



Naturalis

Repositorio Institucional
<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Sistemas de información geográfica y modelos de distribución de abundancia de *Lutzomyia longipalpis* sensu lato (Díptera: Psychodidae: Phlebotominae), a escala de foco urbano, en la ciudad de Corrientes, Argentina

Berrozpe, Pablo

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Santini, María Soledad

Co-dirección: Torrusio, Sandra

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
2017

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20180614001587>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

"Sistemas de información geográfica y modelos de distribución de abundancia de *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Díptera: Psychodidae: Phlebotominae) a escala de foco urbano, en la ciudad de Corrientes, Argentina"

Lic. Pablo Berrozpe

Directoras:

Dra. María Soledad Santini

Dra. Sandra Torrusio

Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Naturales.



Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Universidad Nacional de La Plata.

2017

Agradecimientos

A mis Directoras de tesis: Sole Santini y Sandra Torrusio; y a mis directores de Beca: Daniel Salomón y Marcelo Scavuzzo por brindarme la dirección, colaboración, revisión y apoyo profesional permanente para la realización del doctorado. Por su aporte invaluable a la concreción de la misma.

A Daniela Lamattina, por haberme bancado y acompañado, siempre insistiendo para que concluya con las metas asumidas. Por su aporte esencial en los análisis estadísticos y en la revisión de la tesis. Por su aporte indispensable a la concreción de la misma.

Al Instituto Nacional de Medicina Tropical (INMeT), por haberme permitido desarrollar los estudios que se presentan en esta tesis. A todos los y las trabajadores/as que lo componen.

Al Centro Nacional de Diagnóstico e Investigaciones en Endemoepidemias (CeNDIE) gracias por acogerme en mis primeras aproximaciones al mundo profesional.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Al Laboratorio de Parasitología de la Universidad Nacional del Nordeste, especialmente a Analía Araujo. A la Dirección de Zoonosis del Municipio de Corrientes por su apoyo en la logística del trabajo de campo.

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).

A mis viejos por haberme enseñado, siempre mirando en lo que pasa alrededor, sin ser indiferente a las injusticias cotidianas, por haberme formado con conciencia social y por haber sustentado mis estudios de grado.

A mis hermanos Rober, Mari, Gaby, Adri y Guille por haber compartido cuantiosos momentos imborrables en la memoria.

A mis sobrinos Salva, Mateo y Simón, por la alegría de la nueva era que recién comienza.

A las compañeras y compañeros que formaron y forman parte de la gran familia del *Frente Natural*, que ha significado un sostén anímico en la continuidad de mis estudios de grado en la FCNyM, y que ha permitido complementar mi formación académica con la social. Gracias por su incansable lucha por una Universidad inclusiva, gratuita, pública y popular. Especialmente a Cande, Viki, Lautaro, Lucia, Nadia, Ale, Nicos, Porra, Meli y Doffo. Gracias por las enseñanzas los incontables momentos y anécdotas compartidas.

A las compañeras y compañeros de **Construcción** gracias por integrarme a sus filas.

A los cumpas de Misiones. Especialmente a Mosqui, Gambini, Marie, Garibaldi el desarraigo y la zona desfavorable han sido muy llevaderos compartiendo buenos momentos.

Al Estado Nacional y aquellos funcionarios que gracias a sus gestiones, cumpliendo con su responsabilidad, permitieron el aumento de presupuesto en Ciencia y Técnica durante los años 2003-2015 y la creación (en el año 2011) del Instituto Nacional de Medicina Tropical. Sin ello no hubiese tenido la oportunidad de emprender este trabajo, al igual que miles de becarios.

A todos los ciudadanos de nuestro país que, muchos aún sin saberlo, aportan para que sea posible la educación superior gratuita y el CONICET.

Esta tesis está dedicada a las personas que se levantan todos los días pensando en la posibilidad de transformar la realidad, y actúan en consecuencia para construir un país más justo, equitativo e inclusivo en búsqueda incansable de la justicia social.

A las/os 30.000 compañeras/os desaparecidas/os.

Índice

Resumen.....	7
Abstract.....	10
Capítulo I.....	13
Introducción general.....	13
1.1 Eco-epidemiología y distribución de la leishmaniasis visceral.	13
1.2 Ecología y distribución geográfica de <i>Lutzomyia longipalpis</i> s.l.	17
1.3 Escalas espaciales y variables que actúan en cada escala	21
1.4 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)	23
1.4.1 Definición de teledetección	23
1.4.3 Sistemas de Información Geográfica.....	27
1.4.3 Epidemiología panorámica: Teledetección y Sistemas de Información Geográficos aplicados a la entomología sanitaria.	29
1.5 Área de estudio	30
1.6 Hipótesis de trabajo y objetivos	34
Capítulo II.....	35
Modelo de la distribución de la ocurrencia y la abundancia de <i>Lutzomyia longipalpis</i> s.l. a escala de foco urbano.....	35
2.1 Introducción	35
2.2 Objetivo.....	36
2.3 Materiales y métodos.....	36
2.3.1 Muestreo entomológico	36
2.3.2 Variables de micro y macro-hábitat.....	40
2.3.2.1 Variables micro-hábitat obtenidas a campo	40
2.3.2.2 Variables macro-hábitat	40
2.3.3 Análisis de datos.....	50
2.4. Resultados.....	53
2.4.1 Distribución espacial de la abundancia de <i>Lu. longipalpis</i> s.l.....	53
2.4.2 Variables de macro-hábitat consideradas para la asociación de la ocurrencia y la distribución de la abundancia de <i>Lu. longipalpis</i> s.l.	55
2.4.3 Modelos de favorabilidad ambiental para la abundancia y la ocurrencia de <i>Lu. longipalpis</i> s.l.	57
2.5 Discusión y conclusiones	62

Modelo espacio temporal de <i>Lu. longipalpis s.l.</i> y caracterización ambiental del macro-hábitat en la ciudad de Corrientes.	68
3.1 Introducción	68
3.2 Objetivo.....	69
3.3 Materiales y Métodos.....	69
3.3.1 Muestreo entomológico	69
3.3.2. Variables ambientales consideradas para la asociación de la distribución espacio temporal de <i>Lu. longipalpis s.l.</i>	71
3.4 Resultados.....	77
3.4.1 Distribución espacial de la abundancia acumulada de <i>Lu. longipalpis s.l.</i>	77
3.4.2 Distribución temporal de la abundancia de <i>Lu. longipalpis s.l.</i>	80
3.4.3 Variables ambientales a escala de macro-hábitat derivadas del procesamiento digital de imágenes LDCM 8.....	83
3.4.4 Modelos de la distribución temporal de la abundancia de <i>Lu. longipalpis s.l.</i>	95
3.5 Discusión y conclusiones.	102
Capítulo IV	109
Discusión, conclusiones generales y proyecciones a futuro	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

Las abreviaturas se nombran al menos una vez en el texto.

Resumen

"Sistemas de información geográfica y modelos de distribución de abundancia de *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Díptera: Psychodidae: Phlebotominae) a escala de foco urbano, en la ciudad de Corrientes, Argentina"

La leishmaniasis visceral (LV) es una enfermedad de transmisión vectorial recientemente establecida en Argentina. Su agente etiológico es *Leishmania infantum* (syn. *chagasi*), un parásito tripanosomatideo (Kinetoplastida: Tripanosomatidae). El vector es *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Díptera: Phlebotominae) y los reservorios urbanos son los perros domésticos. Desde el 2006 con la denuncia del primer caso urbano humano autóctono, en Posadas provincia de Misiones, se han registrado un total de 155 casos en el país. En la ciudad de Corrientes, área de estudio de esta tesis, se registraron numerosos casos caninos, y humanos de LV.

El presente trabajo se desarrolló en dos etapas una transversal o espacial desarrollada en diciembre del 2013 y la otra longitudinal o espacio-temporal desarrollada entre septiembre del 2014 y agosto del 2016. La escala espacial que se tuvo en cuenta fue la que corresponde a la de foco urbano, las variables asociadas a la distribución de *Lu. longipalpis s.l.* fueron extraídas a escala de micro-hábitat y macro-hábitat. En la etapa de muestreo transversal se obtuvo la abundancia relativa de *Lu. longipalpis s.l.* respecto a otras especies, su distribución espacial entre ambientes, y su relación con variables relevadas a campo y las obtenidas a través del procesamiento de imágenes satelitales mediante el desarrollo de modelos estadísticos, así como la composición específica de la comunidad de Phlebotominae presente en la ciudad. En el estudio longitudinal, que se desarrolló a través de 14 muestreos entomológicos, se estableció la distribución en el espacio y tiempo de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, teniendo en cuenta la estratificación de la ciudad en tres ambientes de acuerdo a indicadores socio-demográficos y la disminución gradual del índice de vegetación de

diferencia normalizada (NDVI) hacia el centro demográfico, y se la relacionó a variables macro-hábitat derivadas de imágenes satelitales como el NDVI, el índice de diferencia normalizado de agua (NDWI), la temperatura superficial del suelo (LST), y los usos y cobertura de suelo en un área *buffer* a los sitios de muestreo entomológico.

En el estudio transversal se estableció que la comunidad de Phlebotominae a nivel global para la ciudad estuvo dominada por *Lu. longipalpis s.l.* Cuando este análisis se realizó por estratos ambientales el vector de la LV dominó en aquellos de mayor grado de antropización (centro y periurbano). Sin embargo cuando se analizó la abundancia se encontró que la misma estuvo inversamente relacionada al índice de urbanización, es decir que aquellos sitios de relevamiento entomológico ubicados en el estrato periurbano ruralizado concentraron la mayor colecta de especímenes. También se observó una relación inversa de la riqueza específica de los Phlebotominae con el grado de antropización, así la comunidad de Phlebotominae en el estrato periurbano ruralizado estuvo compuesta por *Lu. longipalpis s.l.*, *Nyssomyia neivai*, *Migonemyia migonei*, el complejo de especies *Evandromyia cortelezzii-sallesii* y *Micropigomyia quinquefer*. Esta última especie fue registrada por primera vez en el área de estudio. En los estratos centro y periurbano *Lu. longipalpis s.l.* fue prácticamente la única especie colectada. El índice de ocurrencia para *Lu. longipalpis s.l.* (sitios positivos/sitios relevados) a nivel global para la ciudad, fue relativamente alto ya que su presencia se corroboró en casi la mitad de los sitios muestreados (49%). En cuanto a la asociación de variables ambientales con la abundancia se estableció que *Lu. longipalpis s.l.* estuvo asociada a valores medios de NDVI registrados para la ciudad y con la presencia de animales de corral. La asociación de estas variables con la abundancia se tuvo en cuenta para la selección de sitios centinelas para el seguimiento entomológico de manera de establecer herramientas operativas para el control poblacional de *Lu. longipalpis s.l.* y con ello la prevención de la transmisión de la LV.

En el análisis longitudinal se observó que la época más favorable para la población de *Lu. longipalpis s.l.* se encuentra comprendida entre los meses de noviembre y abril, con un ascenso de capturas entomológicas a partir del mes de

septiembre. Sin embargo la ocurrencia de esta especie fue registrada aún en el invierno. Las variables ambientales relacionadas a la abundancia del vector de la LV fueron el NDVI, el porcentaje de cobertura vegetal, la interacción de la LST con la estación climática de colecta entomológica. Se determinó que la población de *Lu. longipalpis s.l.* mostró un posible patrón de dinámica meta-poblacional.

La identificación de variables obtenidas mediante sensores remotos capaces de describir los ambientes favorables para *Lu. longipalpis s.l.* son una herramienta valiosa ya que permiten el desarrollo de productos cartográficos que identifican espacio-temporalmente dónde y cuándo dirigir los controles vectoriales para la mitigación de la LV.

Abstract

"Geographic information systems and abundance distribution models of *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) at an urban focus scale, in the city of Corrientes, Argentina "

Visceral leishmaniasis (VL) is a vector-borne disease recently established in Argentina. Its etiologic agent is *Leishmania infantum* (syn. *Chagasi*), a trypanosomatide parasite (Kinetoplastida: Tripanosomatidae). The vector is *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Diptera: Phlebotominae) and urban reservoirs are domestic dogs. Since 2006, with the denunciation of the first autochthonous human case, in Posadas province of Misiones, a total of 155 cases have been registered in the country. In the city of Corrientes, the study area of this thesis, numerous canine and human cases of VL were recorded.

The present work was developed in two stages, a transversal or spatial one developed in December 2013 and the longitudinal or spatial-temporal developed between September 2014 and August 2016. The spatial scale taken into account was that of the urban focus, the variables associated with the distribution of *Lu. Longipalpis s.l.* were extracted at the scale of micro-habitat and macro-habitat. In the transversal sampling stage, a relative abundance of *Lu. longipalpis s.l.* was obtained with respect to other species, your spatial distribution between environments, and its relationship with variables surveyed in the field and those obtained through the processing of satellite images through the development of statistical models, as well as the specific composition of the Phlebotominae community present in the city. In the longitudinal study, which was developed through 14 entomological samplings, the distribution spatial-temporal of *Lu longipalpis s.l.* abundance was established, taking into account the stratification of the city in three environments according to the socio-demographic indicators and gradual decrease of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) towards the demographic center, and it was related to macro-habitat variables derived

from satellite images such as NDVI, the Normalized Water Difference Index (NDWI), the Land surface temperature (LST), and the uses/coverage of soil in a *buffer* area at the entomological sampling sites.

In the transversal stage it was established that the global Phlebotominae community for the city was dominated by *Lu. longipalpis s.l.* When this analysis was carried out by environmental strata, the VL vector dominated those with the highest degree of anthropization (center and peri-urban). However, when the abundance was analyzed, it was found that it was inversely related to the urbanization index, that is to say that those sites of entomological survey located in the rural farms concentrated the largest collection of specimens. An inverse relationship of the specific richness of the Phlebotominae with the degree of anthropization was also observed, so the community of Phlebotominae in the rural farms was composed of *Lu. longipalpis s.l.*, *Nyssomyia neivai*, *Migonemyia migonei*, the species complex *Evandromyia cortelezzi-sallesii* and *Micropigomyia quinquefer*. This last one specie was recorded for the first time in the study area. In the central and periurban strata *Lu. longipalpis s.l.* was practically the only species collected. The occurrence rate for *Lu. longipalpis s.l.* (positive sites/surveyed sites) globally for the city, it was relatively high since your presence was corroborated in almost half of the sites sampled (49%). As the association of environmental variables with abundance, it was established that *Lu. longipalpis s.l.* was associated with mean values of NDVI registered for the city and with the presence of farmyard animals. The association of these variables with abundance was taken into account for the selection of sentinel sites for entomological follow-up in order to establish operational tools for population control of *Lu. longipalpis s.l.* and with it the prevention of the transmission of the VL.

In the longitudinal analysis it was observed that the most favorable time for the population of *Lu. longipalpis s.l.* is between the months of November and April, with an increase in entomological catches from September. However, the occurrence of this species was recorded even in winter. The environmental variables related to the abundance of the VL vector were the NDVI, the percentage of vegetation cover, the

interaction of the LST with the climatic season of entomological collection. It was determined that the population of *Lu. longipalpis s.l.* showed a possible pattern of meta-population dynamics.

The identification of variables obtained by remote sensors capable of describing favorable environments for *Lu. longipalpis s.l.* are a valuable tool since they allow the development of cartographic products that identify spatial-temporally where and when to direct vector controls for the mitigation of VL.

Capítulo I

Introducción general

1.1 Eco-epidemiología y distribución de la leishmaniasis visceral.

La leishmaniasis visceral (LV) es una enfermedad producida por parásitos tripanosomatídeos del género *Leishmania* (Kinetoplastida: Tripanosomatidae). Estos parásitos son transmitidos por un pequeño Díptero de la subfamilia Phlebotominae (Diptera: Psychodidae), y tienen como hospederos a pequeños mamíferos que actúan como reservorio del agente infeccioso manteniéndolo en el ambiente (Lainson y Rangel 2005) (Fig.1.1). La LV es una dolencia grave que cursa con hiperplasia hepática y esplénica y afecta otros tejidos como la mucosa del intestino delgado, médula ósea y los ganglios linfáticos. La malnutrición, la inmunodepresión, especialmente la producida por infección por VIH, predisponen a la progresión hacia la enfermedad clínica. De no realizarse el tratamiento adecuado resulta fatal en el 90% de los casos humanos, especialmente en niños (Cousiño 2006). La LV se encuentra en alrededor de 80 países distribuidos en Europa, África, Asia y América (Fig. 1.2) (OMS 2016). Se estima que cada año se producen en el mundo entre 200 y 400 mil nuevos casos, con 350 millones de personas en riesgo de contraer la enfermedad, y entre 20 y 40 mil muertes (Alvar *et al.* 2012). En 2015, más del 90% de los nuevos casos notificados, a la Organización Mundial de la Salud (OMS), se concentraron en siete países: Brasil, Etiopía, India, Kenya, Somalia, Sudán y Sudán del Sur (OMS 2016). En el mundo su tasa de letalidad es superior al 10%, en América es del 7,7 (OPS 2017), mientras que en Argentina es superior al 8% (Gould *et al.* 2013).

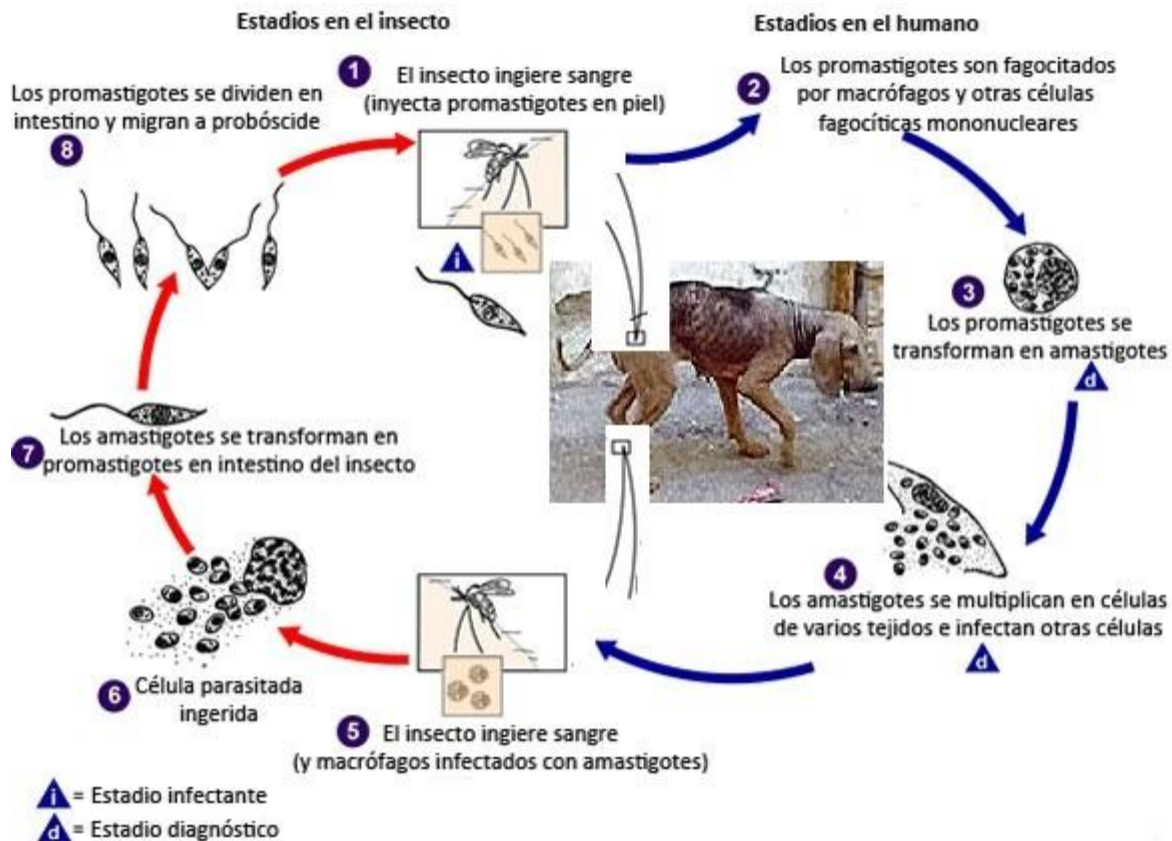


Figura 1.1 Ciclo de transmisión de la LV. Los tripanosomatídeos son parásitos polimórficos, que en el caso del género *Leishmania* posee una forma metacíclica infectante extracelular denominada promastigote que se encuentra en el insecto y una forma amastigote intracelular que se encuentra en las células de diversos tejidos de mamíferos. (Modificado de "Centre for Diseases Control and Prevention" – CDC-, <http://www.cdc.gov/>).

La epidemiología de la LV varía según la región geográfica donde se produce, debido a que existen diferentes características ecológicas del complejo de transmisión variando los agentes etiológicos, vectores, reservorios, escenarios de transmisión y si se presenta de manera endémica, esporádica o epidémica. La leishmaniasis visceral en África, Asia y Europa puede tener origen zoonótico cuando el perro actúa como reservorio o antroponótico cuando la enfermedad se transmite de persona a persona y *Le. donovani* es el agente infeccioso (OMS 2010).

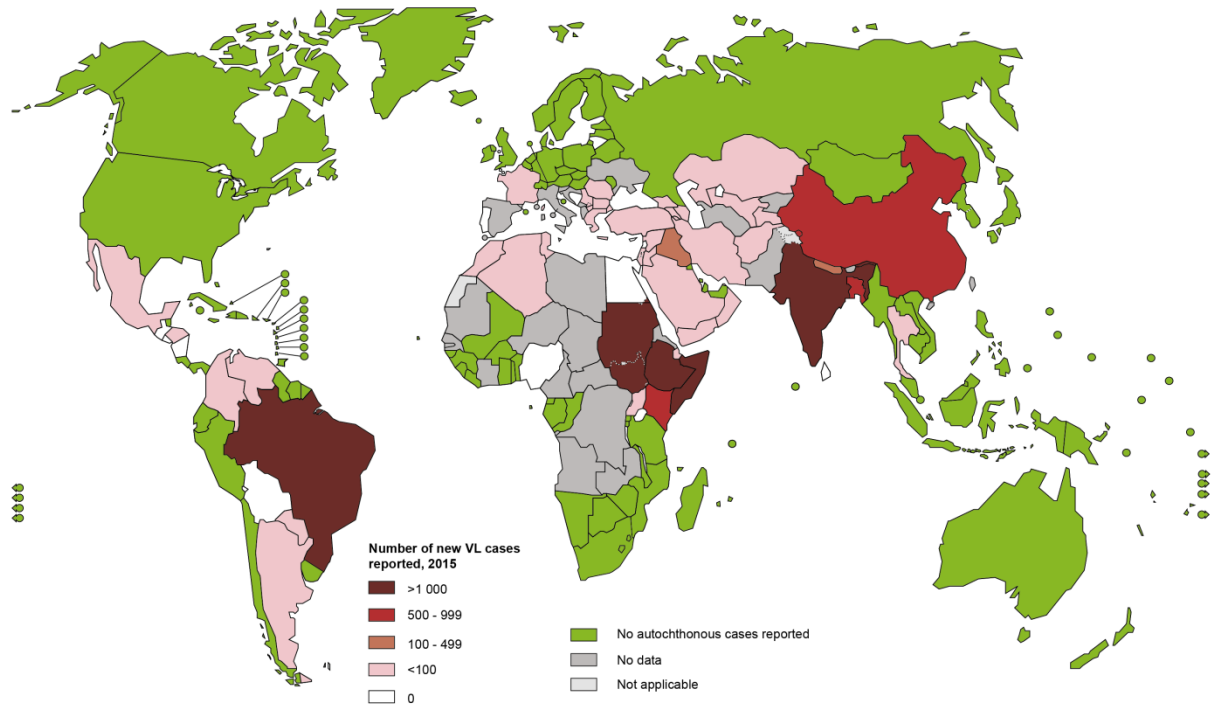


Figura 1.2. Distribución geográfica de la LV en el mundo según el número de casos reportados (tomado de <http://www.who.int/leishmaniasis/burden/en/>).

En América la LV es de origen zoonótico y se presenta de manera endémica o epidémica con distribución en 11 países, desde México hasta el norte argentino. El agente causal en todos los casos es *Le. infantum*, su reservorio urbano es el perro doméstico y el vector principal es *Lutzomyia longipalpis* s.l. (Lainson y Rangel 2005; Gontijo y Melo 2004; Ready 2008; Acardi *et al.* 2010).

La OMS categorizó a la LV como una de las enfermedades tropicales más olvidadas, y urgió a promover la investigación para identificar métodos efectivos de vigilancia y control vectorial (OMS 2007; OMS 2010). La Organización Panamericana de la Salud (OPS), señaló que los países del Cono Sur tuvieron el mayor aumento relativo de la incidencia y dispersión espacial de LV en la última década (OPS 2017), y en el “Plan de Acción 2016-2022” identificó como prioritarias las prácticas innovadoras e intensificadas de vigilancia vectorial (OPS 2016).

El marcado ascenso en la incidencia de la LV a nivel mundial desde principios

del siglo XXI, se ha adjudicado a que la misma ha comenzado a manifestarse con mayor frecuencia en escenarios urbanos (Desjeux 2001). En los últimos años, las regiones con LV endémica se han expandido debido a los cambios como las migraciones de las poblaciones desde zonas rurales hacia las urbanas y el avance, sin planificación, de la frontera urbana sobre áreas endémicas no urbanas (Ready 2008). Este aumento de la incidencia de la LV en ámbitos urbanos también ha sido notificado en América del Sur (Arias *et al.* 1996; Canese 1998; Canese 2003; Salomón *et al.* 2008a), junto con el éxito del establecimiento urbano de *Lu. longipalpis s.l.*, lo cual es atribuido a su plasticidad ecológica para adaptarse a entornos antropizados (Costa 2008; Rangel y Vilela 2008). La frágil situación socio-económica de la población humana se describe como un factor de riesgo para la transmisión de la LV ya que afecta principalmente a los sectores sociales más vulnerables de países en vía de desarrollo. El incremento de barrios marginales en zonas periurbanas sin una expansión planificada, viviendas y condiciones sanitarias precarias, hacinamiento de personas y malnutrición han sido reportados en la bibliografía como factores epidemiológicos de riesgo para contraer la LV (Marzochi y Marzochi 1997; Arias 1996; Werneck *et al.* 2002; Werneck *et al.* 2007). La presencia de alta concentración de materia orgánica y animales domésticos como perros, cerdos, caballos y gallinas en el ambiente peridoméstico ha sido señalada como factor que incrementa la incidencia de la LV ya que dicho escenario brinda condiciones propicias para el establecimiento, la cría y el incremento poblacional del vector, y con ello el aumento de la probabilidad del contacto humano-vector requerido para contraer la enfermedad (Correa Antonialli *et al.* 2007; Feliciangeli *et al.* 2006).

En Argentina entre 1925 y 2000 se habían registrado 16 casos de LV humana dispersos en zonas rurales (Salomón *et al.* 2001a). La presencia de *Lu. longipalpis s.l.* había sido notificada en el año 1951 (Duret 1952) en la localidad de Candelaria y en el 2000 en Corpus, Provincia de Misiones, asociada a ámbitos poco modificados por el hombre (Salomón *et al.* 2001a). Actualmente la LV es considerada una enfermedad urbana de origen zoonótico y emergente debido a que el perro doméstico actúa como reservorio del parásito y que a partir del primer caso autóctono reportado en 2006 en la

ciudad de Posadas, Misiones (Salomón *et al.* 2008a), su incidencia y distribución geográfica han aumentado (Gould *et al.* 2013). Desde el 2006 hasta la semana epidemiológica 20 del 2017 se ha denunciado un total de 155 casos de LV por el Sistema Nacional de Vigilancia de la Salud, con transmisión autóctona confirmada en las provincias de Misiones, Chaco, Corrientes, Formosa, Salta y Santiago del Estero, esta última donde no se ha registrado la presencia de *Lu. longipalpis s.l.*, la transmisión de *Le. infantum* ha sido atribuida a *Migonemyia migonei* (Salomón *et al.* 2010a). La provincia de Entre Ríos se considera vulnerable debido a la presencia del vector y de LV canina (Salomón *et al.* 2011a).

1.2 Ecología y distribución geográfica de *Lutzomyia longipalpis s.l.*

Lutzomyia longipalpis s.l. es un díptero que en su fase adulta mide entre 2 y 3 milímetros se estima que su ciclo de vida se completa en 45 días (Fig.1.3). Si bien hembras y machos se alimentan del néctar de flores, frutos y otros azúcares vegetales, las hembras requieren de la ingesta sanguínea para el desarrollo de los huevos, esta hematofagia les permite intervenir como vectores de la LV (OMS 2010; Sherlock *et al.* 2003; Kondratieff *et al.* 2005; Salomón 2005). Los huevos son colocados en tierra húmeda o materia orgánica no anegada, bajo sombra. Las larvas sufren tres mudas antes de pasar a pupa a partir de la cual emerge el adulto. La hembra adulta tarda entre 1 y 4 días en hacer su primera ingesta de sangre para poder desarrollar los huevos y de 3 a 10 días después realiza la ovoposición de aproximadamente 100 huevos (Salomón, 2005).

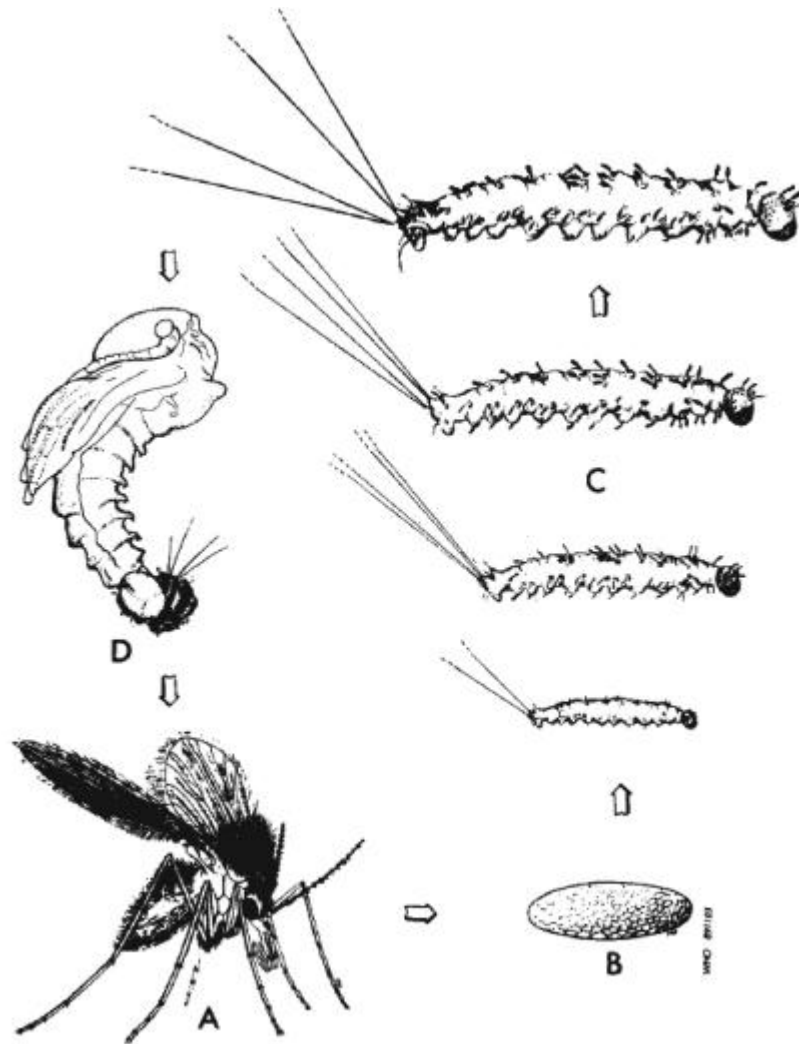


Figura 1.3. Ciclo de vida de *Lu. longipalpis s.l.* A) hembra adulta hematófaga. B) Huevo. C) fases larvales. D) Pupa. Tamaños reales adultos <5mm; huevos 0,3mm de longitud-0,10mm de ancho; larvas 0,4 a 0,7mm de longitud y pupas 2,5 a 2,8mm de longitud (Fuente: OMS 2016).

Los adultos tienen una baja capacidad de dispersión ya que se ha demostrado que vuelan 200 metros con un promedio de 60 metros, aunque cuando se los asocia a ambientes modificados por el hombre pueden tener un mayor radio de vuelo (Kondratieff *et al.* 2005; Salomón 2005). Durante el día reposan en sitios oscuros, húmedos, templados, sin variación brusca de las condiciones de temperatura y humedad. Así se los puede encontrar en cuevas de animales, huecos de árboles o corrales de animales domésticos como chiqueros y gallineros (Felicangeli *et al.* 2006;

Alves *et al.* 2012; Queiroz *et al.* 2012; Costa *et al.* 2013). En relación a la mayor actividad del vector se ha constatado que la época del año con mayor ocurrencia es durante el verano (Gomez Bravo *et al.* 2017; de Oliveira *et al.* 2000; de Oliveira *et al.* 2003). Un estudio llevado a cabo en el noreste argentino estableció que el momento de mayor actividad de *Lu. longipalpis s.l.* está asociado positivamente con temperaturas que oscilan entre 26°C-28°C, humedad relativa entre 63%-66%, observándose una mayor abundancia de ambos sexos, pero principalmente de hembras entre las 20:30pm y 1:30am (Santini *et al.* 2010) (Fig.1.4).

Los criterios aceptados para incriminar a los vectores de *Leishmania* son los siguientes: el vector debe ser antropófilo, debe picar a los hospederos reservorios, debe ser infectado en la naturaleza por la misma *Leishmania* que infecta al hombre, debe permitir el crecimiento del parásito y su progresión hacia la forma metacíclica y por último debe ser capaz de inocular el parásito a través de la secreciones salivales al momento de la picadura. Para ello debe existir además la competencia vectorial que está relacionada con la resistencia del parásito a las enzimas digestivas, la presencia en la luz intestinal del vector de proteínas de adhesión para el parásito y que pueda completar el ciclo de desarrollo hasta su fase promastigote metaciclífico (Killick-Kendrick 1990; OMS 2010).

La revisión de estudios preliminares estableció que la dispersión de *Lu. longipalpis s.l.* se desencadena a través de la colonización de ámbitos urbanos (Salomón *et al.* 2015), así es descripta como una especie que ha logrado adaptar sus hábitos a las urbes, con mayor actividad durante las horas crepusculares (Santini *et al.* 2010). El vector presenta una distribución heterogénea en el espacio, con áreas de mediana y alta abundancia de vectores inmersas en una red de baja o nula abundancia (Fernández *et al.* 2010), y muestra un patrón dinámico en el tiempo dado que algunas áreas de alta abundancia modifican su posición y otras lo mantienen e inclusive unas pocas pueden desaparecer (Fernández *et al.* 2013). Un estudio a escala de micro-foco, determinó que variables ambientales como superficie del suelo con césped o tierra, cantidad de árboles, cantidad de macetas con tierra y plantas, distancia al cuerpo de

agua más cercano con un rango de acción de 0,47-0,71 km, presencia/ausencia de calles de tierra, cobertura de vegetación de alta y media densidad, y distancia al borde de vegetación, actúan positiva/negativamente sobre la ocurrencia de *Lu. longipalpis s.l.* (Santini et al. 2012a; Santini et al. 2015).

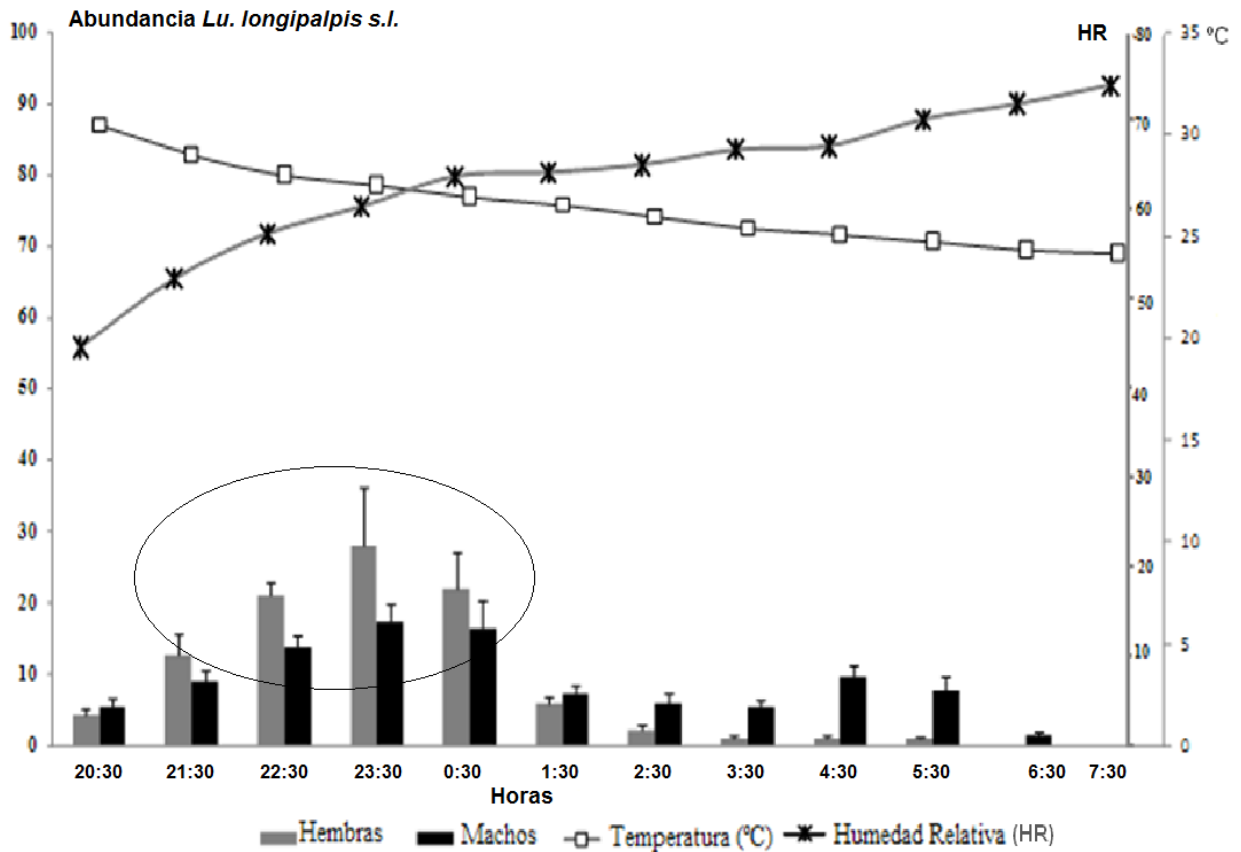


Figura 1.4. Gráfico que describe la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* asociada a la hora del día, la temperatura y la humedad. La probabilidad de riesgo contacto humano-vector aumenta entre las 20:30 y las 0:30, cuando la temperatura supera los 23°C, la humedad relativa es mayor a 63% (modificado de Santini et al. 2010).

La distribución geográfica de *Lu. longipalpis s.l.* se extiende desde el sur de México hasta la ciudad de Gualguaychú, provincia de Entre Ríos, Argentina (Santini et al. 2012b). Su presencia e incriminación como vector de *Le. infantum* ha sido documentada en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Paraguay, Venezuela (OMS 2010) y recientemente en

Uruguay junto a la aparición de LV canina (Salomón *et al.* 2011b). Esta distribución amplia, fragmentada, discontinua en el Neotrópico, diferencias fenotípicas entre poblaciones y evidencias moleculares ha llevado a algunos autores a proponer que *Lu. longipalpis s.l.* sería un complejo de especies hermanas (Young y Duncan, 1994; Arrivillaga *et al.* 2003 Lainson y Rangel, 2005; Bauzer *et al.* 2007; Souza *et al.* 2017). En Argentina a partir del primer registro de *Lu. longipalpis s.l.* en un escenario urbano en la ciudad de Clorinda, Formosa en 2004 (Salomón y Orellano 2005) se ha reportado que la distribución del vector se ha dispersado, potenciado por la urbanización, en las provincias de Misiones, Corrientes, Chaco, Entre Ríos y Salta (Salomón *et al.* 2008; Salomón *et al.* 2011a; Gomez Bravo *et al.* 2013). En el año 2010 se observó la posibilidad de la existencia de sub-poblaciones diferentes a la del norte de Brasil (Salomón *et al.* 2010b). En el 2013 a partir del registro de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Tartagal, provincia de Salta (Bravo *et al.* 2013) se genera la hipótesis de que las poblaciones del noreste y noroeste sean de diferente origen. Estudios moleculares recientes llevados a cabo por investigadoras/es del CONICET/INMeT evidencian la existencia de dos poblaciones hermanas en el país (Pech May comunicación personal).

1.3 Escalas espaciales y variables que actúan en cada escala

La urbanización de *Lu. longipalpis s.l.*, debido al cambio de su ecología y la dispersión hacia áreas geográficas donde antes estaba ausente deben abordarse a diferentes escalas en el espacio-tiempo (Quintana *et al.* 2012). Salomón y Quintana (2011) definieron tres posibles escalas espaciales de análisis para el estudio de la abundancia del vector y de casos humanos de leishmaniasis en la Argentina:

- La micro-escala se refiere a los cambios a pequeña escala en la vegetación, la vivienda, las características del peridomicilio, la presencia de animales domésticos, etc. En entornos que son heterogéneos como los ámbitos urbanos, los análisis de micro-escala permiten la discriminación de "buffers" espaciales de radio creciente, desde el micro hábitat (sitio de muestreo entomológico) al

macro-hábitat (de 100-500 metros del sitio de muestreo) (Salomón *et al.* 2015). A esta escala la ocurrencia y la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* han sido correlacionadas con variables de micro y macro-hábitat (Santini *et al.* 2012a; Fernandez *et al.* 2013; Santini *et al.* 2015). La ocurrencia mostró estar relacionada con variables del micro-hábitat, en cambio la abundancia se observa relacionada con variables tanto del micro-hábitat como del macro-hábitat (de Oliveira *et al.* 2012; Santini *et al.* 2012a; Fernández *et al.* 2012; Fernández *et al.* 2013; Santini *et al.* 2015).

- La meso-escala se refiere, a los efectos de la deforestación y la urbanización a nivel de localidad donde se puede encontrar una estructura de meta-población de vectores o fenómenos relacionados con el brote. Hace referencia a la distribución espacial dentro del ámbito urbano. En esta escala la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* ha sido asociada a índices, extraídos del procesamiento de imágenes satelitales, como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI por sus siglas en ingles) y el Índice de Agua Diferencial Normalizado (NDWI por sus siglas en ingles) (de Andrade *et al.* 2014, Gomez Bravo *et al.* 2017). En áreas urbanas se ha asociado a la presencia de los parches verdes con la colonización incipiente de *Lu. longipalpis s.l.* (Brazil 2013). La alta heterogeneidad ambiental en ámbitos urbanos (Santini *et al.* 2012a), así como la expansión de la urbanización en simultáneo con la destrucción de hábitats silvestres han sido reportados como factores que determinan la presencia del vector (Lainson y Rangel 2005). Se ha comprobado que el comportamiento de *Lu. longipalpis s.l.* se basa en la colonización desde focos de alta abundancia hacia otras áreas de la ciudad, mostrando una dinámica de fuente-sumidero.
- La macro-escala se refiere a la distribución de las tendencias a gran escala (país), las distribuciones potenciales de las especies en las eco-regiones, mapas de riesgo, etc. A esta escala la dispersión se asoció con obras de infraestructura como construcción de carreteras y de redes de suministro eléctrico, cambios en el uso de la tierra, migraciones de poblaciones, cambios

climáticos locales debido a la actividad antrópica (Correa-Antonialli *et al.* 2007; Marzochi *et al.* 2009; Mestre y Fontes 2007). Sin embargo existen casos de propagación del complejo eco-epidemiológico de la LV que no han sido asociado a ninguno de estos eventos (Cousiño 2006; de Oliveira *et al.* 2000; Salomón y Orellano 2005, Salomón *et al.* 2008a).

1.4 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

1.4.1 Definición de teledetección

La teledetección es una técnica que permite el estudio de un objeto o superficie, basándose en la medición de radiación electromagnética reflejada, absorbida o transmitida por estos. De esta forma pueden obtenerse imágenes de la superficie de la Tierra desde sensores orbitando en plataformas espaciales, asumiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial que puede ser de emisión propia (Chuvienco 1990; Chuvienco 2010; Hay 2000). En cuanto a la energía electromagnética, la misma puede ser caracterizada por su longitud de onda o por su frecuencia. A su vez existen rangos de longitud de onda o bandas donde la radiación electromagnética presenta un comportamiento similar. La distribución de estas bandas se conoce como espectro electromagnético, el cual comprende desde longitudes de onda corta como los rayos gamma, hasta longitudes de kilómetros, como las ondas de radio (Fig. 1.5). El estudio de los recursos territoriales se focaliza en el empleo de longitudes de ondas electromagnéticas, que son codificadas en datos digitales. Estos datos son dispuestos en matrices basadas en una celda de tamaño conocido, como la unidad de registro (pixel) que posee coordenadas de referencias geográficas. Así la teledetección permite la obtención de información a escala regional y local de variables ambientales y climáticas con intervalos de frecuencia regulares y en tiempo real de las áreas geográficas (Green *et al.* 2002). Los productos obtenidos de sensores ópticos brindan la posibilidad de realizar el monitoreo del ambiente, la distribución de los recursos naturales, la variación espacio-temporal del uso de la tierra, la evolución de

inundaciones, sequías e incendios, reduciendo significativamente el trabajo de campo y brindando disponibilidad de datos con frecuencias regulares (Cigliano y Torrusio 2003). Mills y Childs (1998) definieron que la información derivada del procesamiento de imágenes representa una herramienta a tener en cuenta para el desarrollo de indicadores, modelos poblacionales de vectores y reservorios, así como la obtención de mapas de riesgo. Esto es posible debido a que entre los factores que inciden en la dinámica de las poblaciones de los vectores de enfermedades se encuentran variables climáticas y ambientales que pueden ser obtenidas a través del análisis de los productos ópticos derivados de los sensores remotos (SR) (Pavlovsky 1966; Hay 2000).

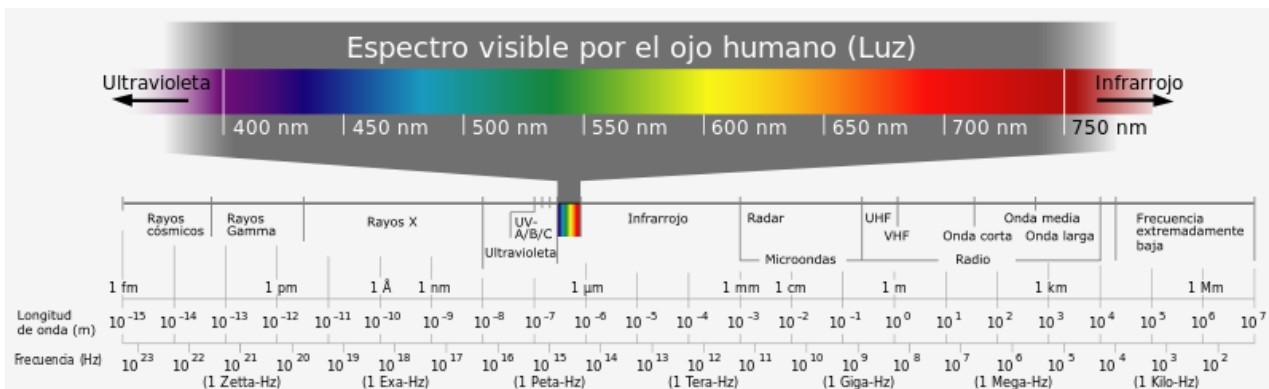


Figura 1.5. Esquema del espectro electromagnético.

En teledetección existen cuatro tipos de resolución a tener en cuenta según los objetivos que persiga la investigación (Chuvieco Salinero 2002):

- Resolución espectral refiere al número y anchos de banda de longitud de onda del espectro electromagnético que el sensor capta. Es la capacidad del sensor para discriminar entre niveles en la energía que los cuerpos reflejan.
- Resolución radiométrica es la sensibilidad del sensor para diferenciar niveles de intensidad de radiación electromagnética en la señal de retorno, definida por el número de bits con el cual se recogen los datos. Por ejemplo en productos derivados de la misión LDCM 8 (Landsat 8) los productos se encuentran en un

formato entero de 16 bits y se pueden re-escalar a la reflectancia y/o radiancia del techo superior de la atmósfera (TOA) utilizando los coeficientes de re-evaluación radiométrica proporcionados en el archivo de metadatos del producto (USGS, 2016).

- Resolución espacial: determina el tamaño del objeto más pequeño que el sensor es capaz de detectar. Es el área de la superficie de la tierra contenida en un pixel el cual es la menor unidad con la que se constituye la imagen representada por una matriz de pixeles y que se define como modelo Raster.
- Resolución temporal: hace referencia al período transcurrido de tiempo entre dos imágenes consecutivas de una misma área.

En este sentido la teledetección puede ser aplicada al estudio eco-epidemiológico de enfermedades que son transmitidas por vectores. Estos estudios pueden centrarse en la identificación y cartografía de los hábitats del vector, la evaluación de variables ambientales relacionados con la ecología del vector y al estudio de la epidemiología de las enfermedades (Barnes y Cibula 1979; Hayes *et al.* 1985; Murra, 2003; Kitron *et al.* 2006; de Andrade *et al.* 2014; Rotela *et al.* 2011).

A través de información derivada de SR, pueden obtenerse indicadores de relevancia para el estudio de enfermedades que, generalmente son transformaciones de las imágenes a partir de la aplicación de algoritmos de bandas correspondientes a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético y que se aproximan en gran medida a las variables climáticas y ambientales medidas a campo (Hay 1996; Hay y Lennon 1999). El cálculo de índices es una técnica sencilla, de uso habitual y se utiliza para optimizar la discriminación entre cubiertas que muestren un comportamiento reflectivo (bandas del sector visible, infrarrojo cercano y medio) distinto entre dos o más bandas del espectro electromagnético (Chuvieco 1996) (bandas del sector visible, infrarrojo cercano y medio). El cálculo de parámetros como la LST también es relativamente sencillo.

El NDVI es uno de los índices más empleados. Los valores de este índice están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana muestra un contraste entre el espectro del visible (banda roja) y el Infrarrojo Cercano. Una masa vegetal en buen estado sanitario, tiene una firma espectral que se caracteriza por un claro contraste entre las bandas visibles y en especial la banda que corresponde al rojo (0.6 a 0.7 μm) y el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1 μm). Esto es debido a que la mayor parte de la radiación solar recibida por la planta en el espectro del visible es absorbida por los pigmentos de las hojas, mientras que éstos apenas afectan a la radiación recibida en el infrarrojo cercano, por lo que se presenta un alto contraste entre una baja reflectividad en el visible (rojo en especial) y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano.

Los valores de los índices normalizados varían entre -1 y +1, siendo mayor el vigor vegetal presente en cada píxel, cuanto el resultado más se acerca a 1, permitiendo entre otras aplicaciones la identificación de áreas forestadas-deforestadas, la evaluación del estado de la vegetación y su grado de estrés, la separación entre distintos tipos de masas vegetales, el monitoreo de plagas y la evaluación de riesgos de incendio (Chuvieco Salinero 2002).

El NDWI permite evaluar el contenido de agua en la vegetación (Chen *et al.* 2005), este índice es más sensible a los cambios de dicho contenido, además de ser menos sensible a los efectos de dispersión de la energía electromagnética por parte de la atmosfera. Para su estimación se utilizan las bandas del infrarrojo cercano y el infrarrojo medio.

Por su parte la LST es un importante parámetro que controla la dinámica energética e hídrica entre la atmósfera y la superficie terrestre. La LST es definida como la energía térmica de onda larga que es emitida desde la superficie terrestre (Valor y Caselles 1996; Sobrino y Raissouni 2000; Rivas y Caselles 2004). La LST

puede ser estimada a partir de datos de satélite provenientes de SR que operan en el intervalo espectral térmico.

1.4.2 Definición de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son un conjunto de *software* y *hardware* que integran tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Korte 2001), ofreciendo elementos necesarios para la planificación y toma de decisiones en torno a problemas que varían en el espacio y el tiempo (Burrough 1986). La abundancia de insectos, los tipos de suelo, de vegetación, información climática, socio-demográfica pueden ser georreferenciados e integrar a un SIG para utilizarse en la elaboración de cartografía que permita la visualización y análisis de forma integrada. Los datos geográficos están constituidos por datos de dos tipos: espaciales y descriptivos, que combinados en un SIG permiten analizar su interacción dentro de un mapa y obtener uno con características propias (Antenucci *et al.* 1991). Existen dos formatos gráficos en que los SIG representan los datos espaciales: "Vector" y "Raster" (Burrough 1986). En el formato Raster, la representación gráfica de las características geográficas y sus atributos están incluidos dentro de un mismo archivo donde el área de estudio está representada por una grilla dividida en celdas (píxeles). Cada celda tiene adjudicada una georreferencia en X e Y, y un atributo cualitativo. En el formato vectorial el rasgo geográfico puede estar representado por puntos, líneas y/o polígonos, los cuales se definen por coordenadas X e Y referenciadas en un sistema de proyección cartográfica determinado y los atributos están almacenados en una base de datos independiente (Olaya 2011) (Fig 1.6). La representación de los diferentes rasgos geográficos en modo "Vector" incluye el concepto de topología, que hace referencia a las relaciones espaciales existentes (ubicación, vecindad, adyacencia, etc.) entre las entidades (punto, línea, polígono). Aunque algunas aplicaciones son más fáciles de implementar en modo "Raster" (variables continuas como imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, etc.) y otras en modo "Vector" (variables discretas como caminos, drenajes, clases de coberturas, etc.), en la actualidad existen algoritmos que permiten la

conversión de un modo a otro en forma relativamente sencilla (Cigliano y Torrusio 2003). Por sus características y poder de integración, los SIG han contribuido al análisis de patrones espaciales con variación temporal como lo son la distribución de las especies en general y de los insectos en particular.

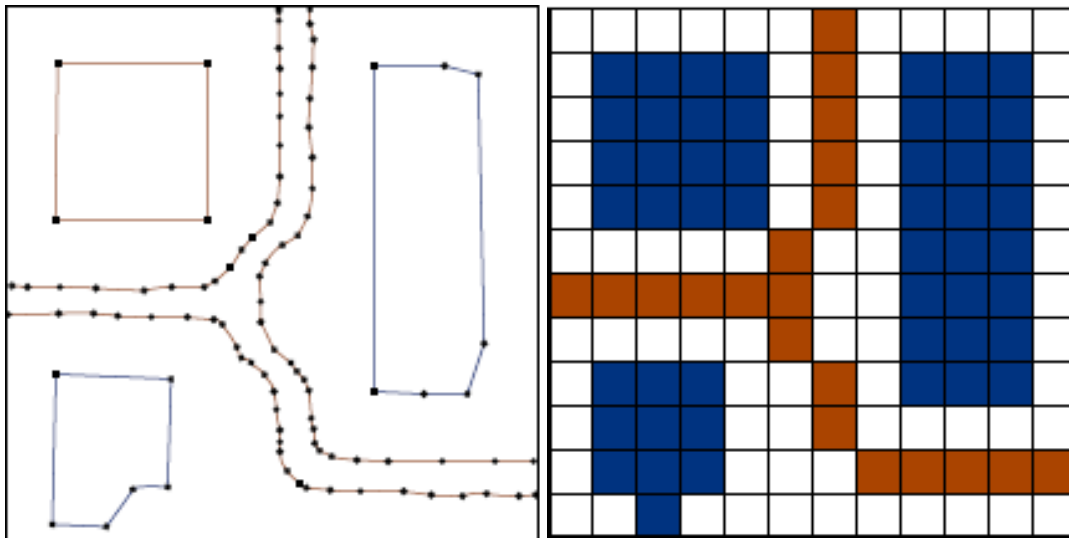


Figura 1.6. Dos formas o modelos de representación gráfica de datos geográficos. A la izquierda “modelo vectorial” y a la derecha “modelo Raster” (tomado de Olaya, 2011).

Los SIG están compuestos por tres subsistemas: el de datos que se encarga de la entrada, salida y gestión de los datos, el de visualización y representación cartográfica y el de análisis que contiene métodos y procesos que permite analizar los datos geográficos (Fig. 1.7) (Olaya 2011).

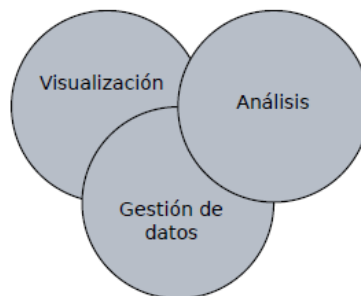


Fig. 1.7. Esquema de las componentes de un SIG y su interacción (tomado de Olaya 2011).

1.4.3 Epidemiología panorámica: Teledetección y Sistemas de Información Geográficos aplicados a la entomología sanitaria.

La Epidemiología panorámica basa sus conceptos en la ecología del paisaje (Kitron 1998). Estudia la variación espacial de la incidencia de una enfermedad analizando los patrones de riesgo ambientales (Ostfeld *et al.* 2005). Debido a que la mayoría de los vectores, hospedadores y patógenos están ligados a las características de las variables ambientales que inciden en su distribución y abundancia (Pavlovsky 1966), se puede concluir que focos de enfermedades que se manifiestan a una pequeña escala están influenciados por variables ambientales que suceden a gran escala. Varios procesos ecológicos pueden dar lugar a patrones espaciales de riesgo. Por ejemplo, la dispersión de patógenos puede ser localizada, vectores o reservorios de patógenos pueden estar espacialmente limitados, y hospedadores susceptibles pueden estar agrupados (Ostfeld *et al.* 2005).

La epidemiología panorámica se ha aplicado a una variedad de enfermedades incluyendo la malaria, el dengue, el síndrome pulmonar por hantavirus, la enfermedad de Lyme y la enfermedad de Chagas (Brownstein *et al.* 2003; Rotela *et al.* 2007; De Elia *et al.* 2014). En el caso de la LV donde los patrones eco-epidemiológicos, varían según la región donde se manifiesta, la prevención y control del vector a través de la utilización de SIG, SR, las estadísticas espaciales y las teorías de la ecología del paisaje, son de especial interés. La OMS (2010) en su informe de la reunión del comité de expertos sobre el control de las leishmaniasis hizo especial hincapié en la importancia de los SIG y la teledetección en la comprensión de la epidemiología aplicada a esta enfermedad, debido a su poder de integración de datos de diversas fuentes. La correcta utilización de estas herramientas facilita la toma de decisiones y respalda la planificación en la distribución de recursos. La combinación de datos ambientales obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales y los procedentes de la vigilancia entomológica son de interés en la construcción de productos cartográficos que integren la distribución de los vectores, los factores que determinan su distribución, los reservorios y la incidencia de la enfermedad. De esta manera los SIG tienen un

potencial para predecir la probabilidad de la distribución de los vectores pudiendo desarrollarse mapas epidemiológicos con variables extraídas de imágenes satelitales que se asocien con la presencia y abundancia del vector.

1.5 Área de estudio

El estudio fue llevado a cabo en la ciudad capital de la provincia de Corrientes, en el Noreste Argentino ($27^{\circ}28'08''S$, $58^{\circ}49'50''O$). Se encuentra emplazada a orillas del Rio Paraná en el límite de la región del Chaco Húmedo (Cabrera *et al.* 1976) (Fig. 1.8). Es la ciudad más poblada de la provincia, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos cuenta con una población estable de 346.334 habitantes, en un área de 60km^2 (INDEC 2010).

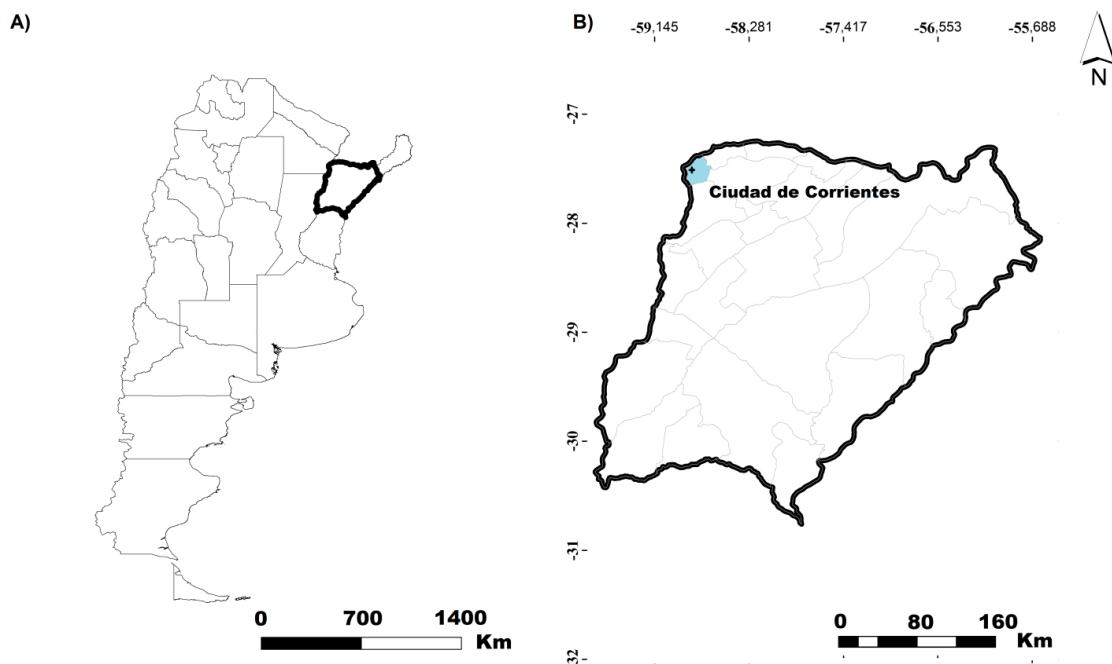


Figura 1.8. Ubicación general del área de estudio. **A)** Ubicación de la provincia de Corrientes en Argentina. **B)** División política de la provincia y ubicación de la ciudad de Corrientes.

El clima predominante en la ciudad es el subtropical sin estación seca, con una temperatura media anual de 21°C y abundantes precipitaciones, entre 1400 y 1900

milímetros anuales, con escasas variaciones diarias y estacionales. Los inviernos son templados-frescos, la temperatura varía entre los 8°C y 21°C aunque se han registrado temperaturas de hasta -3°C (Fig. 1.9).

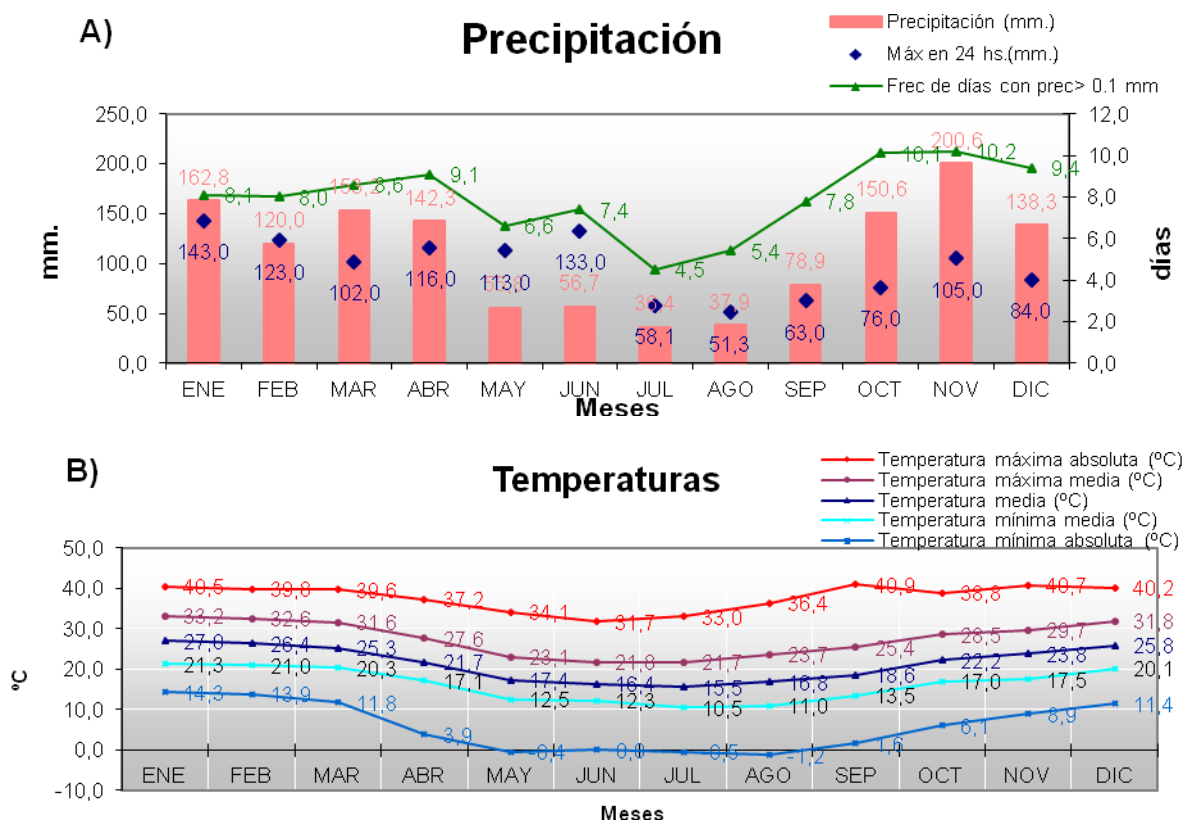


Figura 1.9. Gráficos de precipitación y temperatura de la ciudad de Corrientes calculadas con datos 2001-2010. **A)** promedio de precipitación acumulada por mes. **B)** Temperatura media mensual (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional).

Como la mayoría de las ciudades de la región, Corrientes tiene un paisaje heterogéneo con tres estratos definidos: a) un centro urbano con infraestructura desarrollada, con espacios verdes reducidos a plazas y parques, casas contiguas, con buena provisión de servicios públicos y calles de asfalto; b) barrios periurbanos que presentan parcelas mixtas de casas y espacios verdes en patios, terrenos baldíos, plazas y parques, con deficiente provisión de servicios públicos, calles de asfalto y de tierra; y c) periurbano ruralizado, con cría de animales de corral (gallinas, cerdos, ovejas, caballos, etc.), con gran cantidad de espacios verdes, casas emplazadas en grandes terrenos, una provisión de servicios públicos mala o inexistente, y calles de

tierra (el asfalto se encuentra restringido a las rutas o avenidas de acceso) (Fig 1.10 y 1.11).

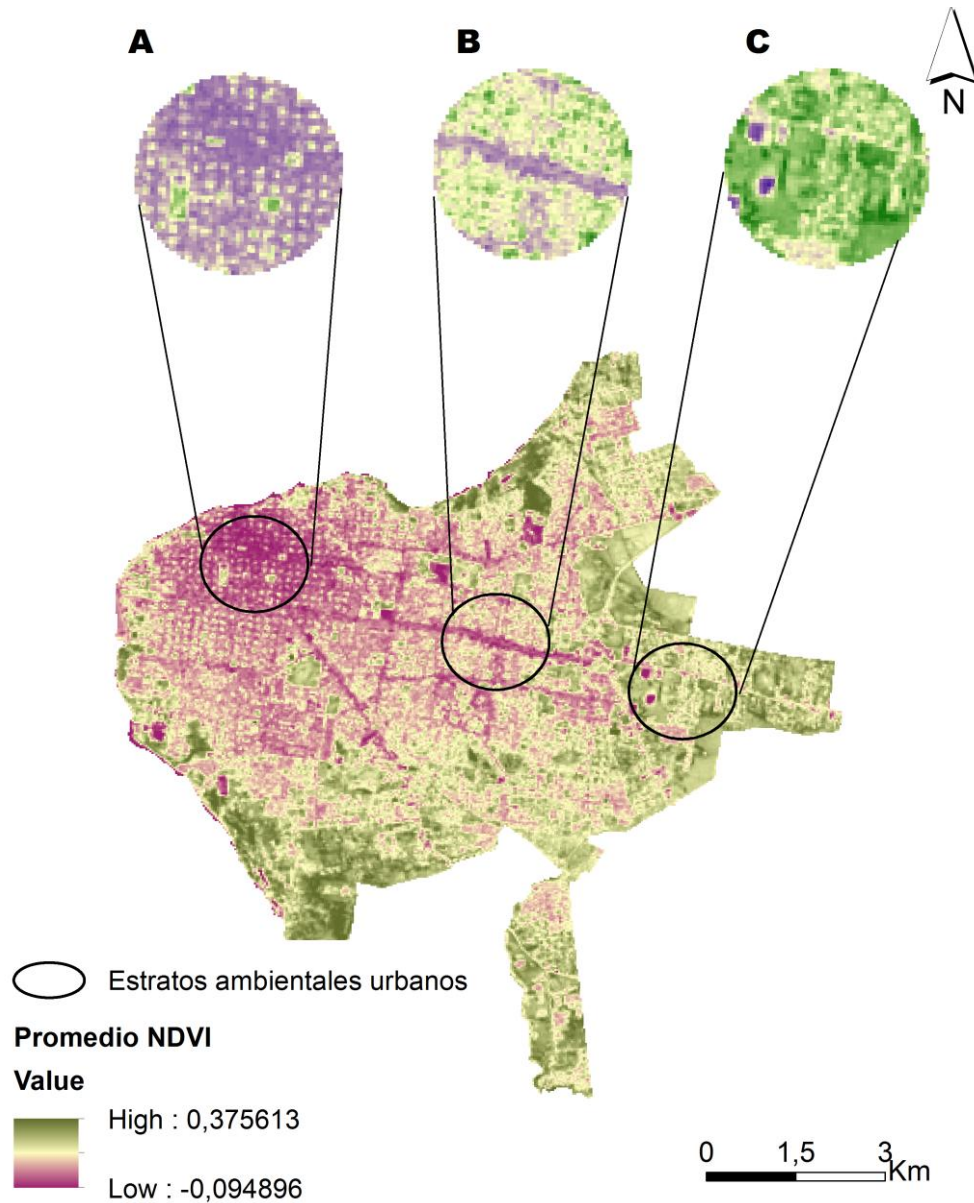


Figura 1.10. Mapa de la ciudad de Corrientes derivado de un promedio de NDVI producto del procesamiento digital de 4 imágenes LDCM 8 de diferentes fechas de adquisición (23/12/13; 13/03/14; 19/07/14 y 21/09/14). Se observan los ambientes que presenta la ciudad. A-B-C. Magnificación de los estratos ambientales. A) Estrato ambiental centro urbano. B) Estrato ambiental periurbano. C) Estrato ambiental

periurbano ruralizado.



Figura 1.11. Fotos de los diferentes estratos muestreados en la ciudad de Corrientes. Arriba: centro demográfico. Centro: periurbano. Abajo: periurbano ruralizado.

1.6 Hipótesis de trabajo y objetivos

La variación de la distribución espacio-temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* en ámbitos urbanos puede estar condicionada por variables obtenidas en terreno como la temperatura, la humedad, la precipitación acumulada, factores socio-demográficos y por variables biofísicas del ambiente como las descritas en la introducción, estimadas por datos *in situ* y satelitales.

Los modelos de distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, según diferentes niveles de riesgo, podrán ser implementados extrayendo a partir del procesamiento y análisis de imágenes satelitales ópticas aquellas variables que pueden estar actuando sobre la abundancia poblacional y proponiéndolas como herramientas de identificación de ambientes propicios para el establecimiento de *Lu. longipalpis s.l.* La integración del análisis y la gestión de estos datos en un SIG permitirán abordar estrategias de control y prevención de la transmisión y dispersión del vector de la LV, para aportar a la construcción de un sistema de alerta temprana remota.

En este contexto el objetivo general de esta tesis es la generación de modelos de la distribución de la variación espacio temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, teniendo en cuenta variables extraídas de productos de percepción remota. Estas se asociaran a la dinámica poblacional, de manera de contribuir a la estratificación del riesgo de la transmisión de la leishmaniasis visceral a escala de foco urbano, aportando a la generación de herramientas de prevención y control de *Lu. longipalpis s.l.*

Capítulo II

Modelo de la distribución de la ocurrencia y la abundancia de *Lutzomyia longipalpis* s.l. a escala de foco urbano.

2.1 Introducción

A partir de las primeras alertas de la presencia en ámbitos urbanos de *Lu. longipalpis* s.l. en la ciudad de Clorinda, provincia de Formosa, y luego de la incriminación de este vector en el primer foco de LV urbano del país ocurrido en la ciudad de Posadas, provincia de Misiones, su vigilancia se ha intensificado (Salomón y Orellano 2005; Salomón *et al.* 2008a). En diciembre de 2008 se notificó la presencia de *Lu. longipalpis* s.l. y de casos caninos de LV en la ciudad de Corrientes, confirmando la ocurrencia de transmisión autóctona de *Le. infantum* (Salomón *et al.* 2009a). Los focos de alta abundancia en ambientes urbanos se consideran un factor de riesgo para la transmisión ya que la probabilidad de contacto humano-vector es mayor (Rangel y Vilela 2008). Variables como la urbanización no planificada, la alta densidad demográfica, presencia de animales de corral, condiciones sanitarias y socio económicas precarias se han documentado como factores de riesgo (Alexander *et al.* 2002; Costa *et al.* 2005; Grimaldi y Tesh 1993; Sherlock 1996).

El uso de variables derivadas de productos de SR para el desarrollo de mapas de distribución de vectores, en combinación con variables obtenidas a campo, constituye una herramienta accesible, de bajos costos y transferible a los efectores municipales. El desarrollo de modelos estadísticos espaciales puede establecerse con datos epidemiológicos registrados a campo en combinación con los obtenidos remotamente (Eisen y Eisen 2008). De esta manera pueden llevarse a cabo análisis ambientales utilizando herramientas estadísticas, que permiten la generación de modelos predictivos, que a su vez pueden luego traducirse en mapas de riesgo como

estrategia para la prevención (Dister *et al.* 1997). La información derivada de SR e integrada en un SIG es una herramienta analítica valiosa en la vigilancia epidemiológica y en los programas de control ya que permiten realizar una descripción de los factores ecológicos que pueden estar condicionando la distribución y la abundancia de vectores (Morrison *et al.* 1998; Rogers y Randolph 2003).

Estos antecedentes, y la caracterización de Corrientes como una ciudad ambientalmente heterogénea, evidencian la necesidad de desarrollar modelos que contengan variables socio-demográfica y ambientales con injerencia a diferente escala espacial para explicar la distribución espacial de *Lu. longipalpis s.l.* La identificación de variables predictoras asociadas a la distribución del vector podría aportar significativamente al desarrollo de herramientas preventivas, de vigilancia y control vectorial.

2.2 Objetivo

El objetivo del presente capítulo fue evaluar la asociación entre variables ambientales de micro y macro-hábitat y la distribución espacial de la presencia y la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* en un escenario urbano recientemente colonizado, para luego integrar dichas variables en un SIG y desarrollar mapas, que identifiquen sitios centinelas como áreas prioritarias de vigilancia del vector de la LV.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Muestreo entomológico

Para describir la abundancia espacial de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Corrientes, en la época más favorable para el vector (Santini *et al.* 2017) y de manera de minimizar el impacto de la variación meteorológica entre días de colecta de insectos, se desarrolló un muestreo transversal entre el 20 y el 23 de diciembre del 2013, durante tres noches consecutivas sin lluvia. El diseño del muestreo entomológico se realizó estratificando la ciudad en tres ambientes según el desarrollo de la

infraestructura urbana corroborada a través de análisis visuales sobre imágenes satelitales, la provisión de servicios básicos y la densidad de hogares (Fuente: Censo Nacional de población INDEC 2010). De esta manera se definieron tres estratos:

- Centro urbano con casas contiguas, acceso a todos los servicios urbanos básicos (luz eléctrica, agua potable, cloacas y recolección de residuos) y más de 30 hogares por hectárea;
- Periurbano con casas discontinuas, acceso a algunos servicios básicos y entre 10 y 30 hogares por hectárea;
- Periurbano ruralizado con viviendas aisladas, con acceso a algunos servicios básicos urbanos, con menos de 10 hogares por hectárea.

En cada uno de los estratos definidos se seleccionaron 15 domicilios, totalizando 45 unidades muestrales en el área de estudio (Fig. 2.1).

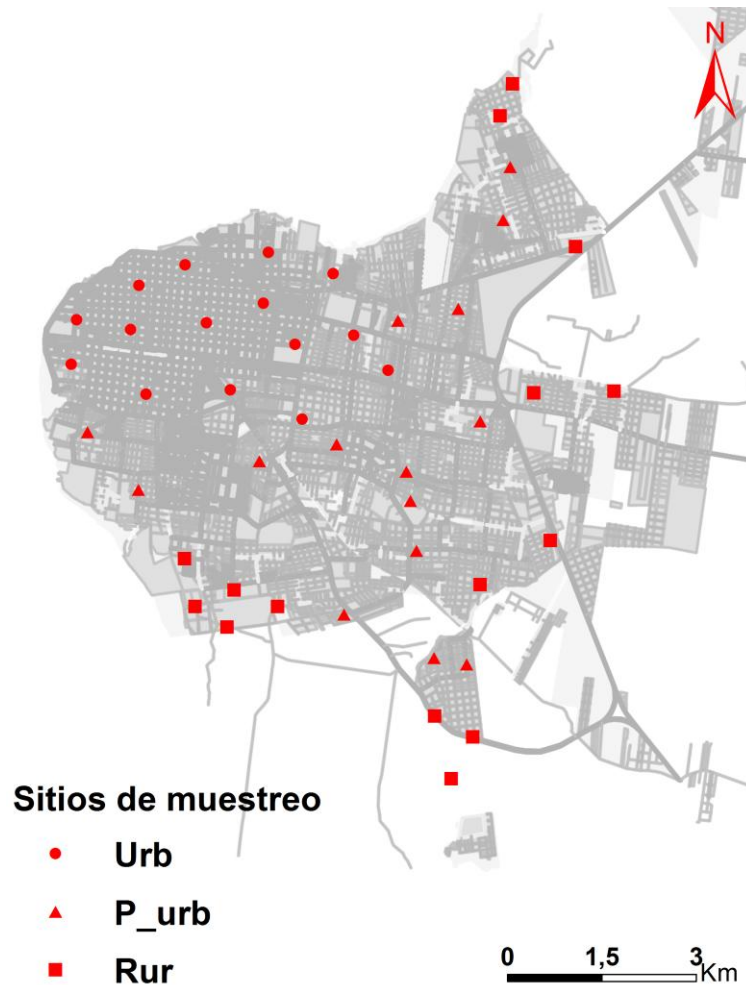


Figura 2.1 Sitios de muestreo seleccionados por estratificación de la ciudad de Corrientes. Urb: Urbano; P_urb: Periurbano; Rur: Periurbano Ruralizado.

Para la selección de cada domicilio se utilizó el criterio de "peor escenario", definición operativa que hace referencia al sitio dentro del área de estudio, con mayor probabilidad de favorecer el establecimiento de Phlebotominae, debido a las características del hábitat. Estos sitios se determinan por la presencia de sombra, tierra, humedad, detritos orgánicos, proximidad a parches de vegetación, densidad, calidad y accesibilidad a fuentes de ingesta sanguínea, sin interferencia de luces externas (Feliciangeli *et al.* 2006; Correa Antonialli *et al.* 2007). En cada uno de los sitios de muestreo seleccionados se instaló una mini-trampa de luz REDILA-BL (Fernández *et al.* 2015) en el peridomicilio a 1,5 metros de altura, que funcionó aproximadamente desde las 17:30 hs hasta las 7:30 hs del día siguiente (Fig 2.2). La mini-trampa REDILA-BL de luz consiste en un frasco de plástico descartable con tapa a

rosca de 9 x 19 cm. Al cual se le inserta un ventilador ("cooler") atravesando la luz del frasco a altura media del mismo. Por la parte superior se fijan a la tapa del frasco 6 LEDs luz negra que se disponen en corona compuesta por dos circuitos conectados en paralelo, cada uno con tres LEDs y una resistencia de 120 Ohms (5%, 1,8 W) conectados en serie. El suministro de energía es a través de una batería de 12 V/7,0 AH. Por último lleva una cuerda en la tapa del frasco para colgar la trampa. La bolsa recolectora de insectos es una media de nylon fijada con bandas elásticas en la parte inferior abierta del frasco (Fernández *et al.* 2015).



Figura 2.2. Izquierda: Mini-trampa de luz REDILA-BL (Tomado de Fernández *et al.* 2015). Derecha: colocación de la mini-trampa de luz en un gallinero.

Los flebótomos capturados fueron separados del resto del material entomológico en el laboratorio mediante lupa, y mantenidos en seco durante el trabajo de campo. Se diafanizaron en solución de ácido láctico y fenol, luego se observaron mediante microscopio óptico con aumento 40X para ser clasificados según morfología de la genitalia utilizando la clave Galati (2003) (Fig 2.3). Todos los especímenes fueron separados por sexo, e identificados. Las hembras de *Evandromyia cortelezii* y *Evandromyia sallesi* fueron determinadas como pertenecientes al complejo de especies *Evandromyia cortelezzi-sallesi* ya que son indistinguibles mediante microscopía óptica.

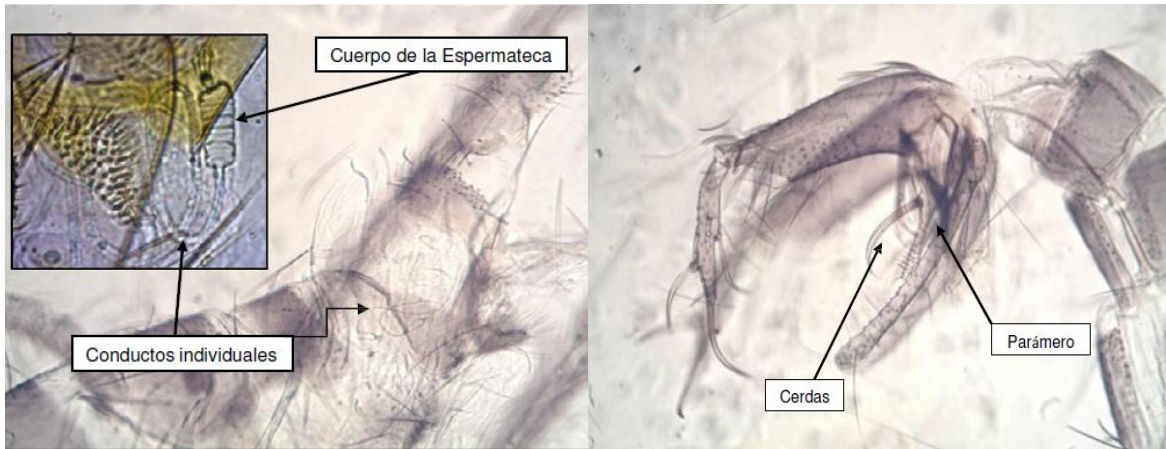


Figura 2.3. Caracteres diagnósticos de *Lu. longipalpis* s.l. Izquierda: genitalia femenina, en la ampliación se observan los conductos y el cuerpo de la espermateca. Derecha genitalia masculina, las flechas señalan los parámetros y las cerdas diagnósticas para la especie. (Fotografía Dra. María Gabriela Quintana, extraído de Manual de Vigilancia de Insectos transmisores de la leishmaniasis).

2.3.2 Variables de micro y macro-hábitat

2.3.2.1 Variables micro-hábitat obtenidas a campo

En cada peridomicilio seleccionado donde se llevaron a cabo los muestreos entomológicos, se relevaron variables como: provisión de agua de red para consumo humano, presencia de animales de corral (gallinas, cerdos, caballos y/o ovejas), presencia de calles de asfalto y de perros en el peridomicilio. Adicionalmente se clasificó en tres categorías a los sitios de muestreo según el tamaño de parcela sobre el cual se encuentran emplazados: se otorgó la categoría 1 a las parcelas mayores a 400 m², categoría 2 a parcelas entre 400 y 200 m², categoría 3 a parcelas menores a 200 m².

2.3.2.2 Variables macro-hábitat

Obtención del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y de la Temperatura Superficial del Suelo (LST).

Para la confección del NDVI y la LST, se utilizó como insumo una imagen LDCM 8 obtenida el 23 de Diciembre del 2013. El satélite LDCM 8 es denominado "Landsat Data Continuity Mission" (LDCM por sus siglas en ingles), pertenece a una constelación de satélites del programa LANDSAT iniciado en el año 1972 perteneciente al gobierno de Estados Unidos, operado por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA por sus siglas en ingles) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en ingles). Fue establecido en una órbita de Norte a Sur a una altitud de 705 km el 13 de Febrero de 2013 y continúa operativo a la fecha. El LDCM 8 posee dos instrumentos de barrido: el "Operation Land Imager" (OLI) y un sensor térmico infrarrojo denominado "Thermal Infrared Sensor" (TIRS) (USGS 2013).

Las imágenes del LDCM 8 (Fig. 2.4) constan de once bandas, de las cuales nueve son espectrales (bandas 1 a 9) y dos son térmicas (bandas 10 y 11). Las bandas 1 a 7 y la banda 9 tienen una resolución espacial de 30 metros, en tanto que la banda 8 (pancromática) tiene una resolución espacial de 15 metros. Las 10 y 11 son bandas térmicas, útiles para identificar temperaturas más precisas de la superficie con una resolución espacial de 100 metros. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste.

A continuación se describe la utilidad de cada banda de las imágenes LDCM 8:

- Banda 1 Costera/aerosol (0,433-0,453 μm): diseñada para la penetración en aguas de poca profundidad y para el seguimiento de partículas finas como el polvo y el humo. De gran utilidad para el mapeo costero. Detecta azules profundos y violetas. La región del espectro de la luz azul es difícil de recoger con la sensibilidad suficiente para ser útil, y la banda 1 es el único instrumento de su tipo que produce datos abiertos en esta resolución.
- Banda 2 azul del espectro visible (0,450-0,515 μm): diseñada para la penetración en cuerpos de agua, también se usa para el mapeo de costas, para

diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintas cubiertas boscosas. Diferencia los tipos de rocas presentes en la superficie terrestre por lo cual tiene utilidad en el campo de la geología.

- Banda 3 verde del espectro visible (0,525-0,600 μm): utilizada para evaluar el vigor de la vegetación sana, mide su pico de reflectancia en el espectro del verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas.
- Banda 4 rojo del espectro visible (0,630-0,680 μm): es una banda de absorción de clorofila, se utiliza en la clasificación de la cubierta vegetal. Como el resto de las bandas del espectro visible sirve en la diferenciación de tipos de rocas.
- Banda 5 del infrarrojo cercano (0,845-0,885 μm): es útil para determinar el contenido de biomasa, la sanidad vegetal, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas. Es factible de aplicar en ecología ya que utilizando el álgebra de bandas es posible obtener índices como el NDVI.
- Banda 6 (1,560-1,660 μm) y Banda 7 (2,10-2,30 μm): cubren diferentes cortes del infrarrojo de onda corta (SWIR). Son particularmente útiles para diferenciar la humedad del suelo, y para la geología: las rocas y suelos que parecen similares en otras bandas de frecuencia tienen fuertes contrastes en el SWIR.
- Banda 8 Pancromática (0,500-0,680 μm): combina las frecuencias del visible en un solo canal. Es de gran utilidad en la combinación de bandas ya que permite mayor resolución.
- Banda 9 Cirrus (1.36–1.38 μm): diseñada para recoger la reflectancia en nubes las cuales son difíciles de detectar.
- Bandas 10 y 11 (10.60–12.51 μm): ubicadas en el infrarrojo térmico, de utilidad para establecer la temperatura superficial del suelo.

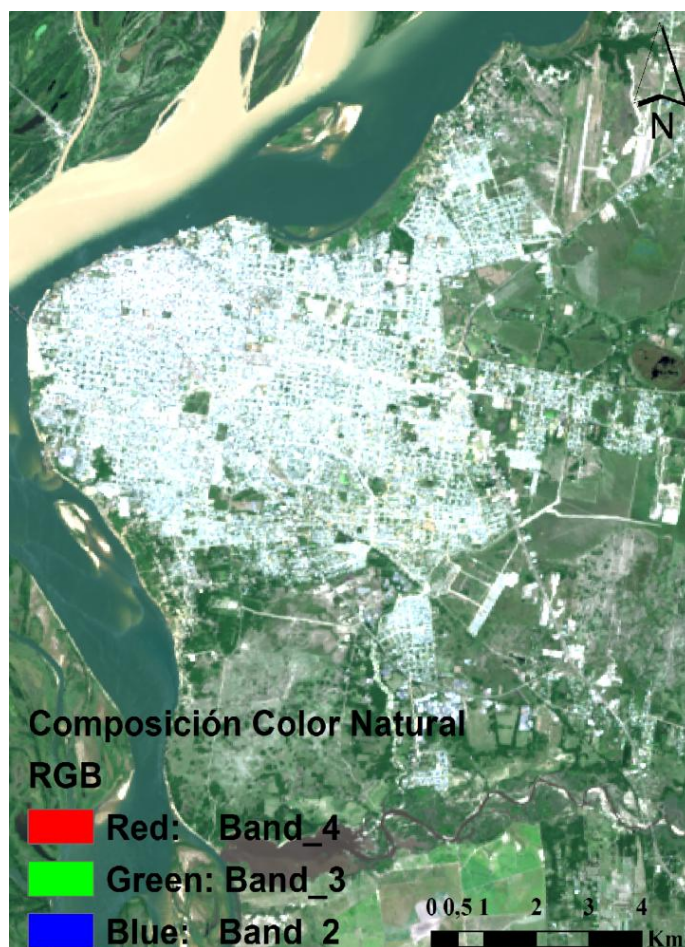


Figura 2.4. Imagen LDCM 8, Path: 226 - Row: 79 (Combinación RGB 432). Centrada sobre la Ciudad de Corrientes, al oeste se observa el Rio Paraná.

Cálculo del NDVI y la LST

Para el cálculo del NDVI y la LST se utilizaron las bandas 4 y 5 del sensor OLI y las bandas térmicas 10 y 11 obtenidas por el sensor TIRS, del LDCM 8. Para ello se convirtieron los valores de los números digitales (ND) contenidos en los píxeles de la imagen a reflectividad en TOA. Los ND expresan en forma de valores relativos, no calibrados, la cantidad de energía radiante recibida por el sensor. La corrección radiométrica implica la conversión de los ND a valores de radiancia y estos a valores de reflectividad a TOA que se definen como temperatura de brillo en grados Kelvin. Esta corrección remueve el efecto de los diferentes ángulos cenitales y la variación de la

distancia Tierra-Sol provocados por diferencias entre el tiempo de adquisición de los datos, y compensa las diferencias espectrales entre bandas corrigiendo los valores de irradiancia exoatmosférica. Esto se logra usando una constante térmica contenida en los metadatos de las imágenes y aplicando una corrección por emisividad de la superficie terrestre la cual se obtiene a partir del NDVI (USGS 2013).

Calibración Radiométrica y procedimiento metodológico para la obtención de la LST y el NDVI dentro de un área *buffer* alrededor de los sitios de muestreo.

Como se ha descrito en la introducción, el NDVI es un parámetro simple usado para monitorear e identificar las propiedades reflectivas de la vegetación en la región del espectro visible e infrarrojo cercano, en tanto que la LST fue definida como la energía térmica de onda larga que es emitida desde la superficie terrestre (Valor y Caselles 1996; Sobrino *et al.* 2004). Por lo que si la calibración radiométrica es realizada y la emisividad de la tierra es conocida, la temperatura puede ser determinada.

1- Cálculo para la conversión de los ND de la imagen a reflectividad en el TOA de las bandas del rojo e infrarrojo cercano adecuado a la propuesta por USGS (2013) para el sensor OLI y planteada de forma general por Ariza (2013).

$$P\lambda' = (M\rho + Qcal + A\rho) * \sin\theta se$$

Donde:

$P\lambda'$ - es el valor de reflectancia TOA, con corrección por ángulo solar.

$M\rho$ - es el factor multiplicativo de escalado específico para cada banda (REFLECTANCE_MULT_BAND x, donde x es el número de la banda) obtenido del metadato de la imagen.

$A\rho$ - es el factor aditivo de escalado específico (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, donde

x es el número de la banda), obtenido del metadato de la imagen.

$\sin\theta_{se}$ - es el ángulo de elevación solar. El ángulo de elevación solar del centro de la escena es provisto en el metadato de la imagen (SUN_ELEVATION).

Q_{cal} es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (ND). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

2- Una vez realizada la calibración radiométrica se procede a la obtención del NDVI, índice que estima la calidad, cantidad y desarrollo de la vegetación midiendo la intensidad de la radiación de las bandas del espectro electromagnético que la vegetación absorbe (Rojo) o refleja (Infrarrojo cercano). Se calcula realizando el siguiente cociente:

$$NDVI = \frac{(\text{Infrarrojo cercano} - \text{Rojo})}{(\text{Infrarrojo cercano} + \text{Rojo})}$$

Donde, Infrarrojo cercano es la banda correspondiente al canal 5 del sensor OLI del LDCM 8, el Rojo es la banda correspondiente al canal 4 del sensor OLI del LDCM 8.

El índice toma valores entre -1 y +1 e informa acerca del estado de la vegetación. En general, la vegetación sana absorbe la mayor parte de la luz visible que incide sobre ella, y refleja una gran parte de la luz del infrarrojo cercano incidente. La vegetación poco saludable o escasa refleja más energía en el visible y absorbe mayor energía en el infrarrojo cercano. Los valores negativos extremos de NDVI representan el agua, los valores medios representan suelo sin vegetación, a medida que el índice toma valores positivos nos está indicando la presencia de vegetación, aquellos que superan 0,6 representan vegetación densa.

3- Cálculo de la proporción de la vegetación (PV), a partir del NDVI obtenido en el proceso anterior:

$$PV = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min})^2$$

Donde:

NDVI_{min}- es valor mínimo del NDVI calculado en el proceso 2.

NDVI_{max}- es valor máximo del NDVI calculado en el proceso 2.

4- Cálculo de la emisividad de la superficie terrestre

$$e = m * Pv + n$$

Donde:

e- es emisividad de la superficie terrestre

m- es una constante de emisividad de la vegetación.

n- es una constante de la emisividad del suelo.

5- Cálculo de la radiancia espectral en el TOA de las bandas 10 y 11 del sensor TIRS sin corrección del ángulo solar. Se logra convirtiendo los valores de ND de las imágenes a radiancia a través de una ecuación lineal propia del sensor TIRS (Chander et al 2009):

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde:

Lλ- es el valor de radiancia espectral TOA de la banda específica sin corrección del ángulo de corrección solar medida en valores de Watts/m²*srad*μm.

. ML- es la radiancia multiplicativa para la banda específica. Se obtiene de los

metadatos de la imagen como **GROUP=RADIOMETRIC_RESCALING RADIANCE_MULT_BAND_X**.

AL- es el factor multiplicativo de escalado específico para la banda, donde *x* es el número de la banda). Se obtiene de los metadatos de la imagen como **GROUP=RADIOMETRIC_RESCALING RADIANCE_ADD_BAND_X**

Qcal- es el producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (ND). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

6- Cálculo de la temperatura de brillo aparente en grados Kelvin. Conversión de la radiancia espectral a valores de temperatura radiométrica. Aquí se asume que la tierra es un cuerpo negro (emisividad =1), incluye los efectos atmosféricos de emisión y absorción:

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

Donde:

TB: Temperatura de brillo.

K1- es la constante térmica de conversión para la banda específica. Se extrae de los metadatos de la imagen (Banda 10 u 11).

K2- es la constante térmica de conversión para la banda específica. Se extrae de los metadatos de la imagen (Banda 10 u 11).

7- Obtención de la LST:

$$LST = \frac{TB}{1 + W * \left(\frac{TB}{p}\right) * \ln(e)}$$

Donde:

TB- es la temperatura de brillo aparente en grados kelvin (K), calculada en el proceso 5.

W- es la longitud de onda emitida captada por la Banda 10 y Banda 11, sin convertir a valores de radiancia.

e- es la emisividad de la superficie terrestre.

p- se calcula como:

$$p = h * c * s / (1.438 * 10^{-34} \text{ Js})$$

Donde:

h- es la constante de Planck's (6.626*10⁻³⁴J_s).

c- es la velocidad de la luz (2.998*10⁸m/s).

s- es la constante de Boltzman (1.38*10⁻²³J/K).

Por último se procede a la combinación de las bandas resultantes y al cálculo de la media de temperatura entre los pixeles de ambas capas para la obtención de una única capa de la cual se extrajeron los valores promedio correspondientes a los pixeles. Los valores de temperatura fueron convertidos a grados Celsius.

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - 272,15$$

Las variables ambientales NDVI y LST a escala de macro-hábitat fueron obtenidas a través del cálculo del promedio de los valores de NDVI y de LST de los píxeles dentro de un área *buffer* de 80 metros de diámetro alrededor de los sitios de muestreo entomológicos, de manera de abarcar variables macro-hábitat (Salomón *et al.* 2015).

Obtención de porcentajes de uso de suelo en un área *buffer* alrededor de los sitios de muestreo entomológico.

Para la obtención de la capa de usos/coberturas de suelo, se utilizó una imagen SPOT 5 HRG1 (CNES 2013) de alta resolución espacial, provista por la Comisión Nacional de Asuntos Espaciales (CONAE) con fecha anterior al comienzo del muestreo entomológico (22/11/2013). Esta imagen, de nivel 2A de procesamiento con corrección radiométrica y geométrica, capta energía en 4 bandas espectrales: longitudes de onda del Verde (0,50-0,59 μ m) Rojo (0,61-0,68 μ m) Infrarrojo Cercano (0,78-0,89 μ m) e infrarrojo Medio (1,58-1,75 μ m). El SPOT 5 fue puesto en órbita a una altura de 822km en mayo del 2002 y se mantuvo operativo hasta marzo del 2015, forma parte de un programa que ha puesto en órbita 7 satélites operado por la agencia espacial francesa desde febrero de 1986 a la fecha.

A partir de la imagen centrada sobre Corrientes, que posee una resolución espacial de 10 metros, se generó una imagen conteniendo las 4 bandas originales. Se realizó una clasificación supervisada de la imagen sintética utilizando regiones de entrenamiento diferenciando 5 clases de usos/coberturas de suelo:

- Ur_1: porcentaje de uso/cobertura suelo ocupado por infraestructura urbana de alto desarrollo.
- Ur_2: porcentaje de uso/cobertura suelo ocupado por infraestructura urbana de bajo desarrollo.

- Veg_1: porcentaje de uso/cobertura del suelo ocupada por vegetación baja y dispersa.
- Veg_2: porcentaje de uso/cobertura del suelo ocupado por vegetación alta y densa.
- Agua: porcentaje de uso/cobertura de suelo ocupado por agua.

La clasificación digital es un proceso que agrupa de manera automática los píxeles de una imagen multiespectral, para la obtención de un mapa digital sintético. Los valores asociados a cada píxel de la imagen se identifican como una clase de cobertura. Las agrupaciones se realizan a través de las similitudes entre los valores numéricos que las definen (Chuvieco 2010). Las clases fueron validadas a través de los puntos de control en Google Earth[®] y a campo. Las variables ambientales de macro-hábitat a escala de foco urbano fueron obtenidas a través del porcentaje de cada clase de uso/cobertura de suelo en un área *buffer* de 80 metros de diámetro alrededor de los sitios de muestreo. Todos los procesamientos digitales sobre las imágenes fueron realizados utilizando el software ENVI[®] 4.1 (Version ENVI 2004). Los productos cartográficos fueron confeccionados utilizando el software ArcGis[®] 10.1 (Law y Collins 2013).

2.3.3 Análisis de datos

Se analizó la posible asociación de la ocurrencia y la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* con 11 variables ambientales en dos escalas espaciales micro y macro-hábitat (tabla 2.I). Debido a que las variables poseían escalas diferentes, las mismas fueron estandarizadas, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{variable media (variable) / desvío estándar (variable)}$$

Para establecer si la distribución de los datos es distinta de una normal se realizaron los siguientes análisis:

- Se graficó la variable respuesta abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* mediante un histograma.
- Complementariamente se realizó un test de Shapiro-Wilcoxon.
- Se realizó un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en ingles) de prueba con los efectos fijos de todas las variables, utilizando el paquete *MuMIn* de R v.3.3.1 (R Core Team 2016). Se procedió a transformar los datos mediante la aplicación de un cálculo logarítmico y a realizar nuevamente un histograma y el test de Shapiro-Wilcoxon y a la construcción de un nuevo GLM de prueba.

Se analizó por discrepancia de Pearson (mide la discrepancia entre valores observados y esperados), si el parámetro de dispersión fue elevado es decir, si los datos presentaron sobredispersión. Además, se calculó el valor k de agregamiento de la muestra, y se construyó un set de GLM con respuesta binomial negativa utilizando el paquete *MASS* de software estadístico R v.3.3.1 (R Core Team, 2016).

Para evaluar la colinealidad de las variables explicatorias, se graficó la relación entre variables ordinales y binarias. La correlación de las variables continuas, se analizaron a través de pruebas de Pearson y se calcularon los valores del factor de inflación de la varianza (VIF por sus siglas en ingles) de cada variable en un GLM de prueba con respuesta binomial negativa, mediante el paquete *Car* para R (Fox y Weisberg 2011).

Se construyó un conjunto de tres GLM con respuesta binomial negativa y función de enlace logarítmico (para controlar la sobredispersión de datos) para evaluar el grado de asociación de las variables independientes con la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* (Zuur *et al.* 2009): un modelo mixto con variables micro y macro-hábitat, un modelo con variables de macro-hábitat y un modelo con variables de micro-hábitat. Todos los modelos se simplificaron mediante la eliminación gradual de términos no significativos.

La eliminación de variables predictivas se realizó por el método de simplificación paso a paso, seleccionando los modelos mediante el Criterio de Información de Akaike ajustado por el bajo tamaño de muestra (AICc) (Johnson y Omland 2004), usando el paquete *MuMIn* de *R* (Barton 2016). Los términos que no disminuyeron en al menos 2 unidades de AICc, no fueron retenidos en el modelo.

Se utilizó el comando *model.sel* de *MuMIn* para comparar los tres modelos simplificados resultantes entre sí y determinar cuál tenía el peso relativo más alto (Burnham y Anderson 2002; Johnson y Omland 2004). La selección de los modelos resultantes se realizó teniendo en cuenta el AICc, el Δ AICc y los pesos de los modelos probados. Aquel modelo con menor AICc y mayor peso fue considerado como el mejor modelo del conjunto. La autocorrelación espacial se verificó con el coeficiente de autocorrelación de Moran I. Las estimaciones, los errores estándar y los intervalos de confianza (con un 95% de confianza) del modelo seleccionado se calcularon mediante *bootstrap* de 1000 repeticiones, utilizando el paquete *boot* de *R* (Canty y Ripley 2014). Por último se construyó un modelo de respuesta binaria para explicar la presencia/pseudoausencia.

El producto cartográfico correspondiente al modelo de favorabilidad ambiental para *Lu. longipalis s.l.* que se expone en la Fig. 2.8 fue desarrollada con el software ArcGis[®] 10.1 (Law y Collins 2013), a través de la superposición ponderada de Rasters desarrollados a partir de la integración en un SIG de las variables que resultaron significativas en los modelos estadísticos.

Tabla 2.I. Variables ambientales seleccionadas para explicar la distribución de la presencia y la abundancia de *Lu. longipalis s.l.*

Tipo y nombre de variable	Unidad de Medida y significado
Micro hábitat	
Aguared	Presencia/ausencia de agua de red en la vivienda.
Animcor	Presencia/ausencia de animales de corral en el peridomicilio.

Tmñoparcela	Metros cuadrados que ocupa la propiedad: menor a 200 m ² , entre 200 y 400 m ² , mayor a 400 m ² .
Cantperros	Cantidad de perros en el domicilio.
Asfalto	Presencia/ausencia de calles de asfalto.
Macro-hábitat	
NDVI	Valor promedio NDVI en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.
LST	Valor promedio de LST en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.
Ur_1	Porcentaje de uso/cobertura de suelo urbano de alto desarrollo en infraestructura en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.
Ur_2	Porcentaje de uso/cobertura del suelo urbano de bajo desarrollo en infraestructura en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.
Veg_1	Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación baja y dispersa en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.
Veg_2	Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación alta y densa en un área <i>buffer</i> de 80 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo.

2.4. Resultados

2.4.1 Distribución espacial de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*

Se capturaron un total de 609 Phlebotominae distribuidos en cinco especies: *Lu.*

longipalpis s.l., *Nyssomyia neivai*, *Migonemyia migonei*, *Micropigomyia quinquefer* y el complejo de especies *Ev. cortelezzi-sallesi* (Tabla 2.II). La especie más frecuente fue *Lu. longipalpis* s.l., que mostró una distribución heterogénea en el espacio, con abundancias que oscilaron entre 1-7 individuos (15 sitios), 8-26 individuos (5 sitios) y 46-103 individuos (2 sitios). La distribución espacial de *Ny. neivai*, *Mg. migonei*, *Mi. quinquefer* y *Ev. cortelezzii-sallesi* se limitó a los sitios muestreados en los márgenes de la ciudad, relacionados con parches de vegetación (Fig. 2.5).

Tabla 2.II. Total de Phlebotominae colectados. Detalle especie, sexo, abundancia relativa y cantidad de sitios positivos.

Especies	Machos	Hembras	Relación	Total	Abundancia	Sitios
			$\frac{\text{♂}}{\text{♀}}$		relativa	positivos (%)
<i>Lu.</i>	266	75	3,55	341	55,99	22 (48,89)
<i>longipalpis</i>						
<i>s.l.</i>						
<i>Ny. neivai</i>	181	31	5,83	212	34,81	14 (31,11)
<i>Mg. migonei</i>	26	15	1,73	41	6,74	6 (13,33)
<i>Mi.</i>	2	7	0,28	9	1,48	1 (2,22)
<i>quinquefer</i>						
<i>Ev.</i>	0	6	-	6	0,98	5 (11,11)
<i>cortelezzii-</i>						
<i>sallesi</i>						
Total	475	134	3,54	609	100	-

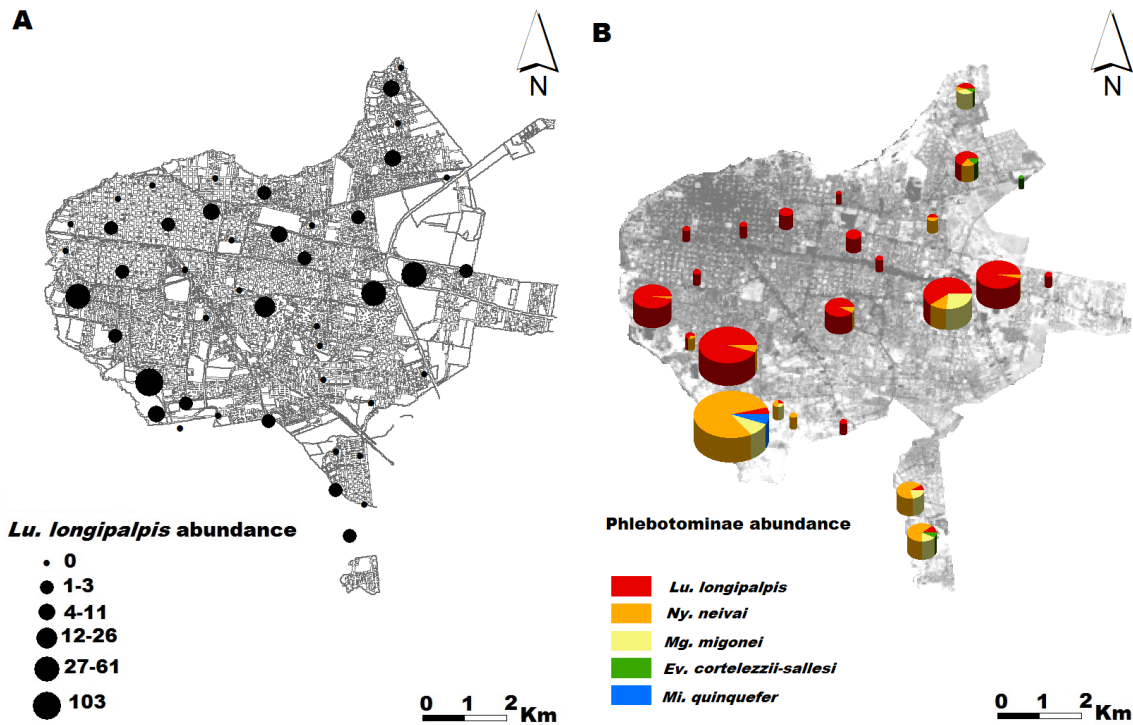


Figura 2.5. A) Distribución espacial y abundancia de *Lu. longipalpis* s.l. **B)** Distribución espacial y abundancia de Phlebotominae.

2.4.2 Variables de macro-hábitat consideradas para la asociación de la ocurrencia y la distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis* s.l.

El uso/cobertura urbana de alto desarrollo (Ur_1) representó el 47,4%; el uso/cobertura urbana de bajo desarrollo (Ur_2) el 26,4%; el uso/cobertura de la vegetación de baja densidad (Veg_1) el 22,5%; y el uso/cobertura de vegetación de alta densidad (Veg_2) el 3,7%. Los valores de NDVI de las áreas *buffer* variaron entre 0,048 y 0,425 con un promedio de 0,260 (DE = 0,082). Los valores de LST convertidos a grados Celsius de las áreas *buffer* variaron entre 28,85°C a 32,75°C con una media de 31,02°C (DE=0,88) (Fig. 2.6).

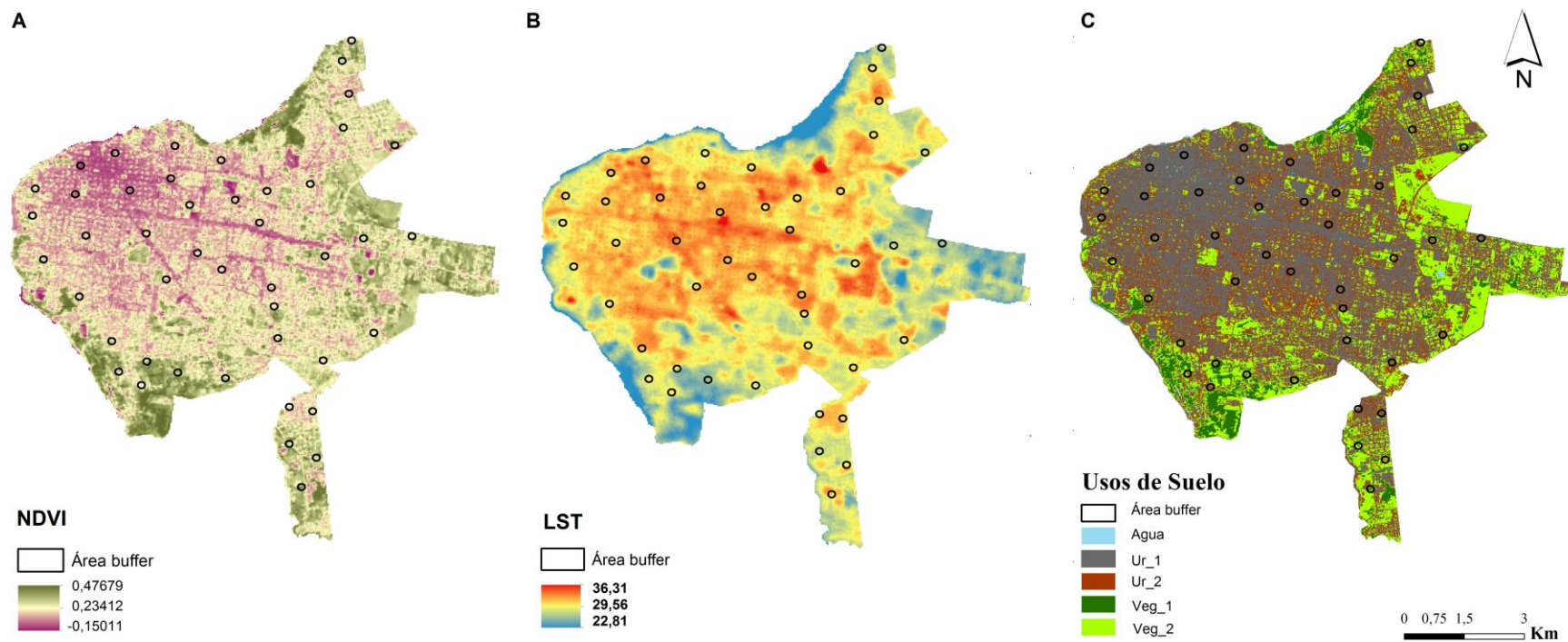


Figura 2.6. A-B) Mapas de NDVI y LST en °C de la ciudad de Corrientes derivado de imagen LDCM 8, Path 226-Row: 79. **C)** mapa de cobertura de suelo de la ciudad de Corrientes derivado de la clasificación supervisada sobre una imagen SPOT 5. En los tres mapas se identifican, como círculos, las áreas *buffer* alrededor de los sitios de muestreo de donde se obtuvieron los valores para los análisis.

2.4.3 Modelos de favorabilidad ambiental para la abundancia y la ocurrencia de *Lu. longipalpis s.l.*

El resultado del análisis de la distribución de los datos se presenta en la Figura 2.7 que muestra:

- Los histogramas de las frecuencias de las abundancias de *Lu longipalpis s.l.*, el test de Shapiro-Wilcoxon para los datos crudos ($W=0.44155$, $p<0.001$) y transformados con la función logarítmica ($W=0.75258$, $p<0.001$) arrojó que los datos no tienen una distribución normal.
- El análisis de los residuos en función de los predichos resultantes de las regresiones lineales confeccionadas, demostraron la existencia de que los datos tienen un patrón definido, lo cual indica la falta de una distribución debida al azar de los residuos.
- La evaluación de los gráficos QQplot Normal, donde la distribución de los residuos está en función de una distribución teórica normal, arrojó que los residuos no siguen una distribución normal, ya que los mismos se alejan de la gráfica teórica.

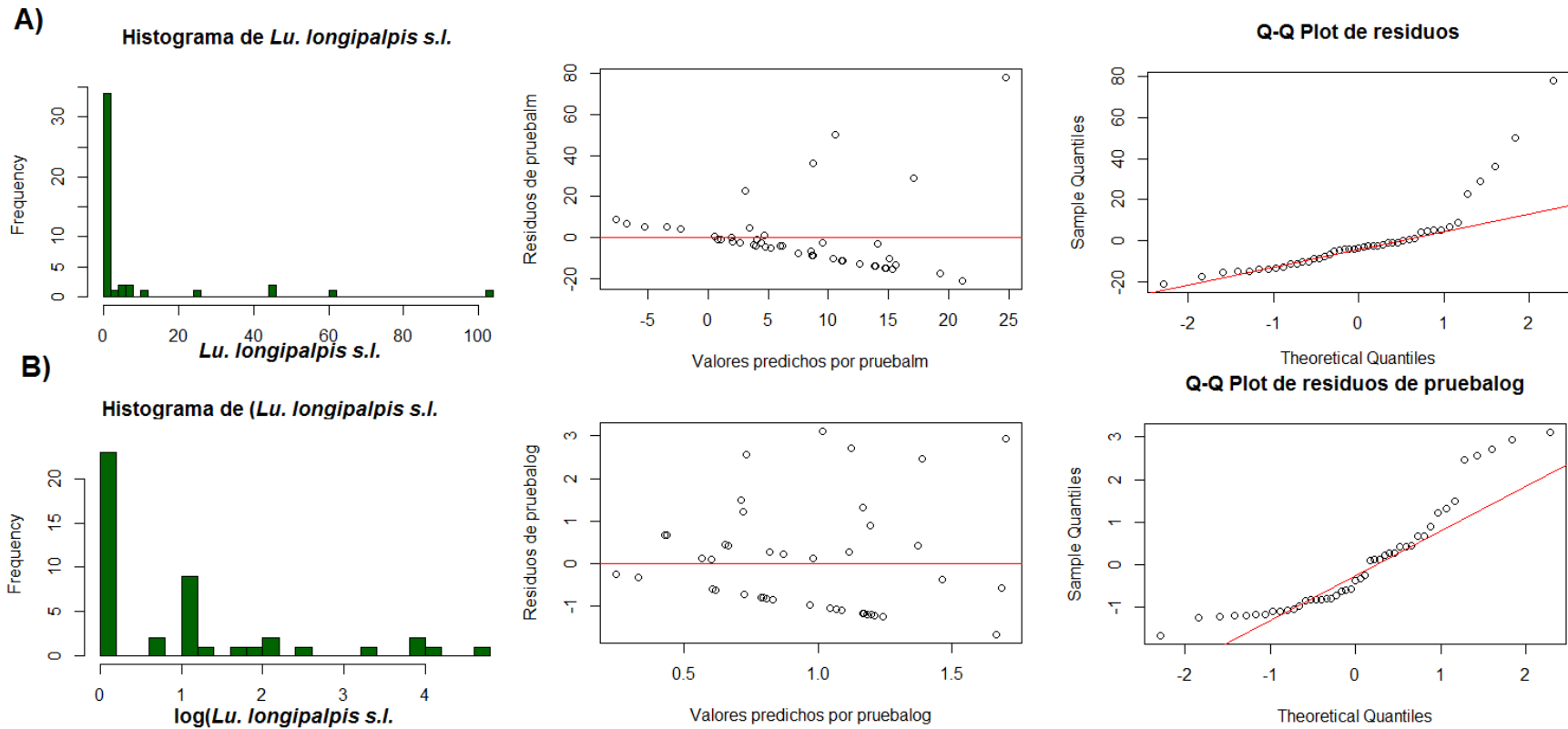


Figura 2.7. A) Histograma de las frecuencias de las abundancias para *Lu. longipalpis s.l.*, gráfico de residuos en función de los predichos y gráfico QQplot Normal con los datos crudos **B)** Histograma de las frecuencias de las abundancias para *Lu longipalpis*, gráfico de residuos en función de los predichos y gráfico QQplot Normal con los datos transformados usando la función logarítmica.

Se comprobó por discrepancia de Pearson que el parámetro de dispersión fue elevado (20,46), los datos presentaron sobredispersión. El cálculo del valor k de agregamiento fue de 0,15, con lo que se demostró que los datos presentaron una distribución agregada.

La evaluación de la correlación entre las variables ordinales a través de los gráficos arrojó un patrón que podría significar cierta colinealidad entre las variables "aguared", "asfalto" y "animcor". Sin embargo, se decidió retener dichas variables en los modelos por considerarlas importantes, debido al significado biológico de las mismas y constituir indicadores de escenarios socio-ambientales (Fernández *et al.* 2013). Las pruebas de correlación de Pearson mostraron una fuerte asociación entre las variables "Ur_1", "Veg_2" y "NDVI" (TABLA 2.III). Las variables "Ur_1" y "Veg_2" arrojaron los mayores valores de VIF (233,95 y 7,31 respectivamente). Debido a que NDVI ha sido reportado como una variable implicada en variaciones de abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, la misma se retuvo en el modelo (Bavia *et al.* 2005; de Oliveira *et al.* 2012) y las variables "Ur_1" y "Veg_2" fueron eliminadas de las variables de macrohábitat. La abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* fue definida como la captura acumulada durante las tres noches consecutivas del muestreo entomológico.

Tabla 2.III. Matriz de correlación de Pearson: evalúa la correlación entre variables explicatorias continuas. Se retienen en el modelo aquellas que muestren una correlación de Pearson menor a 0,7.

	NDVI	LST	Ur1	Veg2	Veg1	Ur2	Cantperros
NDVI	1	r=-0,66 p<0,01	r=-0,91 p<0,01	r=0,85 p<0,01	r=0,53 p<0,01	r=0,16 p=0,23	r=0,23 p=0,13
LST	r=-0,66 p<0,01	1	r=0,5 p<0,01	r=-0,57 p<0,01	r=-0,27 p<0,01	r=0,06 p=0,69	r=-0,096 p=0,53
Ur_1	r=-0,91 p<0,01	r=0,5 p<0,01	1	r=-0,89 p<0,01	r=-0,51 p<0,01	r=-0,29 p=0,05	r=0,23 p=0,13
Veg_2	r=0,85	r=-0,57	r=-0,89	1	r=0,46	r=-0,05	r=0,26

	p<0,01	p<0,01	p<0,01		p<0,01	p=0,74	p=0,09
Veg_1	r=0,53	r=-0,27	r=-0,51	r=0,46	1	r=-0,38	r=0,028
	p<0,01	p=0,07	p<0,01	p<0,01		p=0,01	p=0,86
Ur_2	r=0,16	r=0,06	r=-0,29	r=-0,05	r=-0,38	1	r=0,04
	p=0,23	p=0,69	p=0,05	p=0,74	p=0,01		p=0,79
Cantperros	r=0,23	r=0,096	r=0,23	r=0,26	r=0,028	r=0,04	1
	p=0,13	p=0,53	p=0,13	p=0,09	p=0,86	p=0,79	

Como resultado de la simplificación gradual de los modelos, se obtuvo un conjunto de tres GLM para predecir la abundancia acumulada de *Lu. longipalpis s.l.* (modelos de respuesta binomial negativa) y uno para evaluar su ocurrencia (modelo de respuesta binomial) (Tabla 2.IV).

Tabla 2.IV. Modelos Lineales Generalizados que describen la abundancia y la presencia de *Lu. longipalpis s.l.* en la Ciudad de Corrientes, clasificados por peso y $\Delta AICc$.

Tipo	Modelo	Variables explicativas	AICc	$\Delta AICc$	Peso
Modelo					
Binomial					
Negativo	Micro	y Ur_2+NDVI+Animcor	203,82	0	0,854
para la	macro-				
abundancia	habitat				
	Micro-habitat	Animcor	207,49	3,66	0,137
	Macro-	NDVI	13,82	10	0,006
	habitat				
	Null	1	214,69	10,86	0,004
	Negative				
	Binomial				

Binomial para la presencia	Micro y Animcor	61,38	0	0,823
	Null Binomial	1	64,45	3,07

El modelo mixto simplificado que contiene variables de micro y macro-hábitat para explicar la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* obtuvo la puntuación más alta con un peso de 0,854. Junto con el modelo simplificado de variables de micro-hábitat, que contiene animales de corral como única variable explicativa, fueron responsables del 99,1% del peso. La importancia de las variables explicativas que componen los modelos fueron evaluadas y se reportan a continuación en orden decreciente: animales de corral, NDVI y uso/cobertura de suelo de infraestructura urbana de bajo desarrollo.

Las estimaciones de los coeficientes, los errores estándar y los intervalos de confianza (95% de confianza), calculados mediante *bootstrap* de 1000 replicaciones, se presentan en la Tabla 2.V. Sólo las variables NDVI y animales de corral fueron significativas para explicar la abundancia acumulada de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Corrientes. El índice de autocorrelación espacial de Moran I fue 0,039 ($p=0,59$), que describe un patrón de aleatoriedad espacial completa.

Tabla 2.V. Variables micro y macro-hábitat contenidas en el Modelo Lineal Generalizado simplificado de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*: estimadores, error estándar (EE) e intervalos de confianza (IC) para *bootstrap* de 1000 replicaciones.

	Estimador	EE	IC Limite inferior	IC Limite superior
Intercept	-0,93802	0,63066	-1,9311	1,1087
Ur_2	0,73648	0,43975	-0,1279	1,5878
NDVI	-1,67021	0,67154	-3,168	-0,362*
Animales de Corral	4,97687	1,27531	2,107	7,563*

*Variables significativas para explicar la abundancia acumulada de *Lu. longipalpis s.l.*

2.5 Discusión y conclusiones

Se llevó a cabo el análisis de factores ambientales que estarían actuando sobre la distribución espacial de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Corrientes, donde recientemente se ha confirmado el establecimiento de la transmisión de LV. *Lutzomyia longipalpis s.l.* estuvo presente en el 49% de los sitios muestreados, un porcentaje mucho mayor que el registrado por Salomón *et al.* (2009a) para la misma área de estudio (24.2%), y similar a la descrita en otras ciudades de la región, lo que reafirma la adaptación de la especie al contexto antropizado (Costa *et al.* 2005; Santini *et al.* 2015). No obstante la abundancia relativa (56%) con respecto a otras especies de Phlebotominae fue menor que la encontrada en 2005 (92,22%) en Campo Grande, Brasil (de Oliveira *et al.* 2006). Sin embargo, estos autores reportaron una abundancia relativa de *Lu. longipalpis s.l.* de 8,97% sólo cinco años antes, cuando fue registrada por primera vez por de Oliveira *et al.* (2000). *Lutzomyia longipalpis s.l.* se ha registrado por primera vez en Corrientes en 2008, por lo que es probable que la abundancia relativa de esta especie en esta ciudad recién colonizada esté en aumento.

Por otro lado se debe tener en cuenta que el trabajo de campo se desarrolló en tres escenarios urbanos diferentes, en aquellos sitios donde el grado de urbanización fue mayor, la abundancia relativa de *Lu longipalpis s.l.* fue del 100%. Es interesante resaltar la presencia en focos de alta abundancia de *Ny. neivai*, debido a la importancia que tiene en la transmisión de *Leishmania braziliensis* agente causal de la leishmaniasis tegumentaria (LT). La alta abundancia relativa de *Ny. neivai* se concentró generalmente en los márgenes de la ciudad en ambientes de transición en el denominado estrato periurbano ruralizado, este patrón ha sido registrado en otros trabajos (Quintana *et al.* 2012)

En cuanto a la distribución espacial urbana, *Lu. longipalpis s.l.* mostró un patrón heterogéneo, similar al descrito por Fernández *et al.* (2010) en la ciudad de Posadas, provincia de Misiones, con sitios de alta abundancia dentro de una matriz de baja abundancia. Esta distribución ha sido registrada en otras ciudades del país (Santini *et*

al. 2015; Gomez Bravo *et al.* 2017), y podría estar revelando una dinámica meta-poblacional para *Lu. longipalpis s.l.*, con poblaciones fuente capaces de colonizar otras áreas de la ciudad.

El modelo estadístico mostró una asociación inversa entre NDVI y la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, lo cual puede explicarse teniendo en cuenta que las áreas con bajos valores de NDVI proporcionan menores sitios de refugio lo que beneficia a la concentración del vector. Sumado a la presencia de animales domésticos de corral, estaría garantizando abundante materia orgánica en el suelo para la cría de los estadios inmaduros y fuentes concentradas de oferta sanguínea para la producción de huevos de las hembras adultas. Estas determinaciones son similares a las observadas por Bavia *et al.* (2005), quienes sugirieron que la mayoría de los vectores se encuentran en áreas de bajo NDVI, en el estado de Bahía, Brasil, pero contradicen el trabajo de de Oliveira *et al.* (2012), quienes observaron una asociación positiva entre el NDVI y el número de especímenes colectados en un estudio realizado en Campo Grande, Brasil. Sin embargo, este último reporta un coeficiente de correlación para ambas variables demasiado bajo para considerar una verdadera asociación. En el caso de de Andrade *et al.* (2014), no se encontró correlación entre NDVI y el número de flebotomos colectados. Hay que tener en cuenta que el modelo que mejor ajustó en el presente estudio contiene variables espaciales mixtas (NDVI y animales de corral) que actúan conjuntamente para explicar la distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, y no presentan una correlación significativa con la abundancia cuando se toman individualmente. Esta última observación podría estar indicando que es necesaria la adquisición de datos remotos en conjunto con datos en terreno para establecer herramientas preventivas, y que las variables a micro-escala son buenos indicadores para predecir la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*, la cual es un factor determinante en la transmisión de *Le. infantum* a los humanos.

Por otro lado, se evaluó la incidencia del NDVI en la riqueza específica de la comunidad de Phlebotominae presente en la ciudad, con la idea de establecer la idoneidad del índice de vegetación como indicador de riesgo a exposición de vectores.

Los sitios con mayor diversidad biológica (3-5 especies) mostraron valores NDVI que excedieron 0,324. La prueba de correlación de Spearman mostró una débil asociación entre el NDVI y el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener para cada sitio ($r= 0,47$, $p=0,001$). Teniendo en cuenta que el valor máximo de NDVI registrado en las áreas *buffer* analizadas fue de 0,425 y que el promedio registrado tomó el valor de 0,260 (DE 0,082), estos datos estarían indicando que a valores bajos de NDVI, la riqueza de especies de flebotomos disminuye. Esta disminución de la riqueza específica se podría explicar a través de una menor competencia inter-específica entre *Lu. longipalpis s.l.* y otras especies de flebotomos. Así y debido a la aptitud del vector de *Le. infantum* a ambientes de mayor desarrollo urbano, podría explicar su patrón de distribución, que la muestra como la única especie de Phlebotominae con una respuesta favorable a los ambientes con alta intervención antrópica, los cuales se asocian a bajos valores de NDVI.

La variable que mostró mayor peso tanto para explicar la abundancia como la ocurrencia de *Lu. longipalpis s.l.* fue la presencia de animales de corral. La asociación de ocurrencia y abundancia de vectores con la presencia de animales de corral en el medio peridoméstico concuerda con la mayoría de los autores y está basado en que actuarían como un atractivo garantizando una oferta sanguínea constante (Lainson y Rangel 2005; Fernández *et al.* 2010). Así mismo debe tenerse en cuenta que las heces y desperdicios de los animales de corral aportan materia orgánica al suelo de manera que podrían actuar favoreciendo el desarrollo de los estadios inmaduros. De esta manera, una hembra de *Lu. longipalpis s.l.* en un ambiente peridoméstico con presencia de animales de corral cuenta con oferta sanguínea para el desarrollo de sus huevos y de suelo rico en materia orgánica para el desarrollo de las larvas, por lo que el ambiente sería propicio para la cría del vector.

Si bien se registro ausencia de asociación de la abundancia y ocurrencia de *Lu. longipalpis s.l.* y la LST, esta podría ser un buen predictor temporal como se ha registrado en un estudio longitudinal realizado en Clorinda, provincia de Formosa, donde se enfatiza la importancia predictiva de la LST asociada con el NDVI en la

dinámica de poblaciones de flebotominos (Gómez Bravo *et al.* 2017). Esto se suma a que no existen muchos trabajos que hayan evaluado la efectividad de la LST para describir la distribución de *Lu. longipalpis s.l.* por lo cual debería analizarse si la LST en interacción con otras variables puede actuar como un indicador de riesgo estacional para la presencia y abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* En el capítulo III de la presente tesis la LST se tuvo en cuenta para analizar su asociación a la ocurrencia y abundancia del vector de *Le. infantum* a través del tiempo.

En conclusión, las variables de macro-hábitat medidas a través del procesamiento de los productos de teledetección, en asociación con las variables de micro-hábitat registradas a campo, mostraron significancia para explicar la distribución espacial de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* en un escenario urbano. Esto podría ser utilizado para identificar áreas prioritarias para la vigilancia de vectores, como se muestra en el ejemplo para la ciudad de Corrientes en la Figura 2.8. Considerando que hasta el año 2008, la presencia del vector no se conocía en la ciudad y cinco años más tarde se observa que *Lu. longipalpis s.l.* es la especie dominante e inclusive la única presente en las áreas de mayor desarrollo de la infraestructura urbana, estos factores se vuelven importantes para establecer sitios centinela para la vigilancia entomológica.

La selección de sitios centinela para el monitoreo de *Lu. longipalpis s.l.* basado en datos obtenidos a campo y de SR, como el NDVI, permite la implementación de acciones de vigilancia a bajo costo, aumenta la eficacia de las intervenciones focalizadas en poblaciones de origen vectorial (dónde y cuándo). y mejora la eficiencia de las actividades de vigilancia y control.

Considerando que las ciudades de la región se caracterizan por un entorno urbano complejo, con un centro demográfico con infraestructura urbana bien desarrollada y acceso a servicios básicos, en contraposición a los sectores periurbanos donde no todos los hogares cuentan con servicios públicos, los resultados presentados aquí apoyan la hipótesis de que este complejo urbano, asociado con la urbanización no planificada, es un factor que incrementa el riesgo de transmisión de LV, ya que actúa

favoreciendo el establecimiento de *Lu. longipalpis* s.l. (Rangel y Vilela 2008). Las características particulares de los sectores más vulnerables podrían conducir así a resultados de mayor riesgo para la salud de los habitantes en caso de un brote de LV.

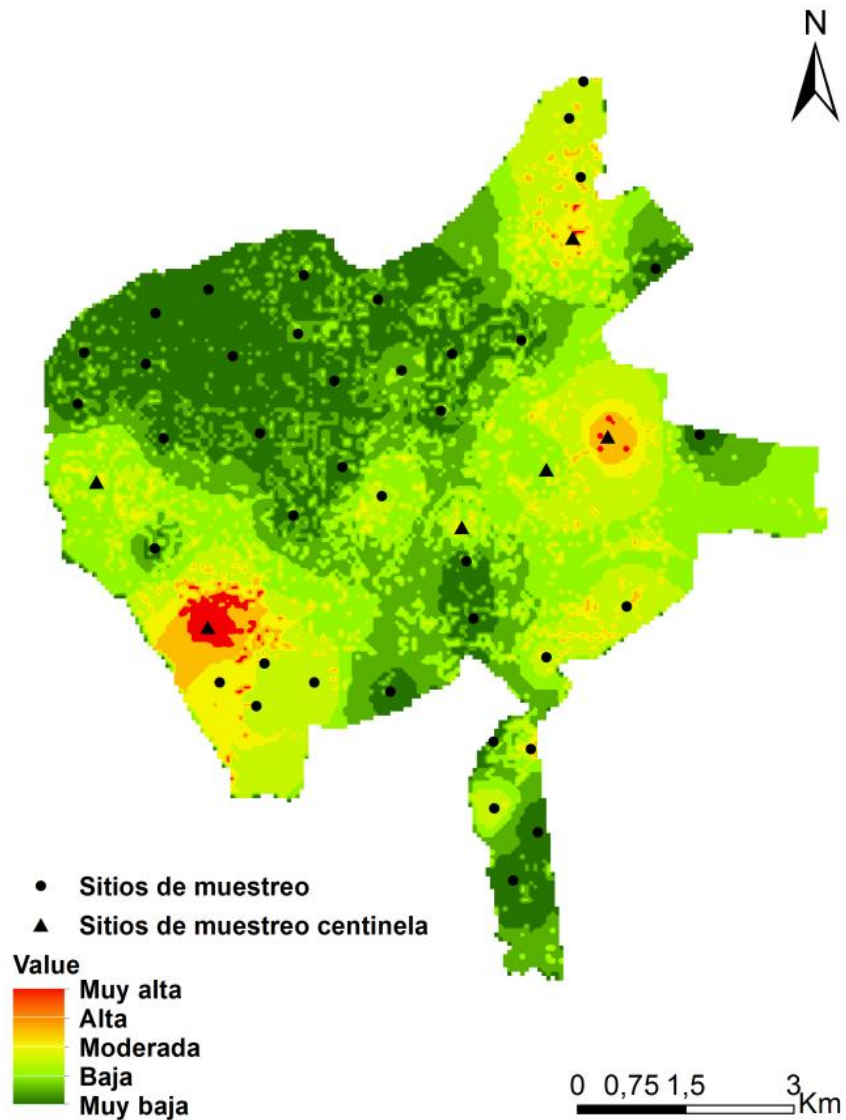


Figura 2.8. Mapa de favorabilidad ambiental para *Lu. longipalpis* s.l. incluyendo las variables predictoras resultantes del GLM seleccionado. El mapa fue construido a través de la superposición ponderada de las variables significativas. Se observan los sitios centinela propuestos (identificados con un triangulo), para el seguimiento temporal de la dinámica poblacional y la probabilidad de la ocurrencia del vector del

agente causal de la LV (Rojo: muy alta; Verde: muy baja).

Capítulo III

Modelo espacio temporal de *Lu. longipalpis s.l.* y caracterización ambiental del macro-hábitat en la ciudad de Corrientes.

3.1 Introducción

La abundancia del vector y su distribución longitudinal o en el espacio-tiempo son factores a tener en cuenta para comprender la eco-epidemiología de la LV. Es necesario establecer las medidas de control vectorial para cada localidad ya que los factores que participan en el ciclo de la transmisión se comportan de manera diferente según el escenario donde se producen (MS/SVS/DVE 2014). Conocer cómo se comporta la población de vectores en el tiempo y cuáles son las características ambientales que se pueden asociar a la abundancia son esenciales para establecer dónde y cuándo concentrar los esfuerzos para la mitigación de la transmisión. Los focos de alta abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* en una localidad con el ciclo de LV establecido son un factor de riesgo para la población ya que la probabilidad de contacto humano-vector aumenta (Rangel y Vilela 2008). Estos sitios al albergar poblaciones fuente, serían las áreas prioritarias para aplicar medidas preventivas y de control (Bates *et al.* 2015; Salomón *et al.* 2015). La heterogeneidad ambiental de los ámbitos urbanos, como es el caso de la ciudad de Corrientes, debe tenerse en cuenta a la hora de realizar estudios de este tipo ya que se la ha asociado como un factor que favorece el establecimiento de *Lu. longipalpis s.l.* (Werneck 2008).

En este sentido en la presente sección de la tesis se abordará el estudio longitudinal de la población de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Corrientes, relacionando su abundancia en las distintas estaciones climáticas con variables ambientales extraídas del procesamiento digital de imágenes del satélite LDCM 8, a través del desarrollo de modelos estadísticos. Los peridomicilios sobre los que se llevó a cabo el muestreo entomológico fueron seleccionados a partir de los resultados obtenidos del estudio transversal o espacial realizado en diciembre del 2013, y de la estratificación ambiental de la ciudad a través del uso de variables extraídas de

imágenes satelitales, de esta manera se estableció un seguimiento espacio temporal de sitios que fueron positivos para el vector del agente causal de la LV, incluidos aquellos que se determinaron como centinelas para la vigilancia entomológica.

3.2 Objetivo

El objetivo del presente capítulo fue estudiar la dinámica poblacional de *Lu. longipalpis s.l.* longitudinal o en el espacio-tiempo, evaluando variables ambientales a escala de macro-hábitat, derivadas del procesamiento digital de imágenes satelitales, que se relacionan a su abundancia en la ciudad de Corrientes, a través del desarrollo de modelos estadísticos, que pueden contribuir al desarrollo de herramientas para la prevención y control del vector de *Le. infantum*.

3.3 Materiales y Métodos

3.3.1 Muestreo entomológico

El muestreo para el análisis de la dinámica poblacional de *Lu. longipalpis s.l.* longitudinal y su asociación a variables ambientales a nivel de macro-hábitat se realizó desde septiembre del 2014 a agosto del 2016. Se realizó un muestreo de recolección de insectos a mediados y finalización de cada estación climática, cada 45 días aproximadamente, totalizando 14 sesiones de muestreos. Cada una de las cuales se realizó durante tres noches consecutivas sin lluvia en 18 peridomicilios, correspondiendo 6 a los definidos como sitios centinelas en el capítulo II.

Para la selección de los peridomicilios a muestrear se categorizó a la ciudad en tres estratos (centro urbano, periurbano, y periurbano ruralizado) siguiendo el criterio expuesto en el capítulo II sección 2.3.1, además se realizó un gradiente urbano de NDVI con el objetivo de tener un rango de valores de NDVI característico de cada uno de los estratos definidos para la ciudad. El gradiente de NDVI se obtuvo del resultado de la interpolación de valores promedio de NDVI extraídos de cuatro imágenes LDCM 8

diferentes comprendidas entre noviembre del 2013 y agosto del 2014. Cada imagen seleccionada se correspondió a una estación climática y el promedio de los pixeles componentes de estas capas se utilizó para obtener un NDVI anual. La interpolación de los datos de muestra de NDVI fue realizada por el método de ponderación inversa (IDW por sus siglas en ingles), el cual predice valores para las celdas de un Raster a partir de una celda de muestra. El IDW utiliza un método que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.

En cada estrato definido se seleccionaron 6 sitios de muestreo: en el centro urbano se escogieron 6 peridomicilios con presencia de *Lu. longipalpis* s.l. y/o perros, en el periurbano 6 con presencia de *Lu. longipalpis* s.l., gallinas y/o perros, y en el perirubano ruralizado 6 chacras con presencia de *Lu. longipalpis* s.l., animales de corral (cerdos, ovejas, caballos y/o gallinas) y perros (Fig.3.1). Para el relevamiento entomológico y la identificación de los especímenes colectados, se siguió la metodología expuesta en la sección 2.3.1.



Figura 3.1. Sitios de muestreo entomológico en la ciudad de Corrientes según estrato. Las circunferencias negras indican las áreas *buffer* de donde se extrajeron las variables macro-hábitat. urb: urbano; p_urb: periurbano; rur: chacras en el estrato periurbano ruralizado.

3.3.2. Variables ambientales consideradas para la asociación de la distribución espacio temporal de *Lu. longipalpis s.l.*

A partir de datos relevados del Sistema Meteorológico Nacional se consideraron como variables meteorológicas a tener en cuenta para evaluar influencia del tamaño poblacional: la precipitación acumulada en los últimos 30 días previos a los muestreos y las medias de temperatura máxima y mínima. En adición se obtuvieron los promedios de un área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de colecta

entomológica de la LST, el NDVI y el NDWI. Para ello se realizó el procesamiento digital de 14 imágenes LDCM 8, cada una con fecha de adquisición previa a cada muestreo entomológico y con cobertura nubosa menor al 15% sobre el área de estudio (Tabla 3.I).

Tabla 3.I. Fechas de adquisición de las imágenes LDCM8 utilizadas para la extracción de variables.

Muestreo entomológico	Fecha de adquisición de imagen
Septiembre 2014	21/09/2014
Noviembre 2014	08/11/2014
Febrero 2015	12/02/2015
Abril 2015	01/04/2015
Mayo 2015	19/05/2015
Julio 2015	20/06/2015
Agosto 2015	22/07/2015
Septiembre 2015	08/09/2015
Noviembre 2015	24/11/2015
Febrero 2016	14/01/2016
Abril 2016	18/03/2016
Mayo 2016	05/05/2016
Julio 2016	22/06/2016
Agosto 2016	25/08/2016

La calibración radiométrica de las bandas utilizadas y el procedimiento metodológico para la obtención del NDVI y LST fue similar al descrito en el capítulo II, sección 2.3.2.2. Para la obtención de los valores promedio del NDWI correspondientes a cada una de las áreas *buffer* de los sitios de colecta de insectos de las 14 imágenes LDCM 8 seleccionadas, el procedimiento fue similar al de la obtención del NDVI, excepto que se utilizó la banda 6 infrarroja de onda corta, en lugar de la 4, aplicándose la siguiente álgebra de bandas:

$$NDWI = \frac{(\text{Infrarrojo cercano} - \text{Infrarrojo de onda corta})}{(\text{Infrarrojo cercano} + \text{Infrarrojo de onda corta})}$$

Por último se extrajeron las variables porcentaje de uso/cobertura de suelo en el área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor de los sitios de colecta entomológica de cada uno de los muestreos realizados. Para ello, se realizaron clasificaciones supervisadas sobre cada una de las imágenes utilizadas en este estudio. Se construyó un set de 4 variables: Ur_1 porcentaje de uso/cobertura de suelo con alto desarrollo de infraestructura urbana, Ur_2 porcentaje de uso/cobertura de suelo de baja infraestructura urbana (dentro de estas se incluyen áreas de suelos desnudos), Veg_1 porcentaje de uso/cobertura de suelo con vegetación baja y dispersa y Veg_2 porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación alta y densa. En los modelos fueron incluidas como variable espacial el estrato y como temporal la estación climática.

Tabla 3.II. Variables climáticas, temporales y ambientales relevadas para la asociación de la distribución temporal de *Lu. longipalpis s.l.*

Tipo y nombre de variable	Unidad de Medida y significado
Precip	Milímetros de lluvia acumulados en los 30 días previos al muestreo en la ciudad de Corrientes.
Tmax	Temperatura máxima media en los 30 días previos al muestreo.
Tmin	Temperatura mínima media en los 30 días previos al muestreo.
Estrato	Tipo de estrato: Centro urbano, periurbano y periurbano ruralizado.
Estación	Estación climática en la que se desarrolló el muestreo entomológico
Macro-hábitat	
NDVI	Valor promedio NDVI en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio

	de muestreo.
LST	Valor promedio LST en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo
NDWI	Valor promedio NDWI en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio del muestreo
Ur_1	Porcentaje de uso/cobertura de suelo urbano alto desarrollo en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo
Ur_2	Porcentaje de uso/cobertura del suelo urbano bajo desarrollo en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo
Veg_1	Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación de densidad baja o dispersa en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo
Veg_2	Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación alta y densa en un área <i>buffer</i> de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo

Las clasificaciones se validaron para evaluar la precisión de los productos obtenidos. Las muestras para validarlas se tomaron sobre las imágenes realizando análisis visuales de composiciones con falso color urbano RGB 7-6-4. Se utilizaron dos criterios para tomar las muestras de manera de seleccionar el criterio de mayor ajuste. La primera fue a través de polígonos en regiones que representaron las clases a determinar (regiones de interés) y la segunda, por medio de la supervisión de Google Earth[®], tomando como mínimo 50 píxeles por clase siguiendo el criterio recomendado por Chuvieco (2010).

Posteriormente se calcularon las matrices de confusión para las 14 clasificaciones por los dos métodos de toma de muestra y se evaluó el método de mayor ajuste de las clasificaciones. Para conocer la exactitud del proceso se validaron las clasificaciones comparando muestras de pixeles de la imagen clasificada y cuantificando la exactitud en porcentaje de pixeles clasificados correctamente dentro de cada clase. Los errores de omisión, aquellos pixeles que el método de clasificación no incluyó correctamente a la clase a la que pertenecen, y los de comisión aquellos pixeles que pertenecen a otra clase, se tuvieron en cuenta para analizar el grado de ajuste de la asignación de los pixeles a cada clase de cobertura. Se obtuvieron además los coeficientes de precisión global y Kappa, un estadístico que mide la concordancia de la asignación pixeles a clases de usos/cobertura y toma valores entre 0 y 1. Cuanto más cercano a 1, el coeficiente Kappa indica que la clasificación es más exacta (Manandhar *et al.* 2009). Todos los procesamientos digitales para la obtención de las variables provenientes de las imágenes LDCM 8 fueron realizados utilizando el software ENVI 4.1 (Version ENVI 2004). Todos los productos cartográficos fueron generados utilizando el software ArcGis 10.1 (Law y Collins 2013).

3.3.3 Análisis de datos

Los factores a evaluar se seleccionaron de acuerdo a consideraciones de la ecología de *Lu. longipalpis s.l.* se analizó la posible asociación de la abundancia a través del tiempo con variables ambientales a escala de macro-hábitat derivadas del procesamiento digital sobre imágenes satelitales y variables meteorológicas. Además se tuvo en cuenta el estrato de pertenencia de cada sitio de muestreo y la estación climática de captura entomológica (Tabla 3.I). Mediante un histograma se observó la distribución de las frecuencias de los datos de las abundancias de *Lu. longipalpis s.l.* Se graficaron los residuos *versus* los predichos y un Normal QQplot para la evaluación de la distribución de los datos. Como complemento se realizó un test de Shapiro-Wilcoxon para evaluar si la distribución de estos datos correspondía a una normal y una regresión lineal simple de abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* en función de una variable explicativa de prueba, para evaluar los residuos de dicho modelo lineal general

en función de los predichos. De esta manera se comprobó una distribución de datos distinta a la normal. Se procedió a transformar los datos mediante la aplicación de un cálculo logarítmico y a realizar nuevamente un histograma y el test de Shapiro-Wilcoxon. Además se realizó un GLM de familia Quasi Poisson de prueba para evaluar la sobredispersión de los datos.

Se optó entonces por el análisis de los datos de abundancia mediante GLM. Se realizaron pruebas de correlación de Pearson para identificar las variables independientes continuas correlacionadas a fin de evitar problemas de colinealidad dentro de los modelos. Una vez seleccionadas las variables se procedió a analizar si la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* se ajustaba a una distribución de Poisson. Se construyó un GLM de familia Poisson con los efectos fijos de todas las variables, utilizando el paquete *MuMIn* de R v.3.3.1 (Barton, 2016; R Core Team, 2016) y uno de familia Quasi-Poisson para comparar los parámetros de dispersión. De esta manera se observó una sobre-dispersión en los datos que no permitió utilizar estos modelos. Debido a que se concluyó que la distribución de los datos correspondería a una binomial negativa, en este caso las respuestas son conteos agregados, se utilizaron GLM con respuesta binomial negativa. El paquete estadístico empleado fue *lme4* (función 'glmer') del programa informático R.

Todos los modelos se simplificaron de la misma manera que la descrita en el capítulo II sección 2.3.3. Los términos que no disminuyeron en al menos 2 unidades el AICc, no fueron retenidos en el modelo. La selección de los modelos resultantes se realizó teniendo en cuenta el Δ AICc de los modelos. Aquel modelo con menor AICc fue considerado como el mejor modelo del conjunto. Las estimaciones, los errores estándar y los intervalos de confianza (con un 95% de confianza) del modelo seleccionado se calcularon mediante *bootstrap* de 1000 repeticiones. Finalmente se realizaron pruebas de contraste de Tukey para evaluar las diferencias entre los niveles de las variables categóricas contenidas en el modelo final.

Adicionalmente se realizaron análisis de contrastes para la diferencia de medias

(T de student) de las variables numéricas independientes de manera de establecer si existieron diferencias significativas entre la toma de muestras inter anuales.

3.4 Resultados

3.4.1 Distribución espacial de la abundancia acumulada de *Lu. longipalpis s.l.*

Se colectaron 5244 Phlebotominae, distribuidos en cinco especies: *Lu. longipalpis s.l.*, *Ny. neivai*, *Mg. migonei*, *Ev. cortelezzi-sallesi* y *Mi. quinquefer*. El esfuerzo total de muestreo fue de 707 trampas/noche, con un total de 252 muestras. *Lutzomyia longipalpis s.l.* resultó ser la especie con mayor abundancia relativa global y se distribuyó espacialmente de manera heterogénea en los tres estratos determinados para la ciudad, con una reducción gradual en abundancia y ocurrencia hacia el centro urbano (Fig. 3.2) (Tabla 3.II). Esta a su vez fue la especie con mayor ocurrencia en los tres estratos definidos. El estrato que presentó focos de mayor abundancia fue el denominado como periurbano ruralizado. Sin embargo aquí la abundancia relativa respecto a las otras especies estuvo en el orden del 36%, y la especie más capturada en este estrato resultó ser *Ny. neivai* (Tabla 3.II). En cuanto a los estratos centro urbano y periurbano, la abundancia relativa de *Lu. longipalpis s.l.*, fue del 98% y 64% respectivamente, reafirmando su adaptación y dominancia en ámbitos con alto grado de modificación antrópica (Fig. 3.2) (Tabla 3.II). *Nyssomyia neivai*, *Mg. migonei*, *Ev. cortelezzi-sallesi* y *Mi. quinquefer* prácticamente estuvieron confinadas a los márgenes de la ciudad relacionadas a sitios con presencia de mayor cobertura vegetal en el periurbano ruralizado (Fig. 3.2). Los sitios centinelas concentraron el 58,54 % de las capturas de *Lu. longipalpis s.l.* y el 69,03% de *Ny. neivai*.

Tabla 3.III. Total de Phlebotominae colectados. Detalle por especie, sexo, abundancia relativa y ocurrencia de las colectas entomológicas obtenidas de las 252 muestras, por estrato ambiental y global de la ciudad de Corrientes.

Estrato	Especie	♂	♀	Relación	Total	Abundancia	Muestras(+)
Centro				♂/♀	por	relativa	/nMuestras

urbano		Sps.					(%)
<i>Lu.</i>	320	131	2,44	451	98,47	45/84	
<i>longipalpis</i>						(53,57%)	
<i>s.l.</i>							
<i>Ny. neivai</i>	4	3	1,33	7	1,53	5/84	
						(5,95%)	
<i>Mg.</i>	0	0	-	0	-	1/84	
<i>migonei</i>						(1,19%)	
<i>Mi.</i>	0	0	-	0	-	0/84	
<i>quinquefer</i>						(0%)	
<i>Ev.</i>	0	0	-	0	-	0/84	
<i>cortelezzii-</i>						(0%)	
<i>sallesi</i>							
Total	324	134	2,42	458	100		
Estrato	Especie	♂	♀	Relación	Total	Abundancia	Muestras(+)
Periurbano				♂/♀	por	relativa	/nMuestras
					Sps.		(%)
<i>Lu.</i>	449	174	2,58	623	64,03	49/84	
<i>longipalpis</i>						(58,33%)	
<i>s.l.</i>							
<i>Ny. neivai</i>	216	78	2,76	294	30,21	24/84	
						(28,57%)	
<i>Mg.</i>	31	18	1,72	49	5,04	9/84	
<i>migonei</i>						(10,71%)	
<i>Mi.</i>	0	1	-	1	0,10	1/84	
<i>quinquefer</i>						(1,19%)	
<i>Ev.</i>	0	6	-	6	0,62	4/84	
<i>cortelezzi-</i>						(4,76%)	
<i>sallesi</i>							
Total	696	277	2,51	973	100		
Periurbano	Especie	♂	♀	Relación	Total	Abundancia	Muestras(+)
ruralizado				♂/♀	Por	relativa	/nMuestras

					Sps.		(%)
<i>Lu.</i>	1063	321	3,31		1384	36,82	58/84
<i>longipalpis</i> <i>s.l.</i>							(69,04%)
<i>Ny. neivai</i>	1250	719	1,74		1969	52,38	57/84
							(67,86%)
<i>Mg.</i>	267	138	1,93		405	10,78	37/84
<i>migonei</i>							(44,05%)
<i>Mi.</i>	0	3	-		3	0,005	2/84
<i>quinquefer</i>							(2,38%)
<i>Ev.</i>	0	52	-		52	0,015	15/84
<i>cortelezzii-</i> <i>sallesi</i>							(17,86%)
Total	2580	1233	2,19		3813	100	
Ciudad de	Especie	♂	♀	Relación	Total	Abundancia	Muestras
Corrientes				♂/♀	por	relativa	positivas
(global)					Sps.		/Muestras
							(%)
<i>Lu.</i>	1832	626	2,92		2458	46,87	152/252
<i>longipalpis</i> <i>s.l.</i>							(60,32%)
<i>Ny. neivai</i>	1470	800	1,84		2270	43,29	86/252
							(34,12%)
<i>Mg.</i>	298	156	1,91		454	8,66	47/252
<i>migonei</i>							(18,65%)
<i>Mi.</i>	0	4	-		4	0,08	3/84
<i>quinquefer</i>							(3,57%)
<i>Ev.</i>	0	58	-		58	1,10	19/252
<i>cortelezzii-</i> <i>sallesi</i>							(7,54%)
Total	3600	1644	2,19		5244	100	
ciudad de							

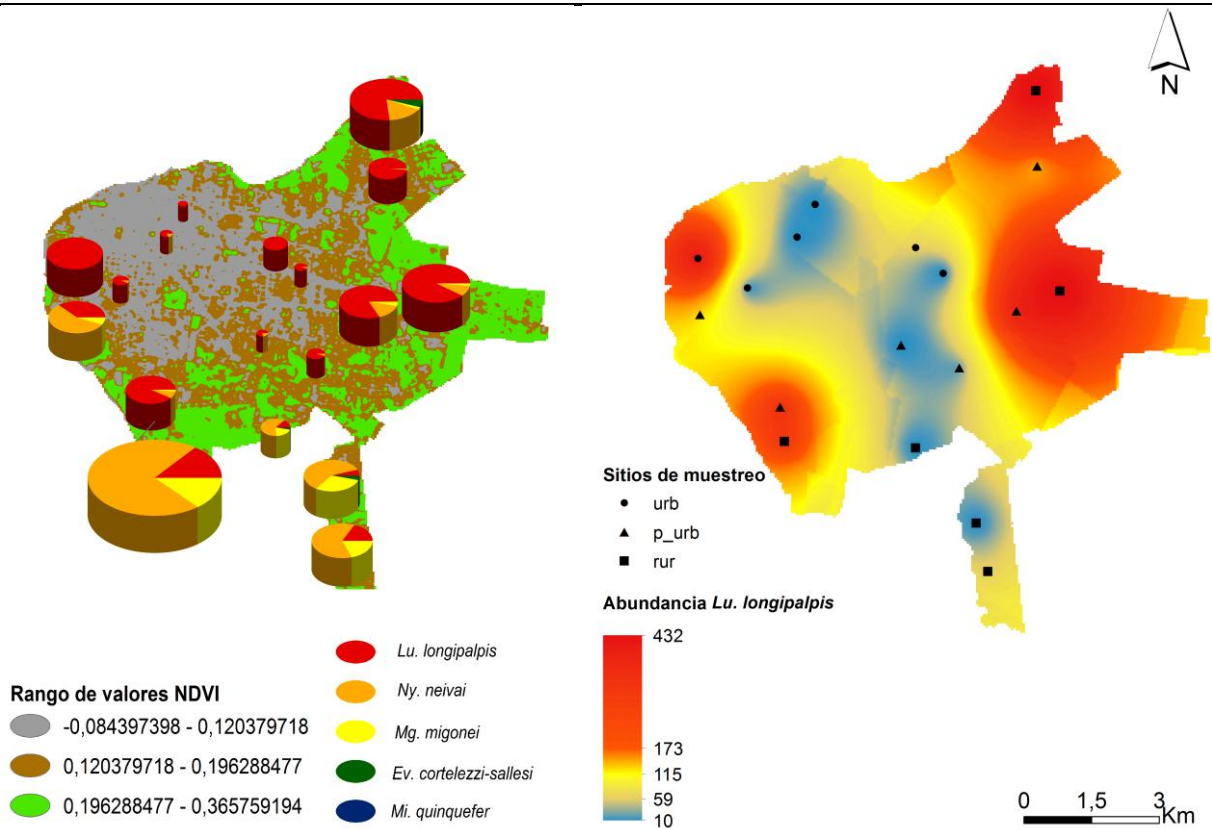


Figura 3.2. Izquierda: composición específica, distribución espacial y abundancia acumulada de Phlebotominae en la ciudad de Corrientes en el periodo que abarcó el estudio. Derecha: Mapa de abundancia acumulada obtenido a partir de la interpolación de los datos de las colectas de *Lu. longipalpis s.l.* a lo largo de los 14 muestreos entomológicos.

3.4.2 Distribución temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*

Los periodos de mayor abundancia y ocurrencia de capturas para *Lu. longipalpis s.l.* se registraron durante las colectas de primavera y verano. El vector del agente causal de la LV fue recolectado en todos los muestreos mostrando una merma en su abundancia y distribución espacial en los meses de invierno (Fig. 3.3). La variación de la abundancia del resto de las especies de Phlebotominae exhibió un comportamiento similar. También se registró una diferencia interanual significativa en la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* (Fig.3.4). Los porcentuales de ocurrencia de sitios positivos para para el vector de *Le. infantum* fueron los siguientes:

- Primavera: 91,66% en 2014 y 77,77% en 2015.
- Verano: 86,11% en 2015 y 58,33% en 2016.
- Otoño: 66,66% en 2015 y 33,33% en 2016.
- Invierno: 22,22% en 2015 y 25,12% en 2016.

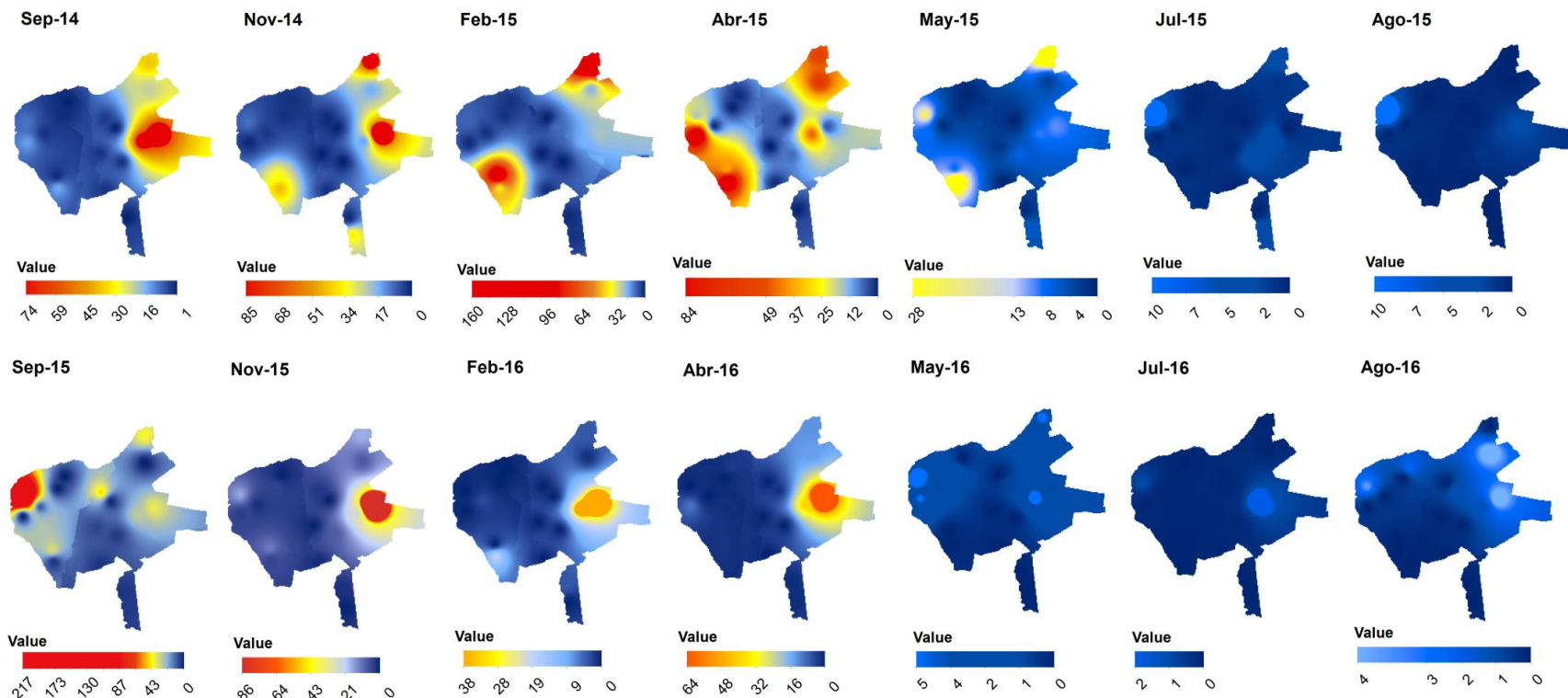


Figura 3.3. Mapas de distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* a partir de los datos entomológicos de los 14 muestreos realizados en la ciudad de Corrientes. Se observa que la distribución de la abundancia es dinámica en el tiempo, con "sitios calientes" que persisten en el tiempo y otros que desaparecen.

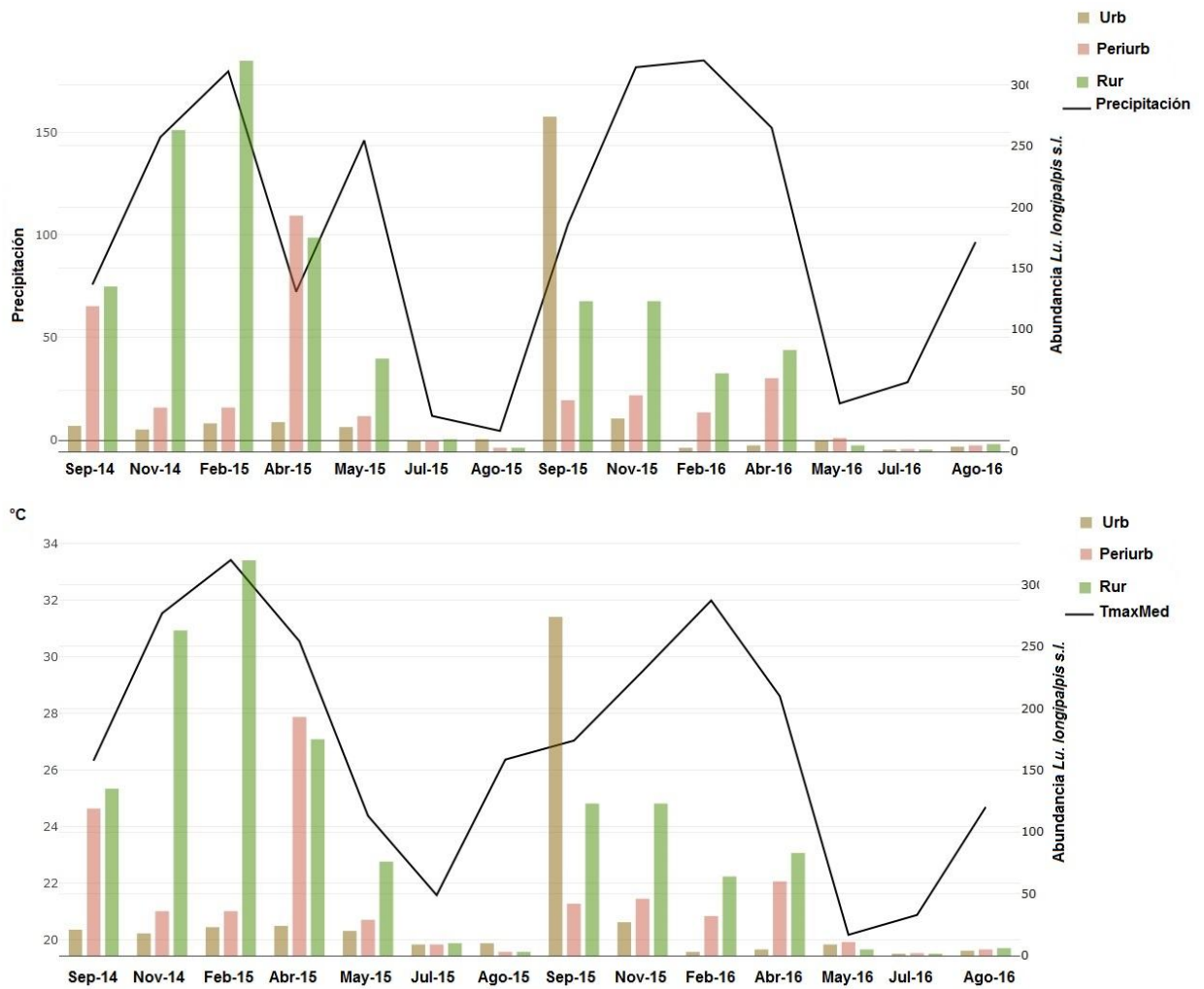


Figura 3.4. Gráfico que muestra las abundancias mensuales de *Lu. longipalpis s.l.* por estrato ambiental, y la relación de la misma con las precipitaciones acumuladas y las temperaturas maxima promedio de los últimos 30 días previos al muestreo entomológico.

3.4.3 Variables ambientales a escala de macro-hábitat derivadas del procesamiento digital de imágenes LDCM 8.

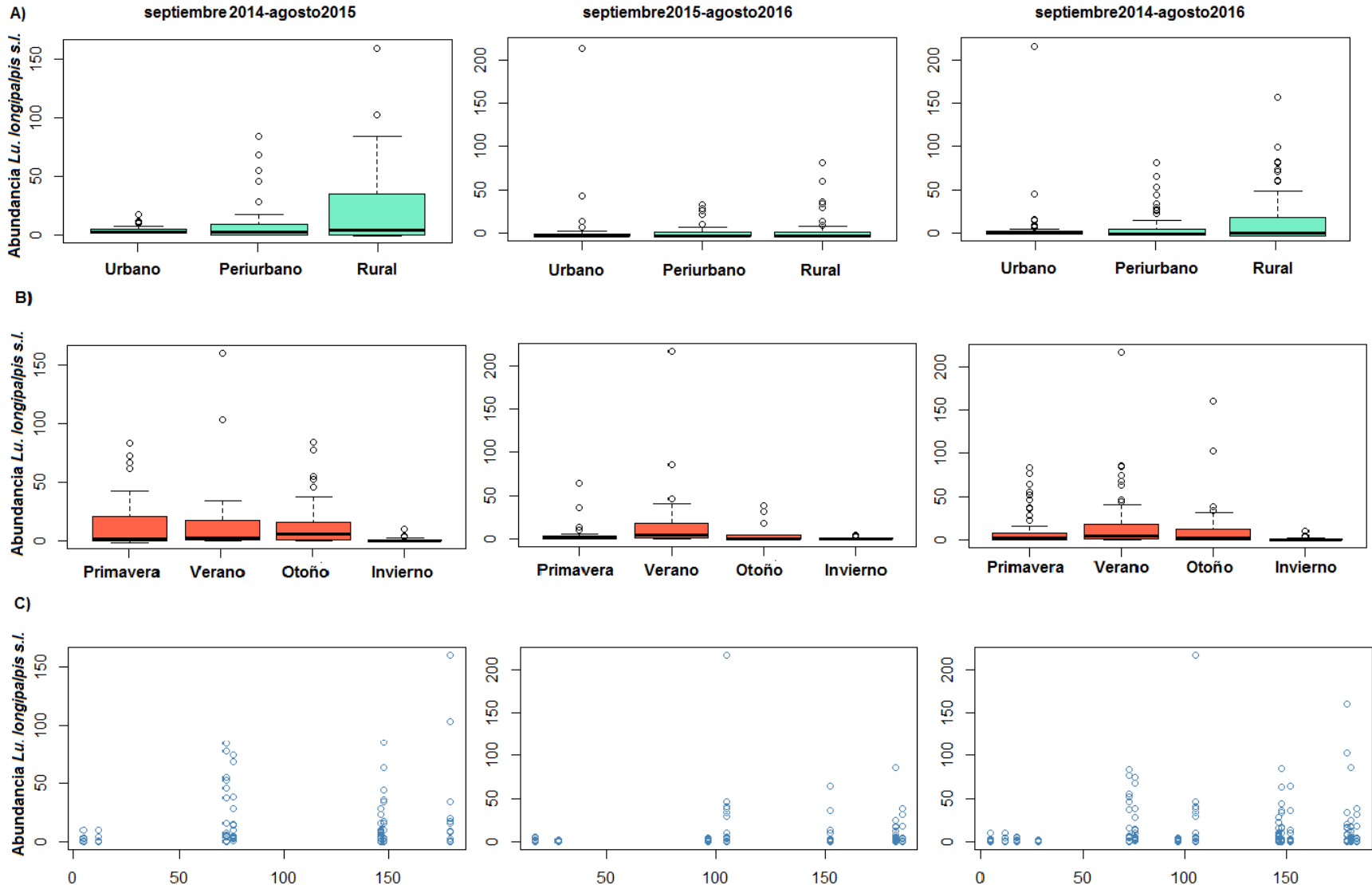
El analisis de la variación interanual de las variables numéricas independientes, que han sido asociadas a la distribución espacial y temporal de *Lu. longipalpis s.l.*, a nivel meso-escala, demostró que no existieron diferencias significativas entre las medias anuales (Tabla 3.III). En la figura 3.5 se graficaron la asociación de variables

espacio-temporales por año, y la global de los dos años, con la abundancia de *Lu. longipalpis* s.l. en esta se observó que:

- La abundancia está asociada a los peridomicilios del estrato periurbano ruralizado, existe una falta de distribución normal de la abundancia, y datos atípicos que representan los focos de abundancia.
- Los Boxplots de la abundancia vs. estación, muestran la asociación de la abundancia con los meses de primavera y verano.
- Los gráficos de abundancia vs. precipitación acumulada 30 días previos al muestreo entomológico, muestran la asociación de la abundancia a los periodos de lluvia que acumularon más de 65 milímetros.
- Los gráficos de abundancia vs. temperatura máxima promedio de los 30 días previos al muestreo entomológico, muestran la asociación de la abundancia a temperaturas mayores a 24°C.
- Los gráficos de abundancia vs. temperatura mínima promedio de los 30 días previos al muestreo entomológico, muestran la asociación de la abundancia a temperaturas mayores a 16°C.
- Los gráficos de abundancia vs. NDVI, muestran la asociación de la abundancia a valores entre 0,16 y 0,26.
- Los gráficos de abundancia vs. LST, muestran la asociación de la abundancia a valores entre 16°C y 27°C.
- Los gráficos de abundancia vs. NDWI, muestran la asociación de la misma a valores mayores a 0,10.

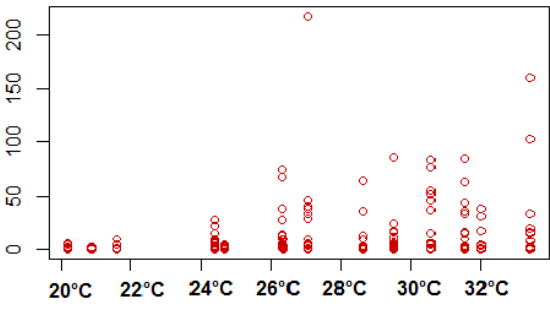
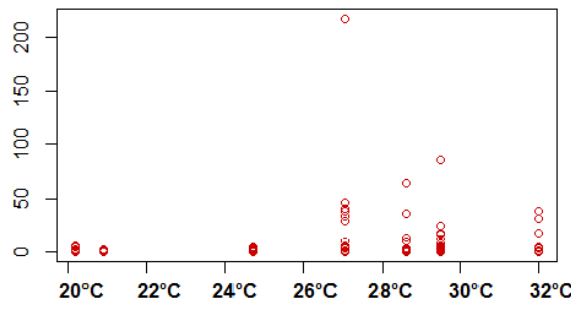
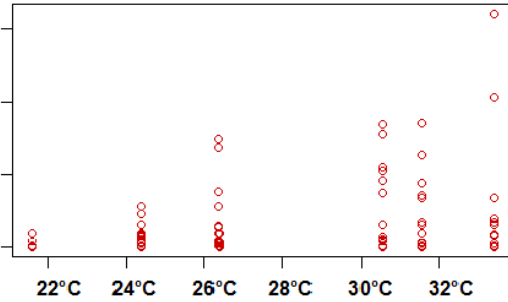
Tabla 3.IV. Resultados del análisis de contrastes para la diferencia de medias (T de student) de las variables numéricas independientes. Se listan los intervalos de confianza (IC), los grados de libertad (GL) y el valor T asociado al p-valor.

Variable	Promedio año 1	Promedio año 2	IC	T	GL	p-valor
Precip	91,128	109,515	-98,10- 61,33	-0,5025	11,99	0,6244
Tmax	27,748	26,135	-3,43-6,66	0,6963	11,997	0,4995
Tmin	17,632	17,152	-4,13-5,099	0,2290	10,889	0,8231
NDVI	0,1563	0,1475	-0,036- 0,053	0,4297	11,179	0,6756
LST	17,665	17,884	-7,329- 6,911	0,0641	11,707	0,95
NDWI	0,0611	0,039	-0,0061- 0,0484	1,7117	10,594	0,116
Ur_1	32,158	27,657	-8,234- 18,419	0,832	11,962	0,4234
Ur_2	44,064	52,521	-22,965- 6,060	-1,2732	11,649	0,2278
Veg_1	9,831	7,241	-4,857- 10,063	0,760	11,624	0,4622
Veg_2	13,918	13,147	-7,115- 8,685	0,215	10,608	0,8338



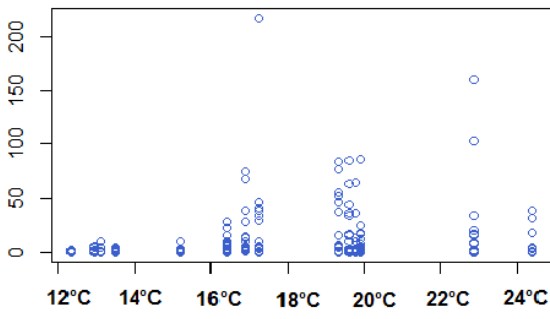
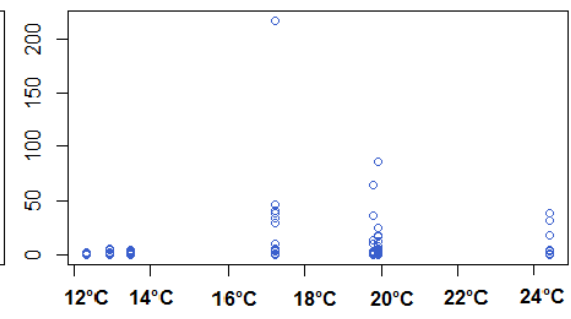
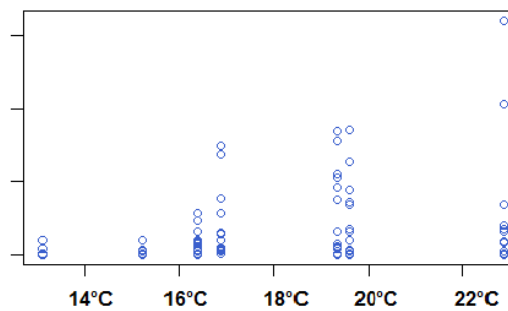
D)

Abundancia de *Lu. longipalpis* s.l.



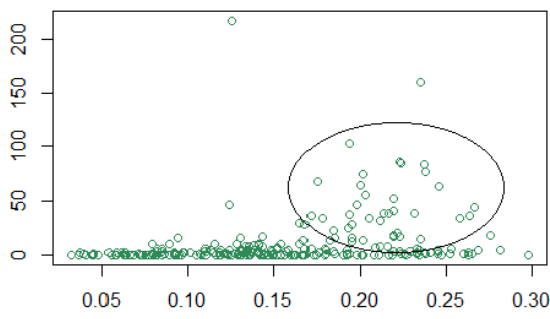
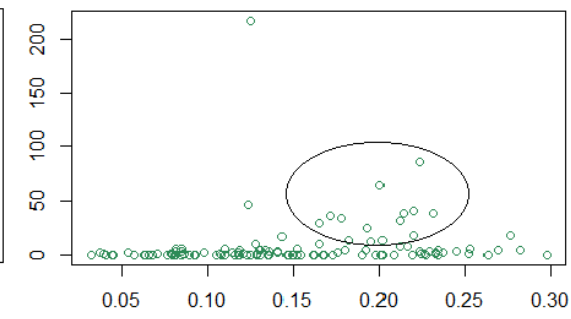
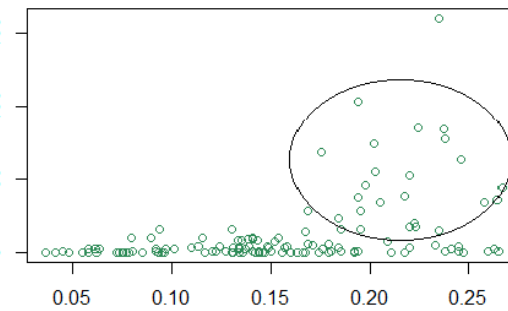
E)

Abundancia de *Lu. longipalpis* s.l.



F)

Abundancia de *Lu. longipalpis* s.l.



G)

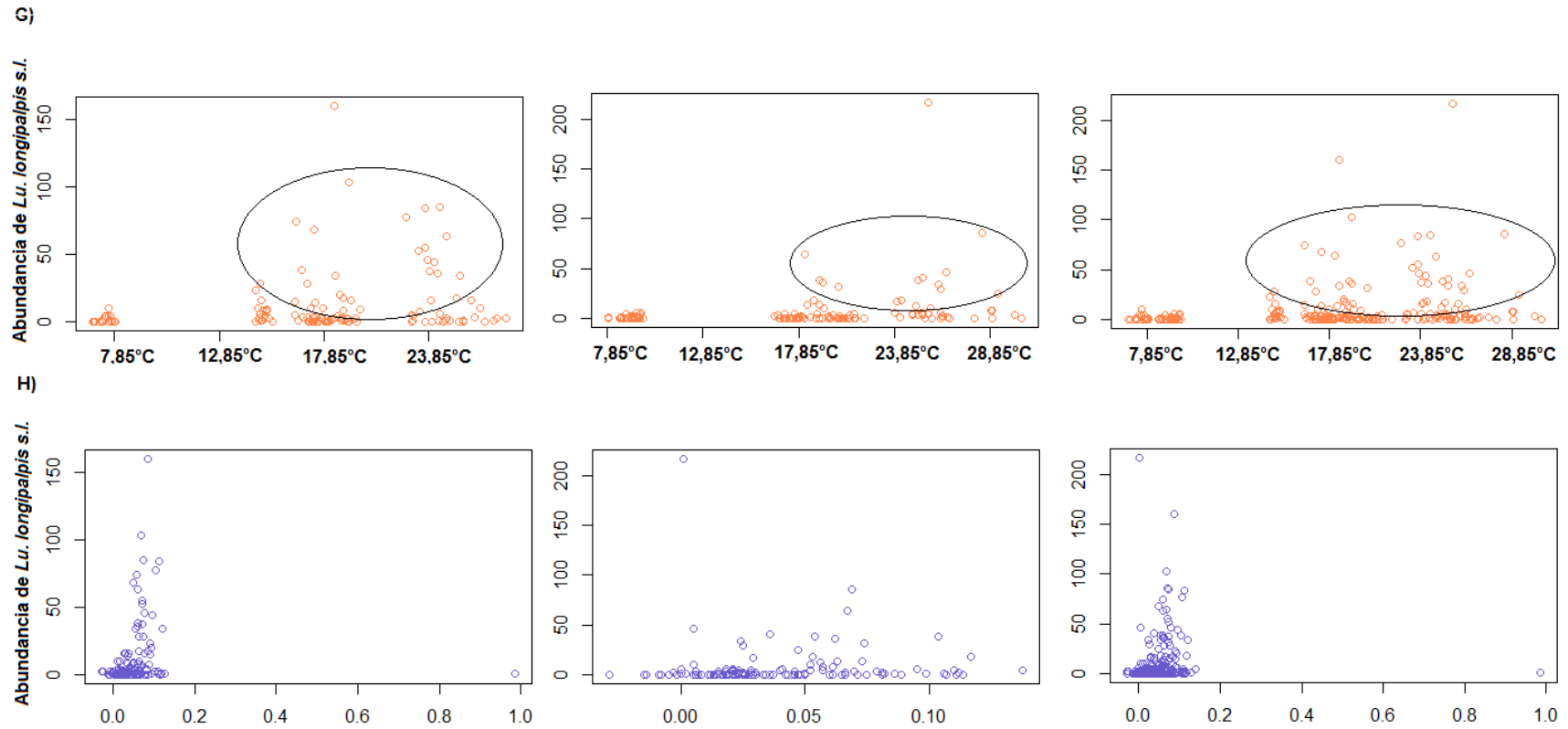


Figura 3.5. Asociación de las variables espacio-temporales por año, y la global de los dos años, con la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* **A)** Boxplots de abundancia vs. estrato. **B)** Boxplots de la abundancia vs. estación. **C)** Gráficos de abundancia vs. precipitación acumulada 30 días previos al muestreo entomológico. **D)** Gráficos de abundancia vs. temperatura máxima promedio de los 30 días previos al muestreo entomológico. **E)** Gráficos de abundancia vs.

temperatura mínima promedio de los 30 días previos al muestreo entomológico. **F)** Gráficos de abundancia vs. NDVI. **G)** Gráficos de abundancia vs. LST. **H)** Gráficos de abundancia vs. NDWI.

La interpolación del NDVI promedio anual para caracterizar la estratificación ambiental de la ciudad de Corrientes, arrojó los siguientes rangos de valores para cada uno de los estratos: -0.07204/0.12096 para el centro urbano, 0.12097/0.19506 para el periurbano y 0.19507/0.36740 para el periurbano ruralizado (Fig. 3.6 A-B). Así el NDVI muestra que tiene una relación inversa al desarrollo urbano de la ciudad permitiendo la caracterización de los estratos a partir de su obtención.

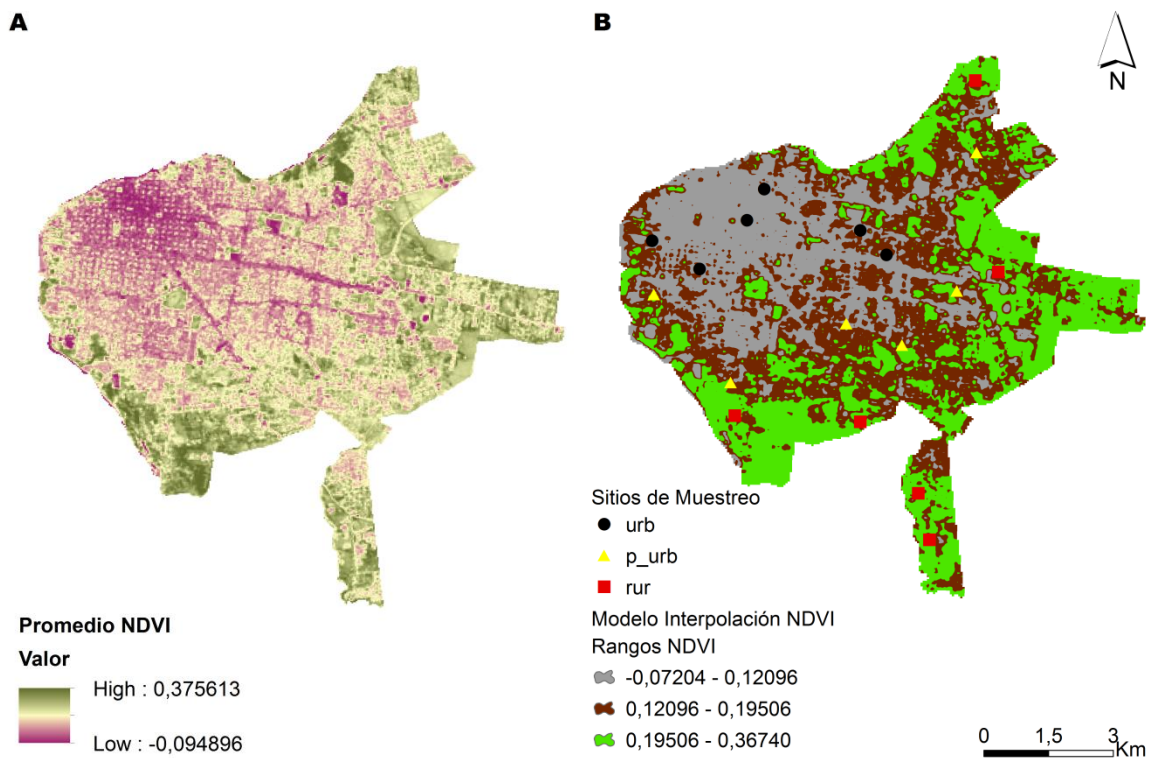


Figura 3.6. A) NDVI promedio anual resultante del procesamiento digital de cuatro imágenes LDCM 8 anteriores al inicio de los muestreos. **B)** Estratificación ambiental de la ciudad de Corrientes, según rangos de NDVI, mostrando los sitios de muestreo seleccionados para el seguimiento entomológico temporal y los estratos: centro urbano (en gris), periurbano (marrón), y periurbano ruralizado (verde).

Los valores promedio de NDVI, la LST y el NDWI confeccionados a partir de las 14 imágenes LDCM 8 para cada estrato ambiental se pueden observar en la figura 3.7 y se listan a continuación:

- Centro urbano: NDVI 0,09725 (DE=0,02664), LST 18,19°C (DE=0,26) NDWI 0,01207 (DE=0,01331).
- Periurbano: NDVI 0,15999 (DE=0,01991), LST 17,98°C (DE=0,51) y NDWI 0,04636 (DE=0,01316).
- Periurbano ruralizado: NDVI 0,20396 (DE=0,01590), LST 17,31°C (DE=0,11) y NDWI 0,07447 (DE=0,01568).

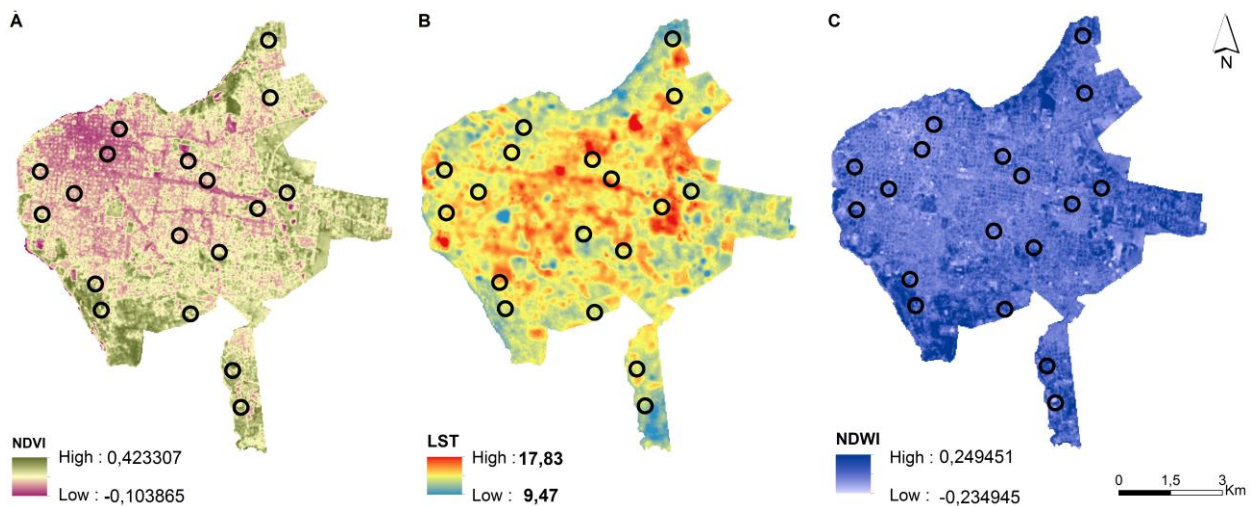


Figura 3.7. A)-B)-C) Mapas con el promedio de NDVI, LST (°C) y NDWI de la ciudad de Corrientes obtenidos de las 14 imágenes procesadas para cada muestreo entomológico. Las circunferencias negras representan las áreas *buffer* alrededor de los sitios de colecta entomológica, de las cuales se extrajeron las variables para asociar a la abundancia temporal de *Lu. longipalpis s.l.*

Para las clasificaciones supervisadas de donde se obtuvo el porcentaje de cobertura del área *buffer* de los sitios de muestreo, el método de toma de muestra pixel por pixel presentó el mejor ajuste. Se presentan los resultados de la validación de las clasificaciones cuantificando la exactitud en porcentaje de pixeles clasificados correctamente dentro de cada clase. Se obtuvieron además los coeficientes de precisión global y de Kappa (Tabla 3.IV).

Tabla 3.V. Promedios de precisión global, índices Kappa y Porcentaje de muestras correctamente clasificadas para cada una de las clases definidas: Ur_1 porcentaje de uso/cobertura del suelo urbano alto desarrollo en un área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo; Ur_2 porcentaje de uso/cobertura del suelo urbano bajo desarrollo en un área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo; Veg_1 Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación de densidad baja o dispersa en un área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo; Veg_2 Porcentaje de uso/cobertura del suelo con vegetación alta y densa en un área *buffer* de 200 metros de diámetro alrededor del sitio de muestreo. Datos extraídos de la matriz de confusión obtenida de las clasificaciones de las imágenes, por máxima verosimilitud, utilizadas para la extracción de variables para cada muestreo.

Imagen Muestreo	Precisión global	Kappa	Ur_1	Ur_2	Veg_1	Veg_2
Sep-14	98,2%	0,975	100	97,96	96,15	96,01
Nov-14	96,8%	0,960	98.03	100	95,74	100
Feb-15	97,8%	0,968	92.45	97,95	100	100
Mar-15	96,4%	0,955	95.92	95,91	94,23	97,95
May-15	94,8%	0,935	92.15	91,83	95,83	96,07
Jun-15	94,4%	0,930	85.45	89,58	100	98,03
Ago-15	97,2%	0,965	97.92	94,11	94,34	100
Sep-15	95,2%	0,941	94.11	92,45	95,91	96,03
Nov-15	97,2%	0,965	92.45	97,91	98,04	100
Feb-16	96,8%	0,960	96.07	90,56	100	100
Mar-16	96,2	0,959	98.03	94,11	95,74	96,07
May-16	94,0%	0,926	85.45	91,30	97,95	96,10
Jun-16	95,2%	0,941	89.28	100	92,59	100
Ago-16	97,6%	0,970	92,59	100	96,15	100

En cuanto a los promedios de porcentajes de cobertura del suelo del área *buffer* de los sitios de muestreo, que definen la caracterización ambiental utilizados como variables por estrato los resultados fueron los siguientes:

- Centro urbano: Ur_1 60,90 (DE=14,90), Ur_2 37,54 (DE=14,06), Veg_1 0,79 (DE=0,57) y Veg_2 0,77 (DE=0,67)
- Periurbano: Ur_1 24,15 (DE=11,21), Ur_2 59,25 (DE=9,43), Veg_1 4,62 (DE=3,10), Veg_2 11,96 (DE=5,66)
- Periurbano ruralizado: Ur_1 4,82 (DE=4,59), Ur_2 48,06 (DE=9,44), Veg_1 19,71 (DE=7,49) y Veg_2 27,36 (DE=9,71) (Fig. 3.8). En la tabla 3.III se presentan los resultados por sitio de muestreo entomológico.

Tabla 3.VI. Se presentan las características ambientales, definidas por las variables relevadas a través de imágenes satelitales. Promedios de las variables extraídas de las 14 imágenes satelitales (NDVI, LST, NDWI, usos/coberturas de suelo) por área *buffer* de cada uno de los sitios de muestreo, su estrato ambiental de pertenencia y las abundancias acumuladas de los 14 muestreos entomológicos de *Lu. longipalpis s.l.* y *Ny. neivai*.

Sitio	<i>Lu.</i>		NDVI	LST°C	NDWI	Ur_1	Ur_2	Veg_1	Veg_2
	<i>longipalpis s.l.</i>	<i>Ny. Neivai</i>							
Ur_1	10	0	0,07596	17,95	0,00908	73,89	24,98	0,81	0,25
Ur_2	323	1	0,1118	17,92	0,01816	50,62	46,54	1,03	1,79
Ur_3	14	3	0,05293	18,36	-0,0134	83,91	16,08	0	0
Ur_4	26	2	0,11002	17,94	0,02177	59,80	38,92	0,87	0,41
Ur_5*	62	0	0,12002	18,46	0,02080	49,74	47,32	1,65	1,29
Ur_6	16	1	0,11274	18,49	0,01613	47,46	51,41	0,31	0,82
Purb_1	126	181	0,16167	17,81	0,04583	20,01	59,91	6,61	13,42
Purb_2	12	58	0,16350	18,97	0,04746	27,54	50,58	3,93	17,96
Purb_3	150	2	0,17666	17,70	0,05480	9,56	77,49	1,93	11,03
Purb_4	34	2	0,17587	17,82	0,06001	19,80	56,79	9,18	14,23
Purb_5*	11	3	0,12207	17,55	0,02179	43,33	54,64	0,71	1,33
Purb_6*	290	48	0,16016	18,02	0,04827	24,71	56,12	5,37	13,81
rur_1	14	187	0,22273	17,34	0,09641	2,53	48,12	23,41	25,84

rur_2	232	16	0,20416	17,35	0,08377	7,19	53,39	17,13	22,12
rur_3*	222	1389	0,21419	17,16	0,08434	4,07	44,28	30,21	21,44
rur_4*	422	91	0,18977	17,47	0,06033	2,17	48,91	16,77	32,14
rur_5*	432	36	0,18074	17,22	0,06143	12,87	60,96	8,16	18,01
rur_6	62	245	0,21219	17,30	0,06053	0,11	32,71	22,55	44,58

*Sitio centinelas establecidos en el análisis de la distribución espacial de diciembre del 2013.

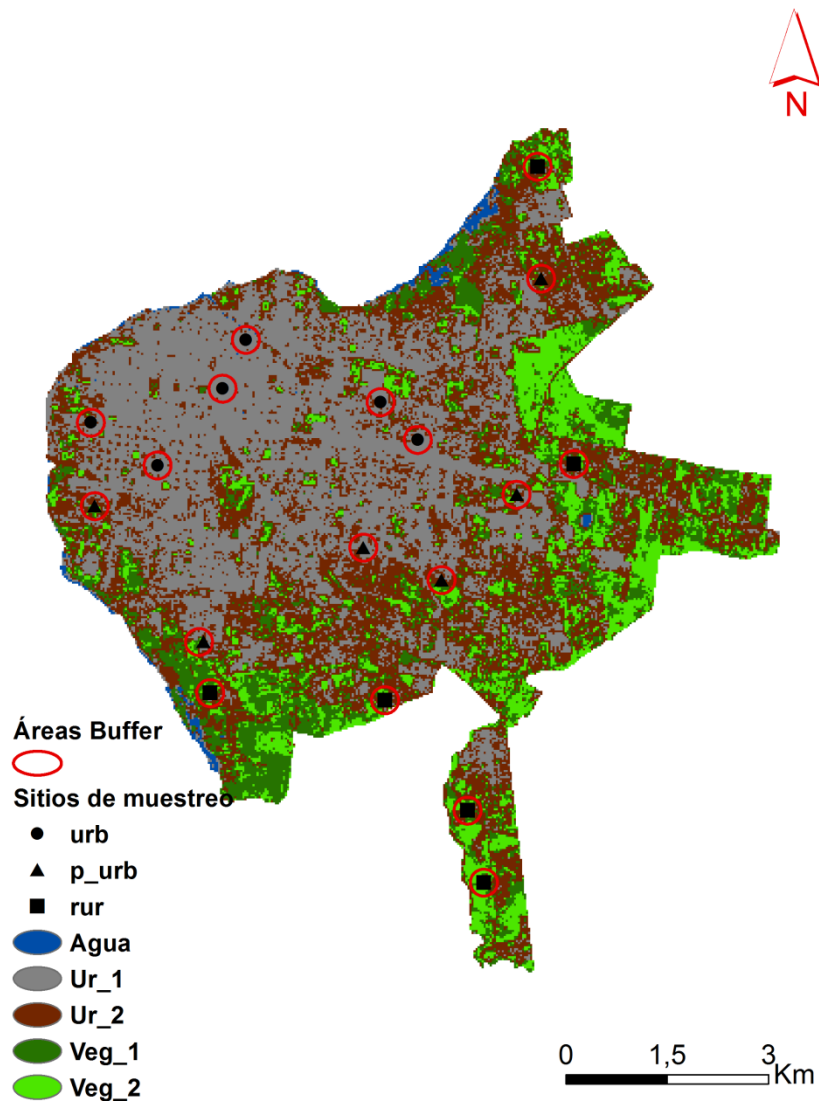


Figura 3.8. Imagen promedio de coberturas. Se observan los sitios de muestreo y las áreas buffer de los mismos (circunferencias rojas).

3.4.4 Modelos de la distribución temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*

La Figura 3.9 muestra los histogramas de las frecuencias de las abundancias de *Lu longipalpis s.l.* crudas y transformadas mediante cálculo logarítmico. El test de Shapiro-Wilcoxon para los datos crudos ($W=0.45082$, $p<0.01$) y transformados ($W=0.84268$, $p<0.01$) demostró que los datos no tienen una distribución normal (la hipótesis nula que prueba este test dice que la distribución de las frecuencias de los datos sería similar a una normal, y los resultados indicaron el rechazo de dicha hipótesis).

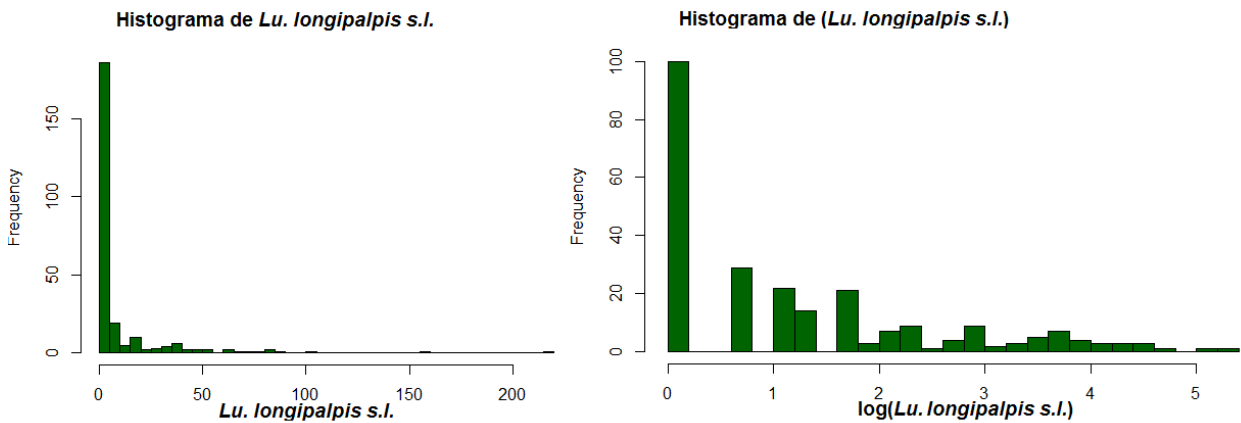


Figura 3.9. Histograma de abundancias de *Lu. longipalpis s.l.* que muestran una distribución diferente a la normal. Izquierda datos crudos, derecha datos transformados a través de la función logarítmica.

El análisis de los residuos, en función de los predichos resultantes de las regresiones lineales confeccionadas, demostró la existencia de un patrón definido, lo cual indica la falta de una distribución debida al azar de los residuos (Fig.3.10).

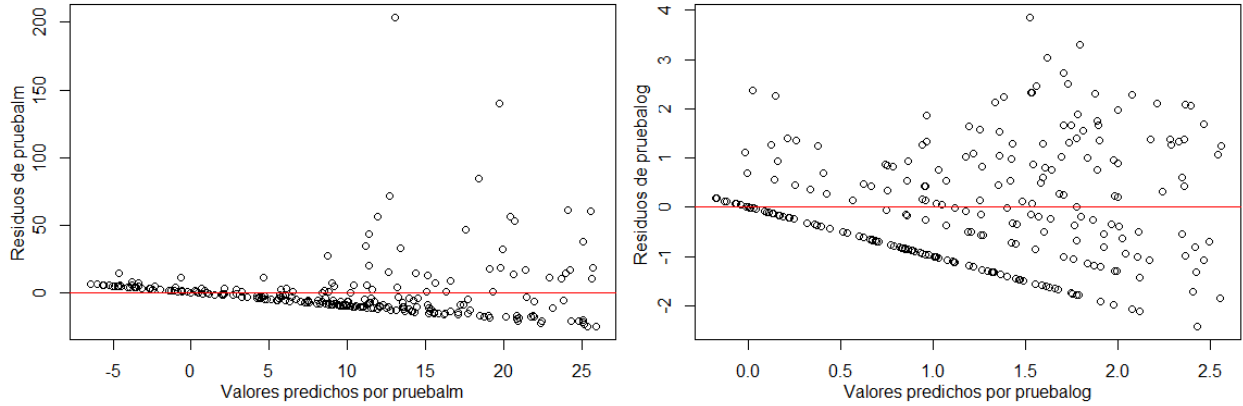


Figura 3.10. Gráficos de residuos en función de predichos de los modelos lineales generales de la abundancia de *Lu. longipalpis* s.l. en función de una variable independiente de prueba. Izquierda datos crudos, derecha datos transformados mediante función logarítmica.

La evaluación de los gráficos QQplot Normal (Fig. 3.11), donde la distribución de los residuos está en función de una distribución teórica normal arrojó que los residuos no siguen una distribución normal, ya que los mismos se alejan de la teórica.

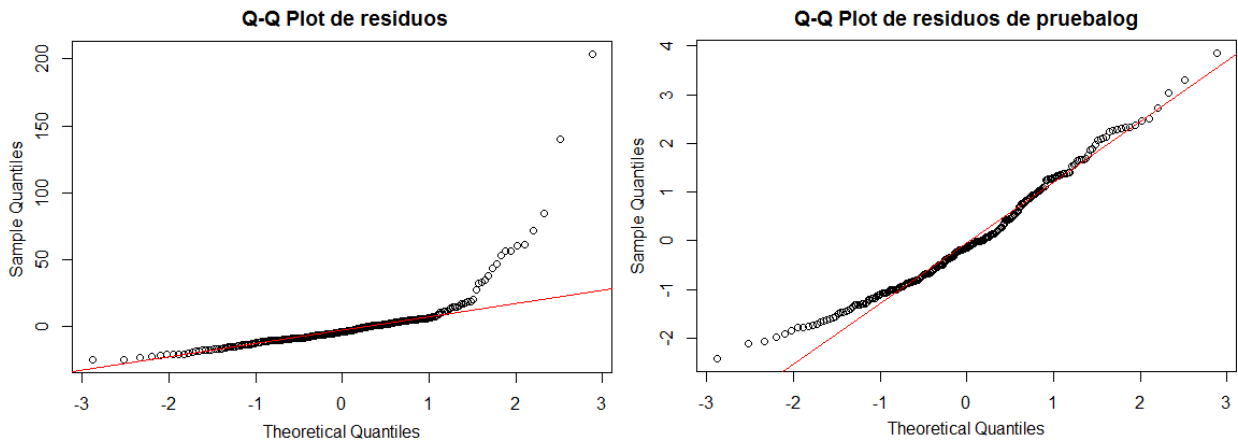


Figura 3.11. QQplot normal de la distribución de los residuos en función de una distribución teórica normal, la distribución de los residuos sigue un patrón definido.

Debido a la falta de distribución normal de los datos se estableció el desarrollo de los GLM. Las correlaciones entre las variables independientes numéricas para evaluar la colinealidad entre ellas se resumen en la tabla 3.VI y en la figura 3.12. Las

variables que demostraron un alto nivel de correlación y un p valor menor a 0,01 fueron excluidas del modelo.

El GLM de familia quasi-Poisson arrojó un parámetro de dispersión de 36,7 por lo que se definió modelar la sobredispersión mediante GLM con respuesta binomial negativa. Se realizó la simplificación paso a paso de los modelos eliminando de a una las variables de acuerdo al $\Delta AICc$ a partir de un modelo que contuvo las variables NDVI, LST, Ur_2, Veg_1, estación climática, estrato ambiental y las interacciones simples entre las mismas. Para la distribución de la abundancia espacio temporal de *Lu. longipalpis s.l.* el modelo de menor AICc fue el que está compuesto por: **estación+NDVI+estación:LST+estación:Veg_1** cuyo $\Delta AICc$ fue de 3,612 y que varió con respecto al AICc del modelo nulo en 86,685.

Tabla 3.VII. Grado de correlación de Pearson para las variables numéricas.

	tmax	tmin	precip	NDVI	LST	NDWI	Ur_1	Ur_2	Veg_1	Veg_2
Tmax*	1,000	0,937	0,757	0,558	0,805	0,353	-0,039	-0,037	-0,073	0,185
Tmin*	0,937	1,000	0,829	0,554	0,684	0,413	-0,106	0,066	-0,120	0,202
Precip*	0,757	0,829	1,000	0,455	0,652	0,318	-0,138	0,087	-0,089	0,207
NDVI	0,558	0,554	0,455	1,000	0,458	0,858	-0,669	0,191	0,369	0,657
LST	0,805	0,684	0,653	0,458	1,000	0,116	0,096	-0,119	-0,043	0,023
NDWI*	0,353	0,413	0,318	0,858	0,116	1,000	-0,703	0,244	0,452	0,578
Ur_1*	-0,039	-0,106	-0,138	-0,669	0,096	-0,703	1,000	-0,636	-0,456	-0,579
Ur_2	-0,038	0,066	0,087	0,191	-0,119	0,244	-0,636	1,000	-0,151	-0,085
Veg_1	-0,073	-0,120	-0,089	0,369	-0,043	0,452	-0,456	-0,151	1,000	0,217
Veg_2*	0,185	0,202	0,207	0,657	0,023	0,578	-0,579	-0,085	0,217	1,000

*variables que por su alta correlación no se retuvieron en el modelo.

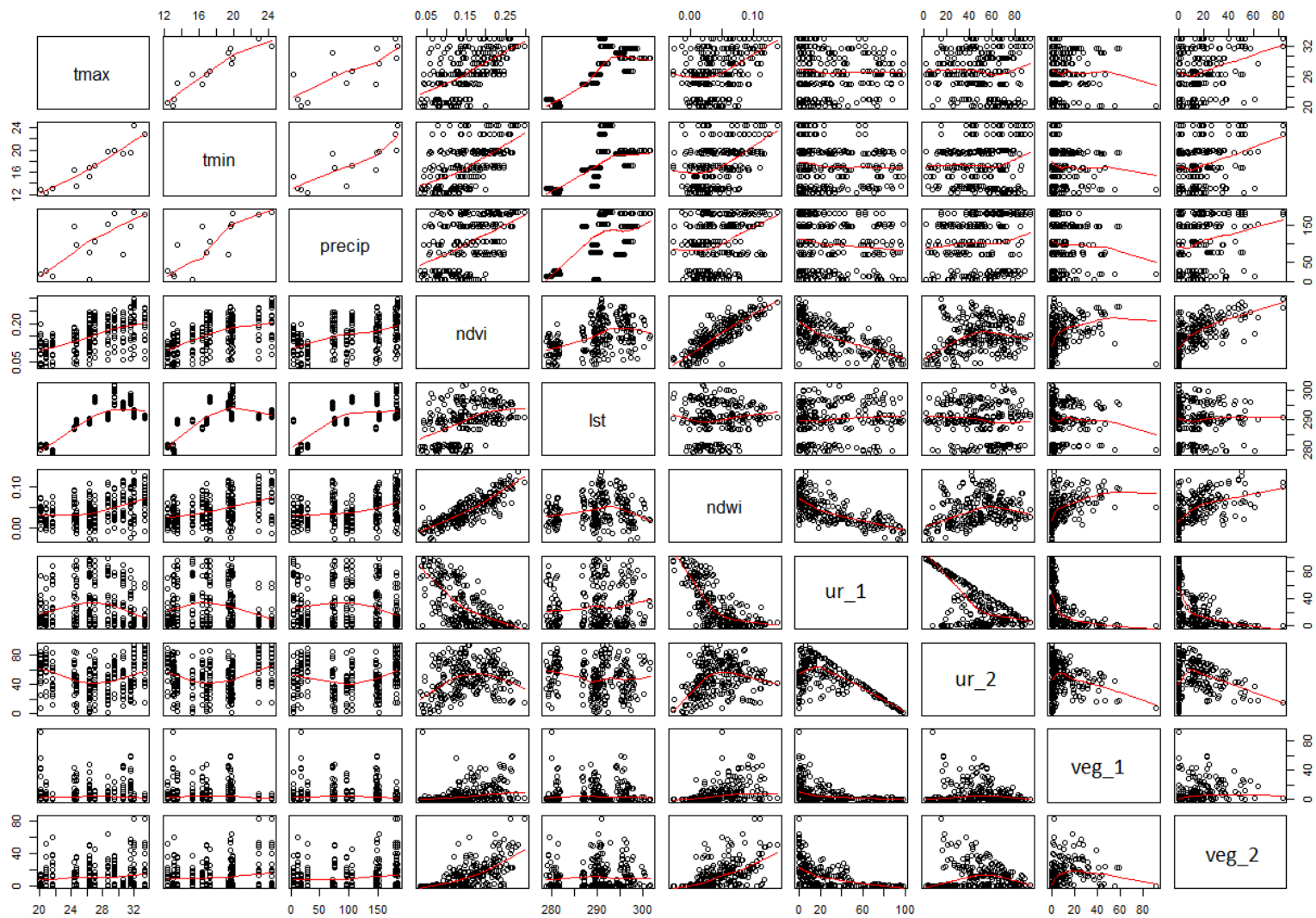


Figura 3.12. Gráficos que muestran el nivel de colinealidad entre las variables numéricas que se incluyeron en el estudio.

En los análisis *a posteriori* que consistieron en la realización de la prueba de contrastes de Tukey para evaluar las diferencias entre las distintas estaciones climáticas, se encontró una diferencia significativa en el efecto entre el verano y el resto de las estaciones en la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* (tabla.3.VII).

Tabla 3.VIII. Diferencias entre las distintas estaciones climáticas que muestran la significancia del verano en la distribución temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*

Estación	Estimador	EE	Z-valor	Pr (> z)
Primavera-otoño	27,814	20,165	1,379	0,47246
Verano-otoño	461,237	128,703	3,584	0,00166*
Invierno-otoño	7,191	19,696	0,365	0,98071
Verano-primavera	433,424	128,705	3,368	0,00307*
Invierno-primavera	-20,623	22,141	-0,931	0,76211
Invierno-verano	-454,047	128,345	-3,538	0,00177*

Las variables que mejor explican la distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* fueron: la estación climática verano, el NDVI, la interacción verano:LST y la interacción invierno:Veg_1 (tabla 3.VIII). En la figura 3.13 se presentan los modelos de probabilidad de abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* teniendo en cuenta estas variables.

Tabla 3.IX. Variables del Modelo Lineal Generalizado binomial negativo que explicaron la distribución espaciotemporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*: Estimadores, error estandar (EE) e intervalos de confianza (IC) con *bootstrap* de 1000 iteraciones con un 95% de confianza.

	Estimador	EE	IC Limite inferior	IC Limite superior
Intercepto	-21,37047	12,793083	-46,53	0,74
Primavera	27,81093	19,845902	-10,15	66,95
Verano*	461,23687	174,796145	132,4	861,3

Invierno	7,18829	23,228961	-38,539	51,218
NDVI*	13,10252	3,687019	3,86	19,44
Otoño:LST	0,073766	0,045509	-0,0045	0,1648
Primavera:LST	-0,01928	0,057288	-0,1209	0,1078
Verano:LST*	-1,50974	0,597348	-2,780	-0,357
Invierno:LST	0,046635	0,064660	-0,0755	0,1865
Otoño:Veg_1	-0,00540	0,015057	-0,0369	0,0195
Primavera:Veg_1	-0,02551	0,017588	-0,0701	0,0038
Verano:Veg_1	-0,22249	0,292186	-0,5913	0,1117
Invierno:Veg_1*	-0,18196	0,059350	-0,3180	-0,0891

*Variables significativas para la distribución temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.*

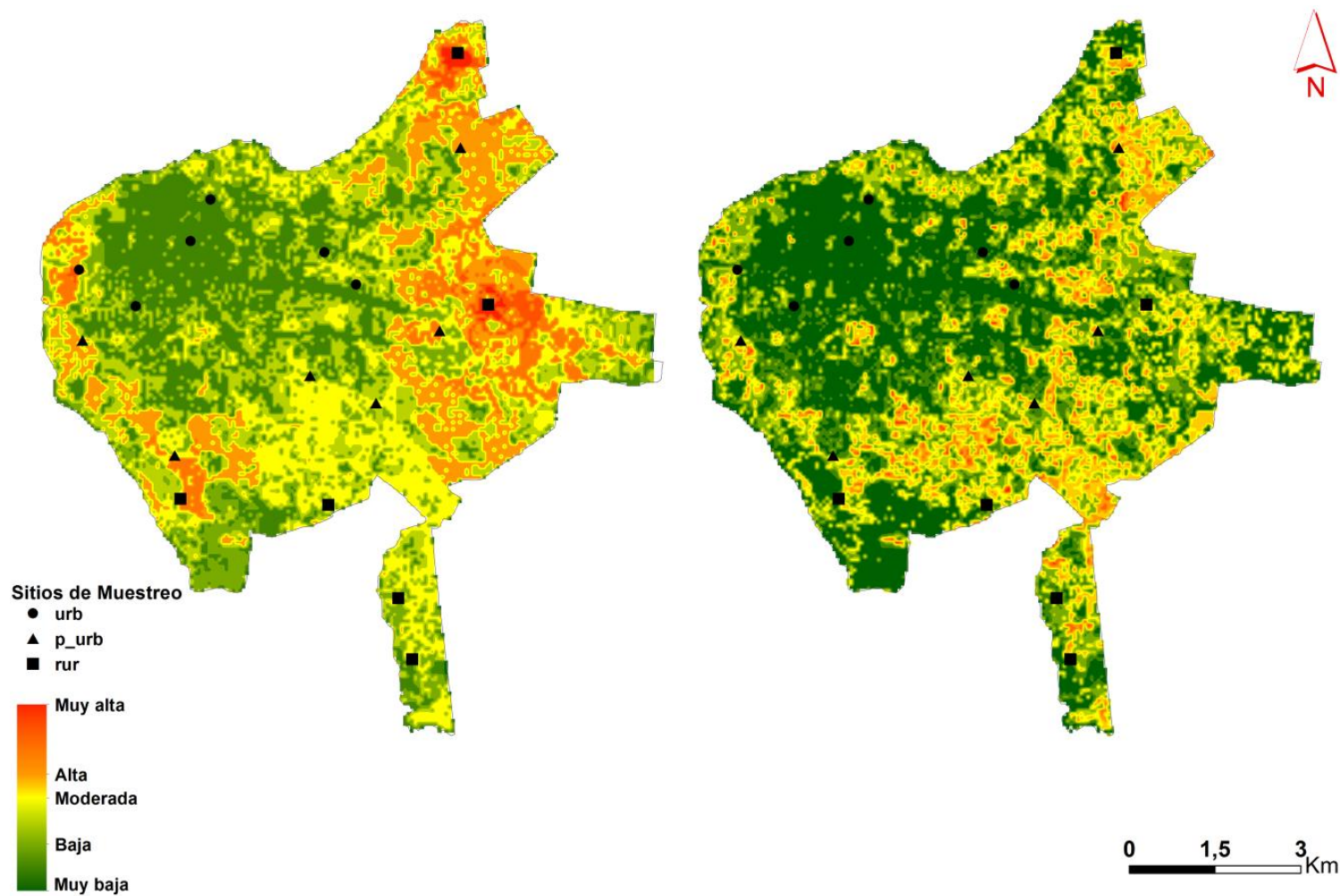


Figura 3.13. Mapas de probabilidad de la abundancia, por el método de ponderación superpuesta, teniendo en cuenta las variables que se asociaron a la abundancia de *Lu. longipalpis* s.l. A) Modelo que contiene los datos entomológicos y las variables NDVI, LST y Veg_1 durante los meses de verano. B) Modelo resultante sin incluir datos entomológicos.

3.5 Discusión y conclusiones.

En este capítulo se analizó la distribución espacio temporal de *Lu. longipalpis s.l.* a través de 14 muestreos en 18 peridomicilios de la ciudad de Corrientes. El vector de *Le. infantum* fue colectado al menos una vez en todos los sitios seleccionados, y a lo largo de todos los muestreos aún en estaciones desfavorables como el invierno. La presencia del vector durante esta época sugiere que, ante eventos inusuales de calor extendidos en el tiempo que permitan completar el ciclo parasitario extrínseco, puede existir riesgo de transmisión de *Le. infantum*, ya que existen estudios que indican que fenómenos climáticos localizados han favorecido la actividad de flebótomos y el consecuente riesgo de transmisión de parásitos (Salomón *et al.* 2001b, Salomón *et al.* 2008c, Salomón *et al.* 2012b).

La distribución de *Lu. longipalpis s.l.* se manifestó a través de focos, que en el estrato ambiental de periurbano ruralizado, tuvieron mayor constancia y abundancia a lo largo del tiempo. En contraste los focos de alta abundancia que se manifestaron en el estrato periurbano y en el centro urbano se mostraron con mayor dinamismo, con menor abundancia de especímenes colectados y con variabilidad en cuanto a su ubicación con respecto al tiempo.

Esta distribución con disminución gradual de la abundancia hacia el centro de la ciudad, podría sugerir que la dinámica poblacional de *Lu. longipalpis s.l.* responde a una estructura meta-poblacional, esto es coherente con los resultados presentados en el capítulo II y con la descripción de otras ciudades de Argentina (Salomón *et al.* 2009c; Fernández *et al.* 2010; Fernández *et al.* 2013; Santini *et al.* 2015; Santini *et al.* 2017). Así, el estrato periurbano ruralizado podrían estar actuando como sitios con poblaciones fuente, como se observa en la figura 3.4, capaces de colonizar otras áreas de distribución. Las poblaciones presentes en los estratos periurbano y centro urbano podrían actuar como poblaciones sumidero, y sólo presentan riesgo de transmisión estacional en años favorables para el incremento poblacional del vector. La determinación de esta estructura y la localización de poblaciones fuente tiene

relevancia en cuanto al control vectorial, ya que la intervención antivectorial en estos "puntos calientes" demostraría eficacia en la disminución de la transmisión de *Le. infantum*, entre otros patógenos, considerando los puntos calientes equivalentes a los *core-transmitters* de la teoría 80-20 (Woolhouse *et al.* 1997). El gradiente de disminución de la abundancia, y de la diversidad de especies de la comunidad de Phlebotominae, desde el estrato periurbano ruralizado hacia el centro demográfico, concuerda con lo registrado por otros autores (Andrade-Filho *et al.* 2001; Feliciangeli *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2011). Podría pensarse que relaciones inter-específicas existentes en este estrato regulan la dominancia de *Lu. longipalpis s.l.* y favorecen su dispersión hacia ambientes con mayor grado de intervención antrópica donde estas relaciones no existen, esto puede deberse a que las otras especies de Phlebotominae aquí descritas no han mostrado aptitud para colonizar estos ambientes. En cambio *Lu. longipalpis s.l.* puede haber desarrollado la capacidad de utilizar recursos que cambian rápidamente sin restringir el uso de un entorno ambiental concreto. Así la aptitud ecológica de esta especie pudo haber jugado un papel central en la urbanización de la LV registrada hacia finales del siglo pasado, con la expansión de la frontera urbana, y los cambios climáticos responsables de los aumentos de temperatura y humedad. Perturbaciones ecológicas, han sido asociados con cambios ambientales que condujeron a la aparición de enfermedades infecciosas emergentes a través de la aptitud ecológica del complejo hospedador-parásito que le permiten explotar ambientes donde antes se encontraban ausentes. (Brooks y Hoberg 2006; Hoberg y Brooks 2010).

La ocurrencia de *Lu. longipalpis s.l.* a meso-escala (ciudad) fue alta, con 60,31% de muestras positivas sobre el total de muestras obtenidas. Es importante destacar que en el estrato periurbano ruralizado *Lu. longipalpis s.l.* registró su menor abundancia relativa (36,82%), pero el mayor índice de capturas con el 69,04%. Este estrato fue el que registró mayor abundancia, lo cual podría relacionarse a que estos ámbitos se caracterizaron por presentar una alta heterogeneidad ambiental, presencia de animales de corral, deficiencia en la infraestructura pública de saneamiento y mayor desarrollo de vegetación respecto a los otros ambientes relevados, factores que han sido descritos propicios para la cría del vector (Laison y Rangel 2005, Alves *et al.* 2012,

Queiroz *et al.* 2012, Costa *et al.* 2013). En los ámbitos de mayor desarrollo de infraestructura edilicia hay una clara dominancia de *Lu. longipalpis s.l.*, con el 64,03% de la abundancia relativa en el estrato periurbano y el 98,47% en el centro urbano. El índice de ocurrencia registrado en estos ambientes fue de 58,33 y 53,57% de las colectas positivas, respectivamente. La prevalencia y ocurrencia en estos estratos son similares a los descritos en otras ciudades, al igual que la predominancia de *Lu. longipalpis s.l.* sobre otras especies de Phlebotominae (Fernández *et al.* 2013; Gomez Bravo *et al.* 2013; Santini *et al.* 2015; Gomez Bravo *et al.* 2017). El alto índice de ocurrencia, sumado a factores ambientales que benefician su reproducción y la presencia de caninos con LV que actúan como reservorios de *Le. infantum*, aumentan la probabilidad de riesgo de transmisión a la población humana.

En relación a los modelos estadísticos, variables derivadas del procesamiento digital de imágenes satelitales, como el NDVI, la LST y el porcentaje de cobertura de vegetación dispersa y de baja densidad en el área *buffer* alrededor de los sitios de muestreo, mostraron correlación estadística con la distribución de la abundancia. Las variables LST y Veg_1 resultaron significativas, en interacción con la estación climática, y la LST con el verano, cuándo esta registro sus máximos valores de temperatura, y la variable Veg_1 resulto significativa en su interacción con el invierno. Así, los valores de estas dos variables fueron tan diferentes en relación a las distintas estaciones que solo tuvieron un nivel significativo de asociación con la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* durante el verano y el invierno respectivamente. Esto demuestra que las variables críticas principales que se asocian con la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* pueden variar entre estaciones, lo que sugeriría el desarrollo de modelos estacionales. El desarrollo de estos requeriría un mayor volumen de datos entomológicos por estación climática. Cuando se relacionó la abundancia a las variables individuales se demostró que la acumulación durante 30 días de: más de 65 milímetros de precipitación, temperaturas máximas promedio mayor a 24°C y temperaturas mínimas promedio mayores a 16°C tienen una influencia positiva en el tamaño poblacional de *Lu. longipalpis s.l.* En cuanto al NDVI y la LST la abundancia demostró asociación positiva cuando las áreas *buffer* a los sitios de colecta se encontraron con valores de entre 0,16

y 0,26, y entre 16°C y 27°C respectivamente (Fig. 3.5).

En cuanto a la caracterización del macro-hábitat los sitios que mostraron mayor abundancia se asociaron a una alta heterogeneidad ambiental definida a partir de los porcentajes de usos/coberturas de suelo en las áreas *buffer* y con valores de NDVI en la época más favorable (verano) que oscilaron entre 0,16 y 0,26. La ocurrencia del vector de *Le. infantum* se asocio a valores promedio anual que oscilaron entre 0,11 y 0,21. En cuanto a la LST estuvo relacionada a valores promedio anual de las áreas *buffer* a los sitios de colecta entomológica de entre 17,16°C y 18,97°C, y para el verano entre 19,19°C y 20,39°C. Los valores extremos de NDVI y LST, registrados para la ciudad de Corrientes, fueron inversos a los valores registrados para la colecta entomológica. Estos datos son de especial interés ya que permiten realizar previsiones para el desarrollo de futuros trabajos de prevención y control del vector transmisor del agente etiológico de la LV con datos ambientales obtenidos remotamente de manera de utilizarlos en la estratificación de riesgo. Estos estudios deben ser complementados con estudios segmentados de manera espacial y temporal con mayor volumen de datos entomológicos por estación climática.

Fernández *et al.* (2013) han registrado que cuando las variables se establecen a nivel de macro-hábitat, la asociación positiva con la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* es por fuera del centro demográfico urbano. Estos últimos datos son coherentes con los resultados presentados en este capítulo, con los establecidos en el estudio transversal en diciembre de 2013 en Corrientes y con la exhaustiva revisión llevada a cabo por Salomón *et al.* (2015), permitiéndonos inferir que para explicar la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* se encuentra un mayor ajuste cuando se incluyen en el análisis las variables provenientes de la escala de macro-hábitat y micro-hábitat que se relacionan con la biología y ecología del vector.

Estos datos concuerdan con la necesidad que tiene *Lu. longipalpis s.l.* de ambientes con temperatura, humedad, disponibilidad de materia orgánica y sombra particulares para la cría de sus estadios inmaduros (Feliciangeli 2004). La gran

disponibilidad de imágenes satelitales, sumado a la facilidad de la obtención de índices y porcentajes de coberturas derivados del procesamiento digital de las mismas, y su integración en SIG, hacen de estas variables un recurso óptimo a la hora del desarrollo de productos cartográficos para evaluar espacio-temporalmente la eco-epidemiología de la LV y de otras enfermedades de transmisión vectorial (Fig. 3.13) (Kelly *et al.* 2011; Roy *et al.* 2016). En cuanto a los factores temporales, se estableció que la correlación de datos provenientes de toma de muestras realizadas durante el verano tuvieron mayor valor de significancia para explicar la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* Del análisis de los mismos se concluye que los meses del verano son los más favorables en relación con la abundancia poblacional del vector. El aumento de la abundancia durante mediados de la primavera, el verano y su persistencia hasta los inicios del otoño, nos indica que es el momento de mayor riesgo para la transmisión del agente causal de la LV. De esta manera podría establecerse que el potencial reproductivo de la especie se encuentra en la primavera y que hacia finales del verano comienzo del otoño es probable encontrar la mayor cantidad de hembras grávidas, con lo cual podría ser el mejor momento para la aplicación de medidas de control para la población del vector. Esta distribución temporal de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* también ha sido registrado en otras ciudades (Gomez Bravo *et al.* 2017; de Oliveira *et al.* 2000; de Oliveira *et al.* 2003).

El análisis de la variación interanual de las variables numéricas que se asociaron a la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* no mostraron diferencias significativas. Estos datos no permiten relacionar la variación interanual de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* a la diferencia interanual de dichas variables. Esta diferencia en la abundancia pudo deberse a las tareas de control vectorial llevadas a cabo por la dirección de zoonosis y control de vectores del municipio de Corrientes (Dirección de Zoonosis Municipalidad de Corrientes, comunicación personal), durante el brote de dengue de mayor incidencia registrado en nuestro país en el verano 2015-2016 (Boletín Integrado de Epidemiología, Dirección de Vigilancia Epidemiológica Nacional). El rociado interior residual con piretroides ha sido reportada como método efectivo de eliminación de *Lu. longipalpis s.l.* (OMS 2010; MS/SVS/DVE 2014). Santini *et al.* (2010) en Posadas, provincia de Misiones, registraron el efecto inmediato de la aplicación con piretroides con una

reducción significativa en la abundancia de *Lu. longipalpis* s.l. en los primeros 7 días desde el rociado, y según los ambientes, dinámica poblacional local, métodos y formulaciones de aplicación y evaluación de impacto sus efectos residuales han sido corroborados luego de los 2-4 meses de aplicación (Barata *et al.* 2011) y hasta 9-12 meses después (Falcao *et al.* 1991; Lainson y Rangel 2005). De esta manera las tareas de control de *Aedes aegypti*, podrían haber afectado a la población del vector del agente causal de la LV. Sin embargo, otros factores como los climáticos a escala regional, que no se tuvieron en cuenta para este estudio, también podrían explicar la variación de la abundancia interanual.

El seguimiento de los sitios centinela que se habían establecido en el estudio de la distribución espacial desarrollado en diciembre de 2013, demostró que la selección de los mismos, a partir del NDVI, la presencia de animales de corral y de *Lu. longipalpis* s.l. resultaron como un buen indicador de la dinámica poblacional ya que los datos entomológicos provenientes de esos sitios resultaron ser un buen indicador de los provenientes a nivel de meso-escala. Sin embargo estos resultados deberían ser validados con series temporales entomológicas de otras ciudades con presencia del vector de *Le. infantum*.

En conclusión, este estudio permitió la identificación de variables a tener en cuenta para el seguimiento entomológico de manera de efectivizar recursos. Además, la identificación temporal del pico de abundancia contribuye a diseñar estrategias de vigilancia sanitaria y control vectorial de manera de buscar la mejor relación costo-beneficio. El desarrollo de modelos de distribución espacio temporales y la identificación de los factores determinantes que pueden establecer la caracterización ambiental del macro-hábitat de *Lu. longipalpis* s.l., son de utilidad en la identificación de dónde y cuándo aplicar medidas para el control vectorial. Los productos cartográficos son una herramienta importante a la hora de instrumentar estas medidas de mitigación, teniendo en cuenta la estructura meta-poblacional de *Lu. longipalpis* s.l., ya que un control efectivo en ambientes y épocas que implique mayor impacto en la reproducción del vector resultarán en medidas preventivas que reducen la densidad poblacional y por

consiguiente el riesgo de la transmisión de la LV optimizando recursos. Sin embargo, es necesario la actualización y validación de estas herramientas, además de contar con datos entomológicos antes y después de las intervenciones para establecer el impacto y costos de las mismas.

Capítulo IV

Discusión, conclusiones generales y proyecciones a futuro

Hacia finales del siglo pasado ha ocurrido un marcado ascenso de la urbanización de la LV, lo cual trajo como consecuencias un aumento en la incidencia y una rápida expansión de la enfermedad con aparición de nuevos focos endémicos donde antes no existían (Desjeux 2001; Salomón *et al.* 2015). La urbanización de la LV ha sido un factor eco-epidemiológico determinante para la incorporación de nuevos enfoques para el estudio de esta patología. En el cono sur de América esta urbanización y expansión se evidenció primero en Brasil donde, la enfermedad en ámbitos urbanos se extendió desde el norte al sudeste en 12 años (Arias *et al.* 1996; MS/SVS/DVE 2014). En Paraguay a partir del primer registro de LV humana en el año 2003, la incidencia de la LV tuvo un marcado aumento de casos humanos en solo 10 años (Canese 2003; Canese 2013). En el año 2004 Salomón y Orellano (2005) registraron por primera vez en Argentina la presencia de *Lu. longipalpis s.l.* asociada a un ámbito urbano en la ciudad de Clorinda, provincia de Formosa. Hacia 2006 se registró el primer caso humano con transmisión autóctona de LV urbana en la ciudad de Posadas, provincia de Misiones (Salomón *et al.* 2008a). Hasta el año 2013, cuando se comenzó el presente trabajo se habían registrado 103 casos (Gould *et al.* 2013), actualmente, hasta la vigésima semana epidemiológica del 2017, se han contabilizado 155 casos humanos con transmisión autóctona (Boletín epidemiológico). Teniendo en cuenta estos precedentes, el presente trabajo fue llevado a cabo en la ciudad de Corrientes, donde el vector de la LV tiene un establecimiento reciente, con el objeto de incorporar nuevos enfoques y herramientas provenientes de las tecnologías geoespaciales para el conocimiento del comportamiento de *Lu. longipalpis s.l.*

Hasta el desarrollo del presente trabajo no se conocía la distribución espacio temporal del vector de *Le. infantum* en Corrientes, la cual es un factor imprescindible para comprender la eco-epidemiología de la LV, ya que la misma responde tanto a factores regionales como locales. Para ello, el enfoque de la investigación estuvo

centrado en la escala espacial que comprende el micro y macro-hábitat de *Lu. longipalpis s.l.*

En una primera instancia se asoció la distribución espacial de *Lu. longipalpis s.l.* a variables derivadas del procesamiento de insumos provenientes de SR y de variables obtenidas a campo a través del desarrollo de un muestreo entomológico transversal en el espacio. La integración de las mismas a un SIG permitió la generación de cartografía para conocer la distribución espacial del vector y para identificar sitios favorables para la cría del mismo a ser monitoreados en el tiempo, de manera de utilizarlos para la caracterización y ubicación de las poblaciones fuente de *Lu. longipalpis s.l.* en la ciudad de Corrientes. De esta manera se realizó un seguimiento temporal sobre sitios centinela de vigilancia entomológica que demostraron ser buenos indicadores de la dinámica poblacional del vector del agente causal de la LV. Además se constató que la abundancia del vector de *Le. infantum* se asocia a variables de micro y macro-hábitat. El modelo presentado en el capítulo II respecto a la distribución espacial de *Lu. longipalpis s.l.* sugiere que su distribución está asociada a los sitios de transición existentes en los márgenes de la ciudad, con valores de NDVI medios y presencia de animales de corral. La distribución mostró un patrón heterogéneo, con "sitios calientes" dispersos entre sitios con baja o nula abundancia. En cuanto a la ocurrencia la misma fue registrada en todos los estratos ambientales muestreados. Este patrón fue similar al descrito por Fernández *et al.* (2013), pero se diferencia en que los focos de alta abundancia en Corrientes estuvieron asociados a un menor grado de intervención antrópica situados en los márgenes de la ciudad.

En una segunda etapa se procedió al desarrollo del análisis de la dinámica temporal de *Lu. longipalpis s.l.* con el objeto de conocer su variación y a qué variables se asociaba la misma. Este procedimiento permitió establecer la época y el ambiente de más favorables para la ocurrencia y la abundancia tomando como variables independientes las derivadas del procesamiento digital de imágenes satelitales multitemporales a nivel de macro-hábitat. De esta manera se obtuvieron productos cartográficos a través del tiempo que registraron la variación de la abundancia de *Lu.*

longipalpis s.l. Así se pudo establecer que la época más favorable según los factores que inciden en el incremento poblacional, se encuentra comprendida entre mediados de la primavera y los inicios del otoño. A su vez se obtuvieron productos cartográficos, que integraron las variables que se asociaron a la distribución espacio-temporal de *Lu. longipalpis* s.l., y que permitieron ubicar las áreas más favorables para el vector.

La identificación de la época más favorable permite establecer cuando es el momento de mayor riesgo de contagio de la LV, así como los periodos de mayor valor reproductivo, que es cuándo debería realizarse el control anti vectorial para la optimización de recursos. Por otro lado dirige la atención al desarrollo de modelos cartográficos con integración de variables que permitan la caracterización del macrohábitat para el reconocimiento de los sitios donde realizar el seguimiento de las actividades de intervención. Estas herramientas tienen un gran potencial de desarrollo, y la disponibilidad de imágenes que pueden ser procesadas e integradas en software gratuitos permite que sean asequibles para los efectores municipales a la hora de la toma de decisiones, y de la confección de bases de datos que facilitan y brindan operatividad a las labores de control epidemiológicas. En este sentido, la información generada a partir de múltiples orígenes se integró y combinó en un SIG para realizar análisis y manipulación de datos georreferenciados originando la posibilidad de su incorporación en la planificación y la toma de decisiones.

La presunción de que la colonización de ámbitos urbanos por parte de *Lu. longipalpis* s.l. se debió a la expansión de la frontera urbana, sobre áreas que antes tenían otro uso/cobertura, de manera desordenada con déficits sanitarios, propiciando la heterogeneidad del paisaje ha sido registrada en diversos trabajos, así como la asociación de su ocurrencia a la presencia de animales domésticos (Werneck 2008; Alves *et al.* 2012; Queiroz *et al.* 2012 Santini *et al.* 2012; Salomón *et al.* 2015). Este enfoque permite originar la hipótesis de que *Lu. longipalpis* s.l. tiene la aptitud ecológica para prevalecer sobre las perturbaciones que modificaron el ambiente, lo cual resultó en la urbanización de la LV en América, debido a la capacidad del complejo vector-parásito de adecuarse al contexto urbano. En este nuevo escenario de transmisión de

la LV, el perro doméstico resultó un excelente reservorio para *Le. infantum*. Así la LV en Argentina paso de unos pocos casos esporádicos en el contexto rural a presentarse de manera endémica en escenarios urbanos.

Tanto en el análisis transversal como en el longitudinal se estableció que la comunidad de Phlebotominae en la ciudad de Corrientes se encuentra dominada por *Lu. longipalpis s.l.* Sin embargo, cuando se observó por estrato se advirtió que en el periurbano ruralizado *Ny. neivai* es la especie dominante. A medida que aumenta el grado de antropización la dominancia fue ejercida casi exclusivamente por *Lu. longipalpis s.l.* presentando una abundancia relativa del 98,47% por sobre las otras especies de Phlebotominae presentes en el centro demográfico de la ciudad. No obstante este estrato también fue el que registró menor índice de ocurrencias y abundancias. Esto es un aporte que hasta el momento no estaba registrado para Argentina, es decir si bien *Lu. longipalpis s.l.* es una especie que ha sido notificada como adaptada a los ámbitos de mayor grado de antropización, en las urbes el ambiente más favorable sería el que muestra mayor heterogeneidad ambiental. Esta puede ser definida a través de las variables registradas en el presente trabajo, como ser los porcentajes de uso/cobertura de suelo, la LST, el NDVI y el NDWI. Teniendo en cuenta estas variables en el periurbano ruralizado se registraron los ambientes que se ajustaron a la definición de heterogeneidad ambiental, además allí los animales de corral constituyen una oferta constante de ingesta sanguínea, la materia orgánica abunda favoreciendo el desarrollo de estadios inmaduros y la presencia de vegetación actúa regulando los cambios bruscos de temperatura y humedad. De esta manera esta tesis establece las bases de variables a tener en cuenta para la identificación de sectores dentro de las urbes, con mayor probabilidad de presentar altas abundancias de *Lu. longipalpis s.l.* De manera remota, se podrá establecer así una estratificación de riesgo, y permitir la asignación de prioridades a las labores preventivas y de control vectorial.

Los análisis espacio-temporales que permitieron el desarrollo de modelos de distribución de la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* son necesarios ya que

establecerían dónde y cuándo actuar preventivamente. Así, se presentaron modelos de favorabilidad ambiental a micro-escala que cuentan con la ventaja de establecer la distribución a un gran nivel de detalle. Estos estudios complementados con otros de escala local desarrollados en otras ciudades del país (Fernández *et al.* 2013; Santini *et al.* 2015; Gomez Bravo *et al.* 2017) y los realizados a escala regional son una herramienta valiosa para la prevención de enfermedades infecciosas como la LV. Por otro lado el desarrollo de modelos basados en la vigilancia vectorial activa, y su asociación a variables relevadas a través de SR, e integrados en un SIG, permitiría tomar las acciones de control aún antes de la ocurrencia de eventos epidémicos.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo se sugiere el desarrollo de monitoreos urbanos de manera de establecer una caracterización general del micro y macro-hábitat de *Lu. longipalpis s.l.* utilizando información ambiental derivada de imágenes satelitales como insumo para la vigilancia entomológica. La posibilidad de estratificar ambientalmente las urbes a través de la utilización de productos derivados de los SR, como la utilizada en el capítulo III, es una ventaja operativa que debe ser validada, y que permite la optimización de recursos que pueden ser dirigidos de manera más efectiva al control vectorial.

El hecho de que cada escenario eco-epidemiológico tiene sus particularidades, refuerza la idea de la validación de las herramientas generadas en el presente trabajo. En el futuro se espera continuar con la línea presentada en esta tesis, estudiando la distribución y la abundancia de *Lu. longipalpis s.l.* y sus variaciones espacio-temporales en otras ciudades. En concreto se proyecta la validación de los resultados obtenidos, de manera de continuar registrando las variables derivadas de SR asociadas con la dinámica espacio-temporal de la población de *Lu. longipalpis s.l.* a escala de foco urbano. Se desarrollarán así nuevos enfoques para la optimización de modelos predictivos para poder anticipar la ocurrencia y la abundancia del vector de *Le. infantum*, aportando a la construcción de sistemas de alerta temprana para especies de interés sanitario. Se estima que las variables y las herramientas utilizadas en este trabajo podrían significar un aporte a la sinergia entre la comunidad científica y los

efectores de la salud. Es importante destacar que el perfeccionamiento de estos modelos predictivos requiere de series temporales de datos epidemiológicos y entomológicos, así como su incorporación a plataformas SIG de manera de poder analizarlos de manera integral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acardi SA, Liotta DJ, Santini MS, Romagosa CM, Salomón OD (2010) Detection of *Leishmania infantum* in naturally infected *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) and *Canis familiaris* in Misiones, Argentina: the first report of a PCR-RFLP and sequencing-based confirmation assay. Mem Inst Oswaldo Cruz 105: 796–799.
- Alexander B, de Carvalho RL, McCallum H, Pereira MH (2002) Role of the domestic chicken (*Gallus gallus*) in the epidemiology of urban visceral leishmaniasis in Brazil. Emerg Infect Dis. 8:1480–1485.
- Alvar J, Vélez ID, Bern C, Herrero M, Desjeux P, Cano J, Jannin J, den Boer M; WHO Leishmaniasis Control Team (2012) Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. PLoS One; 7(5):e35671.
- Alves GB, Oshiro ET, Leite MC, Melão AV, Ribeiro LM, Mateus NL, Brazil RP, Andrade Filho JD, de Oliveira AG (2012) Phlebotominae sandflies fauna (Diptera: Psychodidae) at rural settlements in the municipality of Cáceres, state of Mato Grosso, Brazil. Rev Soc Bras Med Trop 45: 437-443.
- Andrade-Filho JD, Valente MB, Andrade WA, Brazil RP, Falcão AL (2001) Flebotomíneos do estado de Tocantins, Brasil (Diptera: Psychodidae). Rev Soc Bras Med Trop 34: 323-329
- Antenucci JC, Brown K, Croswell PL, Kevany MJ, Archer H (1991) Geographic Information Systems: a Guide to the Technology, New York.
- Arias JR, Monteiro PS, Zicker F (1996) The reemergence of visceral leishmaniasis in Brazil. Emerg Infect Dis 2: 145-146.
- Ariza A (2013) Descripción y Corrección de Productos LDCM 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Pág. 44.
- Arrivillaga J, Mutebi J, Piñango H, Iorris D, Alexander B, Feliciangeli M, Lanzaro G. 2003. The Taxonomic Status of Genetically Divergent Populations of *Lutzomyia*

- longipalpis* (Diptera: Psychodidae) Based on the Distribution of Mitochondrial and Isozyme Variation. *Journal of Medical Entomology* 40(5): 615-627.
- Ashford R (1996) Leishmaniasis reservoirs and their significance in control. *Clinical Dermatology*, vol. 14, pp. 523-532,.
- Barnes C, Cibula W (1979) Some implications of remote sensing technology in insect control programs including mosquitoes, *Mosq. News*, vol 82, p.p 39:271.
- Barton K (2016) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.15.6. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Bates PA, Depaquit J, Galati EAB, Kamhawi S, Maroli M, McDowell MA, Picado A, Ready PD, Salomón OD, Shaw JJ, Traub-Csekö YM, Warburg A (2015) Recent advances in phlebotomine sand fly research related to leishmaniasis control. *Parasites & Vectors* 2015 8:131.
- Bauzer LGSR, Souza NA, Maigon RDC, Peixoto AA (2007) *Lutzomyia longipalpis* in Brazil: a complex or a single species? A mini-review. *Mem Inst Oswaldo Cruz*;102:1–12.
- Bavia ME, Carneiro DD, Gurgel H, da C, Madureira Filho C, Barbosa MG (2005) Remote Sensing and Geographic Information Systems and risk of American visceral leishmaniasis in Bahia, Brazil. *Parassitologia* 47: 165–169.
- Gomez Bravo AG, Quintana MG, Abril M, Salomón OD (2013) The first record of *Lutzomyia longipalpis* in the Argentine northwest. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 108: 1071-1073.
- Brazil RP (2013). The dispersion of *Lutzomyia longipalpis* in urban areas. *Rev Soc Bras Med Trop* 46: 263-264.
- Brooks DR, Hoberg EP (2006) Systematics and emerging infectious diseases: from management to solution. *J. Parasitol.* 92, 426–429.

- Burnham KP, Anderson DR (2002) Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd. ed: Springer. XXVI, 488 p. 9780387953649. <http://books.google.ca/books?id=BQYR6js0CC8C>
- Burrough PA (1986) Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford.
- Cabrera AL (1976) Regiones fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. Buenos Aires: ACME. pp.85.
- Canese A (1998) Focos de leishmaniasis visceral canina en las ciudades de Lambaré y Villa Elisa. Rev Parag Microbiol 18: 18-24.
- Canese A (2003) Leishmaniasis visceral: re-emergente o re-descubierta en Paraguay Rev Parag Microbiol 23: 1-2.
- Canese J (2013) Gran incremento de leishmaniasis visceral humana en Paraguay. Pediatría (Asunción), 37(3), 167-168.
- Canty A, Ripley B (2014) boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package. v. 1.3–11. Center for Disease Control and Prevention (1990) Guidelines for investigating clusters of health events. MMWR, 39.
- Chander G, Markham BL, Helder DL (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote sensing of environment. 113(5):893-903.
- Chen D, Huang J, Jackson TJ (2005) Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. Remote Sens. Environ. 98 (2–3): 225–236.
- Chuvieco E (1996) Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. Rialp. Madrid, España.
- Chuvieco Salinero E (2002) Teledetección ambiental. Ariel Ciencia. Barcelona, España.

- Chuvienco E (2010) Teledetección Ambiental, 3ª edición revisada, Barcelona, Editorial Ariel 2010 3ª edición renovada.
- Cigliano M, Torrusio S (2003). Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en Entomología: Aplicación en tucuras y langostas (Orthoptera: Acridoidea). Rev. Soc. Entomol. Argent. 2003, vol.62, n.1-2, 1-14.
- Cordoba-Lanus E, Grosso MLD, Piaero JE, Valladares B, Salomón OD (2006) Natural infection of *Lutzomyia neivai* with *Leishmania* spp. in northwestern Argentina. Acta Tropica, vol. 98, no. 1, pp.1-5.
- Correa Antonialli SA, Torres TG, Paranhos Filho AC, Tolezano JE. (2007) Spatial analysis of American visceral leishmaniasis in Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. J Infect 54:509-14.
- Costa CH, Werneck GL, Rodrigues L, Santos MV, Araujo IB, Moura LS, Lima SS (2005). Household structure and urban services: neglected targets in the control of visceral leishmaniasis. Annals of Tropical Medicine & Parasitology, 99(3):229-236.
- Costa CH 2008. Characterization and speculations on the urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Cad Saude Publica 24: 2959-2963.
- Costa PL, Dantas-Torres F, da Silva FJ, Guimarães VC, Gaudêncio K, Brandão-Filho SP (2013) Ecology of *Lutzomyia longipalpis* in an area of visceral leishmaniasis transmission in north-eastern Brazil. Acta Trop 126: 99-102.
- Cousiño B (2006) Vigilancia y control de la leishmaniasis en el Paraguay. Informe Final de la Reunión de Expertos OPS/OMS sobre Leishmaniasis Visceral en las Américas, Panaftosa, Rio de Janeiro, Brazil, 34–36.
- de Andrade AR, da Silva BA, Cristaldo G, de Andrade SM, Paranhos Filho AC, Ribeiro A, Andreotti, R (2014) Spatial distribution and environmental factors associated to phlebotomine fauna in a border area of transmission of visceral leishmaniasis in Mato Grosso do Sul, Brazil. Parasites & vectors. 7(1):1.

- De Elia E, Elorza C, Horlent N, Lamaro A, Lanfri M, Otero J, Pons D, Porcasi X, Rotela C, Scavuzzo M, Torrusio S (2014) Epidemiología Panorámica: Introducción al uso de herramientas geoespaciales aplicadas a la salud pública. Comisión Nacional de Actividades Espaciales; Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios Ministerio de Salud de la Nación. Dirección de Epidemiología. 1-6. 105pp.
- de Oliveira AGD, Falcão AL, Brazil RP (2000) Primeiro encontro de *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) na área urbana de Campo Grande, MS, Brasil. Rev Saude Publica 34: 654-655.
- de Oliveira AGD, Andrade Filho JD, Falcao AL, Brazil RP (2003) Estudo de flebotomíneos (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) na zona urbana da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, 1999–2000. Cad. Saude Publica 19, 933–944.
- de Oliveira AG, Galati EA, de Oliveira O, de Oliveira GR, Espindola IA, Dorval ME, Brazil RP (2006) Abundance of *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) and urban transmission of visceral leishmaniasis in Campo Grande, state of Mato Grosso do Sul. Mem Inst Oswaldo Cruz 101: 869–874.
- Desjeux P (2001) The increase in risk factors for leishmaniasis worldwide. Trans R Soc Trop Med Hyg 95: 239-243.
- Dister SW, Fish D, Bros S, Frank DH, Wood DL (1997) Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme disease using satellite imagery. Am. J. Trop. Med. Hyg. 57(6): 687-692.
- Duret JP (1952) Notas sobre flebótomos argentinos. Revista Sanidad Militar Argentina; 51: 534-6.
- Eisen RJ, Eisen L (2008) Spatial Modeling of Human Risk of Exposure to Vector-Borne Pathogens Based on Epidemiological Versus Arthropod Vector Data. Journal of Medical Entomology, 45:181-192.

- Feliciangeli M. (2004) Natural breeding places of phlebotomine sandflies. *Medical and veterinary entomology*, vol. 18, no. 1, pp. 71-80.
- Feliciangeli MD, Delgado O, Suarez B, Bravo A (2006) *Leishmania* and sand flies: proximity to woodland as a risk factor for infection in a rural focus of visceral leishmaniasis in west central Venezuela. *Trop Med Int Health* 11:1785-91.
- Fernández MS, Salomón OD, Cavia R, Perez AA, Acardi SA, Guccione JD (2010) *Lutzomyia longipalpis* spatial distribution and association with environmental variables in an urban focus of visceral leishmaniasis, Misiones, Argentina. *Acta Tropica* 114:81-87.
- Fernández MS, Lestani E, Cavia R, Salomón OD (2012). Phlebotominae fauna in a recent deforested area with American Tegumentary Leishmaniasis transmission (Puerto Iguazú, Misiones, Argentina): seasonal distribution in domestic and peridomestic environments. *Acta Trop.* 122:16-23
- Fernández MS, Santini MS, Cavia R, Sandoval AE, Pérez AA, Acardi S, Salomón OD (2013) Spatial and temporal changes in *Lutzomyia longipalpis* abundance, a *Leishmania infantum* vector in an urban area in northeastern Argentina. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz.* 108(7):817-824.
- Fernández MS, Martínez MF, Pérez AA, Santini MS, Gould IT, Salomón OD (2015) Performance of light-emitting diode traps for collecting sand flies in entomological surveys in Argentina. *J. Vector Ecology* 40(2):373-378.
- Fox J, Weisberg S (2011) *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>.
- Galati EAB (2003) Classificação de Phlebotominae. In: Rangel EF, Lainson R, editors. *Flebotomíneos do Brasil*. Rio do Janeiro, Brasil: Editora Fiocruz. pp. 23–51.
- Gómez-Bravo A, German A, Abril M, Scavuzzo M, Salomón OD (2017) Spatial population dynamics and temporal analysis of the distribution of *Lutzomyia*

- longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912)(Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) in the city of Clorinda, Formosa, Argentina. *Parasites & vectors*, 10(1), 352.
- Gontijo CMF, Melo MNM (2004) Leishmaniose visceral no Brasil: quadro atual, desafios e perspectivas. *Rev Bras Epidemiol* 7: 338–349.
- Gould IT, Perner MS, Santini MS, Saavedra SB, Bezzi G, Maglianese MI, Antman JG, Gutiérrez JA, Salomón OD (2013). Leishmaniasis visceral en la Argentina: notificación y situación vectorial (2006-2012). *Medicina (B Aires)*. 73: 104-110.
- Green RM, Hay SI (2002) The potential of Pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. *Remote Sensing of Environment*. 79: 166– 175.
- Grimaldi G, Tesh RB (1993) Leishmaniases of the New World: current concepts and implications for future research. *Clin. Microbiol. Rev.* 6:230–250.
- Hay SI (1996) Remotely sensed surrogates of meteorological data for the study of the distribution and abundance of arthropod vectors of disease. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*. 90(1):1-19.
- Hay SI, Lennon JJ (1999) Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. *Tropical Medicine and International Health*. 4(1):58-71.
- Hay S (2000) An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health applications. *Advances in Parasitology*, 47: 1-35.
- Hayes RO, Maxwell EL, Mitchell CJ, Woodzick TL (1985) Detection, identification and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites. *Bull World Health Org*; vol. 63, p.p. 361-74.

- Hoberg EP, Brooks DR (2010) Beyond vicariance: integrating taxon pulses, ecological fitting and oscillation in historical biogeography and evolution. In *The geography of host–parasite interactions*. eds Morand S, Krasnov B, pp. 7–20. Oxford, UK:Oxford University Press.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2010) Datos nacionales censales. Argentina. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp>.
- Johnson JB, Omland KS (2004) Model selection in ecology and evolution. *Trends Ecol Evol* 19: 101–108. PMID: 16701236.
- Kelly M, Blanchard SD, Kersten E, Koy K (2011) Terrestrial Remotely Sensed Imagery in Support of Public Health: New Avenues of Research Using Object-Based Image Analysis. *Remote Sens*. 2011.
- Killick-Kendrick R (1990). Phlebotomine vectors of the leishmaniasis: a review *Medical and veterinary entomology*, 4(1), 1-24.
- Kitron U, (1998). Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. *Journal of medical entomology*, 35(4), 435-445.
- Kitron U, Clennon JA, Cecere MC, Gürtler RE, King CH, Vazquez-Prokopec G (2006) Upscale or downscale: applications of fine scale remotely sensed data to Chagas disease in Argentina and schistosomiasis in Kenya. *Geospatial health*,1(1), 49.
- Kondratieff BC, Moore CG, Freier JE, Hagedorn HH, Black WC, James AA, Hemingway J (2005) *Biology of Disease Vectors*, W. C. Marquardt, Ed. Elsevier Academic Press.
- Korte G (2001) *The GIS Book* (5th Ed. Rev.). Autodesk Press.
- Lainson R, Rangel EF (2005) *Lutzomyia longipalpis* and the eco-epidemiology of American visceral leishmaniasis, with particular reference to Brazil: a review. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 100:811-27.
- Law M, Collins A (2013) *Getting to know ArcGIS for desktop*. Esri press.

- Leonardo F, Rebelo J (2004) A periurbanização de *Lutzomyia whitmani* em área de foco de leishmaniose cutânea, no estado do Maranhão, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, vol. 37, no. 3, pp. 282-284.
- Manandhar R, Odeh IOA, Ancev T (2009) Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data Using Post-Classification Enhancement. *Remote Sens.* 1(3), 330-344.
- Marzochi M, Marzochi K (1997) Leishmanioses em áreas urbanas. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, vol. 30, no. supl 1, pp. 162-165.
- Marzochi MCA, Fagundes A, de Andrade MV, de Souza MB, Madeira MF, Mouta-Confort E, Schubach AO, Marzochi KBF 2009. Visceral leishmaniasis in Rio de Janeiro, Brazil: eco-epidemiological aspects and control. *Rev Soc Bras Med Trop* 42: 570-580.
- Mestre GL, Fontes CJ (2007) A expansão da epidemia da leishmaniose visceral no estado de Mato Grosso, 1998-2005. *Rev Soc Bras Med Trop* 40: 42-48.
- Mills JN, Childs JE (1998) Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health. *Emerg. Infect. Dis.* 4, 529 - 537.
- Morrison AC, Getis A, Santiago M, Rigau-Perez JG and Reiter P (1998) Exploratory space-time analysis of reported dengue cases during an outbreak in Florida, Puerto Rico, 1991-1992. *Am J Trop Med Hyg.* 58:287-98.
- MS/SVS/DVE Ministério da Saúde/Secretaria de Vigilância em Saúde/Departamento de Vigilância Epidemiológica (2014) Manual de vigilância e controle da leishmaniose visceral americana, MS/SVS/DVE, Brasília, 120 pp.
- Olaya V (2011) Sistemas de Información Geográfica, Versión 1.0 revisada el 25 de noviembre de 2011, URL: <http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG>
- Oliveira EF, Silva EA, Fernandes CES, Paranhos Filho AC, Gamarra RM, Ribeiro AA, Brazil RP, de Oliveira AG (2012) Biotic factors and occurrence of *Lutzomyia*

- longipalpis* in endemic area of visceral leishmaniasis, Mato Grosso do Sul, Brazil. Mem Inst Oswaldo Cruz 107: 396-401.
- Oliveira DMSD, Saraiva EM, Ishikawa EAY, Sousa AAAD, Silva EOD, Silva IMD (2011). Distribution of phlebotomine fauna (Diptera: Psychodidae) across an urban-rural gradient in an area of endemic visceral leishmaniasis in northern Brazil. Memorias do Instituto Oswaldo Cruz, 106(8), 1039-1044
- OMS (2007). Resolution WHA 60.13. 2007. Control of Leishmaniasis. http://www.who.int/neglected_diseases/mediacentre/WHA_60.13_Eng.pdf. Consultado el 18/7/2017.
- OMS (2010). Control de las leishmaniasis: informe de una reunión del Comité de Expertos de la OMS sobre el Control de las Leishmaniasis, Ginebra, 22 a 26 de marzo de 2010. WHO Eds. Ginebra, 200pp.
- OMS (2016) Visceral leishmaniasis: WHO publishes validation document as countries approach elimination. http://www.who.int/neglected_diseases/news/Visceral_leishmaniasis_WHO_publishes_validation_document/en/.
- OPS. (2016). Resolution CD55/15. Plan of Action for the Elimination of Neglected Infectious Diseases and Post-Elimination Actions 2016-2022. <file:///D:/Users/USUARIO/Desktop/Downloads/CD55-15-e.pdf>.
- OPS (2017) Informe de Leishmaniasis N° 5 Abril, 2017. <file:///D:/Users/USUARIO/Desktop/Downloads/2017-cha-leish-informe-epi-americas.pdf>.
- Pavlovsky EN (1966) Natural nidity of transmissable diseases with special reference to the landscape epidemiology of zoonthroponoses. Urbana IL: University of Illinois press.
- Quintana MG, Fernández MS, Salomón OD (2012). Distribution and abundance of Phlebotominae, vectors of leishmaniasis, in Argentina: spatial and temporal analysis at different scales. J Trop Med e652803.
- Queiroz MF, Varjão JR, Moraes SC, Salcedo GE 2012. Analysis of sandflies (Diptera: Psychodidae) in Barra do Garças, state of Mato Grosso, Brazil and the influence

- of environmental variables on the vector density of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912). Rev Soc Bras Med Trop 45: 313-317.
- R Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/v.3.3.1>.
- Rangel EF, Vilela ML (2008) *Lutzomyia longipalpis* (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae) and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. Cad. Saude Publ. 24:2948–2952.
- Rangel E, Lainson R (2009) Proven and putative vectors of american cutaneous leishmaniasis in Brazil: aspects of their biology and vectorial competence. Mem Inst Oswaldo Cruz, vol. 104, pp. 937-954, 2009.
- Ready PD (2008) Leishmaniasis emergence and climate change. Rev Sci Tech 27: 399– 412.
- Rivas R, Caselles V (2004) A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data. Remote Sensing of Environment, 93(1), 68-76.
- Rogers DJ and Randolph SE, (2003) Studying the global distribution of infectious diseases using GIS and RS. Nat Rev Microbiol. 1(3):231-237.
- Rotela C, Fouque F, Lamfri M, Sabatier P, Introini V, Zaidenberg M, Scavuzzo C (2007) Space–time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, Northern Argentina. Acta tropica,103(1), 1-13.
- Rotela CH, Spinsanti LI, Lamfri, MA, Contigiani MS, Almirón WR, Scavuzzo CM (2011) Mapping environmental susceptibility to Saint Louis encephalitis virus, based on a decision tree model of remotelysensed data. Geospatial health,6(1), 85-94.

- Roy DP, Kovalskyy V, Zhang HK, Vermote EF, Yan L, Kumar SS, Egorov A (2016) Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *Remote Sensing of Environment*. 185:57-70.
- Salomón OD, Rossi G, Sosa Estani S, Spinelli G (2001a) Presencia de *Lutzomyia longipalpis* y situación de la leishmaniosis visceral en Argentina. *Medicina (Buenos Aires)*. 61:174–8.
- Salomon OD, Zaidenberg M, Burgos R, Heredia V, Caropresi L (2001b) American cutaneous leishmaniasis outbreak, Tartagal city, province of Salta, Argentina, 1993. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, vol. 43, pp. 105-108.
- Salomon OD, de Pascual MB, Molinari M, Verri V (2001c) Study of a cutaneous leishmaniasis outbreak in general vedía, province of Chaco, 1996. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, vol. 43, pp. 99-104.
- Salomón OD, Orellano PW (2005) *Lutzomyia longipalpis* in Clorinda, Formosa province, an area of potential visceral leishmaniasis transmission in Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 100: 475-476.
- Salomón OD (2005) Artrópodos de interés médico en Argentina. Fundación Mundo Sano. Serie Enfermedades Transmisibles. Publicación Monográfica, vol. 6.
- Salomón OD, Orellano P, Quintana MG, Pérez S, Sosa Estani S, Acardi S, Lamfri M (2006) Transmisión de la leishmaniosis tegumentaria en la Argentina, *Medicina (Buenos Aires)*, vol. 66, no. 3, pp. 211-219.
- Salomón OD, Sinagra A, Nevot M, Barberian G, Paulin P, Estevez JO, Estevez J (2008a) First visceral leishmaniasis focus in Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103:109–111.

- Salomón OD, Quintana MG, Rosa JR (2008b) Eco-epidemiología de leishmaniasis cutánea en Argentina. Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIICSALUD)., vol. 16, pp. 514–520.
- Salomón OD, Quintana MG, Zaidenberg M (2008c) “Urban distribution of Phlebotominae in a cutaneous leishmaniasis focus, Argentina,” *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 103, no. 3, pp. 282–287.
- Salomón OD, Ramos LK, Quintana MG, Acardi SA, Santini MS, Schneider A (2009a) Distribución de vectores de leishmaniasis visceral en la provincia de Corrientes. *Medicina (B Aires)*. 69(6): 625–630.
- Salomón OD, Acardi SA, Liotta DJ, Fernández MS, Lestani E, López D, Mastrángelo AV, Figueroa M, Fattore G (2009b) Epidemiological aspects of cutaneous leishmaniasis in the iguazú falls area of argentina. *Acta Tropica*: 109, 1, 5-11.
- Salomón OD, Quintana MG, Bruno MR, Quiriconi RV, Cabral V (2009c) Visceral leishmaniasis in border areas: clustered distribution of phlebotomine sand flies in Clorinda, Argentina. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 104, no. 5, pp. 801–804.
- Salomón OD, Quintana MG, Bezzi G, Morán ML, Betbeder E, Valdéz DV (2010a). *Lutzomyia migonei* as putative vector of visceral leishmaniasis in La Banda, Argentina. *Acta Tropica*, 113(1), 84-87.
- Salomón OD, Araki AS, Hamilton JGC, Acardi AS, Peixoto AA (2010b) Sex pheromone and period gene characterization of *Lutzomyia longipalpis* (Lutz & Neiva, 1912) (Diptera: Psychodidae) from Posadas, Argentina. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 105 (7): 928-930.
- Salomón OD, Fernández MS, Santini MS, Saavedra S, Montiel N, Ramos MA, Rosa JR, Szelag EA, Martinez MF (2011a). Distribución de *Lutzomyia longipalpis* en la Mesopotamia Argentina. *Medicina (B Aires)* 71: 22-26.

- Salomón OD, Basmajdian Y, Fernández MS, Santini MS (2011b). *Lutzomyia longipalpis* in Uruguay: the first report and the potential of visceral leishmaniasis transmission. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 106: 381-382.
- Salomón OD, Quintana MG (2011c) Leishmaniasis y ambiente: uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica en Temas de Zoonosis V, J. Basualdo, R. Cacchione, R. Durlach, P. Martino, and A. Seijo, Eds. Sociedad Argentina de Zoonosis.
- Salomón OD, Mastrángelo AV, Santini MS, Ruvinsky S, Orduna T, Sinagra A, Luna C, Riarte A, Casas N, Amiotti P (2012a). Visceral leishmaniasis: paths that converge and divide. *Salud Colect* 8(Suppl. 1): 49-63.
- Salomón OD, Quintana MG, Mastrángelo AV, Fernández MS (2012b) Leishmaniasis and climate change-case study: Argentina. *Journal of tropical medicine*.
- Salomón OD, Feliciangeli MG, Quintana MG, Afonso MMDS, Rangel EF (2015) *Lutzomyia longipalpis* urbanisation and control. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110(7), 831- 846.
- Santini MS, Salomón OD, Acardi SA, Sandoval EA, Tartaglino LC (2010) *Lutzomyia longipalpis* behavior at an urban visceral leishmaniasis focus in Argentina. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*; 52: 187-191.
- Santini MS, Fernández MS, Pérez AA, Sandoval AE, Salomón OD (2012a) *Lutzomyia longipalpis* abundance in the city of Posadas, northeastern Argentina: variations at different spatial scales. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 107: 767-771.
- Santini MS, Salomón OD (2012b). Eco-epidemiología de las leishmaniosis Argentina. *Revista Argentina de Parasitología*, 1, 16-24.
- Santini MS, Utgés ME, Berrozpe P, Manteca Acosta M, Casas N, Heuer P, Salomón OD (2015) *Lutzomyia longipalpis* Presence and Abundance Distribution at Different Micro-spatial Scales in an Urban Scenario. *PLoS Negl Trop Dis* 9(8):e0003951.

- Santini MS, Fernández MS, Cavia R, Salomón OD (2017) *Lutzomyia longipalpis* and *Nyssomyia whitmani* co-occurrence, seasonal and environmental distribution, city of Puerto Iguazú, northeastern Argentina. En prensa.
- Sherlock I (1996) Ecological interactions of visceral leishmaniasis in the state of Bahia, Brazil. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. 91(6): 671–683.
- Sherlock A, Galati EB, Dedet J, Vignes R, Rangel E, Ready P, de Aguiar GM, de Medeiros WM, Brazil R, Brazil B, Pimenta P, Secundino N, Blanco EN, Lainson R, Shaw J, de Rosa AT, de Souza A, Cruz A, Vilela M (2003) Flebotomíneos do Brasil, E. Rangel and R. Lainson, Eds. Editora Fiocruz.
- Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC and Paolini L (2004) Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*. 90(4):434-440.
- Sobrino JA, Raissouni N (2000) Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, 21(2): 353-366.
- Souza, NA, Brazil, RP, Araki, AS (2017). The current status of the *Lutzomyia longipalpis* (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae) species complex. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 112(3), 161-174.
- USGS U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey (2013) LDCM 8 Conversion to Radiance, Reflectance and At-Satellite Brightness Temperature Using the USGS LDCM 8 Product, from <http://landsat.usgs.gov>.
- USGS. U.S. Department of the Interior | U.S. Geological Survey (2016). Obtenido de Ask Landsat: <https://landsat.usgs.gov>
- Valor E, Caselles V (1996) Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote sensing of Environment*.57(3):167-184.

Version ENVI (2004) 4.1, 2004. The Environment for Visualizing Images Copyright (C).

Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH (2002) The urban spread of visceral leishmaniasis: clues from spatial analysis. *Epidemiology* 13:364-7.

Werneck GL, Costa CHN, Walker AM, David JR, Wand M, Maguire JH (2007) Multilevel modeling of the incidence of visceral leishmaniasis in Teresina, Brazil. *Epidemiol Infect.* 135:195-201.

Werneck GL (2008) Forum: geographic spread and urbanization of visceral leishmaniasis in Brazil. introduction, *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 24, no. 12, pp. 2937-2940.

Woolhouse M, Dye C, Etard J, Smith T, Charlwood J, Garnett G, Hagan P, Hii J, Ndhlovu P, Quinnell R *et al.* (1997) Heterogeneities in the transmission of infectious agents: implications for the design of control programs,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 94, no. 1, p. 338.

Young DG, Duncan MA. Guide to the identification and geographic distribution of *Lutzomyia* sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). *Mem Am Entomol Inst.* 1994;54:1-881.

Zuur A, Ieno EN, Walker N, Saveliev AA, Smith GM (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York; London: Springer. xxii, 574 p. 1431–8776.