obteniéndose un patrón agregado a la escala más pequeña (puntos de muestreo), existirían características en esos sitios donde *M. spinolai* se distribuye que se diferencian de aquellos lugares donde no se encuentran; estas diferencias no serían perceptibles a una distancia mayor, y por esto al analizar la autocorrelación espacial a nivel de conglomerados el patrón fue aleatorio en las tres áreas de estudio. Este hallazgo estaría relacionado con lo que se ha descrito para esta especie en cuanto a su ámbito de hogar, el cual en verano se describe como mayor, con una distancia máxima de desplazamiento de estos vectores de  $12,13 \pm 2,86$  metros, con valores incluso de 27,6 metros de distancia recorrida (Botto-Mahan *et al.*, 2005b); esto hace que la distancia entre los puntos dentro de cada conglomerado sean distancias que podrían recorrer los triatominos presentes, y dado que no se detectó agregación entre conglomerados, que están separados

por 800-1000 metros, se podría hipotetizar que los conglomerados positivos son poblaciones distintas, pero dentro de cada conglomerado los individuos conformarían una población. La agregación de las poblaciones de triatominos silvestres a distancias menores de 100 metros fue descrita también para poblaciones de *Rhodnius ecuadoriensis* y *Panstrongylus howardi* en Ecuador (Suarez-Davalos *et al.*, 2010). Es además esperable que los triatominos presenten una distribución agregada, dado que se ha descrito un patrón natural de comportamiento de agregación en triatominos, asociado al horario en que naturalmente buscan refugio; también hay agregación mediada por feromonas (Minoli *et al.*, 2007).

Los ecotopos donde se encontraron los triatominos tuvieron mayor presencia de rocas que aquellos donde no se detectaron; además, la proporción de piedras presentes en los sitios evaluados tuvo mayores valores en sitios con presencia de triatominos. Se ha indicado que *M. spinolai* se cobija entre rodados de piedras, entre roquedales y pircas (Gajardo, 1953), lo que concuerda con lo reportado en este estudio en cuanto a piedras y rocas.

Las cactáceas también estuvieron proporcionalmente más representadas en sitios con presencia de triatominos. En general, las cactáceas son plantas xerofíticas, que están adaptadas para vivir en zonas áridas (SAG, 2014). Probablemente es el hecho de estar adaptadas a sitios secos lo que hace que se encuentre en el hábitat de *M. spinolai*, ya que se ha descrito que esta especie habita sectores abrigados y soleados (Schenone *et al.*, 1985). Esto se condice con que el promedio de humedad relativa haya sido levemente menor en los sitios con presencia de triatominos.

Del total de puntos investigados, sólo 3 tuvieron bromeliáceas, y de ellos uno presentó triatominos, en Til-Til. Por este bajo tamaño muestral dentro de los

puntos investigados debido al muestreo aleatorio, esta variable no pudo incluirse como relevante. Sin embargo, existen estudios anteriores que han comprobado la asociación tanto de *T. infestans* como de *M. spinolai* con los chaguales del género *Puya* en la Región Metropolitana (Bacigalupo *et al.*, 2006), por lo que en estudios prospectivos de búsqueda de triatomíneos no debería descartarse estas formaciones vegetacionales como un hábitat importante de investigar.

De las variables calculadas desde productos de sensores remotos, la variable "Exposición" en sitios sin triatomíneos fue más frecuentemente plana (o sin orientación; 55,1% de los sitios); en cambio, en sitios con *M. spinolai* la exposición más frecuente fue norte (47,4% de los sitios). Se ha descrito que en la Reserva Nacional Las Chinchillas, en la localidad de Aucó, las laderas que se orientan hacia el norte (ecuatoriales) reciben mayor radiación solar, y tienen suelos arenosos con parches de grava dispersos y afloramientos rocosos (Jiménez *et al.* 1992); estos últimos han sido descritos frecuentemente como hábitat de *M. spinolai* (Gajardo, 1953). En contraste, las laderas que se orientan hacia el sur (polares) reciben menos radiación, tienen mayor abundancia de herbáceas, no hay cactus ni bromeliáceas, y tienen un ensamble distinto de matorrales (Jiménez *et al.* 1992). Esto se condice con la asociación inversa encontrada entre la variable medida en terreno de cobertura de vegetación herbácea, la cual fue menor en sitios con presencia de triatomíneos. Por otro lado, también se describió en Aucó que la mayoría de las especies de pequeños mamíferos son más abundantes en las laderas ecuatoriales que en las polares (Jiménez *et al.*, 1992), y que en términos metapoblacionales, la tasa de extinción de la mayoría de las subpoblaciones de pequeños mamíferos en las laderas ecuatoriales fueron significativamente menores que en las polares (Lima *et al.*, 1996). Dado que la alimentación más frecuente de *M. spinolai* son los pequeños mamíferos (Chacón *et al.*, 2016), la mayor abundancia y

estabilidad de sus poblaciones en laderas de exposición norte también podría explicar que los triatominos sean más frecuentemente hallados en laderas con esa orientación. En Putaendo y Til-Til la proporción de puntos muestreados que presentaban exposición norte fue menor que en Aucó, lo que podría estar dando cuenta del menor hallazgo de puntos positivos en estos sitios.

La variable ambiental medida por medio de sensores remotos “PendienteDEM” que se correspondía con la variable medida en terreno “Pendiente”, mostró la misma tendencia, ya que ambas variables presentaron significativamente mayores valores en sitios con presencia de *M. spinolai*. Se ha descrito que en los sitios de mayor pendiente se forman acumulaciones de fragmentos desprendidos de rocas, y además, que en las laderas septentrionales las pendientes son más abruptas (Quintanilla, 1994). En Brasil, a menor resolución espacial (unidad menor de área evaluada de 73,91 km<sup>2</sup>), también se describió que la presencia de triatominos estaba muy correlacionada la variabilidad de la pendiente del terreno (Leite *et al.*, 2011).

En general, se considera que los predictores ambientales pueden ser proximales o distales a la especie. Los predictores proximales serán aquellos que afecten directamente al individuo, y los distales aquellas variables que no tengan un efecto directo. Es muy difícil poder obtener información espacialmente explícita con el nivel de detalle requerido a escala local para variables proximales, tales como temperatura o precipitación. Entonces, cuando las variables distales (por ejemplo: latitud, longitud o altitud) están linealmente correlacionadas con variables proximales o causales, es probable obtener modelos predictivos robustos (Austin, 2002). En este caso, la radiación solar es una variable más proximal que la pendiente o exposición; sin embargo, tanto éstas como otras variables influyen en la radiación que efectivamente llega a la

superficie terrestre, y que afecta directamente a los triatominos. Se ha descrito que *M. spinolai* prefiere temperaturas altas durante el día (Canals *et al.*, 1997), y estas condiciones se cumplirían en las laderas de exposición norte, que están expuestas directamente al sol en el hemisferio sur. *Mepraia spinolai* tiene un comportamiento similar a *T. infestans* respecto a la selección de temperatura, sugiriendo que ambas especies tienen preferencia por sustratos similares (Canals *et al.*, 1997).

La altitud no fue significativamente diferente entre sitios con y sin triatominos, tanto como variable medida en terreno - "Altitud" - como producto de sensores remotos - "AltitudDEM" -. Es posible que la altitud no haya mostrado diferencias dado que la especie se ha reportado hasta los 3.500 m.s.n.m. (Gajardo, 1953), por lo que las elevaciones investigadas estarían dentro de su rango de distribución.

A pesar de que la distancia a zonas húmedas o de acumulación de agua no fue significativa, los modelos predictivos que la incorporaron tuvieron mejor ajuste que aquellos sin esta variable; de hecho, su importancia fue mayor a escala más fina. Se ha descrito que varias especies de pequeños mamíferos son capturados consistentemente en vaguadas, por lo que se describen como hábitat importante para la mayoría de las especies nativas de mamíferos de la zona Centro-Norte de Chile (Milstead *et al.*, 2007) por tanto, estos sitios constituirían sectores con oferta de presas constante para los triatominos.

Por otro lado, se ha descrito que en la región mediterránea de Chile existe un gradiente topográfico de humedad, el cual no sería lineal, dado que las laderas de exposición norte, xéricas, presentan una marcada disimilitud en la vegetación respecto de las otras tres orientaciones (exposición sur, este y

oeste), las cuales son relativamente similares entre sí (Armesto y Martínez, 1978); esta humedad diferencial también podría estar dando cuenta de la distribución de los triatomos, tal como se detectó con el promedio de humedad relativa, que fue menor en sitios con triatomos. Esta preferencia por sitios con menor humedad relativa también se ha constatado para *T. infestans* en laboratorio (Roca y Lazzari, 1994) y bajo condiciones climáticas naturales en Argentina, donde se determinó que las condiciones dentro de refugios experimentales tendían a mantener condiciones climáticas favorables para esta especie (Lorenzo y Lazzari, 1999). Probablemente el éxito de las poblaciones de triatomos en su medio natural se deba a su capacidad para encontrar microambientes de adecuado régimen climático (Canals *et al.*, 1992).

La vegetación en las laderas sur, este y oeste en la región mediterránea de Chile tienen mayor número de especies de hojas perennes, y las dimensiones de las plantas son mayores que en la ladera norte, las cuales tienen mayor cobertura de especies de hoja caduca (Armesto y Martínez, 1978); las mayores dimensiones de la vegetación en las laderas que no tienen exposición norte podría estar dando cuenta de lo encontrado respecto a la cubierta arbustiva medida en terreno, que fue mayor en sitios con triatomos, ya que muchas especies de árboles cuando están en crecimiento tienen tamaño de arbusto: en este estudio se consideró como vegetación arbórea aquella mayor de 2 metros, por lo que en la exposición norte estos arbustos no llegarían a tallas que los incluyeran en la categoría de arbóreo, y por eso este hallazgo.

La composición diferencial de especies de hoja perenne y hoja caduca según la ladera se vería reflejada en el diferencial de NDVI, ya que las hojas verdes tienen alta absorción de luz visible y alta reflectancia de infrarrojo cercano, resultando en valores de NDVI positivos (Pettorelli *et al.* 2011). La utilidad del índice de vegetación NDVI ya ha sido probada en la zona semiárida

de Chile, detectándose que la cobertura anual de plantas está altamente correlacionada con el máximo NDVI (De La Maza *et al.*, 2009). En este caso, el NDVI fue mayor donde no se encontraron triatominos, lo que nuevamente estaría asociado con su mayor proporción en laderas ecuatoriales, con mayor proporción de especies de hoja caduca, y por ende valores menores de NDVI.

La distancia a construcciones fue mayor en sitios con presencia de triatominos, lo que podría estar indirectamente relacionado al relieve abrupto que presentaron los sitios con presencia de triatominos, y a que la mayoría de los focos se detectaron en Aucó, zona que tiene pocas construcciones por ser un área de protección. Esto se refrenda con los datos obtenidos con el NDVI, ya que el concreto y el suelo desnudo - que componen o acompañan las construcciones y caminos pavimentados - tienen valores de NDVI muy cercanos a cero (Pettorelli *et al.* 2011), y al observar las curvas de respuesta de esta variable, se puede apreciar que los valores muy cercanos a cero tienen una baja idoneidad, la que aumenta rápidamente al aumentar ligeramente el índice, y luego decae en valores de NDVI más cercanos a 1.

La correlación entre las variables medidas por sensores remotos fue moderada a baja (Mukaka, 2012), por lo que no estarían relacionadas linealmente con una fuerza tal que impida analizar sus resultados independientemente. Las correlaciones encontradas entre las variables que se obtuvieron desde el DEM fueron un tanto mayores, como era de esperarse. Dicho esto, es importante destacar que la altitud no fuera encontrada como una variable significativa entre sitios con y sin triatominos, lo que refuerza que la correlación entre ellas no fue fuerte. Se observó una correlación baja negativa entre el NDVI y la distancia al agua, lo que era de esperarse, puesto que con mayor humedad, la vegetación tiende a presentar más verdor; la misma relación se observó entre el NDVI y la distancia a construcciones, lo que tal vez podría

asociarse con que la radiación emitida por éstas (edificaciones, caminos pavimentados), entregan valores de NDVI bajos. Por último, el NDVI dio una relación positiva con la altitud. La reflectancia del suelo en general muestra un aumento al incrementar la longitud de onda, lo que depende de la textura del suelo, estructura, y contenidos de agua, carbono orgánico y óxidos de hierro (Hay, 2000); es posible que la composición de los suelos localizados a mayor altura tenga propiedades espectrales que se reflejen en un valor de NDVI mayor; sin embargo, estos resultados podrían relacionarse con la distribución diferencial de los valores mayores de altitud en el sector de Putaendo, el cual en promedio tuvo valores de NDVI mayores a los encontrados en Aucó, que tenía una altitud promedio menor.

Respecto a la comparación de los modelos generados, el método de curva ROC parcial indicó que los modelos a escala 6x6 metros de 6 variables tenían mejor desempeño que aquellos generados con 4 variables, tanto aquellos en zonas de modelación como las proyecciones en áreas no prospectadas. A escala 1x1 metro, la comparación entre los modelos que incorporaron 4 respecto de 6 variables no arroja un resultado tan claro, con algunas localidades – El Maqui, El Sobrante y Putaendo - con mejor desempeño al utilizar el modelo con 6 variables, y en otras con mejor resultado al usar 4 variables – Aucó y Calera de Tango -. En Til-Til el resultado es bastante similar al usar 4 o 6 variables. En general, se observa que los valores mayores de la razón AUC a escala de 6x6 m se diferencian del valor 1 por un margen levemente mayor que aquellos valores mayores de la razón AUC a escala de 1x1 m, siendo su predicción mejor que al azar y siendo más precisa a escala 6x6 m respecto de 1x1 m. Es posible que a escala 1x1 m no se logren resultados tan buenos debido a que los puntos positivos son geoposicionados mediante equipos GPS convencionales, los cuales tienen un error que puede variar según las condiciones ambientales entre 3 y 10 metros (Garmin, 2013);

los componentes del hábitat (tales como la cobertura arbórea) y el relieve también pueden obstruir la recepción del equipo GPS y conducir a errores de localización (Lewis *et al.*, 2007), y por tanto puede ser que los puntos, tanto de modelación como de validación, en realidad estuviesen ubicados en pixeles vecinos al que se les asignó, y por esto puede no haberse incluido en forma precisa las características asociadas al punto de ubicación exacto donde se encontraban los triatomíneos. Este inconveniente sería minimizado a escala 6x6 m, donde se incorpora la información que correspondería a varios pixeles de 1x1 m alrededor del punto georreferenciado mediante GPS.

Es interesante destacar las diferencias en cuanto a los resultados evaluándolos utilizando la curva ROC completa, versus ocupar la curva ROC parcial, que no incluye la porción de la predicción en que todos los puntos positivos son clasificados como negativos. En el primer caso, como se detalla en la Tabla 15, los modelos en escala 1x1 m con 6 variables tenían valores mayores de AUC que los modelos de 6x6 m. En cambio, al analizarlos por medio de la curva ROC parcial, se deduce que los resultados de las predicciones de 1x1 m incluían un error de omisión mayor, por cuanto los valores de razón de AUC son levemente menores en éstos. Como esta última evaluación se realizó utilizando presencias de validación que no fueron ocupadas para generar los modelos, realmente se evaluó el ajuste del modelo y no un sobreajuste, como ocurre al evaluar con puntos ya utilizados para generar los modelos.

La distribución espacial de las poblaciones se ve afectada por las habilidades de dispersión de la especie, interacciones entre individuos, y por selección de hábitat (Vinatier *et al.*, 2011). De acuerdo a estudios previos (Botto-Mahan *et al.*, 2005b), el ámbito de hogar de *M. spinolai* en verano es de 47,21 m<sup>2</sup> en promedio, y por tanto los 36 m<sup>2</sup> asignados a cada pixel a escala

6x6 m estarían representando la mayor parte del ámbito de hogar de esta especie; esta escala también incorporaría la distancia máxima promedio de desplazamiento de 12,13 m reportada por Botto-Mahan *et al.* (2005b); en el caso de *T. infestans*, no hay estudios que hayan reportado su ámbito de hogar, pero sí se ha reportado desplazamientos máximos mayores a 100 m en focos silvestres de Bolivia (Brémond *et al.*, 2014). Es posible, por tanto, que para modelar la distribución de *T. infestans* no se requiera una resolución espacial tan alta como la utilizada en este estudio.

Al compararse los modelos luego de aplicar el umbral para generar predicciones binarias, en dos de los modelos hubo una asociación entre los puntos de validación (no utilizados para generar los modelos) y la predicción, que fue mayor que lo esperado por azar; el primero fue el modelo a escala 6x6 m generado en AU-PU-TT con 6 variables, y el segundo fue el modelo proyectado a MA-SO-CT con 4 variables. Ninguno de los otros modelos a escala 1x1 m mostró una asociación significativa al nivel umbral evaluado. Dado que en ellos se ocupó sólo una zona de estudio (Aucó) para generar el modelo y proyectarlo a las otras zonas, es probable que no se esté incluyendo toda la información respecto a las condiciones en las cuales *M. spinolai* puede vivir, por lo que al aplicar como umbral el valor mínimo obtenido por un punto positivo en la zona de modelación, éste es aún muy elevado para zonas en las que las condiciones no son similares al área desde la cual se modeló, y por tanto no son incluidas como área predicha. Esto es consistente con lo reportado por Thibaud *et al.* (2014), referente a que la mayor variación en la exactitud de la predicción es generada por el tamaño de muestra. Es posible que si el umbral hubiese sido menor se hubieran obtenido más modelos binarios significativos, pero en este trabajo se optó por ese criterio para obtener el valor umbral, para uniformar el análisis. Hay muchas otras formas para determinar el valor umbral (Liu *et al.*, 2005), algunas de las cuales podrían tener un mejor desempeño,

pero se prefirió trabajar con un criterio fácil de entender, para dejar disponible a los equipos de vigilancia vectorial un modelo que fuese abordable y significativo, para que pueda ser utilizado como herramienta para la toma de decisiones.

Tanto a nivel de predicción binaria como en el caso de la predicción umbral-independiente evaluado mediante la curva ROC parcial, la escala que tuvo mejor rendimiento fue 6x6 metros, por lo que este estudio podría extenderse a toda el área endémica con una resolución espacial similar a 6x6 m, para permitir incorporar este tipo de análisis a la labor de planificación de trabajo en terreno, tanto de prospecciones en búsqueda de triatominos, como de determinación de zonas prioritarias para efectuar acciones de control y prevención de la enfermedad de Chagas. Estos modelos deberán ser utilizados teniendo en cuenta que fueron generados mediante información obtenida por trampeo y observación directa, y que estos métodos de obtención de información capturan sólo una parte de la población real y generalmente son afectados por factores ambientales (Vinatier *et al.*, 2011).

El mejor ajuste del modelo de 6x6 metros con 6 variables corrobora la importancia tanto de la variable exposición como del índice NDVI como principales predictores de la distribución de *M. spinolai*; por tanto, la topografía o relieve y la cubierta vegetal estarían explicando mayormente la distribución de esta especie de triatomo a escala local.

La predicción binaria del modelo de 6x6 metros con 6 variables muestra que en los sitios de El Maqui, Aucó, El Sobrante y Putaendo hay una gran proporción de sitios con alta probabilidad de presencia de *M. spinolai*. En general, estos sitios se ubican en los cerros de las localidades evaluadas. Sin

embargo, en algunas de estas localidades las construcciones se localizan en sectores con alta probabilidad de presencia de triatominos, por lo que deben extremarse las medidas para concientizar a los habitantes respecto a los vectores de la enfermedad de Chagas. Es importante también que los trabajadores cuyas tareas se localizan en estos sectores de riesgo, tales como faenas mineras o agropecuarias, sean informados respecto a los triatominos y respecto a las medidas a tomar en caso de exposición a los vectores. La OMS indica que en áreas sin transmisión domiciliaria – como Chile – la infección en las personas usualmente se relaciona a actividades agrícolas u otras que involucran mayor exposición a vectores silvestres (OMS, 2015).

En vista de estos resultados, la vigilancia epidemiológica permanente en estas comunidades debería refrendar el componente educativo, para que los habitantes puedan estar atentos a la invasión del peridomicilio o incluso del intradomicilio (OPS, 2004) por el vector *M. spinolai*, y denuncien sus intrusiones (Schofield *et al.* 2006). Además, es vital que comprendan que este vector está frecuentemente infectado con *T. cruzi* (Ordenes *et al.*, 1996; Botto-Mahan *et al.*, 2005a; Bacigalupo *et al.*, 2006), y podría transmitir el parásito por vía vectorial accidental, la que puede ocurrir cuando especies de vectores no domiciliados ingresan a las viviendas (Schofield *et al.* 2006); de hecho, estudios de laboratorio han comprobado que los individuos de la especie *M. spinolai* infectados tendrían una conducta que favorecería la transmisión de *T. cruzi*, al aumentar su tasa de picada y reducir el tiempo entre la picada y la emisión de deyecciones, las cuales contienen la forma infectante del parásito (Botto-Mahan *et al.*, 2006). En Yucatán, México, se le atribuye un 1-5% de la seroprevalencia en las personas a la especie no domiciliada *Triatoma dimidiata*, la cual realiza intrusiones transitorias estacionales a las viviendas (Waleckx *et al.*, 2015), lo que demuestra que no se debe menospreciar el posible impacto que las

intrusiones de *M. spinolai* u otros triatominos puedan representar para los habitantes de las zonas endémicas.

Se sugiere además que los habitantes de zonas con riesgo de intrusión de vectores coloquen malla mosquitera en sus ventanas y puertas, para que durante el verano puedan ventilar sus casas sin el riesgo de que ingresen triatominos volando. El uso de mosquitero se ha propuesto como un método consistente para reducir la abundancia de vectores por medio de la reducción de la tasa de inmigración de éstos (Barbu *et al.*, 2009). La intrusión de triatominos y su incorporación en jugos u otras bebidas, o su transporte accidental entre frutas ha causado brotes masivos de infección aguda por *T. cruzi* (Alarcón y Noya, 2015). En Chile existe intrusión de triatominos voladores a las viviendas (ISPCH, 2014) y en algunas zonas se consume el fruto del quisco y del copao, cactáceas que se ubican en sectores con alta probabilidad de presencia de *M. spinolai*, por lo que el riesgo de transmisión oral no debe despreciarse.

Se recomienda que para el futuro control de la enfermedad de Chagas, los países generen una base de datos nacional para vigilancia epidemiológica utilizando sistemas de información geográfica, incluyendo los nuevos casos de personas infectadas y todos los hallazgos domiciliarios, peridomiciliarios y silvestres de triatominos (Schofield *et al.* 2006). Este trabajo da las bases para generar estudios a escala local de la infestación por vectores de la enfermedad de Chagas en Chile, con miras a lograr una cobertura nacional de resolución espacial con el detalle requerido para lograr implementar acciones preventivas y de control en las áreas de riesgo, directamente en las comunidades afectadas.

## 8. CONCLUSIONES

- *Mepraia spinolai* tiene una distribución agregada en la zona Central de Chile.
- Se ubica preferentemente en sectores con exposición Norte, con bajo índice de vegetación NDVI, de mayor pendiente, alejada de construcciones, en lugares secos, con mayor proporción de piedras y rocas, con pocas hierbas, presencia de vegetación arbustiva de hoja caduca y de cactáceas.
- La variación espacial de las variables ambientales evaluadas - exposición, NDVI, pendiente, distancia a construcciones, altitud y distancia a cursos de agua - logra explicar su distribución.
- Utilizar pixeles de 6x6 metros es adecuado para explicar la distribución de esta especie a escala local.
- La topografía o relieve, además del índice de vegetación NDVI, son las variables que tienen mayor contribución en el modelo de mejor ajuste a escala local, y por tanto explican la mayor parte de la distribución de *M. spinolai* a esta escala.
- Una gran proporción de las áreas estudiadas tiene sectores idóneos para la presencia del vector *M. spinolai*, por lo que gran parte de las personas que viven en estas áreas están bajo riesgo de transmisión vectorial accidental.

## 9. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que la construcción de viviendas en la zona Centro-Norte de Chile se realice en sitios planos o en laderas con poca pendiente que no tengan exposición norte.
- ✓ Colocar malla mosquitera en las puertas y ventanas de viviendas ubicadas en zonas de riesgo.
- ✓ En excursiones, campamentos y actividades al aire libre dentro del área de distribución de *Mepraia spinolai*, se evite circular y establecerse en zonas con exposición norte.
- ✓ Realizar difusión respecto a los vectores de la enfermedad de Chagas a las personas que habitan en áreas de riesgo; es decir, realizar comunicación del riesgo a la comunidad.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- **ABAD-FRANCH, F.; VALENÇA-BARBOSA, C.; SARQUIS, O; LIMA, M.M.** 2014. All that glitters is not gold: Sampling-process uncertainty in disease-vector surveys with false-negative and false-positive detections. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8(9):e3187.
- **ALARCÓN B.; NOYA O.** 2015. An ecological overview of the factors that drives to *Trypanosoma cruzi* oral transmission. *Acta Trop.* 151:94-102.
- **ARMESTO, J.J.; MARTÍNEZ, J.A.** 1978. Relations between vegetation structure and slope aspect in the Mediterranean Region of Chile. *J. Ecol.* 66(3):881-889.
- **ATÍAS, A.** 1998. *Parasitología Médica.* Editorial Mediterráneo. Santiago, Chile. 615 p.
- **AUSTIN, M.P.** 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol. Model.* 157:101-118.
- **BACIGALUPO, A.; SEGURA, J.A.; GARCÍA, A.; HIDALGO, J.; GALUPPO, S.; CATTAN, P.E.** 2006. Primer hallazgo de vectores de la enfermedad de Chagas asociados a matorrales silvestres en la Región Metropolitana, Chile. *Rev. Med. Chil.* 134:1230-1236.
- **BACIGALUPO, A.; TORRES-PÉREZ, F.; SEGOVIA, V.; GARCÍA, A.; CORREA, J.P.; MORENO, L.; ARROYO, P.; CATTAN, P.E.** 2010. Sylvatic foci of the Chagas disease vector *Triatoma infestans* in Chile: description of a new focus and challenges for control programs. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 105(5):633-641.
- **BACIGALUPO, A.; CORREA, J.P.; GARCÍA, A.; CATTAN, P.E.** 2015. Focos silvestres de *Triatoma infestans* en Latinoamérica: análisis y perspectivas para Chile. *Parasitol. Latinoam.* 64(3):27-35.

- **BALDWIN, R.A.** 2009. Use of Maximum Entropy Modeling in wildlife research. *Entropy* 11:854-866.
- **BARBU, C.; DUMONTEIL, E.; GOURBIÈRE, S.** 2009. Optimization of control strategies for non-domiciliated *Triatoma dimidiata*, Chagas disease vector in the Yucatán Peninsula, Mexico. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 3(4):e416. 10 p.
- **BARRETTO, M.P.; SIQUEIRA, A.F.; CORREA, F.M.A.** 1963. Estudos sôbre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*; I. Encontro do *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) em ecótopos silvestres. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo* 5(6):289-293.
- **BARRETTO, M.P.; FILHO, F.F.** 1964. Estudos sôbre reservatórios e vetores silvestres do *Trypanosoma cruzi*; IV. Infecção natural do *Triatoma infestans*, encontrado em ecótopos silvestres, por tripanossomos semelhantes ao *T. cruzi*. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo* 6(5):219-224.
- **BARVE, N.** 2008. Tool for Partial-ROC (Biodiversity Institute, Lawrence, KS), ver 1.0.
- **BATISTA, T.; GURGEL-GONÇALVES, R.** 2009. Ecological niche modelling and differentiation between *Rhodnius neglectus* Lent, 1954 and *Rhodnius nasutus* Stal, 1859 (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 104(8):1165-1170.
- **BECK, L.R.; LOBITZ, B.M.; WOOD, B.L.** 2000. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerg. Infect. Dis.* 6(3):217-227.
- **BOTTO-MAHAN, C.; ORTIZ, S.; ROZAS, M.; CATTAN, P.; SOLARI A.** 2005a. DNA evidence of *Trypanosoma cruzi* in the Chilean wild vector *Mepraia spinolai* (Hemiptera: Reduviidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 100(3):237-39.

- **BOTTO-MAHAN, C.; CATTAN, P.E.; CANALS, M.; ACUÑA, M.** 2005b. Seasonal variation in the home range and host availability of the blood-sucking insect *Mepraia spinolai* in wild environment. *Acta Trop.* 95:160-163.
  
- **BOTTO-MAHAN, C.; CATTAN, P.E.; MEDEL, R.** 2006. Chagas disease parasite induces behavioural changes in the kissing bug *Mepraia spinolai*. *Acta Trop.* 98:219-223.
  
- **BRÉMOND, P.; SALAS, R.; WALECKX, E.; BUITRAGO, R.; ALIAGA, C.; BARNABÉ, C.; DEPICKÈRE, S.; BRENIÈRE, S.F.** 2014. Variations in time and space of an Andean wild population of *T. infestans* at a microgeographic scale. *Parasit. Vectors* 7: 164. 11 p.
  
- **BUSTAMANTE, D.M.; MONROY, M.C.; RODAS, A.G.; JUAREZ, J.A.; MALONE, J.B.** 2007. Environmental determinants of the distribution of Chagas disease vectors in south-eastern Guatemala. *Geospat. Health* 2:199-211.
  
- **CANALS, M.; CATTAN, P.; EHRENFELD, M.; TORRES, P.** 1992. Poblaciones experimentales de *Triatoma infestans*: efectos de condiciones ambientales variables. *Parasitol. Día* 16:72-77.
  
- **CANALS, M.; CATTAN, P.E.; EHRENFELD, M.** 1994. Sobrevivencia de *Triatoma spinolai* en ambiente habitacional. *Parasitol. Día* 18:82-87.
  
- **CANALS, M.; SOLÍS, R.; VALDERAS, J.; EHRENFELD, M.; CATTAN, P.E.** 1997. Preliminary studies on temperature selection and activity cycles of *Triatoma infestans* and *T. spinolai* (Heteroptera: Reduviidae), Chilean vectors of Chagas' disease. *J. Med.Entomol.* 34:11-17.
  
- **CARBAJAL DE LA FUENTE, A.L.; PORCASI, X.; NOIREAU, F.; DIOTAIUTI, L.; GORLA, D.E.** 2009. The association between the geographic distribution of *Triatoma pseudomaculata* and *Triatoma wygodzinskyi* (Hemiptera: Reduviidae) with environmental variables recorded by remote sensors. *Infect. Genet. Evol.* 9:54-61.

- **CARCAVALLO, R.U.** 1999. Climatic factors related to Chagas disease transmission. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 94(Supl I):367-369.
  
- **CATTAN, P.E.; PINOCHET, A.; BOTTO-MAHAN, C.; ACUÑA, M.I.; CANALS, M.** 2002. Abundance of *Mepraia spinolai* in a periurban zone of Chile. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 97(3):285-287.
  
- **CEBALLOS, L.A.; PICCINALI, R.V.; BERKUNSKY, I.; KITRON, U.; GÜRTLER, R.E.** 2009. First finding of melanic sylvatic *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) colonies in the Argentine Chaco. J. Med. Entomol. 46(5):1195-1202.
  
- **CEBALLOS, L.A.; PICCINALI, R.V.; MARCET, P.L.; VAZQUEZ-PROKOPEC, G.M.; CARDINAL, M.V.; SCHACHTER-BROIDE, J.; DUJARDIN, J.P.; DOTSON, E.M.; KITRON, U.; GÜRTLER, R.E.** 2011. Hidden sylvatic foci of the main vector of Chagas disease *Triatoma infestans*: threats to the vector elimination campaign? PLoS Negl. Trop. Dis. 5(10):e1365, 13 p.
  
- **CECERE, M.C.; VAZQUEZ-PROKOPEC, G.M.; GÜRTLER, R.E.; KITRON, U.** 2004. Spatio-temporal analysis of reinfestation by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) following insecticide spraying in a rural community in northwestern Argentina. Am. Trop. Med. Hyg. 71(6):803-810.
  
- **CHACÓN, F.; BACIGALUPO, A.; QUIROGA, J.F.; FERREIRA, A.; CATTAN, P.E.; RAMÍREZ-TOLOZA, G.** 2016. Feeding profile of *Mepraia spinolai*, a sylvatic vector of Chagas disease in Chile. Acta Trop. 162:171-173.
  
- **CORTEZ, M.R.; EMPERAIRE, L.; PICCINALI, R.V.; GÜRTLER, R.E.; TORRICO, F.; JANSEN, A.M.; NOIREAU, F.** 2007. Sylvatic *Triatoma infestans* in the Andean valleys of Bolivia. Acta Trop. 102:47-54.

- **COSTA, J.; PETERSON, A.T.** 2012. Ecological niche modeling as a tool for understanding distributions and interactions of vectors, hosts, and etiologic agents of Chagas disease. *Adv. Exp. Med. Biol.* 710:59-70.
  
- **DE LA MAZA, M.; LIMA, M.; MESERVE, P.L.; GUTIÉRREZ, J.R.; JAKSIC, F.M.** 2009. Primary production dynamics and climate variability: ecological consequences in semiarid Chile. *Global Change Biol.* 15:1116-1126.
  
- **DELGADO, S.; CASTILLO, R.; QUISPE, V.R.; ANCCA, J.; CHOU, L.; RENEE, M.; MOSCOSO, G.M.; BOCÁNGEL, C.D.; TUSTIN, A.W.; STERLING, C.R.; COMRIE, A.C.; NÁQUIRA, C.; CORNEJO, J.G.; GILMAN, R.H.; BERN, C.; LEVY, M.Z.** 2011. A history of Chagas disease transmission, control, and re-emergence in peri-rural La Joya, Peru. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 5(2):e970, 10 p.
  
- **DIAS, J.** 2007. Globalização, iniquidade e doença de Chagas. *Cad. Saude Publica* 23(Supl 1):S13-S22.
  
- **EHRENFELD, M.J.; CANALS, M.; CATTAN, P.E.** 1998. Population parameters of *Triatoma spinolai* (Heteroptera: Reduviidae) under different environmental conditions and densities. *J. Med. Entomol.* 35(5):740-744.
  
- **ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P. ET AL.** 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
  
- **ELITH, J.; PHILLIPS, S.J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y.E.; YATES, C.J.** 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity Distrib.* 17:43-57.
  
- **FIELDING, A.H.; BELL, J.F.** 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ. Cons.* 24(1):38-49.

- **FORMAN, R.T.T.** 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 605 p.
  
- **FORATTINI, O.P.; FERREIRA, O.A.; DA ROCHA, E.O.; RABELLO, E.X.; FERREIRA, J.L.** 1971. Aspectos ecológicos da tripanossomose americana II - Distribuição e dispersão local de triatomíneos em ecótopos naturais e artificiais. Rev. Saude Publica 5:163-191.
  
- **FRANKLIN, J.** 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press. New York, United States of America. 320 p.
  
- **FRÍAS, D.; MARTÍNEZ, H.; WALLACE, A.** 1987. Algunos aspectos taxonómicos de *Triatoma spinolai* Porter (Hemiptera: Triatominae). Acta Entomol. Chil. 14:155-170.
  
- **FRÍAS, D.A.; HENRY, A.A.; GONZÁLEZ, C.R.** 1998. *Mepraia gajardo*: a new species of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) from Chile and its comparison with *Mepraia spinolai*. Rev. Chil. Hist. Nat. 71:177-188.
  
- **FRÍAS, D.** 2010. A new species and karyotype variation in the bordering distribution of *Mepraia spinolai* (Porter) and *Mepraia gajardo* Frías *et al* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) in Chile and its parapatric model of speciation. Neotrop. Entomol. 39(4):572-583.
  
- **GAJARDO, R.** 1953. Algo más sobre *Mepraia spinolai*. Rev. Chil. Entomol. 3:117-125.
  
- **GALVÃO, C.; PATTERSON, J.S.; DA SILVA, D.; JURBERG, J.; CARCAVALLO, R.; RAJEN, K.; AMBROSE, D.P.; MILES, M.A.** 2002. A new species of Triatominae from Tamil Nadu, India. Med. Vet. Entomol. 16:75-82.
  
- **GALVÃO, C.; CARCAVALLO, R.; DA SILVA, D.; JURBERG, J.** 2003. A checklist of the current valid species of the subfamily Triatominae

- Jeannel, 1919 (Hemiptera, Reduviidae) and their geographical distribution, with nomenclatural and taxonomical notes. *Zootaxa* 202:1-36.
- **GARMIN.** 2013. GPSMAP 78 series: owner's manual. Garmin Ltd. 2010-2013. Taiwan, China. 48 p.
  - **GATRELL, A.C.; BAILEY, T.C.; DIGGLE, P.J.; ROWLINGSON, B.S.** 1996. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans. Inst. British Geog.* 21(1):256-274.
  - **GAUNT, M.; MILES, M.** 2000. The ecotopes and evolution of triatomine bugs and their associated trypanosomes. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 95(4):557-565.
  - **GORLA, D.E.** 2002. Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Ecol. Austral* 12:117-127.
  - **GORLA, D.E.** 2006. Variables ambientales, sensores remotos y mapas de riesgo en el estudio de vectores de la enfermedad de Chagas. **In:** El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores Remotos (SR) en Salud Pública. Bogotá, Colombia. 27 al 30 de marzo de 2006. Centro de Investigaciones en Microbiología y Parasitología Tropical (CIMPAT), Universidad de Los Andes, Colombia y London School of Hygiene and Tropical Medicine, United Kingdom. pp. 9-15.
  - **GORLA, D.E.; PORCASI, X.; SCAVUZZO, M.** 2011. El paisaje y su interacción con actividades de control de la enfermedad de Chagas en áreas rurales de Argentina. **In:** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Curitiba, Brasil. 30 de abril al 05 de mayo de 2011. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE). pp. 8381-8388.
  - **GUARNERI, A.A.; LAZZARI, C.; DIOTAIUTI, L.; LORENZO, M.** 2002. The effect of relative humidity on the behaviour and development of *Triatoma brasiliensis*. *Physiol. Entomol.* 27:142-147.

- **GURGEL-GONÇALVES, R.; CUBA, C.A.** 2009. Predicting the potential geographical distribution of *Rhodnius neglectus* (Hemiptera: Reduviidae) based on ecological niche modeling. *J. Med. Entomol.* 46(4):952-960.
- **GURGEL-GONÇALVES, R.; GALVÃO, C.; COSTA, J.; PETERSON, A.T.** 2012. Geographic distribution of Chagas disease vectors in Brazil based on ecological niche modeling. *J. Trop. Med.* 2012:ID 705326, 15 p.
- **GÜRTLER, R.E.; CECERE, M.C.; CANALE, D.M.; CASTAÑERA, M.B.; CHUIT, R.; COHEN, J.E.** 1999. Monitoring house reinfestation by vectors of Chagas disease: a comparative trial of detection methods during a four-year follow-up. *Acta Trop.* 72:213-234.
- **HAY, S.I.** 2000. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Adv. Parasitol.* 47:1-35.
- **HERNÁNDEZ, J.; NÚÑEZ, I.; BACIGALUPO, A.; CATTAN, P.E.** 2013. Modeling the spatial distribution of Chagas disease vectors using environmental variables and people's knowledge. *Int. J. Health Geog.* 12:29.
- **ISPCH: INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE.** 2014. Vigilancia de Enfermedad de Chagas 2005 – 2013: Componente vectorial. *Boletín ISP* 4(6):1-16.
- **JERCIC, M.I.; GONZÁLEZ, C.; OYARCE, A.; CANCINO, B.; MAC-LEAN, M.** 2012. La enfermedad de Chagas en Chile: componente vectorial y serología en menores de 5 años durante el período 2005-2010. *El Vigía* 13(27):7-11.
- **JIMÉNEZ, J.E.; FEINSINGER, P.; JAKSIC, F.M.** 1992. Spatiotemporal patterns of an irruption and decline of small mammals in Northcentral Chile. *J. Mamm.* 73(2):356-364.

- **LAZZARI, C.R.** 1992. Circadian organization of locomotion activity in the haematophagous bug *Triatoma infestans*. J. Insect. Physiol. 38(11):895-903.
  
- **LEITE, G.R.; SANTOS, C.B.; FALQUETO, A.** 2011. Influence of the landscape on dispersal of sylvatic triatomines to anthropic habitats in the Atlantic Forest. J. Biogeogr. 38:651-663.
  
- **LENT, H.; WYGODZINSKY, P.** 1979. Revision of the Triatominae (Hemiptera, Reduviidae), and their significance as vectors of Chagas' disease. Bull. Am. Mus. Nat. Hist. 163(3):123-520.
  
- **LEWIS, J.S.; RACHLOW, J.L.; GARTON, E.O.; VIERLING, L.A.** 2007. Effects of habitat on GPS collar performance: using data screening to reduce location error. J. App. Ecol. 44:663-671.
  
- **LIMA, M.; MARQUET, P.A.; JAKSIC, F.M.** 1996. Extinction and colonization processes in subpopulations of five neotropical small mammal species. Oecologia 107:197-203.
  
- **LIU, C.; BERRY, P.M.; DAWSON, T.P.; PEARSON, R.G.** 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. Ecography 28(3):385-393.
  
- **LÓPEZ-CÁRDENAS, J.; GONZALEZ, F.E.; SALAZAR, P.M.; GALLAGA, J.C.; RAMÍREZ, E.; MARTINEZ, J.; SÁNCHEZ-CORDERO, V.; PETERSON, A.T.; RAMSEY, J.M.** 2005. Fine-scale predictions of distributions of Chagas disease vectors in the State of Guanajuato, México. J. Med. Entomol. 42(6):1068-1081.
  
- **LORENZO, M.G.; REISENMAN, C.E.; LAZZARI, C.R.** 1998. *Triatoma infestans* can be captured under natural climatic conditions using yeast-baited traps. Acta Trop. 70:277-284.

- **LORENZO, M.G.; LAZZARI, C.R.** 1999. Temperature and relative humidity affect the selection of shelters by *Triatoma infestans*, vector of Chagas disease. *Acta Trop.* 72:241-249.
  
- **MARTIN, D.L.; LOWE, K.R.; MCNEILL, T.; THIELE, E.A.; ROELLIG, D.M.; ZAJDOWICZ, J.; HUNTER, S.A.; BRUBAKER, S.A.** 2015. Potential sexual transmission of *Trypanosoma cruzi* in mice. *Acta Trop.* 149:15-18.
  
- **MATEO, R.G.; FELICÍSIMO, A.M.; MUÑOZ, J.** 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84:217-240.
  
- **MCGWIRE, K.; SEGURA, E.L.; SCAVUZZO, M.; GÓMEZ, A.A.; LAMFRI, M.** 2006. Spatial pattern of reinfestation by *Triatoma infestans* in Chancaní, Argentina. *J. Vector Ecol.* 31(1):17-28.
  
- **MEROW, C.; SMITH, M.J.; SILANDER, J.A.** 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36:1058-1069.
  
- **MILSTEAD, W.B.; MESERVE, P.L.; CAMPANELLA, A.; PREVITALI, M.A.; KELT, D.A.; GUTIÉRREZ, J.R.** 2007. Spatial ecology of small mammals in North-Central Chile: Role of precipitation and refuges. *J. Mammal.* 88(6):1532-1538.
  
- **MINOLI, S.A.; BARABALLE, S.; FIGUEIRAS, A.N.L.** 2007. Daily rhythm of aggregation in the haematophagous bug *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz* 102(4):449-454.
  
- **MINSAL: MINISTERIO DE SALUD.** 2010. Encuesta Nacional de Salud ENS Chile 2009-2010. 1064 p. [en línea] <[http://www.encuestasalud.cl/ens/wp-content/uploads/2011/09/InformeENS\\_2009-2010\\_CAP5.pdf](http://www.encuestasalud.cl/ens/wp-content/uploads/2011/09/InformeENS_2009-2010_CAP5.pdf)> [consulta: 18-06-2012].

- **MINSAL: MINISTERIO DE SALUD.** 2014. Norma general técnica. Control y prevención nacional de la enfermedad de Chagas. 98 p. [en línea] <[http://web.minsal.cl/sites/default/files/NORMA%20TECNICA\\_CHAGAS\\_FINAL.pdf](http://web.minsal.cl/sites/default/files/NORMA%20TECNICA_CHAGAS_FINAL.pdf)> [consulta: 31-8-16].
  
- **MINSAL: MINISTERIO DE SALUD.** 2016. Enfermedad de Chagas (ECH). [en línea] <<http://diprece.minsal.cl/programas-de-salud/programas-enfermedades-transmisibles/chagas-2/>> [consulta: 01-11-2016].
  
- **MINSAL: MINISTERIO DE SALUD.** 2016. Informe Programa Nacional Integral de Enfermedad de Chagas. 30 p. [en línea] <[http://diprece.minsal.cl/wrdprss\\_minsal/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Situaci%C3%B3n-Vigilancia-Ech-chile-PAG-WEB.pdf](http://diprece.minsal.cl/wrdprss_minsal/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Situaci%C3%B3n-Vigilancia-Ech-chile-PAG-WEB.pdf)> [consulta: 02-11-2016].
  
- **MONTEITH, G.B.** 1974. Confirmation of the presence of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae) in Australia, with notes on indo-pacific species. J. Aust. Entomol. Soc. 13:89-94.
  
- **MUKAKA, M.M.** 2012. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. Malawi Med. J. 24(3):69-71.
  
- **NOIREAU, F.; FLORES, R.; VARGAS, F.** 1999. Trapping sylvatic Triatominae (Reduviidae) in hollow trees. Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg. 93:13-14.
  
- **NOIREAU, F.; FLORES, R.; GUTIERREZ, T.; ABAD-FRANCH, F.; FLORES, E.; VARGAS, F.** 2000. Natural ecotopes of *Triatoma infestans* dark morph and other sylvatic triatomines in the Bolivian Chaco. Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg. 94:23-27.
  
- **OMS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.** 2015. Chagas disease in Latin America: an epidemiological update based on 2010 estimates. Weekly Epidemiol. Report 90(6):33-43.

- **OPS, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.** 2004. Taller del Cono Sur sobre Enfermedad de Chagas: Conceptualización de la vigilancia epidemiológica. Editorial OPS. OPS/DPC/CD/290/04. 16 p. [en línea] <<http://www.ops.org.bo/textocompleto/ich23345.pdf>> [consulta: 01-09-2016].
  
- **OPS, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.** 2009. Hoja Técnica N° 1. Marco referencial de los procesos de control hacia la interrupción de la transmisión vectorial de *Trypanosoma cruzi*. Guía de definiciones. 3 p. [en línea] <[http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&qid=15615&Itemid=270](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_download&qid=15615&Itemid=270)> [consulta: 01-09-16].
  
- **ORDENES, H.; EHRENFELD, M.; CATTAN, P.E.; CANALS, M.** 1996. Infección tripano-triatomina de *Triatoma spinolai* en una zona de riesgo epidemiológico. Rev. Med. Chil. 124:1053-1057.
  
- **PATTERSON, J.S.; SCHOFIELD, C.J.; DUJARDIN, J.P.; MILES, M.A.** 2001. Population morphometric analysis of the tropicopolitan bug *Triatoma rubrofasciata* and relationships with Old World species of *Triatoma*: evidence of New World ancestry. Med. Vet. Entomol. 15:443-451.
  
- **PETERSON, A.T.; PAPES, M.; SOBERÓN, J.** 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. Ecol. Model. 213:63-72.
  
- **PETTORELLI, N.; RYAN, S.; MUELLER, T.; BUNNEFELD, N.; JEDRZEJEWSKA, B.; LIMA, M.; KAUSRUD, K.** 2011. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. Clim. Res. 46:15-27.
  
- **PFEIFFER, D. U.; ROBINSON, T., P.; STEVENSON, M.; STEVENS, K. B.; ROGERS, D. J.; CLEMENTS, A. C. A.** 2008. Spatial Analysis in Epidemiology. Oxford University Press Inc. New York, United States. 142 p.

- **PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E.** 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190:231-259.
  
- **PORCASI, X.; CATALÁ, S.S.; HRELLAC, H.; SCAVUZZO, M.C.; GORLA, D.E.** 2006. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in Southern area of Gran Chaco in Argentina. *J. Med. Entomol.* 43(5):1060-1067.
  
- **QUINTANILLA, V.** 1994. Determinación de procesos y áreas de riesgos en los Andes centrales de Chile mediterráneo: casos de estudio. *Pirineos* 143-144:99-110.
  
- **RAMSEY, J.M.; GUTIÉRREZ-CABRERA, A.E.; SALGADO-RAMÍREZ, L.; PETERSON, A.T.; SÁNCHEZ-CORDERO, V.; IBARRA-CERDEÑA, C.N.** 2012. Ecological connectivity of *Trypanosoma cruzi* reservoirs and *Triatoma pallidipennis* hosts in an anthropogenic landscape with endemic Chagas disease. *PLoS One* 7(9):e46013, 11 p.
  
- **ROCA, M.J.; LAZZARI, C.R.** 1994. Effects of relative humidity on the haematophagous bug *Triatoma infestans*: Hygropreference and eclosion success. *J. Insect Physiol.* 40(10):901-907.
  
- **ROLÓN, M.; VEGA, M.C.; ROMÁN, F.; GÓMEZ, A.; ROJAS DE ARIAS, A.** 2011. First report of colonies of sylvatic *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in the Paraguayan Chaco, using a trained dog. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 5(5):e1026, 7 p.
  
- **ROUX, E.; VENANCIO, A.D.F.; GIRRES, J.-F.; ROMAÑA, C.A.** 2011. Spatial patterns and eco-epidemiological systems - part I: multi-scale spatial modelling of the occurrence of Chagas disease insect vectors. *Geospat. Health* 6(1):41-51.
  
- **SAG: SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO.** 2014. Alcances sobre la familia Cactaceae en Chile. 22 p. [en línea] <[http://www.sag.cl/sites/default/files/algs\\_alc\\_cactaceas12oo4\\_2014\\_a\\_c\\_omunic3\\_ok.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/algs_alc_cactaceas12oo4_2014_a_c_omunic3_ok.pdf)> [consulta: 15-08-2016].

- **SANDOVAL, C.M.; CÁRDENAS, R.; RODRÍGUEZ, A.J.; JAIMES, E.; MENDOZA, J.G.** 2006. Medio ambiente y protozoosis sistémicas III. Los vectores de la enfermedad de Chagas y su asociación con los factores climáticos. *Academia* V(9):65-74.
  
- **SANDOVAL-RUIZ, C.A.; ZUMAQUERO-RIOS, J.L.; ROJAS-SOTO, O.R.** 2008. Predicting geographic and ecological distributions of triatomine species in southern mexican state of Puebla using ecological niche modeling. *J. Med. Entomol.* 45(3):540-546.
  
- **SCHENONE, H.; VILLARROEL, F.; ROJAS, A.; ALFARO, E.** 1985. Capítulo XXXIV. Chile. **In:** Factores biológicos y ecológicos de la enfermedad de Chagas. Tomo II. Carcavallo R.U, Rabinovich J.E. y Tonn R.J. Eds. Chagas: Publicación periódica del Servicio Nacional de Chagas de la República Argentina. 401-411.
  
- **SCHENONE, H.; ROJAS, A.** 1989. Algunos datos y observaciones pragmáticas en relación a la epidemiología de la enfermedad de Chagas. *Bol. Chil. Parasitol.* 44:66-86.
  
- **SCHOFIELD, C.J.** 1979. The behaviour of Triatominae (Hemiptera: Reduviidae): a review. *Bull. Entomol. Res.* 69:363-379.
  
- **SCHOFIELD, C.J.; APT, W.; MILES, M.A.** 1982. The ecology of Chagas disease in Chile. *Ecol. Dis.* 1(2/3):117-129.
  
- **SCHOFIELD, C.J.** 1994. Triatominae. Biología y control. Eurocommunica Publications. West Sussex, United Kingdom. 80 p.
  
- **SCHOFIELD, C.J.; JANNIN, J.; SALVATELLA, R.** 2006. The future of Chagas disease control. *Trends Parasitol.* 22(12):583-588.

- **SUAREZ-DAVALOS, V.; DANGLES, O.; VILLACIS, A.G.; GRIJALVA, M.J.** 2010. Microdistribution of sylvatic triatomine populations in central-coastal Ecuador. *J. Med. Entomol.* 47(1):80-88.
  
- **SULBARÁN, J.E.** 2009. Modelo de distribución espacial del hábitat de Triatominos y zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas en los municipios Andrés Bello y Morán del estado Lara, Venezuela. Trabajo de grado *Magister Scientiae* en Ecología Tropical. Mérida, Venezuela. U. de Los Andes, Fac. Ciencias. 133 p.
  
- **THIBAUD, E.; PETITPIERRE, B.; BROENNIMANN, O.; DAVISON, A.C.; GUIBAN, A.** 2014. Measuring the relative effect of factors affecting species distribution model predictions. *Methods Ecol. Evol.* 5:947-955.
  
- **TORRICO, R.A.** 1946. Hallazgo de *Eratyrus mucronatus*, infestación natural de vinchucas de cerro y *Eutriatoma sordida* en Cochabamba. *An. Lab. Central Cochabamba* 1:19-23 (citado por NOIREAU, F; ROJAS, M.G.; MONTEIRO, F.A.; JANSEN, A.M.; TORRICO, F. 2005. Can wild *Triatoma infestans* foci in Bolivia jeopardize Chagas disease control efforts? *Trends Parasitol.* 21(1):7-10).
  
- **VAZQUEZ-PROKOPEC, G.M.; CEBALLOS, L.A.; MARCET, P.L.; CECERE, M.C.; CARDINAL, M.V.; KITRON, U.; GÜRTLER, R.E.** 2006. Seasonal variations in active dispersal of natural populations of *Triatoma infestans* in rural north-western Argentina. *Med. Vet. Entomol.* 20:273-279.
  
- **VAZQUEZ-PROKOPEC, G.M.; CECERE, M.C.; KITRON, U.; GÜRTLER, R.E.** 2008. Environmental and demographic factors determining the spatial distribution of *Triatoma guasayana* in peridomestic and semi-sylvatic habitats of rural northwestern Argentina. *Med. Vet. Entomol.* 22:273-282.
  
- **VAZQUEZ-PROKOPEC, G.M.; SPILLMAN, C.; ZAIDENBERG, M.; GÜRTLER, R.E., KITRON, U.** 2012. Spatial heterogeneity and risk maps of community infestation by *Triatoma infestans* in rural northwestern Argentina. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 6(8):e1788, 13 p.

- **VEZZANI, D.; SCHWEIGMANN, N.J.; PIETROKOVSKY, S.M.; WISNIVESKY-COLLI, C.** 2001. Characterization of *Triatoma guasayana* biotopes in a hardwood forest of Santiago del Estero, Argentina. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 96(4):459-466.
  
- **VINATIER, F.; TIXIER, P.; DUYCK, P.F.; LESCOURRET, F.** 2011. Factors and mechanisms explaining spatial heterogeneity: a review of methods for insect populations. Methods Ecol. Evol. 2:11-22.
  
- **WALECKX, E.; GOURBIÈRE, S.; DUMONTEIL, E.** 2015. Intrusive versus domiciliated triatomines and the challenge of adapting vector control practices against Chagas disease. Mem. Inst. Oswaldo Cruz 110(3):324-338.
  
- **WISNIVESKY-COLLI, C.; SCHWEIGMANN, N.J.; PIETROKOVSKY, S.; BOTTAZZI, V.; RABINOVICH, J.** 1997. Spatial distribution of *Triatoma guasayana* (Hemiptera: Reduviidae) in hardwood forest biotopes in Santiago del Estero, Argentina. J. Med. Entomol. 34(2):102-109.
  
- **XAVIER, A.A.P.; LORENZO, M.G.; LAZZARI, C.; DIOTAIUTI, L.; GUARNERI, A.A.** 2005. Relative humidity and water loss in *Triatoma brasiliensis*. Physiol. Entomol. 30:338-342.
  
- **XAVIER, S.C.C.; VAZ, V.C.; D'ANDREA, P.S.; HERRERA, L.; EMPERAIRE, L.; ALVES, J.R.; FERNANDES, O.; FERREIRA, L.F.; JANSEN, A.M.** 2007. Mapping of the distribution of *Trypanosoma cruzi* infection among small wild mammals in a conservation unit and its surroundings (Northeast-Brazil). Parasitol. Int. 56:119-128.