

**TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

***Desarrollo de Modelos e Indicadores  
Remotos de Riesgo Epidemiológico de  
Dengue en Argentina***

por

***Biol. Camilo Hugo Rotela***

Director: ***Dr. Carlos Marcelo Scavuzzo***

**Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich"**

**Comisión Nacional de Actividades Espaciales**

**Universidad Nacional de Córdoba**



**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**Córdoba, Argentina  
2012**

## COMISIÓN ASESORA

*David Eladio Gorla*, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica de Anillaco (CONICET).

*Oscar Daniel Salomón*, Centro Nacional de Investigaciones Epidemiológicas - Instituto Nacional de Medicina Tropical (Ministerio de Salud de la Nación).

*Carlos Marcelo Scavuzzo*, Instituto de Altos Estudios Espaciales "Mario Gulich" (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) - Universidad Nacional de Córdoba.

## DEFENSA ORAL Y PÚBLICA

Lugar y Fecha:

Calificación:

### TRIBUNAL

Firma: .....

Aclaración: .....

Firma: .....

Aclaración: .....

Firma: .....

Aclaración: .....

# Publicaciones

## Artículos en Revistas Indexadas

- 1) **2012.** Porcasi X., **Rotela C.H.**, Introini M.V., Frutos N., Lanfri S., Peralta G., De Elia E.A., Lanfri M.A., Scavuzzo C.M, 2012. An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology. *Geospat Health*. 6(3):S31-42.
- 2) **2011.** **Rotela CH**, Spinsanti LI, Lanfri M, Contigiani M, Almiron WR, Scavuzzo CM. **Mapping environmental susceptibility to Saint Louis encephalitis virus based on a decision tree model of remotely sensed data.** *Geospatial Health* - Volume 6, Number 1, November 2011, Pages 85-94
- 3) **2010.** **Camilo H. Rotela**, Manuel O. Espinosa MS; Carlos Albornoz, Murielle Lafaye CN; Jean Pierre Lacaux M, Yves M. Tourre M, Cécile Vignolles M, C. Marcelo Scavuzzo. **Desarrollo de mapas predictivos de densidad focal de aedes aegypti en la ciudad de Puerto Iguazú (Argentina), basados en información ambiental derivada de imágenes Spot 5 HRG1.** *Revista SELPER VOL. 30 N° 1.* ISSN 0717-2915.
- 4) **2008.** Y M Tourre, L Jarlan, J-P Lacaux, **C H Rotela** and M Lafaye. **Spatio-temporal variability of NDVI–precipitation over southernmost South America: possible linkages between climate signals and epidemics.** *Environ. Research Letters*.
- 5) **2007.** **Rotela Camilo**; Fouque Florence; Lanfri Mario; Sabatier Philippe; Introini Virginia; Zaidenberg Mario; Scavuzzo Marcelo, 2007. **Space-time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, northern Argentina.** *Acta Tropica*. Volume 103, Issue 1, pp.1-13.

## Proceedings

- 6) **2011.** Peralta GS, De Elia EA, Lanfri M, Porcasi X, Lanfri S, Frutos N, **Rotela C**, Scavuzzo M, Lanfri S. **Geomática aplicada a un Sistema de Alerta Temprana.** Anales del CAIS 2011 Congreso Argentino de Informática y Salud. 40JAIIO-CAIS 2011 - ISSN: 1853-1881. (75- 88). <http://www.ibiomedic.net/wp-content/uploads/CAIS/CAIS2011-10.pdf>.
- 7) **2011.** Lanfri S, Frutos N, Porcasi X, **Rotela C**, Peralta G, De Elia E, Lanfri M, Scavuzzo M. **Algoritmos para el Alerta Temprana de Dengue en un Ambiente Geomático.** Anales del CAIS 2011 Congreso Argentino de Informática y Salud. 40JAIIO-CAIS 2011 - ISSN: 1853-1881. (89-104) <http://www.40jaiio.org.ar/sites/default/files/T2011/CAIS/CAIS2011-11.pdf>.
- 8) **2009.** M. Scavuzzo, M. Lamfri, X. Porcasi, **C. Rotela**. **Space technology and environment related diseases: the experience of the Institute Gulich, Argentina.** *European Journal of Tropical Medicine & International Health.* volume 14 suppl 2 pp 1–29 September 2009. Invited Speaker Abstracts.
- 9) **2007.** Masuelli, S., **Rotela, C. H.**, Lamfri, M., & Scavuzzo, C. M. (2007). **Aedes aegypti spatio-temporal modelling based on non homogeneous environment derived from remote sensors information.** 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment: Sustainable Development through Global Earth Observations. (ID419). San Jose, Costa Rica. International Center for Remote Sensing of Environment. 25 – 29 de Junio de 2007.
- 10) **2006.** C. M. Scavuzzo, M. A. Lamfri, **C. Rotela**, X. Porcasi. **Satellite Image applied to Epidemiology, the Experience of the Gulich Institute in Argentina.** Med-e-Tel, April, 2006 – Luxembourg.

## Artículos en Versiones Electrónicas

- 11) 2008. **ROTELA CH**, SCAVUZZO M. **Traquer la dengue depuis l'espace.** **Science Actualités** Revista Francesa de divulgación científica.  
<http://www.universcience.fr/fr/science-actualites/enquete-as/wl/1248100298012/projet-mate-traquer-la-dengue-depuis-l-espace/>
  
- 12) 2004. **Rotela, C**; Introini V; Lamfri M; Zaidenberg M; Gorla D.; Almiron W; Scavuzzo C.M. **Prediciendo índices vectoriales (Dengue) usando Información Espacial.** Resumido.  
<http://www.conae.gov.ar/images/gulich/aplicaciones/vectoresE.pdf>
  
- 13) 2004. **Rotela, C**; Introini V; Lamfri M; Zaidenberg M; Morales A.; Almiron W; Scavuzzo C.M. **Entendiendo y prediciendo los patrones espacio-temporales del brote de Dengue 2004 en Tartagal, Salta, Argentina.** Resumido.  
<http://www.conae.gov.ar/images/gulich/aplicaciones/TartagalE.pdf>

# Dedicatorias

A mi familia, por el amor incondicional que precede a todo!

A mamá y papá, ejemplos inagotables de vocación y pasión por el trabajo en búsqueda del bienestar general.

A mamá por mostrarme que las convicciones y conocimientos con fundamento no perecen ante el autoritarismo, y que la única autoridad la da la palabra del diálogo constructivo y respetuoso.

A papá, por inculcarme el amor a la naturaleza y enseñarme a despertar sonriendo, siempre con una mirada optimista, confiando en que uno crea sus propios límites.

A Pepi y Facu, por enseñarme a vivir y aceptarme como soy.

A la Tatita, que con su ejemplo y el amor y orgullo de su mirada, me hizo seguir creyendo en la educación y apostar al saber.

Al abuelo, que a lo largo de su historia muestra que lo imposible se crea por nuestro pensamiento, y que siempre podemos correr los límites preestablecidos por el imaginario colectivo. Gracias por enseñarme a no ser una oveja más del rebaño.

# Agradecimientos

A todas aquellas personas que comparten su saber sin filtros, contentos de construir un conocimiento altruista y cooperativo, y sin quienes, esta instancia no sería lo que es para mí.

A los que me inspiraron desde su ejemplo de investigadores o educadores apasionados, de ética insoslayable y que trascienden las fronteras, las diferencias culturales y etarias.

A Marce Scavuzzo, Mario Lamfri y Sergio Masuelli, sin cuyos aportes e interacción, esta tesis no hubiera llegado a abordarse de las maneras que se hizo.

A Marce Scavuzzo, por ver siempre más allá, y aconsejarnos en base a eso. Por aceptarme con todo aquello que trato de cambiar para ser un investigador aplicado, y depositar cuotas de confianza donde no la tengo, para entusiasarnos en cada desafío. Gracias por haber sido padre y amigo!

A Xime Porcasi, por estar SIEMPRE, y compartir desde el inicio de nuestra etapa espacial desde la amistad llana. Por mostrarme las realidades que se me escapan en los momentos de vorágine y luchar para que me enfoque. Gracias Doc.!

A Nico Frutos y Diego Pons, por contagiar la naturalidad q tienen para la resolución de problemas y su entusiasmo por compartir lo aprendido.

A Sergio Masuelli por su invaluable contribución en programación en IDL y a sus geniales deducciones a partir del empirismo de: ¡la vida en convivencia con los mosquitos, cerca del ventilador! A la Facultad Regional Concepción del Uruguay. Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay. Entre Ríos. Argentina. Proyecto 25 - D027, por haber apoyado su participación en proyectos conjuntos.

Al equipo con el que diseñamos e implementamos el Sistema de Estratificación de Riesgo de Dengue a Nivel Nacional (ERDN) y Urbano (ERDU). Por devolverme la pasión por investigar, la alegría de trabajar en grupo con un objetivo común, despabilar mi curiosidad aguda y la rigurosidad en el tratamiento de los temas. Gracias Nico, Xime, Sofi Lamfri, Nani De Elia, Gonza Peralta, Marce, Mario, Vicky Introini y a Carlos Barboza/Gabi Willat de Uruguay.

A la **Comisión Nacional de Actividades Espaciales** de Argentina, por haber confiado en mí y por su soporte tecnológico y humano constante.

- A todos quienes forman/ron parte del **Instituto Gulich** (Compañeros, alumnos, becarios, pasantes, visitantes), ámbito de aprendizaje continuo increíblemente rico en múltiples facetas.
- A Felix Menicocci por facilitar mi formación e interacción en el ámbito internacional.

Al **Ministerio de Salud de la Nación** de Argentina por la Amistad, el conocimiento y los recursos compartidos en esta camino mutuo.

- A la **Dirección de Enfermedades transmitidas por Vectores**: A Héctor Cotto por estar siempre y mostrarnos las redes de interacciones que impactan en la salud pública. A Vicky Introini por confiar siempre en nosotros y tenernos en cuenta a la hora de generar herramientas aplicadas. A Mario Zaidemberg por haber sido catalizador de tanto trabajo.
- A la **Dirección de Epidemiología**: Horacio Echenique, Helo Silva, Vicky Gazzia, Julián Antman y residentes del PRESEC.
- A la **Coordinación Nacional de Control de Vectores**: a Héctor Janútoló, y toda la base operativa Tartagal, Salta; a Bernardo Carrazans y toda la base operativa Orán, por sus esfuerzos en las campañas de campo y disponibilidad constantes.

A la **Fundación Mundo Sano**. Especialmente a Diego Weinberg, Diego Riquelme, Manuel Espinoza, Gladis Fattore y Marcelo Abril, por el impulso que alienta, por todo el apoyo brindado y la voluntad de construir herramientas útiles para la sociedad en su conjunto.

Al **Centre national d'études spatiales (CNES)** de Francia, especialmente a Murielle Lafaye que me abrió las puertas de sus grupos de trabajo en Toulouse. A ella, Patrick Van Grunderbeeck, Yves Tourre, Jean Pierre Lacaux y Cécile Vignolles por haberme hecho sentir como en familia durante mi stage en el CNES en Toulouse.

A Thomas Balenghien y Florence Fouque por haber compartido conmigo su pasión por la epidemiología de vectores durante las campañas de campo en la Camargue francesa. A Philippe Sabatier, por su amistad y por haber, a pesar de la situación reinante en Francia en 2004, impulsado y apostado por líneas de investigación de alto impacto social.

Al **Instituto de Virología “Dr. J. M. Vanella”**, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba. Principalmente a Lorena Spinsanti y Marta Contigiani del Laboratorio de Arbovirus, por lo minucioso de su trabajo serológico, y por su búsqueda constante de innovaciones para la vigilancia epidemiológica.

Al **Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba**. Principalmente a Andrés Vicintín y Jor Porcel de Peralta, por haberme invitado a compartir las tareas de campo en Mar Chiquita y devolverme la perspectiva entomológica. A Walter Almirón por sus correcciones en los primeros capítulos del borrador de la tesis.

A los miembros del tribunal de esta tesis, por sus observaciones y consejos, que le dieron la cuota de calidad y rigurosidad para darme satisfacción con el trabajo realizado. Eternamente agradecido por la meticulosidad y tiempo dedicados en las correcciones y sugerencias.

# Índice

## Publicaciones

Artículos en Revistas Indexadas _____	3
Proceedings _____	4
Artículos en Versiones Electrónicas _____	5

Dedicatorias _____	6
--------------------	---

Índice _____	9
--------------	---

Resumen _____	12
---------------	----

Summary _____	13
---------------	----

## Capítulo I - Introducción General

1.1 Antecedentes sobre Dengue _____	15
1.1.1 Antecedentes sobre Dengue a nivel mundial _____	15
1.1.2 Antecedentes sobre Dengue en Sudamérica _____	16
1.1.3 Antecedentes de la FD en la Argentina _____	18
1.2 Distribución de <i>Aedes aegypti</i> _____	20
1.3 Ecología y comportamiento del Vector _____	23
1.4 Epidemiología Panorámica _____	25
1.5 Hipótesis de trabajo y Objetivos _____	27
1.5.1 Objetivos específicos _____	28

## Capítulo II - Modelado de la difusión espacio-temporal de vectores sobre paisajes caracterizados a partir de información de sensores remotos

2.1 Introducción _____	29
2.1.1 Fundamentos de la Teledetección _____	29
2.2 Objetivos y contexto del capítulo _____	33

<b>2.3 Materiales y Método</b>	<b>33</b>
2.3.1. Área de Estudio	34
2.3.2 Características de las Imágenes Landsat 5 TM	35
2.3.3 Descripción del modelo	37
<b>2.4 Resultados y discusión</b>	<b>42</b>

## **Capítulo III - Modelos empíricos de Favorabilidad ambiental para el desarrollo de *Aedes aegypti***

<b>3.1 Introducción</b>	<b>46</b>
<b>3.2 Objetivos y contexto del capítulo</b>	<b>51</b>
<b>3.3 Caso 1: Estimación de áreas favorables al desarrollo de <i>Aedes aegypti</i> en base a imágenes SPOT 5 HRG1</b>	
3.3.1 Materiales y Método	53
3.3.1.1 Área de Estudio	53
3.3.1.2 Obtención de datos de terreno	55
3.3.1.3 Construcción base de datos georeferenciada	56
3.3.1.4 Análisis Espacial de datos entomológicos	57
3.3.1.5 Variables macro-ambientales obtenidas a partir de imágenes satelitales	58
3.3.1.6 Construcción de un Mapa de favorabilidad ambiental al desarrollo de estados inmaduros de <i>Aedes aegypti</i> .	63
3.3.2 Resultados y discusión	65
3.3.2.1 Análisis Espaciales de los datos entomológicos	65
3.3.2.2 Variables macro-ambientales	66
3.3.2.3 Mapa de favorabilidad ambiental al desarrollo de focos de <i>Aedes aegypti</i>	74
<b>3.4. Caso 2: Estimación de índices de Vivienda y de Breteau basados en imágenes Landsat TM y ETM.</b>	
3.4.1 Materiales y Método	80
3.4.1.1 Área de Estudio	80
3.4.1.2 Datos de terreno	82
3.4.1.3 Información derivada de sensores a bordo de satélites	84
3.4.2 Resultados y discusión	87

## **Capítulo IV- Análisis de patrones epidemiológicos espacio-temporales**

<b>4.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>92</b>
<b>4.2</b>	<b>Objetivos y contexto del capítulo</b>	<b>94</b>
<b>4.3</b>	<b>Materiales y Método</b>	<b>94</b>
4.3.1	Áreas de estudio	94
4.3.2	Casos de dengue	95
4.3.3	Georeferenciación de los casos y análisis espacio-temporal de la epidemia	96
<b>4.4</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>97</b>

## **Capítulo V - Generación de Mapas de Favorabilidad Ambiental a escala local**

<b>5.1</b>	<b>Objetivos y contexto del capítulo</b>	<b>109</b>
<b>5.2</b>	<b>Caso1: Brote de Encefalitis de San Luis. Córdoba capital, 2005</b>	<b>110</b>
5.2.1	Antecedentes sobre ESL	111
5.2.2	Materiales y Método	112
5.2.3	Resultados y Discusión	120
<b>5.3</b>	<b>Caso2: Brote de Fiebre de Dengue. Tartagal, Salta 2004.</b>	<b>126</b>
5.3.1	Materiales y Método	126
5.3.2	Resultados y Discusión	127

## **Conclusiones generales de la Tesis**

## **Bibliografía**

<b>Anexo:</b>	<b>Matríz de localización espacio-temporal de casos de Dengue. Tartagal 2004</b>	<b>159</b>
---------------	--	------------

# Resumen

Tomando en cuenta que en Argentina la ocurrencia de los brotes de Dengue presenta intensidad creciente desde su re-emergencia en 1998, con circulación simultánea de distintos serotipos, y que no existe hasta el momento vacuna o tratamiento específico para humanos, una de las soluciones más plausibles, para prevenir la enfermedad, es la vigilancia epidemiológica concomitante a la prevención/control estratégico del vector. En ese contexto, el trabajo aquí desarrollado es fruto del trabajo interdisciplinario e interinstitucional enmarcado dentro de las actividades que desempeña el Instituto Gulich (CONAE), como nodo científico-técnico de integración entre quienes queremos desarrollar y/o adaptar nuevas herramientas geoespaciales con el fin de optimizar las tareas de vigilancia y control de enfermedades humanas.

En el Capítulo I se desarrolla una introducción general a la problemática del Dengue, a escalas globales y regionales, a la distribución, ecología y comportamiento del vector *Aedes aegypti* y a conceptos generales de la disciplina Epidemiología Panorámica.

En el Capítulo II se explora el potencial de información derivada de sensores remotos y técnicas de clasificación digital de imágenes, para el desarrollo de un modelo Espacio-Temporal de dispersión de insectos voladores, en ambientes no homogéneos reales caracterizados por la textura del paisaje.

En el Capítulo III se generan modelos empíricos de favorabilidad ambiental al desarrollo de *Aedes aegypti* a dos escalas distintas. A nivel de la distribución espacial, se desarrollaron mapas predictivos, de la densidad focal de *Aedes aegypti*, para la ciudad de Puerto Iguazú (Misiones), basados en información ambiental derivada de imágenes de alta resolución espacial SPOT 5 HRG1 y de resolución espacial media de temperatura de superficie derivada de información del satélite Landsat 5. A escala temporal, se generó un modelo predictivo de índices aélicos quincenales, para la ciudad de Tartagal (Salta), basado en información macro-ambiental proveniente de sensores Landsat TM y ETM, e información vectorial de monitoreo y control.

En el Capítulo IV, se estiman patrones epidemiológicos Espacio-temporales y parámetros poblacionales de *Aedes aegypti* a campo, a partir de la geolocalización de casos de Dengue, durante un brote ocurrido en la ciudad de Tartagal en 2004. A su vez, se estima la efectividad de las medidas del control vectorial durante el brote, a través de una rutina de programación que adapta conceptos del test de Knox para análisis espacio-temporales.

En el Capítulo V se construyen mapas de vulnerabilidad ambiental a la transmisión de Dengue y Encefalitis de San Luis y se evalúa la predictibilidad de variables macroambientales derivadas de imágenes satelitales.

Por último, en la Conclusión general de la tesis se comparan las bondades de los resultados obtenidos con otros trabajos y, a su vez, se proponen herramientas inherentes a la construcción/actualización de Sistemas de Información Geográfica ad hoc para la vigilancia epidemiológica, en pos del aumento de precisión y simplificación tanto de las tareas de notificación, como de las tareas operativas de prevención y control.

## Summary

Considering that in Argentina Dengue outbreaks presents increasing intensity since its re-emergence in 1998, with simultaneous circulation of different serotypes and that there is not a specific treatment for humans, the most plausible solution to prevent disease is the epidemic surveillance, concomitantly to prevention and strategic vector control. In this context, this work is the result of interdisciplinary and interinstitutional framework activities performed by Institute Gulich (CONAE), as an integration scientific-technical node between those who want to develop and/or adapt new geospatial tools to optimize the surveillance and control of human disease.

In Chapter I Dengue problematic general introduction is developed, at regional and global scales, including distribution, ecology and behavior of the vector *Aedes aegypti* and general concepts of Landscape Epidemiology discipline.

In Chapter II the potential of information derived from remote sensing and digital images classification techniques is explored for the development of a space-time model of

flying insects dispersal, in environments characterized by real inhomogeneous texture landscape.

In Chapter III empirical models of environmental suitability to *Aedes aegypti* develop is generated at two different scales. At spatial distribution level, maps estimates *Aedes aegypti* focal density in Puerto Iguazú city (Misiones), based on environmental information derived from high spatial resolution images from SPOT 5 HRG1 and at medium spatial resolution surface temperature derived from Landsat 5 satellite. At time scale the predictive model for Breteaux and house indexes in Tartagal city (Salta), was constructed based on time series of macro-environmental information derived from Landsat TM and ETM sensors, and vector control information.

In Chapter IV, epidemics space-time patterns and *Aedes aegypti* field population parametres were estimated through dengue cases location during the outbreak of Tartagal city in 2004. Moreover, effectiveness of vector control measures during the outbreak were estimated using space-time analysis programming routine adapted from Knox test concepts.

In Chapter V environmental suitability assessment for dengue and St. Louis encephalitis transmission were developed, and prediction levels of macro-environmental variables derived from satellite images assessed.

Finally, Conclusions of this thesis compares the benefits of obtained results with other studies and, proposes specific tools for the construction / update of ad hoc GIS for epidemiologic surveillance in pursuit of increasing the accuracy and simplifying both, reporting and control tasks, for prevention and control.

# Capítulo I

## Introducción General

### 1.1 Antecedentes sobre Dengue

#### 1.1.1 Antecedentes sobre Dengue a nivel mundial

La infección por virus Dengue es reconocida como la principal enfermedad tropical emergente del mundo. Esta entidad, incluidos la fiebre del dengue y dengue grave (Jaenisch y Wills, 2008), se considera la arbovirosis más importante a nivel mundial, tanto en términos de morbilidad, como de mortalidad y afectación económica (Martínez, 2008). Cada año, alrededor de 2500 millones de personas en todo el mundo están en riesgo de dengue. El virus infecta entre 50 y 100 millones de individuos, y es responsable de más 500 000 admisiones hospitalarias anuales. Un promedio de 22000 personas mueren anualmente por esta enfermedad, superando tres veces la letalidad que tuvo influenza A H1N1 en 2009. (World Health Organization, 2009, 2010, 2010b).

Históricamente, debido a lo inespecífico de sus manifestaciones clínicas, es difícil determinar el momento epidemiológico preciso de la aparición de esta enfermedad, pero existen sospechas de brotes ocurridos en las islas de Martinica y Guadalupe en el año 1635 (Schneider y Droll, 2001). De todos modos, el primer registro escrito (en inglés) se reconoce en 1780, en la descripción de Benjamín Rush, de una epidemia de “Fiebre quebrantahuesos” en Filadelfia, Estados Unidos (Mandell et al., 2005), Teniendo en cuenta los registros históricos, 100 países reportaron casos de dengue clásico o hemorrágico alguna vez y más de 60 lo hacen regularmente todos los años, siendo incluido en el Reglamento Sanitario Internacional, dada su relevancia epidemiológica. Su evolución en el mundo se describe en brotes, primariamente descriptos en el Sudeste Asiático, para extenderse en los últimos 30 años a América y Oceanía. Actualmente se trata de una patología de carácter endemo-epidémico, que pone en riesgo a casi la mitad de la población mundial ya sea por habitar o viajar a estas áreas tropicales y subtropicales (Ministerio de Salud de la Nación, 2009).

### 1.1.2 Antecedentes sobre Dengue en Sudamérica

El primer reporte de un brote de Dengue en Sudamérica data del año 1818 en Perú, notificándose aproximadamente 50.000 casos. A partir de 1827 comienzan a notificarse pandemias que afectaron a países como Colombia y Venezuela, y posteriormente a partir del año 1845 a Brasil (Schneider y Droll, 2001).

Luego de la recolonización de *Aedes aegypti* en distintos países del continente, a comienzos de la década de 1980 se produce la re-emergencia de la enfermedad en Sudamérica, con un significativo aumento de casos de dengue, seguido de su expansión geográfica hacia el sur del continente. Los primeros países vecinos de Argentina en notificar brotes de Fiebre del Dengue fueron Brasil en 1982 y 1986 (Schatzmayr et al., 1986; PAHO, 1994), Bolivia en 1987-1988 (Gianella et al., 1998) y Paraguay en 1988-1989 (PAHO, 1994). Chile sufrió brotes en la Isla de Pascua, en 2002 y 2007, sin casos en el sector continental del país (MSC, 2007). Hasta el momento Uruguay es el único país en América Latina sin registro de transmisión autóctona de Dengue (San Martín, et al., 2010). En 20 años, la región ha sido escenario del incremento y propagación de la enfermedad del dengue, pasando de una situación de baja endemicidad de Fiebre de Dengue, caracterizada por pocas epidemias, pocos países involucrados y baja tasa de notificación, a una situación de hiperendemia, con circulación simultánea de varios serotipos, epidemias frecuentes, muchos países involucrados, con numerosos casos y epidemias de Dengue Hemorrágico (Gubler, 1997, 2002). El total de casos de dengue reportados en la Región fueron 1.033.417 (16.4/100.000) durante los años 80, 2.725.405 (35.9/100.000) durante los años 90, y 4.759.007 (71.5/100.000) durante 2000-7. Del mismo modo, el número de casos de dengue hemorrágico aumentó en el tiempo de 13.398 (0.2/100.000) durante los años 80, a 58.419 (0.8/100.000) durante los años 90 y 111.724 (1.7/100.000) durante 2000-2007 (San Martín et al., 2010).

En el 2008 se observó una tendencia ascendente de las formas graves de dengue (dengue hemorrágico, shock por dengue y dengue con complicaciones). En América Latina, se registraron 909.000 casos de dengue clásico y 19.594 casos de dengue hemorrágico con 306 muertes. El 80% de estos casos fue notificado por Brasil debido al

brote en Río de Janeiro, donde circularon los serotipos DEN-1, DEN-2 y DEN-3 (Ministerio de Salud de la Nación, 2009). Durante el primer semestre del año 2009, según los registros de la Organización Panamericana de la Salud, solamente en la región de las Américas se contabilizaron 33 países afectados, 556.445 casos de dengue confirmados<sup>1</sup> y 198 fallecidos (OPS 2009). En la Figuras 1 y 2 puede observarse el incremento de las tasas de incidencia de Dengue en las Américas por país, por año desde 1980 hasta la semana epidemiológica 17 de 2009.

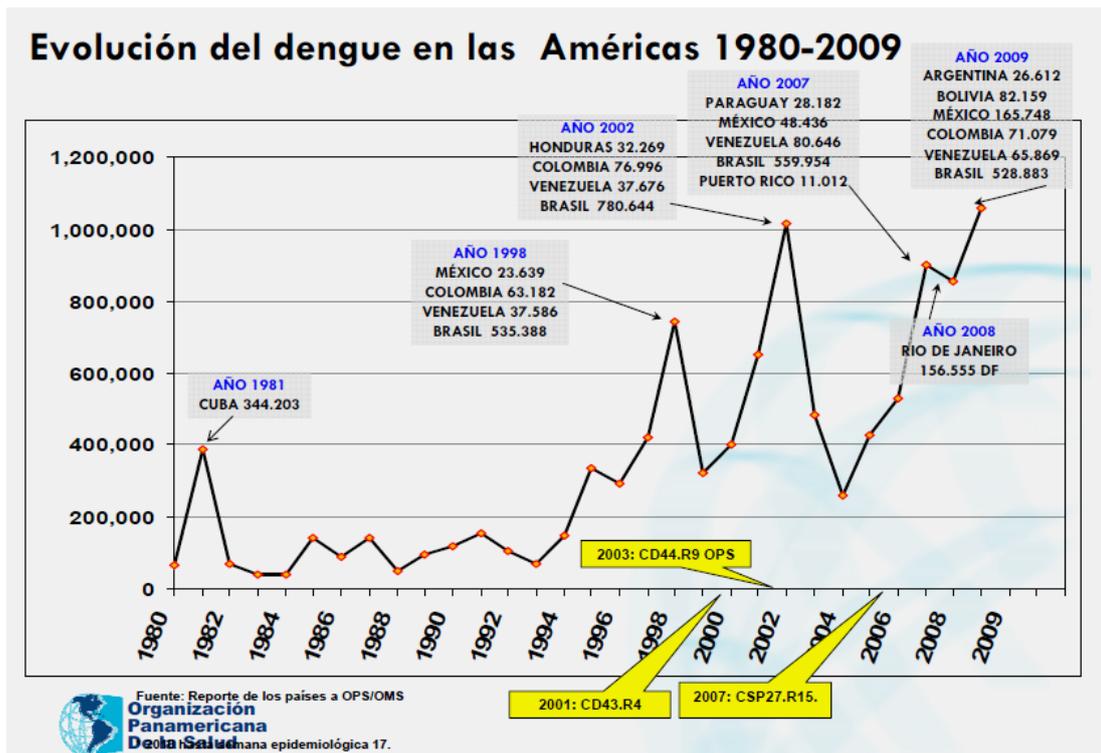


Figura 1. Evolución del Dengue en las Américas, desde 1980 a la semana epidemiológica 17 de 2009 (OPS, 2009).

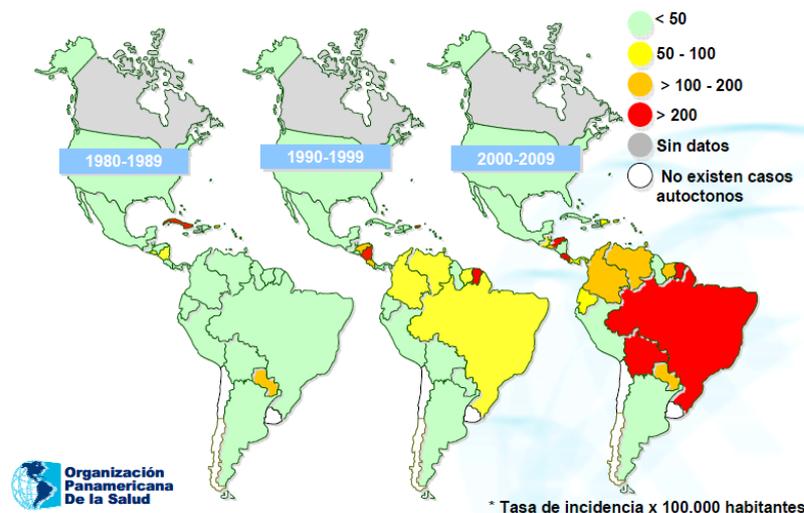


Figura 2. Incidencia de dengue cada 100.000 habitantes, por país, para la región de las Américas, en el período 1980-2007. Extraído de San Martín et al. (2010).

Para el año 2010, al considerar las tasas de incidencia de FD, notificadas por país por subregiones a la OPS/OMS (OPS, 2011), el cono sur presenta una tasa de incidencia promedio de 501 casos, cada 100.000 habitantes, viéndose incrementada por la tasa de Brasil de 626,7. Si bien nuestra región presenta aproximadamente un tercio de la incidencia del Caribe de 1250, está acompañada por la segunda tasa de letalidad (4,15), luego de la 7,9 del Caribe Hispánico (**Tabla 1**). A su vez, Brasil, con las notificaciones registradas hasta la semana epidemiológica 52, presenta aproximadamente el 65% de todas las notificaciones de la OMS en las Américas (incluyendo América continental e insular), y el 80% de las notificaciones en Sudamérica para este período.

Americas Sub-region	Dengue*	Incidence rate	Severe Dengue**	Deaths	Letality Rate
North America, Central America & Mexico	203,778	138.7	6,313	149	2.36
Andean	300,575	293.4	19,655	217	1.10
Southern Cone	1,214,951	501.0	16,577	688	4.15
Hispanic Caribbean	32,817	138.5	1,058	84	7.94
Caribbean	99,284	1,250.0	1,049	25	2.38
<b>TOTAL</b>	<b>1,851,405</b>	<b>353.6</b>	<b>44,652</b>	<b>1,163</b>	<b>2.60</b>

\*Sum of D + SD and/or Dengue Hemorrhagic Fever, SSD  
\*\*Includes SD and/or Dengue Hemorrhagic Fever, SSD

**Tabla. 1.** Número de casos de Dengue reportados en las Américas durante el año 2010, por país, actualizado a la semana epidemiológica 52. Actualizado al 21 de Enero del 2011 (OPS, 2011).

### 1.1.3 Antecedentes de la FD en la Argentina

A principios del siglo XX (**1905, 1911, 1916**) casos clínicos de la fiebre del Dengue fueron reportados, sin localización precisa, en las Provincias de Chaco, Corrientes, Formosa y Misiones (Sa Fleitas y Actis, 1959). En **1916**, ocurrió una epidemia que afectó a la provincia de Entre Ríos en las márgenes de los Ríos Uruguay y Paraguay, en la que se registraron 15.000 casos de Dengue clásico, sin notificaciones de Dengue hemorrágico (Gaudino 1916, Avilés et al., 1999). En **1926**, hubo referencias de una probable epidemia en el Norte del país, con un reporte en Rosario (Gandolfo y González, 1945). En **1997** (entre abril y noviembre), en la Provincia de Salta, y luego de más de 70 años sin notificaciones de Dengue en el país (Seijo et al., 2001; Curto et al., 2002), se detectaron 19 casos en las localidades de Orán, Salvador Mazza, Güemes y Tartagal, producidos por el serotipo **DEN-2** (Avilés et al., 1999). En **1998**, en la provincia de Salta, se registró la

primera epidemia, luego de la erradicación del vector del país, con 359 casos confirmados por serotipo **DEN- 2**. En **2000**, en las provincias de Misiones y Formosa, se registra la segunda epidemia en Argentina, con 617 casos, esta vez por serotipo **DEN-1**, estando ambas epidemias vinculadas a brotes en países vecinos (Avilés et al., 2003). Durante el año **2002**, en la provincia de Salta, se detectaron 214 casos por **DEN-1**, y en Misiones aparece el serotipo **DEN-3** (Ministerio de Salud de la Nación, 2002). Durante el **2003**, en la provincia de Salta se registraron 89 casos por los serotipos **DEN-1, 2 y 3** (Panamerican Health Organization, 2004). Durante el **2004**, en las provincias de Formosa, Jujuy y Salta, el Ministerio de Salud de la Nación notificó 1354 casos sospechosos clínicos de **DEN-3**. En **2006**, en las provincias de Salta y Misiones, el Ministerio de Salud de la Nación notificó 287 casos de **DEN-2 y 3**. En **2007**, en las provincias de Salta y Corrientes, el Ministerio de Salud de la Nación notificó 208 casos de **DEN-2 y 3**. En **2008**, en la provincia de Salta, se registraron 40 casos de **DEN-1**.

Cabe destacar, que en 10 años, desde el ingreso del virus en Argentina en 1997 hasta 2008, se registraron 3.451 casos confirmados de dengue, siendo el 14,7% (509) de los casos importados y sólo 5 las provincias que notificaron casos autóctonos: Salta, Jujuy, Formosa, Corrientes y Misiones. Hasta 2008, los casos autóctonos se originaron a partir de uno o más casos iniciales importados y aparecieron en regiones limítrofes. Salta contribuyó con más del 70% de los casos (**Figura 3**).

En **2009**, se produjo el mayor brote de dengue en la historia epidemiológica de la Argentina. Se registraron oficialmente 26.923 casos confirmados de **DEN-1** durante el primer semestre (Ministerio de Salud de la Nación, 2009), y 30 en el segundo semestre (Ministerio de Salud de la Nación, 2009b), extendiéndose a 14 provincias de la Argentina, 10 de las cuales no contaban con historia epidemiológica de dengue previa. El brote incluyó áreas andinas como Catamarca y el sur de Tucumán, clásicamente estratificadas como de bajo riesgo para la transmisión del virus, como así también casos autóctonos en los centros urbanos más poblados del país como la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Conurbano bonaerense (Ministerio de Salud de la Nación, 2009). Así mismo, fue la primera epidemia de Dengue en el país en la que se registraron muertes debido a esta enfermedad, resaltando que el mecanismo involucrado en la gravedad de la enfermedad seguida de óbito, fue la primoinfección (Seijo, 2009).

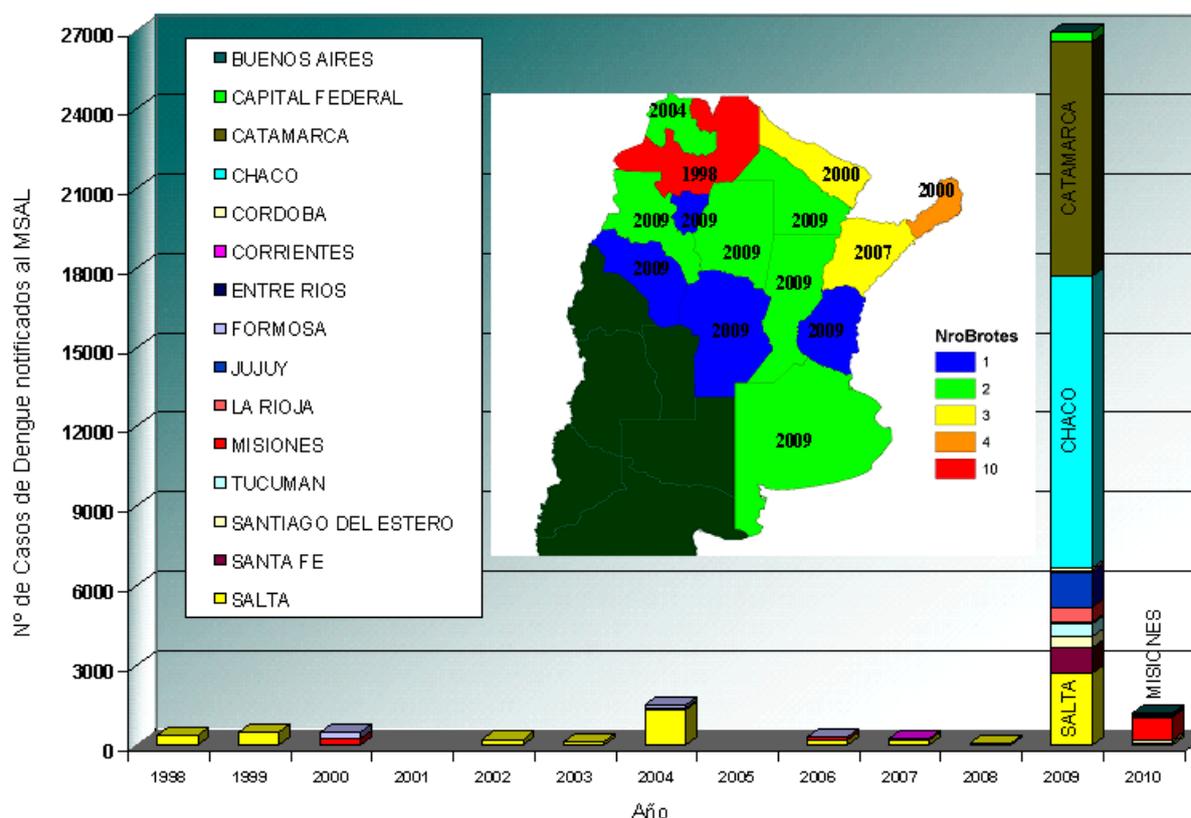


Figura 3. Número de casos confirmados de Dengue autóctono, para Argentina, por provincia, según año de ocurrencia, desde 1998 hasta el 1 de Enero de 2011. Los datos de 2010, sólo incluyen los 1185 casos del 1º semestre, debido a la falta de desagregación de los datos del 2º semestre. En el Mapa del centro, Los colores indican la cantidad de años con brotes de Fiebre del Dengue, notificadas para cada provincia argentina, desde el año 1998 hasta el primer semestre de 2010, y los números del año de re-emergencia de la FD por provincia, luego de la reinfestación del vector. Elaboración propia basada en reportes y bases del MSAL.

Durante el año 2010, el Ministerio de Salud de la Nación notificó un total de 1706 casos de Dengue, 1185 correspondientes a la primer mitad del año (Ministerio de Salud de la Nación, 2010a) y 521 en el Informe de Vigilancia de Dengue con actualización al 21 de Enero de 2011 (Ministerio de Salud de la Nación, 2010b).

## 1.2 Distribución de *Aedes aegypti*

*Aedes aegypti* (L), sería originario de África, de la región que actualmente es Etiopía, ya que allí se encuentra la mayor diversidad de representantes de la familia y donde existen formas selváticas y domésticas de esta especie. Desde allí se habría dispersado alrededor del globo principalmente durante los siglos XVI al XVIII, gracias a

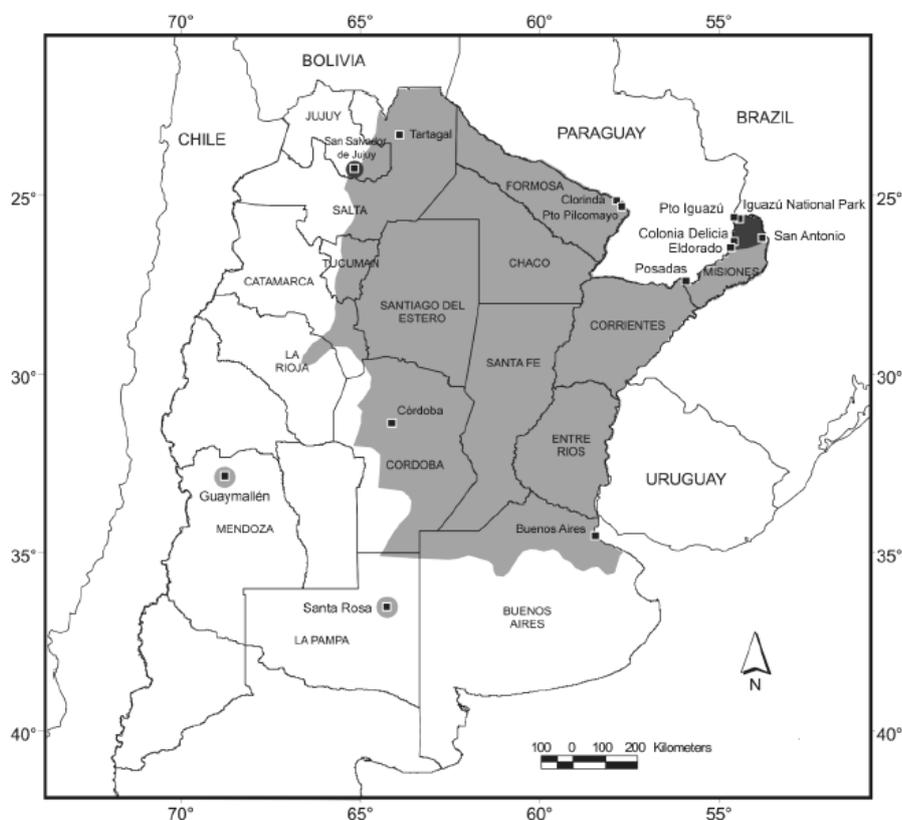
los recipientes con agua que permitían su cría en los barcos dedicados al transporte de esclavos. Desde entonces, se dispersó rápidamente a las zonas tropicales y subtropicales de todos los continentes, correspondientes a las isothermas invernales de 10°C. Si bien se consideraba que su extensión a nivel mundial se limitaba a latitudes entre los 45° Norte y 35° Sur (Martínez-Torres 1998; Otero et al. 2006), esta ha alcanzado registros de 36,6 ° Sur (Rossi et al. 2006) en La Pampa (Argentina). Su distribución también está limitada por la altitud, en general no se lo encuentra sobre los 1000 m.s.n.m. aunque se ha observado a mayor altura en lugares cálidos de la India y Colombia (Christophers, 1960; OPS, 1986; Salvatella Agrelo, 2002).

Argentina, durante la primera mitad del siglo pasado, *Aedes aegypti* se distribuía en las provincias norteñas y centrales de Argentina: Jujuy, Salta, Formosa, Misiones, Corrientes, Chaco, Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y Buenos Aires (Del Ponte, 1959; Bejarano, 1979).

Debido a que *Aedes aegypti* es considerado el principal vector de los virus de la fiebre amarilla y fiebre del dengue, una campaña de erradicación hemisférica comenzó en 1947 con el objetivo eliminarlo del continente (PAHO 1994). Entre 1955 y 1963, el Ministerio de Salud de la Argentina y la PAHO llevaron a cabo la campaña de erradicación de *Aedes aegypti* del país en forma exitosa. El MSN consideró su erradicación en 1963 (Carcavallo & Martínez, 1968), mientras que la PAHO lo certificó en 1965 (Bejarano, 1979).

Desde la reintroducción del vector en Brasil en 1975 (Schatzmayer 2000), todos los países del cono sur han sido reinfestados. Los últimos países en que la reinfestación fue descubierta fueron Uruguay en 1997 (Salvatella, 1997) y Chile (Isla de Pascua) en 2000 (MSC, 2007). En Argentina, la reinfestación de *Aedes aegypti* se descubrió en 1986 en las provincias de Misiones (Posadas y Puerto Iguazú) y Formosa (Clorinda y Puerto Pilcomayo) (Carbajo et al., 2001; Boffi, 1998; Curto et al., 2002). Unos años más tarde se registró a mil kilómetros al Sur en Buenos Aires (Campos 1993). Ya en 1995 fue encontrado en el centro del país (Córdoba) (Avilés et al. 1997) y en la ciudad de Buenos Aires (Junín et al. 1995). La distribución del vector entre 1991 y 1999 fue estudiada exhaustivamente y se mapeó a nivel de localidad a lo largo del país (Curto et al. 2002). Actualmente, los límites de distribución de la especie son la frontera norte del país, Santa

Rosa (Provincia de La Pampa) al sur (Rossi et al. 2006) y el Departamento de Guaymallén en la provincia de Mendoza (Domínguez & Lagos 2001) al Oeste (Figura 4).



**Figura 4. Distribución Geográfica estimada de *Aedes aegypti* (gris claro) y *Aedes albopictus* (gris oscuro) para el año 2008. Extraído de Vezzani y Carbajo (2008).**

Esto implica que la distribución de *Aedes aegypti* se ha expandido hacia el Oeste y Sur comparado con la distribución histórica en Argentina. Las subpoblaciones de *Aedes aegypti* mostraron niveles altos de polimorfismo genético, que hace pensar en los orígenes diferentes de las subpoblaciones genéticamente diferente (De Sousa et al., 2000). Además poblaciones del vector de las dos ciudades mayores del país, Córdoba y Buenos Aires, probablemente se han introducido a través de las rutas comerciales principales de Bolivia y Brasil, respectivamente (De Sousa et al., 2001). Por estas razones y debido a que la biología del vector puede variar entre regiones geográficamente muy próximas (Tejerina et al., 2009), para poder desarrollar modelos predictivos es necesario conocer acabadamente la biología del vector en las zonas de circulación viral comprobada.

### 1.3 Ecología y comportamiento del Vector

La transmisión del virus Dengue a través de los mosquitos vectores *Aedes* (*Stegomyia*) pertenecientes a la familia Culicidae, fue demostrada en el año 1903, y su etiología viral durante el año 1906, aislándose el virus por primera vez en 1944. Posteriormente, Sabin (1945) demuestra la existencia de diferentes serotipos capaces de dar reacciones cruzadas entre ellos y Hammon, en 1956, caracteriza 2 nuevos serotipos del virus. En la actualidad, se reconoce a La Fiebre del Dengue (FD), como una enfermedad endemoepidémica causada por cuatro serotipos del virus del Dengue (Den-1, Den-2, Den-3, Den-4), transmitidos al hombre por mosquitos del género *Aedes* (*aegypti*, *albopictus*, *polynesiensis* y *scutellaris*) (Estrada-Franco & Craig 1995, Kouri 1998).

En Argentina, y resto de países de América, el vector reconocido hasta la fecha es *Aedes aegypti*, (CDC, 2008; OMS, 2009). Si bien individuos de *Aedes albopictus* han sido registrados por primera vez para Argentina en el año 1998 en Eldorado Misiones, (Schweigmann et al., 2004), su competencia vectorial no ha sido probada en Sudamérica. La forma doméstica *Aedes aegypti*, se alimenta preferentemente sobre seres humanos y se localiza sobre todo en los alrededores o dentro de las residencias (Nelson, 1986; Tabachnick, 1991), utilizando una amplia variedad de criaderos (Stein et al., 2002). Se cree que los adultos tienen una capacidad relativamente baja de dispersión activa, ya que en experimentos de marcado, liberación y recaptura el rango de vuelo de las hembras grávidas es de entre 200-800 m, influenciado principalmente por la disponibilidad de sitios para la oviposición (Apostol et al., 1994; Reiter et al., 1995; Edman et al., 1998; Honório et al., 2003). El transporte pasivo de huevos (resistentes a la desecación), larvas y adultos por los seres humanos juega un rol central en la dispersión de esta especie (García-Franco et al., 2002; Huber et al., 2004; Harrington et al., 2005).

Las ciudades cubren habitualmente los requerimientos de hábitat de *Aedes aegypti*, dependiendo la calidad de algunos factores del hábitat, como por ejemplo: la presencia de néctar, disponibilidad de sangre y lugares favorables para el descanso y la oviposición (Vezzani et al., 2001). Se han observado así mismo, diferencias regionales en la relación con los factores abióticos tales como la temperatura, precipitación y humedad, determinantes sobre la distribución del vector. Los patrones estacionales de *Aedes aegypti*

responden en forma bastante ajustada a las variaciones en la precipitación, aunque la variable que se observó mejor correlacionada con la abundancia es la humedad relativa (Micieli et al., 2003). La diferencia en cobertura de vegetación también está relacionada con los niveles de infestación, según un estudio llevado a cabo en la ciudad de Buenos Aires (Vezzani et al., 2001). La asociación entre la vegetación y la presencia de *Aedes aegypti* en Buenos Aires también fue estudiada por Carbajo et al (2001), resaltando el impacto de la calidad de la sombra. Es indudable que sobre ésta situación inciden diversos factores ambientales que actúan en diferente medida en la problemática del dengue, su reemergencia, difusión y actual situación en el continente. Por tal motivo es evidente la necesidad de comprender cuales son los macro-factores asociados a la expansión de la enfermedad y aquellos que condicionan o evitan su desarrollo. Estudios a nivel mundial (Tauil, 2001; Hales et al., 2002; World Health Organization, 2009), relacionan tres variables principales a la alta incidencia histórica de dengue y a valores elevados de infestación local de *Aedes aegypti*: (I) la presión de vapor (una variable que combina la humedad y la temperatura), (II) la densidad poblacional humana, y (III) la disponibilidad en el medio ambiente de recipientes que acumulen agua. Si bien, la presión de vapor explica aproximadamente el 90% de la variabilidad en la incidencia del dengue en todo el mundo (Hales et al., 2005), estudios sobre localidades cercanas en Brasil, que comparten el mismo clima (presión de vapor = 68) y densidades poblacionales similares (alrededor de 4.000 habitantes/km<sup>2</sup>), han presentado incidencias de dengue, para el año 2008, de 2.036 casos cada 100 000 habitantes (Río de Janeiro) y de 1.038 casos (Niterói) (Secretaria de Saúde do Rio de Janeiro, 2009, 2009b). En ese estudio, mientras en Niterói existe una estrategia de salud familiar donde se realiza educación comunitaria y se combatió el 82% de potenciales criaderos, con un índice de vivienda del 1,7%, en Río de Janeiro, sólo el 8% de las viviendas fueron visitadas por agentes locales de salud, y el índice de vivienda asciende al 7,2% (Matheus Roriz et al., 2010). A su vez, hay que tener en cuenta que los lugares donde la presión de vapor es alta se encuentran principalmente en economías en desarrollo muy inequitativas, transformando a este enfoque basado en el clima, en ecológicamente parcial. De hecho, la mayoría de estos países en desarrollo todavía no han aplicado plenamente sistemas integrales de atención primaria, un concepto que también debería incluir políticas que apunten a la equidad socioeconómica, de acuerdo con la Declaración de Alma-Ata de 1978 (Rohde et al., 2008).

Por otro parte, la disponibilidad de recipientes potenciales que acumulen agua de lluvia, son determinantes sólo en lugares con precipitaciones suficientes y temperaturas que permitan conformar criaderos. Hay que tener en cuenta, que por ejemplo, el brote de dengue de Argentina en 2009-2010, tuvo su inicio en regiones que se encontraban bajo una sequía prolongada, y donde los criaderos estaban localizados en cisternas, tanques bajos, pozos de agua o recipientes para acumulación de agua de consumo humano (Stein, 2009).

## **1.4 Epidemiología Panorámica**

La Epidemiología panorámica o del paisaje, conocida también como Tele-epidemiología, basa algunas de sus raíces en el campo de la ecología del paisaje (Kitron, 1998) y se avoca al estudio de la variación espacial del riesgo de una determinada enfermedad o de su incidencia (Ostfeld et al., 2005). Así como la ecología del paisaje realiza análisis de los patrones y procesos en los ecosistemas a través del tiempo y el espacio, la epidemiología panorámica se puede utilizar para analizar los patrones de riesgo y factores de riesgo ambientales. Este campo se desprende de la teoría de que la mayoría de los vectores, huéspedes y patógenos están naturalmente ligados al paisaje, ya que determinantes ambientales controlan su distribución y abundancia (Pavlovsky, 1966). En 1966, Evgeniy Pavlovsky introdujo el concepto de “natural nidity” o focalidad, definido por la idea de que focos de enfermedades a microescala están determinados por todo el ecosistema (Galazo, 1975). Varios procesos ecológicos puede dar lugar a fuertes patrones espaciales de ese riesgo o de la incidencia, como por ejemplo, la dispersión de patógenos puede ser muy localizada, vectores o reservorios de agentes patógenos pueden estar espacialmente limitados, o huéspedes susceptibles pueden estar agrupadas (Ostfeld et al., 2005).

Con la disponibilidad de nuevas tecnologías de cómputo, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sensores remotos (SR), los métodos estadísticos, incluidas las estadísticas espaciales y las teorías de la ecología del paisaje, el concepto de la epidemiología panorámica se ha aplicado analíticamente a una variedad de enfermedades incluyendo la malaria, el hantavirus, la enfermedad de Lyme y la enfermedad de Chagas (Brownstein et al., 2003). Para el caso específico de la Fiebre del Dengue, debido a que ninguna vacuna o tratamiento específico, para humanos, se encuentra disponible hasta el

momento, la única solución plausible para prevenir la enfermedad, es la prevención y el control estratégico del vector. Para ello, se requiere la identificación de áreas/períodos de riesgo y de patrones de propagación del virus del Dengue, algunos de los cuales han sido encontrados utilizando herramientas de teledetección y SIG (Tran et al., 2004; Rotela et al., 2007).

En cuanto a la predicción de riesgo, pueden desarrollarse mapas epidemiológicos conociendo las modificaciones en la temperatura y las relaciones entre la presencia de los vectores y la estructura de la superficie terrestre a macroescala espacial (Engelthaler 1999, Porcasi et al., 2006). La distribución de una especie animal suele estar asociada con indicadores de la variabilidad espacial y temporal de la biomasa fotosintéticamente activa, como fuera demostrado por Rogers y Randolph (1993), Rogers et al. (2002), Randolph y Rogers (1997) y Gorla (2002). La vegetación puede caracterizarse en base a sus patrones de cambio espaciales y temporales (Hay et al., 2000), e investigaciones sobre el uso de imágenes de satélites meteorológicos mostraron el valor informativo contenido en series temporales del índice de vegetación para el desarrollo de sistemas de monitoreo a escala regional de plagas dependientes del microhábitat (Gleiser et al., 1997; Grilli y Gorla, 1997). A nivel local, la disposición espacial de la vegetación integra efectos de la temperatura, precipitación y propiedades edáficas; por ello, en algunas circunstancias puede resultar un indicador relacionado con variables que influyen directamente sobre procesos demográficos básicos (mortalidad, natalidad, dispersión) que operan a escala local.

En este contexto los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) tienen fundamento en aquellas enfermedades con variación temporal que, como en el caso del Dengue, producen picos epidémicos pueden ser disparados por la variabilidad de condiciones climáticas y/o ambientales (World Health Organization, 2009). Es así que uno de los principales objetivos de la Epidemiología Panorámica, es el desarrollo de mapas de riesgo de enfermedades específicas para lograr la formulación de sistemas de alerta temprana (del inglés Early Warning Systems) en salud; mejorando de esta manera las acciones en programas de control y prevención de enfermedades (Porcasi, 2009). De esta manera los SATs tienen como objetivo principal el soporte tanto a la toma de decisión como a la prevención de enfermedades altamente relacionadas con el ambiente espacial. Por lo tanto, si se demostrasen relaciones entre la presencia o abundancia de *Aedes aegypti* y ciertos tipos y patrones de paisaje

detectables por sensores remotos y SIG, que actúan como facilitador epidemiológico, podrían predecirse los ambientes más vulnerables a desencadenar una epidemia de fiebre del Dengue, como un aporte para la planificación sanitaria de la región.

## **1.5 Hipótesis de trabajo y Objetivos**

Existen características biofísicas relacionadas a parámetros poblacionales del vector de la Fiebre del Dengue y a áreas favorables para la transmisión viral, plausibles de ser identificadas mediante sensores remotos, permitiendo estratificar áreas según niveles de riesgo como apoyo a la vigilancia y control eco-epidemiológico.

Basado en esta hipótesis, el objetivo general del proyecto es el de desarrollar modelos, indicadores y metodologías que permitan, haciendo uso de información ambiental proveniente de sensores remotos, predecir temporal y espacialmente riesgo epidemiológico de la Fiebre del Dengue en Argentina, que puedan servir como herramientas de apoyo para la construcción de un sistema de alerta temprano y para el diseño de estrategias de control sanitario.

### 1.5.1 Objetivos específicos

- 1) Establecer relaciones entre datos bio-ecológicos (estadísticos vitales y distribución) de *Aedes aegypti*, datos epidemiológicos y distintos índices generados a partir de mediciones provenientes de sensores a bordo de satélites.
- 2) Construir indicadores satelitales relacionados a la dinámica espacio-temporal del vector del virus Dengue.
- 3) Encontrar correspondencias entre atributos de hábitat terrestres que actúan como facilitadores epidemiológicos y patrones detectables por distintos sensores a bordo de los satélites.
- 4) Construir mapas de riesgo epidemiológico utilizando modelos multivariados basados en datos de campo y variables biofísicas estimadas con sensores remotos.
- 5) Implementar un modelo biológico de ecuaciones diferenciales, para la simulación de la dinámica de difusión espacio-temporal de poblaciones de mosquitos *Aedes*.
- 6) Desarrollar modelos empíricos de favorabilidad ambiental basados en imágenes satelitales.
- 7) Analizar la predictibilidad de diferentes modelos y mapas, construidos en base a imágenes de distintas escalas espacio-temporales, a través de verdad de campo de dengue y otras arbovirosis.
- 8) Generación de herramientas para apoyo a sistemas de alerta epidemiológica temprana y planes de contingencia.

# Capítulo II

## Modelado de la difusión espacio-temporal de vectores sobre paisajes caracterizados a partir de información de sensores remotos

### 2.1 Introducción

#### 2.1.1 Fundamentos de la Teledetección

La expresión “Percepción remota” (del inglés “Remote Sensing”), designa la técnica que permite el estudio de un objeto sin entrar en contacto directo con el mismo, basándose en la medición de radiación electromagnética reflejada, absorbida o transmitida por objetos en la superficie de la Tierra (Hay, 2000). Más específicamente, Chuvieco (1990) define la Teledetección como la tecnología que permite obtener imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. Green et al. (2002) lo define como el único medio viable de proveer información a escala regional de variables climáticas y ambientales a intervalos de frecuencia regulares y en tiempo real de extensas áreas geográficas. En este sentido, las imágenes satelitales brindan la posibilidad de monitorear el ambiente, la distribución de los recursos naturales, la variación espacio-temporal del uso de la tierra, la evolución de inundaciones, sequías e incendios, reduciendo el trabajo de campo y brindando disponibilidad de datos con cierta frecuencia (Cigliano y Torrusio, 2003). Debido a que entre los factores principales que regulan la dinámica de las poblaciones de mosquitos se encuentran las variables meteorológicas y las características del paisaje, la información derivada de sensores remotos representa una herramienta para el

desarrollo de indicadores, modelos poblacionales de vectores/reservorios y mapas de riesgo (Mills y Childs, 1998).

Sobre las características de los sensores, algunos autores definen la resolución de un sistema sensor como su habilidad para discriminar información de detalle (Estes y Simonette, 1975), entendiendo como discriminación a la mayor o menor distinción o separación que puede apreciarse entre dos sucesos u objetos próximos en el espacio o en el tiempo (Real Academia Española, 2001). La elección de la resolución de los datos obtenidos por teledetección es crítico para la decisión del tipo y número de imágenes que concuerden con el propósito de la investigación. Para ello, hay que considerar los cuatro tipos de resoluciones característicos en teledetección (Chuvieco Salinero, 2002): 1) Resolución espectral: corresponde con el ancho de las longitudes de onda que los sensores son capaces de captar, es decir, describe la capacidad del sensor para discriminar entre leves diferencias en la energía de los cuerpos; 2) Resolución radiométrica: es la sensibilidad de los sensores a la magnitud de radiación electromagnética y es definida por el número de bits usados para recoger los datos. Por ejemplo, si el sensor usa 8 bits para almacenar los datos, se contará con 256 valores digitales ( $2^8$  bits), o valores de grises, para medir la energía (a esto se denomina rango dinámico del sistema); 3) Resolución espacial: Refiere al tamaño del objeto más pequeño que sea posible detectar. Se define como el área en la superficie de la Tierra contenida en un píxel de la imagen. Un píxel (picture element) es la menor unidad de la que está compuesta una imagen, representada por una matriz de píxeles; 4) Resolución temporal o revisita: se refiere al período de tiempo transcurrido entre dos observaciones consecutivas de la misma área.

Desde los comienzos de las aplicaciones de la tecnología de la Teledetección o Sensado Remoto (SR, del inglés Remote Sensing), los estudios sobre las enfermedades transmitidas por vectores se han centrado en la identificación y cartografía de los hábitats del vector (Barnes y Cibula, 1979; Hayes et al., 1985), la evaluación de los factores ambientales relacionados con la biología de los vectores (Rogers y Randolph, 1993; Kitron, 1998) y al estudio de la epidemiología de las enfermedades (Linthicum et al., 1999; Murray, 2003). Wood et al. (1991) y Glass et al. (1992) investigaron la aplicación de los sensores remotos y técnicas de análisis espacial para identificar y mapear elementos del paisaje que en conjunto definen la dinámica de las poblaciones de los vectores y humana relacionadas con el riesgo de transmisión de enfermedades.

Dentro de la amplia variedad de información derivada de sensores remotos satelitales, existen indicadores relevantes para la cadena epidemiológica que, generalmente no son otra cosa que transformaciones de las imágenes realizadas a través algoritmos de bandas y que se aproximan en gran medida a las variables meteorológicas medidas “in situ” (Hay, 1996; Hay y Lennon, 1999). El cálculo de índices es una técnica de uso habitual en teledetección y son comúnmente utilizados para mejorar la discriminación entre cubiertas o elementos que presenten un comportamiento reflectivo muy distinto entre dos o más bandas, por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el espectro visible e infrarrojo cercano, y para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvienco, 1996). Numerosos índices pueden ser obtenidos a partir de algoritmos aplicados sobre bandas originales de sensores, como por ejemplo los índices de Agua (Normalized Difference Water Index: NDWI), Suelo (Normalized Difference Soil Index: NDSI) y Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) (Yamazaki et al., 2006), o los índices Tasseled Cap, indicadores de verdor, brillo y humedad, o de Temperatura de Superficie (Land Surface Temperature: LST) (Sobrino y Raissouni, 2000).

Para la identificación de masas vegetales, los cocientes o índices, se basan en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación. Una masa vegetal en óptimas condiciones, es decir en buen estado sanitario, posee 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  $\mu\text{m}$ ) y el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1 $\mu\text{m}$ ). Esto se da 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 y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano. Por lo tanto este comportamiento permite separar con relativa facilidad, la vegetación sana de otras cubiertas. En particular el Índice Normalizado de Vegetación (Jensen, 1986) o NDVI transforma datos multiespectrales en una única banda o imagen única, según el siguiente algoritmo:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Infrarrojo Cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Rojo}}$$

Para el sensor TM, del satélite Landsat 5:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda 3}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 3}}$$

Los valores resultantes del NDVI, como para el resto de los índices normalizados, varían entre -1 y +1, siendo mayor el vigor vegetal presente en la zona observada o en cada píxel, cuanto mayor sea el resultado obtenido del NDVI, 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). A su vez, otros índices como los de Tasseled Cap (Crist y Cicone, 1984; Crist y Kauth, 1986) se obtienen por combinación lineal específica de bandas originales de imágenes Landsat 5TM, representando como imágenes monoespectrales (o en escala de grises) los índices "brillo del suelo", "de vegetación verde" y "tercer componente", relacionado con características del suelo que incluyen el estatus de humedad del mismo.

A su vez, el macroambiente puede ser considerado como paisaje, una superficie espacialmente heterogénea, representada por un conjunto de unidades homogéneas denominadas clases de cobertura, que pueden estar formadas por áreas naturales o intervenidas por el hombre, y entre los que se establecen relaciones espaciales y funcionales (Forman & Gordon, 1986). El tamaño, forma, tipo, heterogeneidad, características del borde y distribución espacial de los parches, de cada tipo de cobertura, definen la estructura del hábitat y afectan de manera directa o indirecta a la distribución y abundancia de los organismos dentro y entre parches (Krawchuk & Taylor, 2003). Elementos como los corredores, o parches alargados que funcionan como conectores permitiendo la dispersión de organismos y el flujo de energía entre los parches que unen, a la vez actúan como hábitat temporal de distintas especies. Todos estos elementos están inmersos dentro de una "matriz", o elemento espacial dominante, que permite un flujo de materia y energía dentro de un paisaje (Forman, 1995; Krawchuk & Taylor, 2003; Grez et al., 2004), y a su vez poseen implicancias directas o indirectas en la dinámica espacial de las especies (Marshall et al., 2002). En referencia a los componentes del paisaje, existen dos componentes principales de la diversidad del paisaje, la "composición" que hace

referencia a la diversidad de las coberturas (tipos y proporciones), y “configuración” que se refiere a la distribución espacial de sus proporciones relativas en el paisaje (Li, 1989). En este sentido, el conocimiento de la manera en que el arreglo espacial de los elementos del paisaje, es decir la estructura, afecta la dinámica de los organismos vivos, se plantea como un área de estudio que puede contribuir al desarrollo de la investigación entomológica aplicada (Garramuño, 2006).

## 2.2 Objetivos y contexto del capítulo

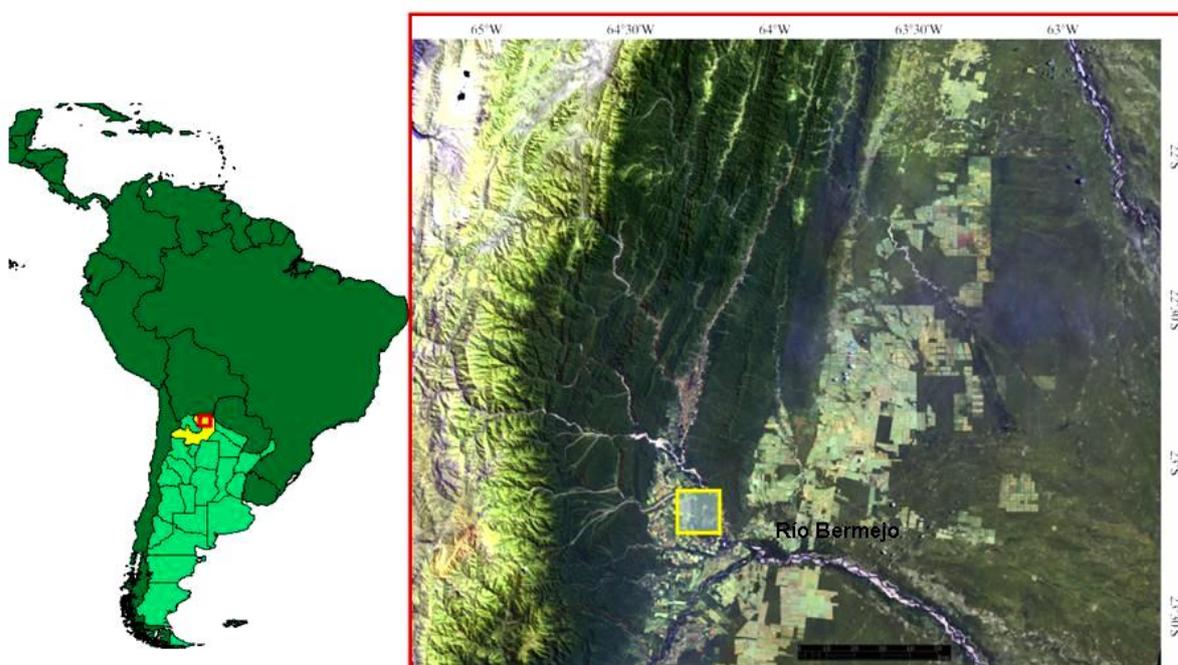
El presente capítulo, presenta una utilización exploratoria de las imágenes de satélites ópticos en el contexto de la ecología de vectores. El objetivo principal de este capítulo es el de desarrollar computacionalmente y explorar el funcionamiento de un modelo de difusión espacio-temporal, que corre sobre la base de información derivada de Sensores de Remotos, para una mejor comprensión de las características ambientales y los parámetros de la población de vectores que determinan la dinámica de la distribución de los mosquitos en una región endemo-epidémica de dengue en el norte de Argentina.

Las imágenes en este caso son utilizadas para describir el ambiente y como ejemplo se propone la implementación de un modelo numérico para simular la dinámica de difusión espacio-temporal de poblaciones de mosquitos. Este modelo considera parámetros poblacionales del vector como nacimientos, difusión, atracción por mamíferos y muertes, y por otro lado, dinámica de viento superficial y categorías de uso de la tierra derivadas de imágenes satelitales. Ecuaciones diferenciales del transporte, difusión y conservación usados en mecánica de fluidos en su aproximación continua, son adaptadas para el estudio de la dinámica de población de mosquitos culícidos. El entrenamiento del modelo considera parámetros del género *Aedes*, y se utiliza como sitio un área de amortiguamiento de la reserva de la biosfera “Las Yungas”, en la región sur del bosque montañoso este de los andes, en la provincia de Salta – Argentina. Las ecuaciones del modelo de difusión, corren sobre una imagen de rugosidad del paisaje, derivada de imágenes Landsat 5 TM, a través de clasificaciones supervisadas y filtros de textura.

## 2.3 Materiales y Método

### 2.3.1. Área de Estudio

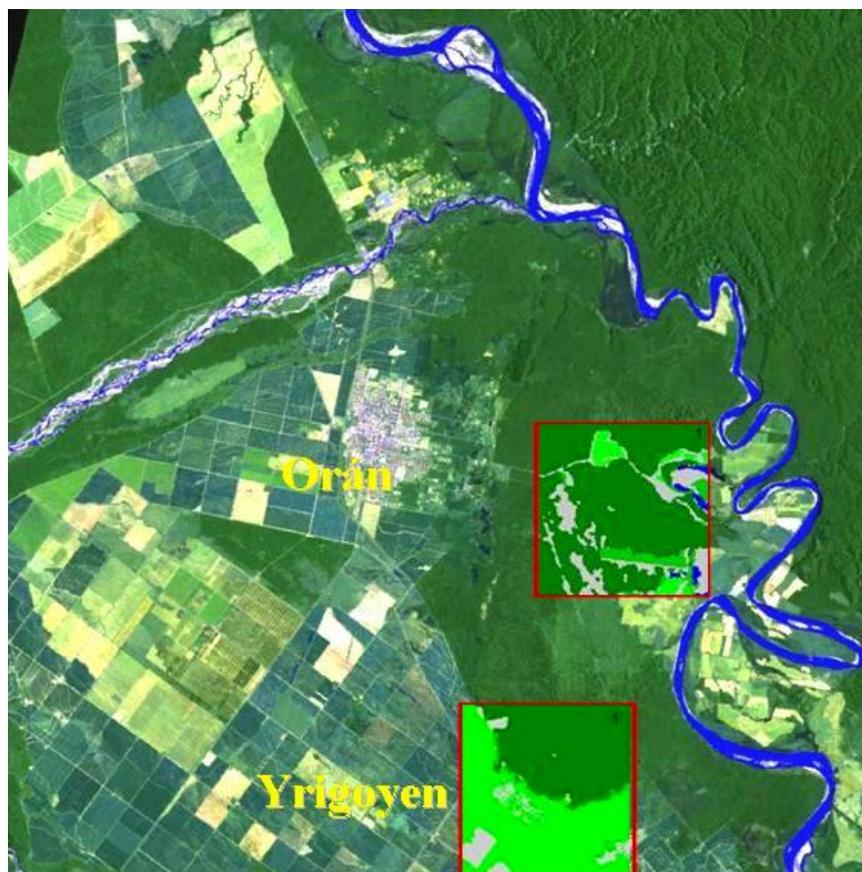
Situada en la provincia de Salta - Argentina, en la selva oriental de la cadena montañosa andina, es una zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera de Naciones Unidas "Las Yungas". Las características principales de la región son la alta biodiversidad, la presencia de especies de importancia económica, los recursos del paisaje y la convergencia de una gran diversidad de culturas nativas amerindias. El área de estudio (Figura 6) abarca una gran diversidad de paisajes de los ecosistemas alto andinos de bosque de montaña, Chaco Serrano, los bosques nubosos de la selva subtropical de montaña baja, con los bosques montanos, pastizales y tierras de cultivo de caña de azúcar, cítricos, soja y algodón, entre otros (Volante et al. 2004).



**Figura 6.** Ubicación general del área de estudio, en la provincia de Salta, Departamento Orán. A la derecha, Mosaico Landsat 5 TM. Paths 230 – 231. Rows 75 – 76, del 16 de Septiembre y 27 Octubre de 2011. (RGB = 7520)

Dos paisajes diferentes de 5,7 Km. x 5,7 Km., fueron elegidos para ejecutar el modelo de difusión sobre información derivada de imágenes Landsat. El primero, al este y en inmediaciones de la ciudad de San Ramón de la Nueva Orán, en área de características rurales, con casas o granjas aisladas, rodeadas de cultivos y surcada de una red de drenaje importante, conteniendo parches de vegetación nativa y forestaciones comerciales (23° 9' 31.08" S, 64° 14' 52.58" W – Datum WGS84).

El segundo (Figura 7), la localidad de Hipólito Irigoyen (epidémica en lo referente a Fiebre del engue) y su región sub-urbana ( $23^{\circ} 14' 36''$  S,  $64^{\circ} 16' 35.84''$  W - Datum WGS84).



**Figura 7:** Área de estudio. Los recuadros rojos, indican los sitios de entrenamiento, para los que se generaron sendas imágenes de textura del paisaje, en base a una imagen Landsat 5 TM. Hipólito Irigoyen (al sur) y cercanías de Orán (Centro-Este).

### 2.3.2 Características de las Imágenes Landsat 5 TM

El satélite de observación de la tierra Landsat 5 pertenece al programa Landsat del gobierno de los Estados Unidos, y es operado por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Puesto en órbita el 1° de marzo de 1984, a una altitud de 705 Km., cada imagen cubre un área de 185 x 185 Km., posee una inclinación solar de  $98.2^{\circ}$ , con órbita polar helio sincrónica, una revisita de 16 días, y un período de revolución de 99 minutos (14.5 orbitas/día), pasando por el Ecuador a las 9:45 AM ( $\pm 15$  min.) hora local (en modo descendente). En funcionamiento por más de 27 años, los sistemas imageadores

Landsat 5 fueron suspendidos en Noviembre de 2011 debido a fallas en un componente fundamental de transmisión. El equipo de operaciones de vuelo continúa explorando opciones, que incluyen los procedimientos alternativos de operación para el sensor Thematic Mapper (TM) utilizado en este apartado. El sensor TM, opera en siete bandas espectrales diferentes elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7, que se agregó para aplicaciones geológicas. La imagen posee un tamaño de píxel en todas las bandas de 30 metros, a excepción de la banda termal 6, que tiene un píxel de 120 metros en el terreno, presentando las siguientes características:

- Banda 1: (0,45 a 0,52 micrones - azul) fue diseñada para la penetración en cuerpos de agua, y es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintas cubiertas boscosas como por ejemplo coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.

- Banda 2: (0,52 a 0,60 micrones - verde) fue especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) en el espectro del verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas.

- Banda 3: (0,63 a 0,69 micrones - rojo) es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de tipos de rocas.

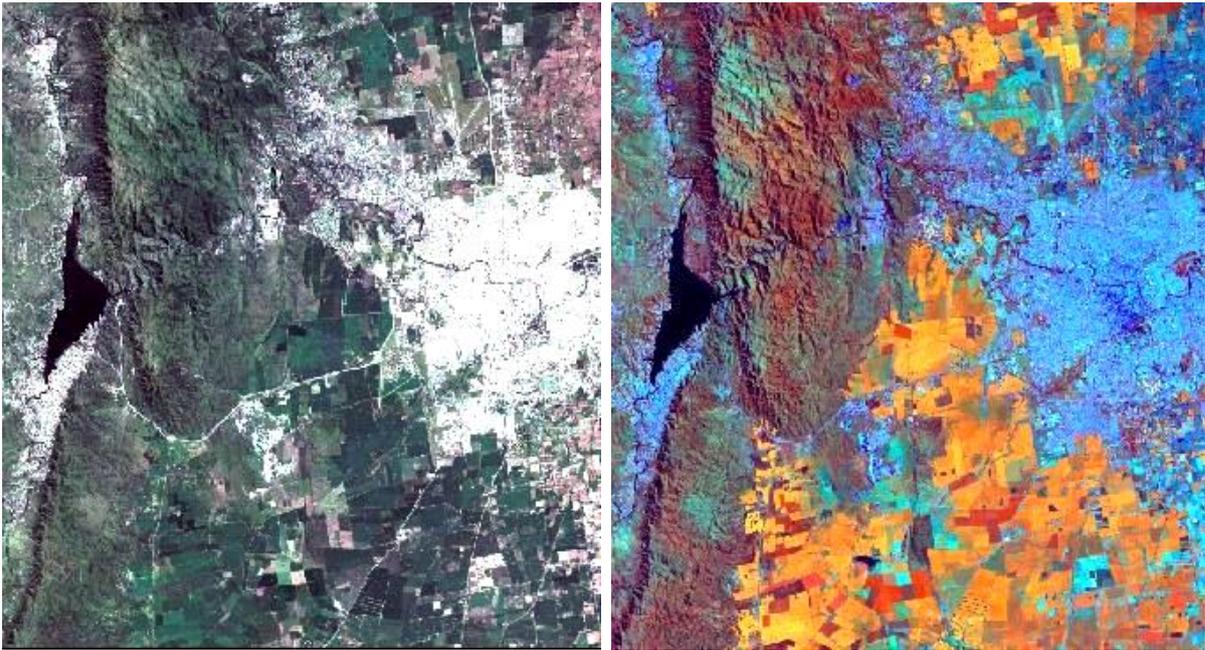
- Banda 4: (0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano) es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

- Banda 5: (1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio) es indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo, y es útil para discriminar nieve y nubes.

- Banda 6: (10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal o infrarrojo térmico) es útil en el análisis del estrés de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal o de temperatura de superficie.

- Banda 7: (2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo lejano) fue especialmente diseñada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidroxilos (OH) y la absorción de agua.

A nivel del análisis visual, estas siete bandas pueden combinarse de a tres o más, produciendo una gama de imágenes de falso color compuesto (Figura 5) que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales (De la Riva y Cabello, 1998; Guichón et. al., 1999; Chuvieco Salinero, 2002).



**Figura 5:** Visualización de sub-escenas Landsat 5 TM, Path: 229- Row: 82). A la izquierda, color verdadero (RGB = B3-B2-B1), y a la derecha falso color compuesto (RGB = B4-B5-B3) que resalta patrones de vegetación (en rojo) y las urbanizaciones (azul).

### 2.3.3 Descripción del modelo

Se propone un modelo numérico para simular la dinámica de difusión de *Aedes albopictus*, teniendo en cuenta el viento superficial y parámetros de dinámica de poblaciones de vectores relacionados con los usos de la tierra, tales como nacimientos, la difusión, la atracción por las hemato-fuentes (humanos en este caso) y muertes. Ecuaciones diferenciales de transporte, difusión y conservación utilizadas en mecánica de fluidos en su aproximación continua, fueron adaptados para el estudio de la dinámica de población de *Aedes albopictus*. La primera ecuación (1) representa un modelo general sobre la base de las parametrizaciones de Raffy y Tran, 2005, dónde el primer término representa la difusividad, el segundo el transporte del viento y el tercero la atracción por los mamíferos. El último corresponde a las fuentes y sumideros. El sistema de ecuaciones es resuelto mediante diferencias finitas.

$$\frac{\partial \rho(P, t)}{\partial t} = \nabla \cdot (D_R \nabla \rho) - \nabla \cdot (\rho D_W V) - \nabla \cdot (\rho K_H \nabla H) + \alpha - \beta$$

Dónde:

<b>P</b>	Densidad de mosquitos	No homogéneo
<b><math>\alpha</math></b>	Tasa de nacimientos	6 (m <sup>2</sup> /día)
<b>B</b>	Tasa de muertes	0.2
<b>V</b>	Velocidad Viento Superficie	No homogéneo
<b>K<sub>H</sub></b>	Tensor de Atracción	100
<b>H</b>	Campo de Atracción	No homogéneo
<b>D<sub>R</sub></b>	Tensor de Difusión	No homogéneo / ver Tabla2
<b>D<sub>W</sub></b>	Tensor de Rugosidad	No homogéneo / ver Tabla2

**Tabla. 2. Parámetros utilizados en el modelo. Adaptados de Raffy y Tran (2005) y Tran (2004). Los Parámetros No homogéneos, son creados a priori según el formato requerido (viento = vector, densidad y Campo de Atracción = Raster)**

Todos los tensores son considerados como escalares, en este modelo preliminar. Los tensores D<sub>R</sub> y D<sub>W</sub> dependen del paisaje, considerándose dependientes de las clases de uso del suelo y sus valores correspondientes adaptados de Raffy y Tran, 2005. Las ecuaciones de difusión del modelo trabajan en un escenario no-homogéneo y con tensores de difusión no uniformes. El campo de atracción (un valor por pixel de un raster de 200x200), es calculado con un Filtro del tipo Pasa Bajo, en el que su valor depende de la cantidad de pixeles con viviendas que haya a su alrededor. El valor del pixel de una vivienda (dónde se encuentra la hematofuente), a su vez rodeado (ventana de 100 x 100 metros) en un 100% de viviendas, es máximo con un valor de atracción = 1. Un pixel sin viviendas y rodeado de otras clases que no incorporan hematofuentes, adquiere un valor de atracción = 0.

Al despejar el término correspondiente a la densidad de mosquitos, tenemos:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(P, t) = \text{Rozamiento}(P, t) - \text{Transporte}(P, t) - \text{Atraccion}(P, t) + \alpha(P, t) - \beta(P, t)$$

En la cual:

$$\text{Rozamiento}(P, t) = \text{div}[D_R(P, t) \cdot \nabla \rho(P, t)]$$

$$\text{Transporte}(P, t) = [D_W(P, t) \cdot \vec{W}(P, t) \cdot \nabla \rho(P, t)]$$

$$\text{Atracción}(P, t) = \text{div}[K_H \cdot \rho(P, t) \cdot \nabla H(P, t)]$$

Dónde:

$\rho(P, t)$  = densidad de mosquitos

$D_R(P, t)$  = tensor de rozamiento

$D_W(P, t)$  = tensor de viento

$W(P, t)$  = velocidad del viento

$K_H$  = constante de atracción

$H(P, t)$  = campo de atracción

$\alpha(P, t)$  = razón de nacimientos

$\beta(P, t)$  = razón de muertes

Para la generación de estos valores, cinco (5) clases de rugosidad del paisaje diferentes (Ogunjemiyo et al., 2005) fueron generadas en base a una escena Landsat 5TM, adquirida el 25 de enero de 2004 (Path 230 - Row 76) y sus índices derivados, NDVI (Jensen, 1986) y transformaciones Tasseled Cap (Crist y Cicone, 1984; Crist y Kauth, 1986). A su vez, se aplicó un filtro de textura de medidas de co-ocurrencia (Envi 4.1, 2004) a la banda NDVI, con el fin de resaltar diferencias a nivel de patrones espaciales de la vegetación. La clase **Agua** (Ríos y Fuentes de agua superficial como lagos, lagunas, charcos) fue obtenida a través de una clasificación de Máxima Verosimilitud (Maximum likelihood classification) utilizando como entrada las 3 bandas Tasselred cap y las bandas 1-2-3-4-5-7 de la imagen Landsat 5TM, y un umbral de 0.9 desvíos estándar. La clase “**Suelo expuesto**” fue derivada a partir de valores umbral del NDVI entre 0 y 0.25. Tres Clases de vegetación 1) **vegetación baja**, 2) **forestaciones comerciales o bosques abiertos** y 3) **selva de yunga**, fueron creadas a partir de Regiones de Interés (ROI tool) derivadas de umbrales del NDVI y de los Filtros de Textura aplicados al NDVI. El desarrollo vertical de la vegetación y la cobertura vegetal de las áreas verdes fueron

supervisadas a través de imágenes de alta resolución espacial del sitio Google Earth. Todos los procedimientos de tratamiento de las imágenes se realizaron utilizando el programa ENVI 4.1, incluyendo el de incorporación de cada clase creada a una única “Imagen de Textura del Paisaje” en la que se utilizó la herramienta “Band Math” o álgebra de bandas, para asignarle a cada una de las clases un valor numérico ascendente, en relación directa a la rugosidad del paisaje (complejidad vertical y horizontal de la vegetación). Para validar las clases obtenidas y obtener el nivel de precisión del clasificador, se utilizaron matrices de confusión y el índice de Kappa, comúnmente empleadas para evaluar categorías en mapas de clasificación y su respectiva correspondencia en el terreno (Hernández-Stefanoni & Ponce-Hernández, 2004). En la matriz de confusión se muestran no solo la cantidad de píxeles incorrectamente clasificados (error de omisión), sino también a que clase han sido incorrectamente asignados (error de comisión) (Chuvieco, 2010).

Por otro lado, el estadístico Kappa ( $k$ ), es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la chance de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio. El valor del coeficiente puede variar entre 0 y 1, y cuanto más cercano a 1 esté, mayor será la concordancia del método, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es debido al azar (Chuvieco, 2010). Las clases obtenidas, fueron aceptadas al alcanzar valores entre 0.81 y 1, según el criterio de Cerda & Villarroel (2008), y con valores de precisión global (porcentaje de píxeles clasificados correctamente por el operador) mayores al 85%.

Por otra parte, los valores del Tensor de Difusión (viento) fueron creados en forma proporcional a los Tensores de Rugosidad (paisaje). Ver tabla 2.

<b>Clases de Rugosidad del Paisaje</b>	<b>D<sub>w</sub></b>	<b>D<sub>R</sub></b>
Agua	1	0
Suelo Expuesto	1	0.2
Vegetación baja	0.7	0.3
Bosques abiertos	0.5	0.5
Selva de Yungas	0.3	0.7

**Tabla. 2. Coeficientes de tensores de rugosidad y de viento utilizados en las corridas del modelo numérico, donde DW es el Tensor de Rugosidad y DR el de Difusión. Adaptado de Raffy y Tran, 2005.**

En lo referente al viento de superficie (V), experimentos en túneles de viento, tanto en laboratorio como en campo, muestran que bajo condiciones ventosas, los mosquitos viajan contra la dirección del viento, dentro de la pluma de olor, con el fin de localizar la hematófuerce (Dekker et al. 2001, 2005; Cooperband y Carde, 2006). Los mosquitos culícidos infieren la dirección del viento, al parecer, a partir del flujo óptico de elementos del suelo, relativos a su posición (Carde, 1996), evitando lugares con vientos que se acercan a sus propias velocidades de vuelo (0,4 a 1,6 m/s; 0,9 a 3,6 millas/hora), como fuera demostrado por Hoffmann y Miller (2002). En base a estas evidencias, el desplazamiento de los mosquitos se ejecuta contra la dirección del viento, en dirección a los atractores o hematófuerces, permaneciendo en reposo cuando la velocidad del viento supera la velocidad media de vuelo de la especie establecida en el modelo.

Para ejecución del programa, deben construirse previamente un conjunto de archivos que llamaremos “condiciones iniciales”, y en los cuales se definen todos los valores necesarios para realizar la simulación. Se debe tener en cuenta que de acuerdo a la cantidad de horas que se desee realizar la simulación, será la cantidad de archivos por variable necesarios, ya que estos datos varían con el tiempo. Por ejemplo, para una simulación de 48 horas, los archivos en formato Raster de nacimientos y muertes son 48 bloques de 200 x 200 valores cada uno, mientras que el viento es un Vector con 48 valores. Dichos archivos son:

**Tensor de viento:** en este archivo, se encuentran los datos correspondientes al tensor de viento para una imagen sobre la cual se desee correr la simulación.

**Tensor de rozamiento:** en este archivo, se encuentran los datos correspondientes al tensor de rozamiento para una imagen sobre la cual se desee correr la simulación. Dicho archivo es generado a partir del archivo de clasificación de la imagen y la asignación de rugosidad.

**Viento:** este archivo contiene los valores de dirección, sentido y velocidad del viento correspondiente a la cantidad de horas que se desee hacer la simulación. Por ejemplo, si se desea correr una simulación durante 48 hs, entonces en este archivo deben estar todos los valores del viento para cada una de las horas de la simulación.

**Nacimientos:** en este archivo se encuentran los datos correspondientes a los nacimientos de insectos para la imagen dada. Al igual que para el archivo del viento, en este caso, deben estar presentes todos los valores para toda la cantidad de horas que se desee realizar la simulación. Esto también se debe a que la tasa de nacimientos puede variar de acuerdo al tiempo, o a algún parámetro a incorporar como la temperatura.

**Muertes:** este archivo contiene los valores correspondientes a las muertes de los insectos para la imagen dada. Este archivo tiene el mismo formato que el archivo de nacimientos.

**Atractores:** en este archivo se encuentran los datos correspondientes a los atractores. Para este caso, representan zonas con hemato-fuentes, tanto Rurales como de áreas Urbanas, y se representaron a través de la ubicación de estancias, granjas y unidades habitacionales, localizadas a partir de las imágenes satelitales.

**Densidad inicial:** en este archivo se encuentran los datos correspondientes a la densidad de insectos inicial, en referencia a las áreas de cría de los mosquitos *Aedes albopictus*, simuladas y representadas por cementerios, depósitos de neumáticos o chatarra, ubicados en las inmediaciones de las ciudades o viviendas rurales.

## 2.4 Resultados y discusión

En las Figuras 8 y 9, se muestra, para los sitios de entrenamiento, la distribución de densidad de mosquitos cada 12 días, como así también la velocidad y sentido del viento. Los resultados muestran los efectos sobre la difusión de las poblaciones debidas al efecto del viento y la rugosidad del paisaje. Las plumas de difusión de mosquitos, bajo la misma baja intensidad y dirección del viento, poseen una forma circular regular en la selva, y una forma longilínea concordante con el sentido, pero opuesta a la dirección del viento, sobre clases de rugosidad con menor fricción, como suelo expuesto o vegetación baja. Por otra parte, no hay ni difusión de mosquitos, ni transporte debido al viento, cuando la velocidad efectiva del viento es mayor a la velocidad propia de desplazamiento de la especie, y la atracción no solo depende del rango de atracción de la hemato-fuente, sino que también del tamaño efectivo de los grupos de atractores.

La simulación dentro de la ciudad de Hipólito Irigoyen, con 5 sitios diferentes de cría de *Aedes*, muestra que los mosquitos permanecen solo en las áreas con alta densidad de atractores. En la difusión en áreas rurales, el rango de atracción de los hogares no es lo suficientemente fuerte para mantener altas densidades de mosquitos cuando la rugosidad del paisaje permite velocidades efectivas altas del viento.

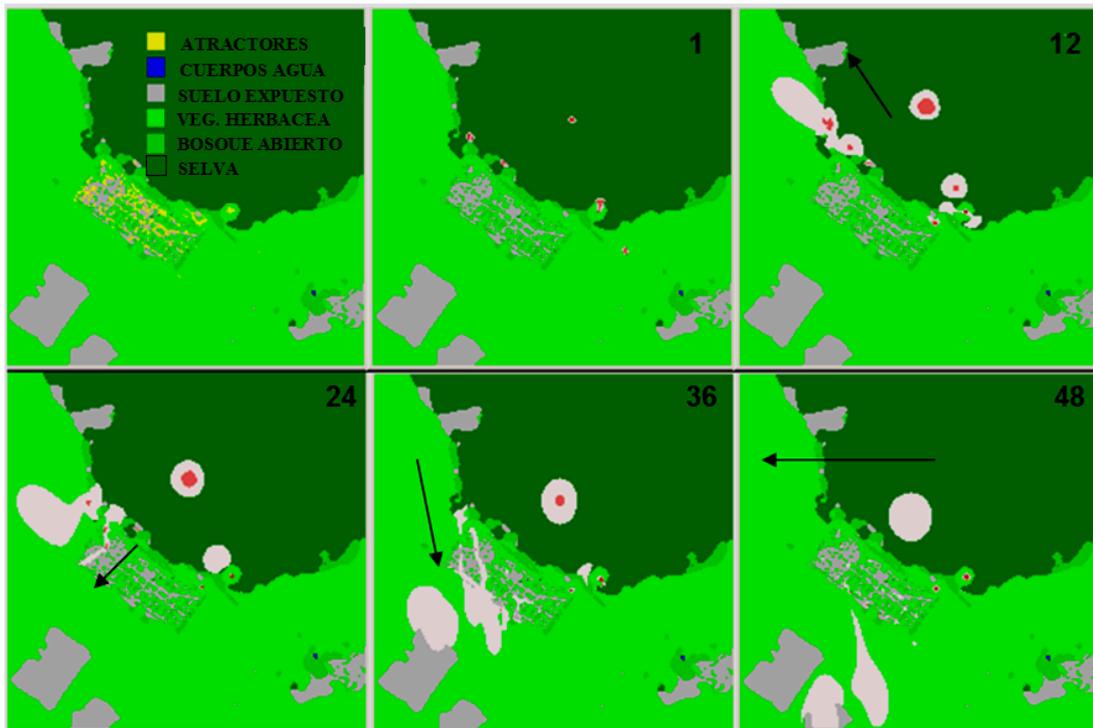


Figura 8. Progresión de la difusión de poblaciones de *Aedes albopictus*, simulada en la ciudad de Hipólito Irigoyen y sus alrededores. Los números indican la cantidad de días transcurridos desde la inicialización del modelo (1 a 48). Pueden apreciarse los atractores, cuerpos de agua y las distintas clases de textura del paisaje. Las flechas simbolizan la velocidad del viento (longitud del segmento), el sentido (inclinación), y la dirección (puntas).

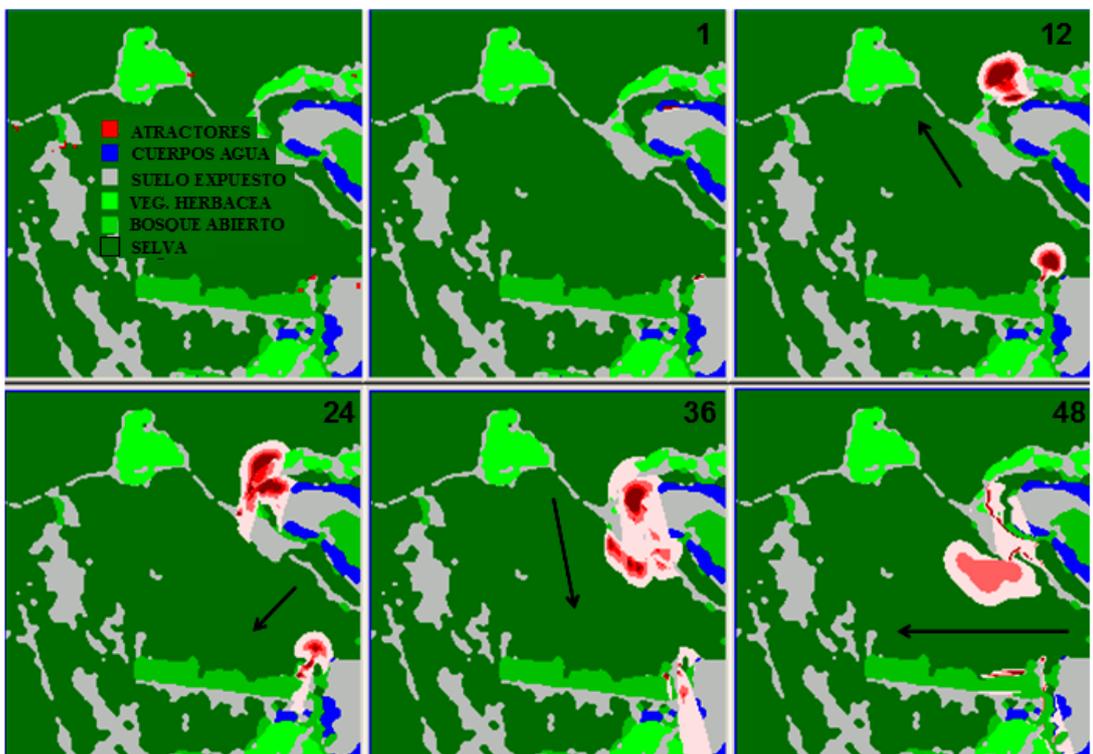


Figura 9. Progresión de la difusión de poblaciones de *Aedes albopictus*, simulada sobre un paisaje Rural, situado al este de la ciudad de San Ramón de la Nueva Orán.

**Ciudad de Hipólito Irigoyen y áreas circundantes:** Día 1: Muestra los criaderos de mosquitos. Día 12: Difusión de los mosquitos bajo el efecto del viento y los atractores. Día 24: Cambio en la forma de las plumas de difusión debidas a cambios en la dirección del viento y nuevos efectos de los atractores debidos a la rugosidad del paisaje. Es fácil de percibir como parte de la pluma de mosquitos penetra en la ciudad siguiendo las líneas de atractores. Día 36: Las plumas de mosquitos atraviesan la zona de atractores, en respuesta a variaciones en el viento. Se aprecia una desaceleración de la pluma de mosquitos debido a las diferencias en la rugosidad del paisaje. El cambio en la dirección del viento, cambia la forma de la pluma de mosquitos a los 24 días, e introduce una nueva pluma en las áreas urbanas. Al mismo tiempo, como resultado de las muertes, una nube de mosquitos permanece en la selva, con densidad y coberturas más bajas, en comparación a las primeras horas de difusión. Día 48. Agrupamientos de alta densidad de mosquitos permanecen en grandes atractores y bordes de las clases de rugosidad. A pesar del fuerte efecto del viento dentro de la ciudad, algunos agrupamientos pequeños permanecen en áreas de atracción más fuertes.

**Paisaje Rural:** Día 12: La difusión de los mosquitos comienza en las regiones del Norte, con tasas de difusión menores dentro de la selva. Día 24: Los agrupamientos de las áreas superiores, cambian de dirección siguiendo la dirección del viento, y la línea de vegetación baja, alcanzando un atractor. Día 36: En respuesta a la intensidad del viento, plumas extensas se generan en clases de baja rugosidad, con desaceleración de plumas debidas a la alta rugosidad de la selva. Los agrupamientos del área inferior, muestran una compensación debido al barrido del viento con los atractores. Día 48: El viento horizontal del este barre la pluma de mosquitos. Los agrupamientos del sur, permanecen entre el bosque abierto y el límite de la selva, mientras que un agrupamiento más denso permanece debido a los atractores.

La información derivada de sensores remotos a bordo de satélites, nos permite recrear diferentes escenarios para simular la dinámica de los insectos. Las ecuaciones de difusión utilizadas en este modelo nos brindan la posibilidad de identificar los efectos de parámetros como el viento y la textura del paisaje, sobre los movimientos espacio-temporales de potenciales vectores de enfermedades. Los parámetros para estas simulaciones son característicos de la familia de mosquitos culícidos, centrados en el género *Aedes* en una escala espacio-temporal en la que puede considerar a la densidad de estos insectos como una distribución no-discreta. Teniendo en cuenta la falta de calidad en series de tiempo de datos meteorológicos, la ausencia de estudios poblacionales del vector,

para esta región, y que los parámetros de desplazamiento de los mosquitos fueron extraídos de estudios realizados en otros países (Raffy y Tran, 2005), en consecuencia, hasta su validación pertinente, los resultados son mostrados de forma cualitativa.

En este trabajo, la atracción funcional del modelo de difusión de Raffy y Tran (2005), ha sido mejorado, comportándose como lineal dentro de un conjunto de atractores y decayendo fuera del mismo, a una escala de longitud de 30 m (Bidlingmayer, 1980). Además, en lo referente al transporte por el viento, y en base al trabajo de Van Dyk (2003), se incluyó un filtro que inhibe el desplazamiento de los mosquitos cuando la velocidad efectiva del viento de la clase es mayor que la de la velocidad de desplazamiento de los mosquitos, contra viento, en busca de la fuente de alimento.

Las simulaciones en paisajes verdaderos de gran extensión y variabilidad interna, donde los datos de campo de calidad son difíciles de obtener, demuestran la ventaja de usar los datos de sensores remotos complementarios para modelar la difusión geográfica de vectores de enfermedades tal como mosquitos del género *Aedes*. El modelo responde correctamente al rango de atracción en las áreas rurales como así también de las viviendas en la ciudad, teniendo en cuenta que sólo se considera la atracción por el ser humano (hogares), y no por otro tipo de mamíferos. En este sentido, se considera que son necesarias mejoras para garantizar el realismo de la dispersión en el paisaje, que podrían ser incorporadas al utilizar parámetros poblacionales propios de las especies de *Aedes* para la región, o de al menos otras regiones similares del país (como la actual distribución), validaciones con datos de distribución en terreno y la incorporación de otras fuentes de ingesta sanguínea para los mosquitos.

La importancia de estos desarrollos, radica en que esta clase de modelos, es la base para simular la difusión de las epidemias y sus parámetros determinantes, útiles para crear sistemas de alerta/control tempranos en epidemias de origen vectorial. A su vez, estas rutinas de programación, permiten generar herramientas de personalización de los parámetros del modelo, haciéndolo aplicables a otras especies de vectores, con preferencias de hábitat marcadas, como flebótomos, anofelinos o reduvidos. En este sentido, la flexibilidad a nivel de programación de este modelo, permite la incorporación de datos de entrada generados por otros modelos, como el desarrollado en el próximo capítulo, como parametrización de las variables de inicialización.

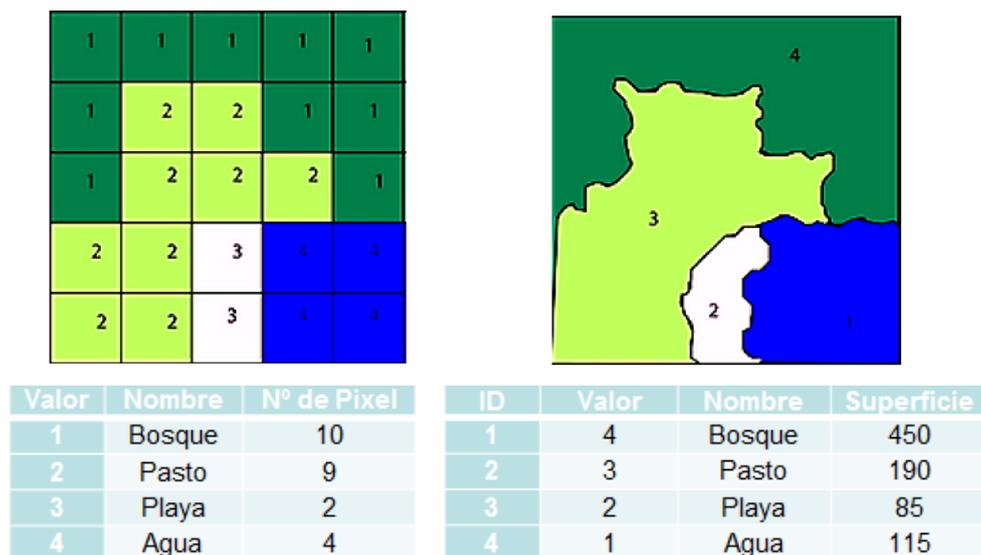
# Capítulo III

## Modelos empíricos de Favorabilidad ambiental para el desarrollo de *Aedes aegypti*

### 3.1 Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen un conjunto de programas (software) y equipos de computación (hardware) que permiten almacenar, organizar, analizar y desplegar datos espaciales, brindando los elementos necesarios para la planificación y toma de decisiones en torno a problemas que varían espacio-temporalmente (Burrough, 1986). Aquellos datos que tengan referencias geográficas, como por ejemplo densidades de insectos, tipos de suelo, de vegetación, información climática, pueden ser incorporados a un SIG para luego ser utilizados en la confección de mapas o coberturas temáticas que permitan la visualización y análisis de forma integrada y no como entidades individuales. Las características geográficas están constituidas por datos dos tipos, Espaciales y Descriptivos, que combinados en un SIG permiten analizar su interacción dentro de un mapa (cobertura temática) o entre varios mapas, y obtener uno nuevo con características propias (Burrough, 1986; Antenucci et al., 1991). Los SIG, deben ser capaces de realizar las siguientes funciones básicas para el manejo de los datos espaciales: (1) almacenamiento y recuperación (2) incorporación (3) análisis y (4) obtención de mapas, gráficos y tablas (Cigliano y Torrusio, 2003). Una característica básica de cualquiera de los numerosos productos de SIG que existen en la actualidad es la habilidad de representar la información contenida en un mapa en un formato que pueda ser utilizado por una computadora. Básicamente existen dos modos o formatos gráficos en que los SIG representan los datos espaciales: "Vector" y "Raster" (Burrough, 1986). En un SIG que emplea el formato **Raster**, la representación gráfica de las características geográficas y

sus atributos están incluidos dentro de un mismo archivo (Burrough, 1986; Murai, 1999). En este, el área de estudio está representada por una grilla dividida en celdas (pixceles), cada una de las cuales tiene adjudicada un número que representa su posición geográfica (x/y) y al mismo tiempo su atributo cualitativo. La resolución espacial de la imagen o nivel de detalle de los datos depende del tamaño de la celda. Por otro lado, los mapas almacenados en forma de **Vector**, o vectoriales, cada característica geográfica puede ser representada por medio de **puntos, líneas y/o polígonos**. Los mismos están definidos por un par de coordenadas X e Y referenciadas en un sistema de proyección cartográfica determinado (por ejemplo latitud/longitud, UTM, etc.) y los atributos no gráficos de tales características geográficas están almacenados en una base de datos “alfanumérica” independiente (Figura 1). La unión entre ambas bases de datos (la espacial y la descriptiva) se realiza a través de un identificador bi-unívoco de cada objeto geográfico. 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" (sobre todo variables continuas como imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, etc.) y otras en modo "vector" (sobre todo 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).



**Figura 1. Dos formas o modelos de representación gráfica de datos geográficos. A la izquierda “Modelo Raster” y a la derecha “Modelo Vectorial”. Izquierda-abajo, salida estadística de la imagen Raster y a la derecha forma en que se almacenan los atributos o datos alfanuméricos del modelo Vectorial.**

En el ámbito de las ciencias de la vida, los SIG han facilitado a entomólogos y ecólogos el análisis de aquellos patrones espaciales complejos que presentan una variación temporal. Tal vez uno de los principales usos de los SIG dentro de la entomología aplicada está vinculado con el estudio de las relaciones entre las explosiones poblacionales de insectos ("outbreaks") y las variables ambientales (Cigliano y Torrusio, 2003). Con respecto a las aplicaciones de los SIG en epidemiología, si bien las investigaciones de los patrones espaciales de eventos epidémicos poseen una larga historia (Gatrell & Löytönen, 1998), con evidencias de larga data como por ejemplo la del brote de cólera en Londres (Snow, 1855); el desarrollo de estos sistemas y el uso de información espacial en salud, recientemente han permitido a los epidemiólogos incluir componentes espaciales en estudios epidemiológicos de manera más sencilla y con operatividad creciente.

Tradicionalmente, en los países con transmisión autóctona del virus del Dengue, las actividades de monitoreo del vector *Aedes aegypti* se realizan sobre las poblaciones de estados inmaduros del mismo (pupas y larvas). En la actualidad, más de 20 países del cono sur han adoptado la Estrategia de Gestión Integrada para la prevención y el control del Dengue en la Región de las Américas (OPS, 2011), incorporando nuevas herramientas para la vigilancia entomo-epidemiológica, como el Levantamiento de Índices Rápidos de infestación de *Aedes aegypti* (LIRAA), que les brinda un aumentado en la capacidad de respuesta (OPS, 2007). La aplicación del método LIRAA (Ministério da Saúde do Brasil, 2005), es desde el año 2011, de aplicación obligatorio, para todas las localidades argentinas que incorporen la "herramienta de Estratificación de Riesgo de Dengue a Nivel Nacional" (Lanfri et al., 2011; Peralta et al., 2011, Porcasi et al., 2012), desarrollada y ejecutada en forma conjunta por la CONAE y la Dirección de Enfermedades Transmisibles por Vectores (Ministerio de Salud de la Nación).

Antes de la aplicación del método LIRAA, la Coordinación Nacional de Control de Vectores del Ministerio de Salud de la Nación, ha llevado a cabo relevamientos de índices entomológicos a nivel de vivienda, a través de los métodos conocidos como "índice de Vivienda" e "índice de Breteau" (Ibáñez-Bernal y Gómez-Dantés, 1995). Para la obtención de ambos, se visita un porcentaje variable de viviendas de una localidad, evaluándose los recipientes que puedan contener agua, y registrándose los recipientes positivos, en donde se verifique la presencia de larvas o pupas de *Aedes aegypti*. Son consideradas positivas las viviendas que presentan, al menos, un recipiente positivo a la presencia de una o más

larvas o pupas de *Aedes aegypti*.

El cálculo del Índice de Vivienda (IV), se realiza a partir del siguiente algoritmo, y expresa el porcentaje de casas encontradas infestadas con larvas, pupas o ambos estados inmaduros del vector, del total de la muestra:

$$\mathbf{IV} = \frac{\text{Viviendas infestadas}}{\text{Viviendas inspeccionadas}} \times 100$$

Para el índice de Breteau (IB), el algoritmo a ejecutar es el siguiente, representando el número total de recipientes encontrados positivos (que contengan larvas, pupas o ambos) por cada 100 viviendas inspeccionadas:

$$\mathbf{IB} = \frac{\text{Nº de contenedores positivos}}{\text{Viviendas inspeccionadas}} \times 100$$

Es decir, se registran todos los recipientes positivos a *Aedes aegypti*, del universo de viviendas evaluadas, y se los expresa como el N° de recipientes positivos cada 100 viviendas inspeccionadas (Tun-Lin et al., 1996; Focks, 2003; Sánchez et al., 2006). Estos índices son de valor a nivel operacional y pueden facilitar la determinación de la ecología local del vector y la medición del impacto de las intervenciones para el control de los recipientes que funcionan como criaderos (Focks, 2003; Masuh et al., 2003; Gürtler et al., 2009). A pesar de ello, y si bien los rangos para el Índice de Vivienda de 4 a 35 e índice de Breteau de 5 a 50 han sido asociados con el riesgo de brotes epidémicos de Dengue (Service 1993), dichos índices son un indicativo deficiente de la producción de adultos (OPS 1995) y de uso limitado a la hora de evaluar la abundancia del vector y el riesgo de transmisión de Dengue (Tun-Lin et al., 1996; Focks, 2003).

Debido a que la enfermedad del Dengue, no cuenta con vacuna o tratamiento específico disponible hasta el momento (Ministerio de Salud de la Nación, 1999), a la existencia de transmisión autóctona en áreas subtropicales del país y a la introducción de casos por los continuos movimientos de personas a través de los pasos fronterizos con países con transmisión viral (Avilés et al., 2003), una de las soluciones más plausibles para

prevenirla es el control estratégico del vector. Este control requiere la identificación de áreas y períodos de riesgo y la identificación de mecanismos de propagación del virus en una comunidad para mejorar las estrategias de prevención (Tran et al., 2004). Teniendo en cuenta que la cadena epidemiológica se compone de tres eslabones, patógeno, vector y susceptible, resulta imprescindible conocer acabadamente a cada uno de ellos, incluida la biología de los dos primeros, para poder utilizarlos de base a la hora de construir modelos a partir de la información que se puede obtener de los sensores remotos. En cuanto a la distribución de especies vector, ésta ha sido asociada con indicadores de la variabilidad espacial y temporal de la biomasa fotosintéticamente activa (Rogers y Randolph, 1993; Randolph y Rogers 1997; Gorla, 2002; Rogers et al., 2002; Porcasi et al., 2006). La disposición espacial de la vegetación integra efectos de la temperatura, precipitación y propiedades edáficas, resultando un indicador, a escala local, de variables que influyen sobre procesos demográficos básicos como la mortalidad, natalidad y la dispersión de estas especies.

En referencia al efecto de la temperatura sobre la duración del ciclo de vida de *Aedes aegypti*, o sobre los índices que intentan estimar su abundancia o riesgo epidemiológico, existe una vasta bibliografía que evidencia la influencia de la misma. Respecto a los tiempos de desarrollo de los estados acuáticos de *Aedes aegypti*, existen evidencias en las que se aprecia una disminución del tiempo requerido para completar el desarrollo desde huevo a la emergencia del adulto (Rueda et al., 1990), de los ciclos gonadotróficos, y aumenta la tasa de desarrollo (Focks et al., 1993; Epstein, 1998; Tun-lin *et al.*, 2000; Ceccato *et al.*, 2005) y sobre la transmisión del virus Dengue (Barbazan et al. 2010). El tiempo de desarrollo larval de *Aedes aegypti* en islas de calor urbanas sería menor que en áreas más frías (Richardson et al. 2011) y consecuentemente un número mayor de adultos podrían transmitir la enfermedad en menor tiempo. A su vez, temperaturas elevadas y pequeñas fluctuaciones de la temperatura diaria han sido asociadas con cargas virales mayores en mosquitos (Watts et al. 1987; Lambrechts et al. 2011). A su vez, resultados de De Majo et al. (2013) en ciudad de Buenos Aires (Argentina), mostraron mayor actividad de oviposición y menor mortalidad diaria de huevos en los sitios de mayor temperatura. Para los resultados de simulación de este estudio la temperatura constituyó la variable con más influencia sobre la abundancia de la población. En contraparte, investigaciones de Espinoza Gómez et al. (2001) encontraron que durante la temporada seca, en Méjico, las temperaturas altas están relacionadas a la disminución del número de criaderos.

En este sentido, las imágenes térmicas, permiten la discriminación de clases medianamente homogéneas o de distintas coberturas terrestres. Mediante segmentaciones múltiples (“density slicing”) de imágenes térmicas, se puede configurar un mapa térmico, que muestra una serie de niveles de temperatura de irradiación aparente. Este tipo de “mapas térmicos” permiten una buena correlación con las áreas naturales, discriminando los focos de emisión térmicos de distinta envergadura, como zonas industriales, zonas urbanas, zonas de cultivos y con presencia de vegetación y áreas forestales (Ferrer-Vidal et al., 1995). Parámetros responsables de la variación de la temperatura de superficie, son la disponibilidad de humedad y la capacidad calorífica diurna, a su vez, factores altamente relacionados con la naturaleza de los materiales superficiales (Wheeler, 1986). Concretamente, las superficies con asentamientos urbanos e industriales, se caracterizan por tener, generalmente, temperaturas más elevadas que las cubiertas vegetales. La radiación solar absorbida por los materiales de construcción de cubiertas, fachadas y calles, prácticamente en su totalidad es transformada en calor, mientras que la radiación solar absorbida por las superficies vegetales, en su mayor parte es utilizada en los procesos fotosintéticos (Ferrer-Vidal et al., 1995).

La totalidad de factores que causan diversidad, incluyendo a los antes mencionados, son incluidos frecuentemente en los términos “favorabilidad ambiental” o su antónimo “severidad ambiental”. La literatura científica considera a la favorabilidad (o severidad) ambiental como el efecto de la media de las variables ambientales en la diversidad (Richerson y Lum 1980; Scheiner y Rey Benayas, 1994), y en consecuencia, un gradiente ambiental cualquiera puede ser expresado como favorabilidad y como severidad simultáneamente. Por ejemplo, el ambiente puede ser severo si es muy frío o muy caluroso, muy seco o muy salino o muy ácido o muy básico. De todos modos, una mayor favorabilidad o una menor severidad ambiental se traducen, generalmente, en una mayor productividad (Terborgh, 1973). Por último, según este enfoque, ambientes adversos reducen las tasas de especiación o colonización e incrementan las tasas de extinción (Real et al., 2003).

### **3.2 Objetivos y contexto del capítulo**

En base a las evidencias descritas anteriormente, se desprende que existen características del ambiente, que favorecen el desarrollo de *Aedes aegypti*, que pueden ser

estimadas a partir de imágenes satelitales y herramientas geoespaciales.

La necesidad de implementación de sistemas de alerta temprana eficientes, continúa siendo prioritaria en un continente que registra un constante aumento en la incidencia y distribución del Dengue. En marco de las actividades de cooperación internacional del Instituto Gulich (CONAE – Argentina), este capítulo tiene como objetivo la creación de productos de vigilancia de *Aedes aegypti*, de distinta escala espacio-temporal, para las ciudades de Tartagal (Salta) y Puerto Iguazú (Misiones), en Argentina, basados en la utilización de imágenes satelitales de media y alta resolución espacial, e información de campo de distintos orígenes.

Para el caso de estudio 1, de Puerto Iguazú, se desarrollaron modelos empíricos, del tipo espacial, para la estimación de áreas favorables al desarrollo de *Aedes aegypti*, en los que el 87% de las áreas positivas a campo, se encontraron entre los niveles de Media y Alta favorabilidad ambiental predicha. El monitoreo y caracterización ecológica de *Aedes aegypti* (índices de infestación larvaria y de pupas) en Puerto Iguazú, fue realizado desde Agosto 2007 al 15 de Octubre de 2010 en colaboración la Fundación Mundo Sano. En cada monitoreo (duración aproximada de 30 días), se registró el total de focos detectados positivos a larvas y pupas del 20% de las manzanas de la ciudad (seleccionadas aleatoria y estratificadamente). Se generó un Sistema de Información Geográfica específico para el monitoreo de estas especies y la generación de mapas de abundancia de focos positivos por hectárea. Provista por la Agencia Espacial Francesa (CNES), para la construcción del modelo, se utilizó una imagen SPOT 5 HRG1 (Ortoimagen - Nivel2A), de 4 bandas espectrales (Verde-Rojo-Infrarrojo cercano-Infrarrojo Medio) y 10m de resolución espacial. A partir de la clasificación supervisada de la misma, y con el apoyo en índices de vegetación derivados, se obtuvo un mapa detallado de ocupación de suelo (resolución espacial de 10 metros). Del mismo se derivaron mapas temáticos de distintas variables ambientales a citar: mapas de distancia a cada clase (buffer), porcentaje de cada clase por área (tipo de suelo, vegetación, agua, etc.) y estadísticos de índices por área. Utilizando como regiones de entrenamiento para el modelo las áreas positivas a focos del vector, se realizó una clasificación supervisada de las variables ambientales derivadas que se estratificó por umbrales de Riesgo Ambiental.

En el caso de estudio 2, Tartagal, el objetivo fue el de construir un modelo estadístico predictivo de las variaciones temporales de los índices de Vivienda e Índice de Breteau relevados por el Ministerio de Salud de la Nación, en la ciudad de Tartagal entre 1998 y 2003. El modelo estadístico del tipo “regresión multivariada”, utiliza como variables regresivas a) datos entomológicos (Índices de Breteau y de Vivienda), b) de control vectorial, ambos suministrados por la Coordinación Nacional de Control de Vectores del MSN, c) de precipitaciones d) y e) de temperatura y vegetación, provenientes de imágenes Landsat obtenidas de dos sub-escenas o áreas representativas de la ciudad y del bosque nativo, de las que se obtuvieron el promedio, la varianza, máximo y mínimo valor de cada sector (8 variables). Al correr el modelo con solo la mitad de los datos de campo (1998-2000), los resultados del modelo poseen una predicción de más del 90% de correlación para los índices del año subsiguiente. Las salidas del modelo brindan pronósticos quincenales con un ajuste de **0.89** para el Índice de Breteau y **0.91** para el Índice de Vivienda, considerando los valores predichos para los 6 meses posteriores al último entrenamiento del modelo.

### **3.3 Caso 1: Estimación de áreas favorables al desarrollo de *Aedes aegypti* en base a imágenes SPOT 5 HRG1.**

El objetivo de este estudio es el de desarrollar herramientas de apoyo a la vigilancia y control epidemiológico del dengue, en la ciudad de Puerto Iguazú – Provincia de Misiones (Argentina), a partir del uso de imágenes satelitales Spot 5 de alta resolución espacial, y relevamientos de estados inmaduros de *Aedes aegypti*.

#### **3.3.1 Materiales y Método**

##### **3.3.1.1 Área de Estudio**

La ciudad de Puerto Iguazú (25°36'S - 54°35'O), se encuentra ubicada estratégicamente en el área conocida como triple frontera entre Argentina, Brasil y Paraguay (Figura 1). La región presenta un clima cálido subtropical húmedo, sin estación seca, con temperaturas que oscilan entre los 20° y 33° C en verano, mientras que el

invierno es suave y agradable. Son destacables el alto porcentaje de humedad del lugar, las elevadas precipitaciones y nubosidad, así como las bajas amplitudes térmicas. En la Figura 2 pueden apreciarse las estadísticas meteorológicas de Puerto Iguazú, desde el año 1961 al año 1990, elaborado a partir de datos web del Servicio Meteorológico Nacional.

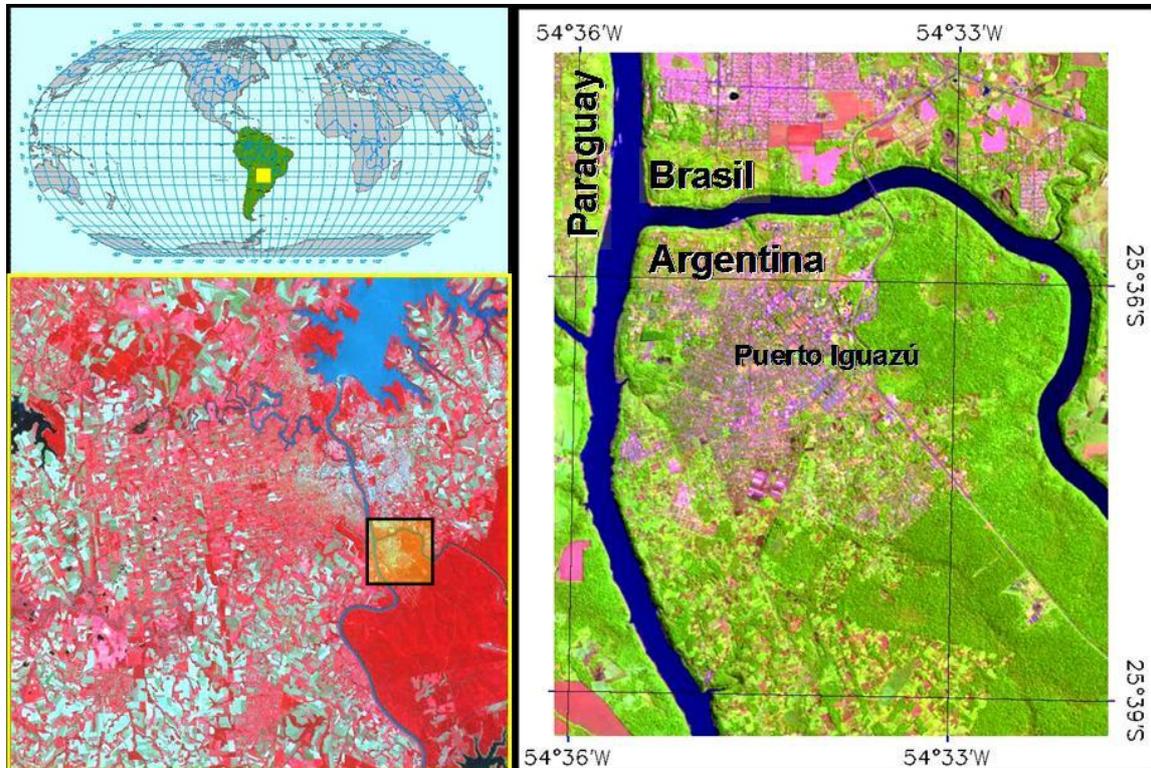


Figura 1. Localización del área de estudio. Izquierda arriba, localización a nivel mundial. Izquierda abajo, imagen Spot5 (RGB = Bandas XS3-XS2-XS1) del área de triple frontera entre Argentina, Brasil y Paraguay, indicando con un recuadro la zona de trabajo de campo. A la derecha, magnificación de la imagen Spot5 de 10 metros de píxel (RGB = Bandas Infrarrojo de onda corta-XS3-XS1).

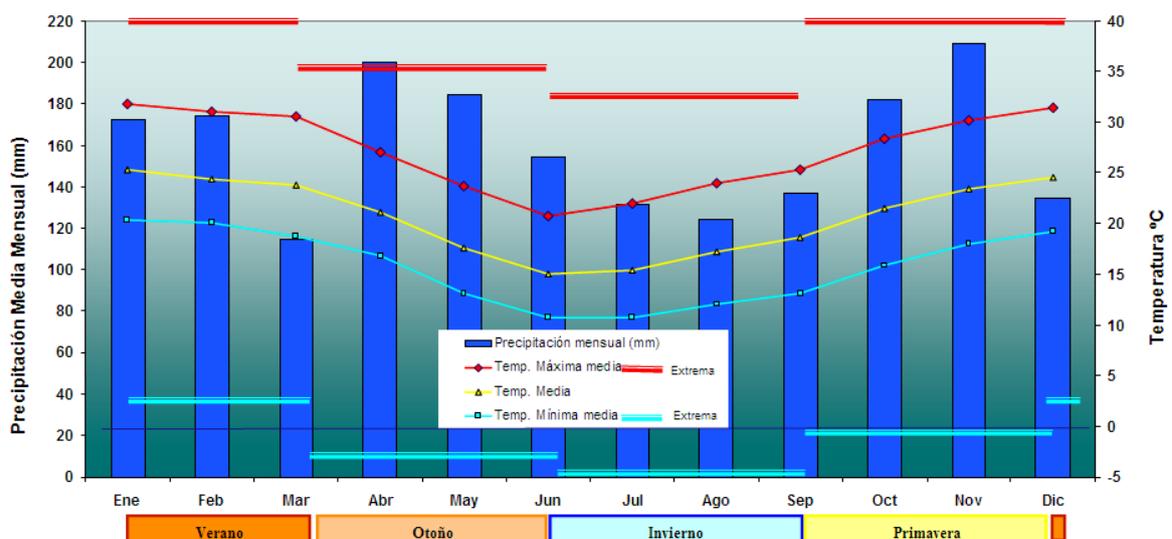


Figura 2. Estadísticas meteorológicas de la ciudad Puerto Iguazú, período años 1961 – 1990. Elaboración propia. Fuente: Página Web del Servicio Meteorológico Nacional ([www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar))

### 3.3.1.2 Obtención de datos de terreno

Desde Agosto de 2007 al 15 de Octubre de 2010, la Fundación Mundo Sano realizó el monitoreo de estados inmaduros (larvas y pupas) y la caracterización ecológica de los nichos explotados por las dos especies potenciales vectores del virus dengue *en la región Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*. En cada monitoreo, de aproximadamente 30 días de duración (dependiendo de la intensidad y número de precipitaciones mensuales), se registró el total de criaderos positivos o focos detectados del 20% del total de manzanas de la ciudad de Puerto Iguazú y se tomaron muestras de larvas y pupas para su posterior determinación taxonómica (Tabla 1). En cada monitoreo las viviendas fueron seleccionadas en forma aleatoria y estratificada.

Muestreo	Inicio	Final
1	8/13/2007	9/12/2007
2	9/14/2007	10/23/2007
3	10/22/2007	11/26/2007
4	12/26/2007	1/29/2008
5	1/30/2008	3/3/2008
6	3/4/2008	4/8/2008
7	4/9/2008	5/16/2008
8	5/19/2008	6/25/2008
9	6/25/2008	7/25/2008
10	7/28/2008	8/25/2008
11	8/26/2008	9/19/2008
12	9/22/2008	10/16/2008
13	10/20/2008	11/20/2008
14	11/24/2008	1/16/2009
15	1/19/2009	3/9/2009
16	3/9/2009	4/13/2009
17	4/14/2009	5/20/2009
18	5/21/2009	7/30/2009
19	8/3/2009	9/30/2009
20	10/6/2009	11/13/2009
21	11/25/2009	1/6/2010
22	1/7/2010	2/5/2010
23	2/9/2010	4/5/2010
24	4/5/2010	5/26/2010
25	5/26/2010	7/2/2010
26	7/6/2010	8/25/2010
27	8/26/2010	10/15/2010

Tabla 1. Indica el N° de Muestreo y el período de duración de cada monitoreo de larvas y pupas de *Aedes aegypti* llevados a cabo por la Fundación Mundo Sano.

A su vez, a partir de los datos recolectados en cada monitoreo, se generaron Índices de Breteau y de vivienda (Figura 3) y análisis de productividad y preferencia de recipientes, según el tipo.



**Figura 3. Evolución temporal de los índices de Breteau y Vivienda para Aedes aegypti registrados durante los períodos de estudio desde el 13 de Agosto de 2007 al 15 de Octubre de 2010**

### 3.3.1.3 Construcción base de datos georeferenciada

A partir de la base de datos entomológica y en cooperación con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), se generó un Sistema de Información Geográfico para el monitoreo de la distribución espacio temporal de estas especies. Basados en un mapa catastral y la generación de puntos de control relevados sobre el terreno mediante un dispositivo GPS (Global Positioning System), se generó un mapa catastral digital georeferenciado en Coordenadas Esféricas (Geográficas – Datum WGS84). Con la utilización del programa gratuito y libre gvSIG 1.11.0 (2012), se georeferenció el mapa catastral y se procedió a generar una capa vectorial, de puntos, del tipo shapefile (formato .shp), en la que cada punto es equivalente a un lote habitado o unidad habitacional/catastral. Se creó, a su vez, un algoritmo sencillo para transformar los 3 números identificadores catastrales (ID) de los lotes (Sector – Manzana – Lote) a un único código identificador (ID único), que integrase a todos estos:

$$\text{ID catastral} = (\text{N}^\circ \text{ Sector} \times 10.000) + (\text{N}^\circ \text{ manzanas} \times 100) + \text{N}^\circ \text{ de Lote}$$

De esta forma, y utilizando la herramienta de Importar Campos de una base de datos en formato .dbf (data base file o archivo de base de datos), del programa gvSIG 1.11 (2011), fue posible vincular los datos entomológicos registrados para cada lote, a la base de datos catastrales en formato vectorial (.shp). De un modo semi-automatizado, se obtuvo un único ID para cada lote registrado para el total de la ciudad. Esta integración de la información relevada durante el periodo de muestreos a un Sistema de Información Geográfica, permite obtener información de las bases de datos alfanuméricas para cada unidad de estudio.

#### **3.3.1.4 Análisis Espacial de datos entomológicos**

A partir de información discreta, como los puntos de captura (lote catastral) utilizando la herramienta Densidad Kernel de gvSIG (2012) o Density Point del programa Arcgis (Arcmap 9.0), se generó un continuo del paisaje o área de estudio, a través de una rasterización e interpolación de valores, para cada fecha de muestreo y para el total de meses estudiados. De esta forma se obtuvo el número de criaderos por unidad de área, como por ejemplo el número de criaderos de *Aedes aegypti* por Hectárea, para cada píxel de 10m x 10m. Este método se utilizó con distintas parametrizaciones, según: La relación con el bloqueo químico espacial (400 m radio) en y alrededor del lugar donde se detecta un caso sospechoso de dengue, que a su vez concuerda con los rangos máximos promedio de vuelos de hembras encontrados por Reiter et al. (1995) y Maciel-de-Freitas y Lourenço-de-Oliveira (2009). Para la generación de mapas operativos se consideró un radio de 200m alrededor de cada sitio de muestreo, tomando en cuenta el rango de vuelo promedio de hembras de *Aedes aegypti* (normalmente entre 28m y 199m), demostrado en estudios de 11 años, en Asia y América por Harrington et al., (2005). A su vez, se realizaron análisis espaciales con el programa libre y gratuito Geoda (Anselin et al., 2005), para confirmar la significancia estadística de los agrupamientos espaciales detectados utilizando ambos programas gvSIG y Arcmap, como por ejemplo para el análisis de Promedio de vecinos más cercanos, de ArcMap 9.0 (ESRI, Redlands, CA, EE.UU.) con el que es posible cuantificar el patrón de distribución espacial de casos, a partir de la Distancia euclidiana. El valor de la Distancia media observada / Distancia media esperada indica si la distribución espacial de eventos es dispersa, aleatoria o agregada.

### 3.3.1.5 Variables macro-ambientales obtenidas a partir de imágenes satelitales

Para la obtención de variables de alta resolución espacial, se utilizó una imagen SPOT 5 HRG1, provista por la Agencia Espacial Francesa (CNES) con fecha anterior al comienzo de los relevamientos entomológicos (22/03/2007), capturada durante una de las épocas en donde la vegetación presenta mayor vigorosidad. Esta Ortoimagen, de Nivel 2A de procesamiento, posee 4 bandas espectrales en las longitudes de onda del Verde (0.50 - 0.59  $\mu\text{m}$ ) – Rojo (0.61 - 0.68  $\mu\text{m}$ ) - Infrarrojo Cercano (0.78 - 0.89  $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo Medio (1.58 - 1.75  $\mu\text{m}$ ). La imagen centrada sobre Puerto Iguazú – Argentina, posee una resolución espacial de 10m, correcciones de los errores residuales de paralaje debidos al relieve, basado en un Modelo Digital de Elevación (obteniendo a partir de imágenes estereoscópicas del instrumento HRS de Spot 5) y una precisión de localización mayor a 30m (Delta = 30m).

Para la obtención de datos macro-ambientales, se generó una imagen sintética conteniendo las bandas originales de la imagen Spot5, sumadas al Índice Normalizado de Vegetación (NDVI). El algoritmo para la obtención del NDVI pone en relación la banda del Rojo (R) y la del Infrarrojo cercano (NIR) del sensor HRG1:

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - \text{R} / \text{NIR} + \text{R}$$

Dónde los valores negativos indican ausencia de vegetación, los próximos a cero, vegetación con escasa cobertura y los próximos a +1, corresponden con la vegetación más densa, vigorosa y con mayor contenido de humedad.

A su vez, se realizó una clasificación supervisada de la imagen sintética utilizando regiones de entrenamiento (ROI) de distintos tipos de vegetación en orden creciente de complejidad de la arquitectura vertical y horizontal (desde gramíneas bajas hasta Selva cerrada), cuerpos de agua, estructuras urbanas (suelo desnudo, calles, rutas, techos, etc.), zonas cultivadas, etc., obteniéndose un Mapa de Ocupación de Suelo de la ciudad y zonas aledañas (Figura 4).

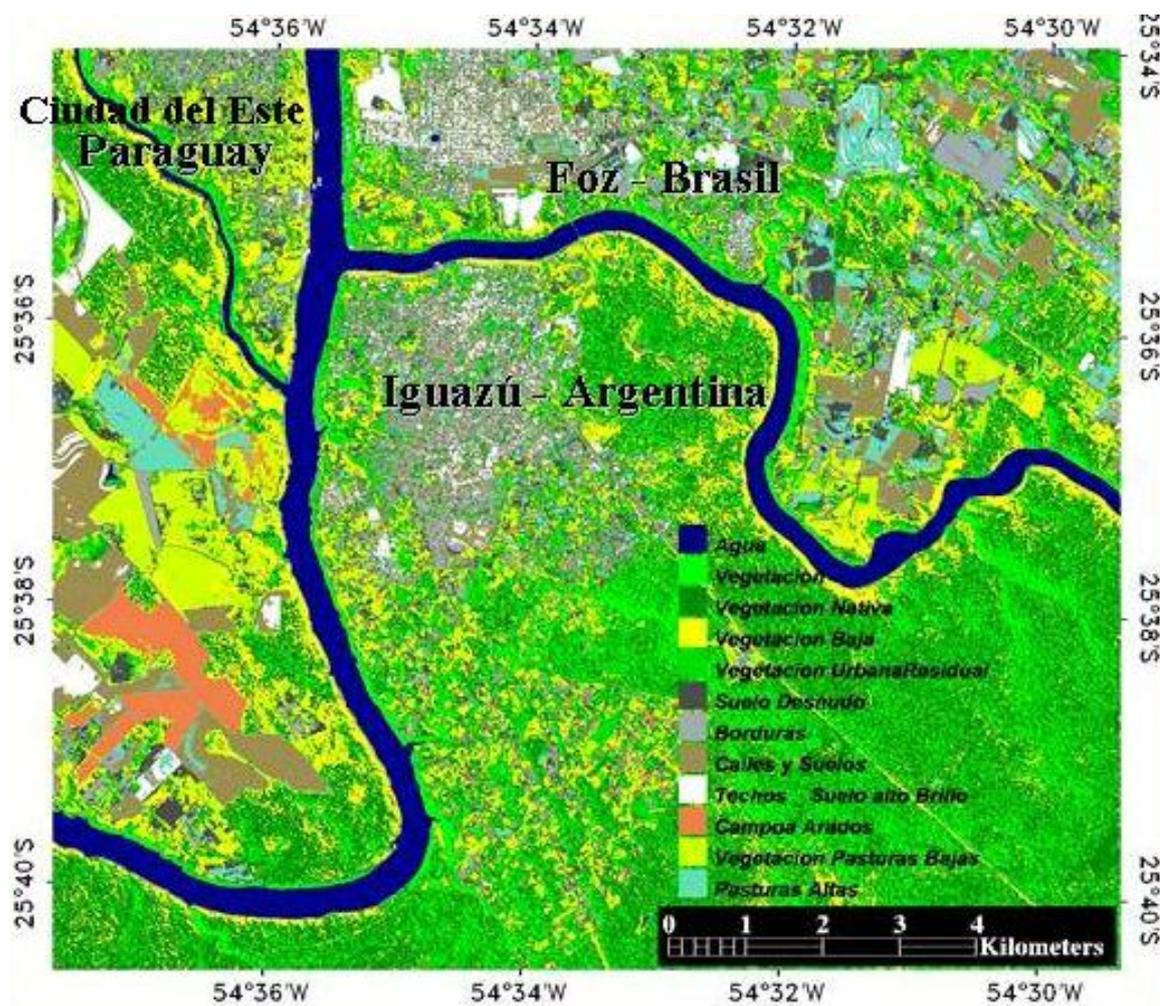


Figura 4. Mapa de coberturas de la ciudad de Puerto Iguazú y alrededores, derivado de la clasificación supervisada de una imagen Spot5. Cada color representa una clase de uso de suelo distinta.

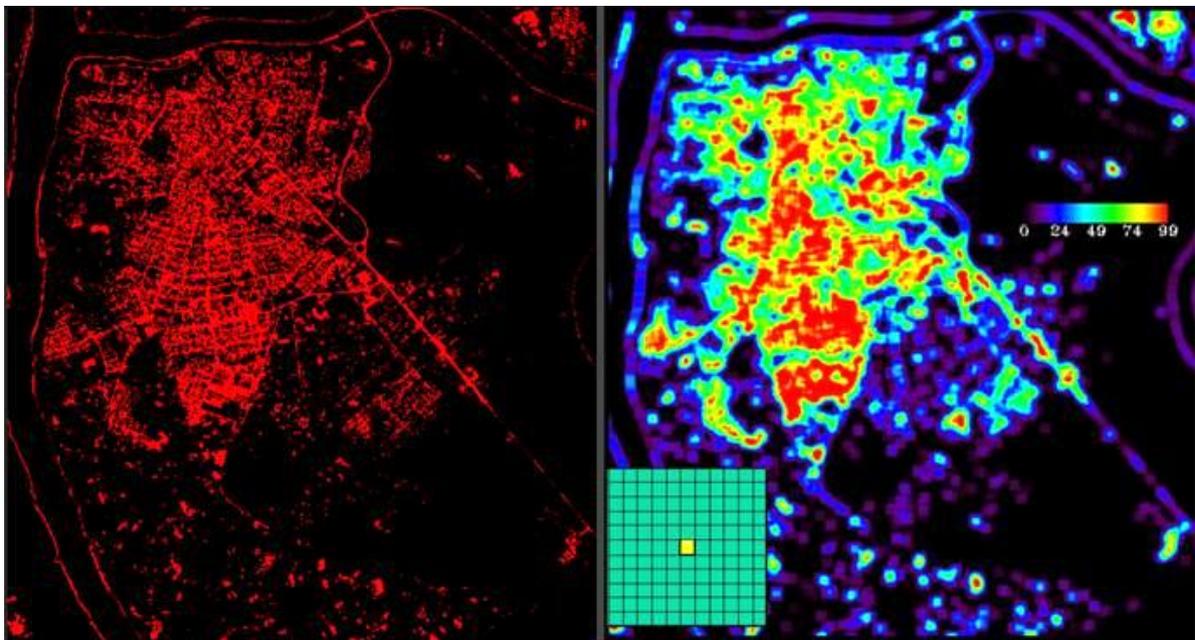
Basados en las clases obtenidas, se generaron 2 tipos distintos de variables macro-ambientales por cada clase, expresadas como:

- Mapas de distancia a cada clase (buffer image)
- Porcentaje de cobertura de cada clase por unidad de área.

**Mapas de Distancia a cada Clase o imagen Buffer:** Se generaron Imágenes raster de distancia a las diferentes clases, llamadas usualmente Buffer. Estas imágenes contienen la distancia que existe entre cada punto de muestreo entomológico y el píxel más cercano de cada una de las clases de la imagen clasificada. De esta forma se obtiene una imagen Buffer o de distancia por cada clase generada.

**Mapas de Porcentaje de cobertura de cada Clase de Uso de Suelo:** Se crearon imágenes

que expresan para el valor de cada píxel, el porcentaje de superficie de cada clase que existe en un área de 110 metros x 110 metros. Con el objetivo de expresar a través de las imágenes los patrones de paisaje, se utilizó la imagen de cada clase obtenida, con valores binomiales, clase A = 1 y clases restantes = 0, a la que se aplicó un filtro de textura, con una ventana de 11 x 11 píxeles de dimensión, atribuyendo al píxel central de la misma, el valor de la media de la ventana. De esta forma y multiplicando la imagen por 100 (álgebra de bandas), se obtuvo para cada píxel central de esa ventana móvil (kernel) en la imagen, el porcentaje de píxeles de la clase de interés. Es decir, considerando el rango de vuelo de *Aedes aegypti*, consideramos que el área que rodea al píxel, en un radio aproximado de 50 m, podría describir el medioambiente urbano que representa el hábitat medio de la especie (Figura 5)



**Figura 5.** Izquierda: Mapa binomial de la clase suelo expuesto (suelo = 1, Resto de clases = 0). Derecha: mapa temático que expresa el porcentaje de cobertura de la clase suelo expuesto, para áreas de interés de 110 m x 110 m. En el margen inferior izquierdo, del mismo, se observa el kernel o ventana utilizada para el cálculo superficie cubierta, y el píxel central al que se le asigna el valor calculado, para esa área de interés.

### Mapas de temperatura de superficie

Para la generación de mapas de temperatura de superficie (LST) se utilizó la información térmica proporcionada por la banda 6 del sensor Thematic Mapper (TM) del satélite Landsat 5, centrada en el rango en el que la radiancia emitida por la superficie

terrestre alcanza sus máximos valores. La irradiancia recibida por el sensor fue transformada al equivalente de temperatura, o temperatura aparente de radiación o brillo de la superficie, que difiere de la temperatura real debido al efecto de emisión-absorción atmosférica y de la emisividad superficial (Schott, 1989).

Dos recortes de la ciudad de Iguazú y alrededores, de imágenes Landsat 5 TM - banda 6 de 2007 y 2009, fueron transformados a temperatura de irradiación aparente de la superficie, de acuerdo con las siguientes ecuaciones de Markham y Barker (1986) y coeficientes de calibración de Chander (2009).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Dónde:

T = Temperatura efectiva medida en el satélite, o temperatura de brillo aparente en K.

$K_2$  = Constante de calibración 1260,56 K

$K_1$  = Constante de calibración 60,776 mW.cm<sup>-2</sup> ster<sup>-1</sup>.µm<sup>-1</sup>

$L_\lambda$  = Radiancia espectral en mW.cm<sup>-2</sup> ster<sup>-1</sup>.µm<sup>-1</sup>

Y, donde la radiancia espectral puede calcularse a partir de:

$$L_\lambda = L_{MIN\lambda} + \left(\frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{QCALMAX}\right) QCAL$$

Dónde: QCAL = Radiancia en DN (Valores digitales leídos por el sensor).

$L_{MIN\lambda}$  = Radiancia espectral a QCAL = 0

$L_{MAX\lambda}$  = Radiancia espectral a QCAL = QCALMAX

QCALMAX = rango de radiancia de la imagen en DN

$L_\lambda$  = radiancia espectral

Ambos mapas de temperatura de superficie para la ciudad de Puerto Iguazú, fueron estandarizados entre 20 y 40 Celsius, para realizar la comparación estadísticamente de sus valores de LST. Para que ambas imágenes sean comparables, se ajustaron los valores de LST utilizando un modelo de regresión lineal, generado a partir de los píxeles cuyos

valores deberían mantenerse constantes en ambas imágenes como la temperatura del agua, estructuras urbanas q no denotaron cambio de una fecha a la otra (techos, avenidas, suelo desnudo) y vegetación en áreas protegidas no intervenidas (Figura 6).

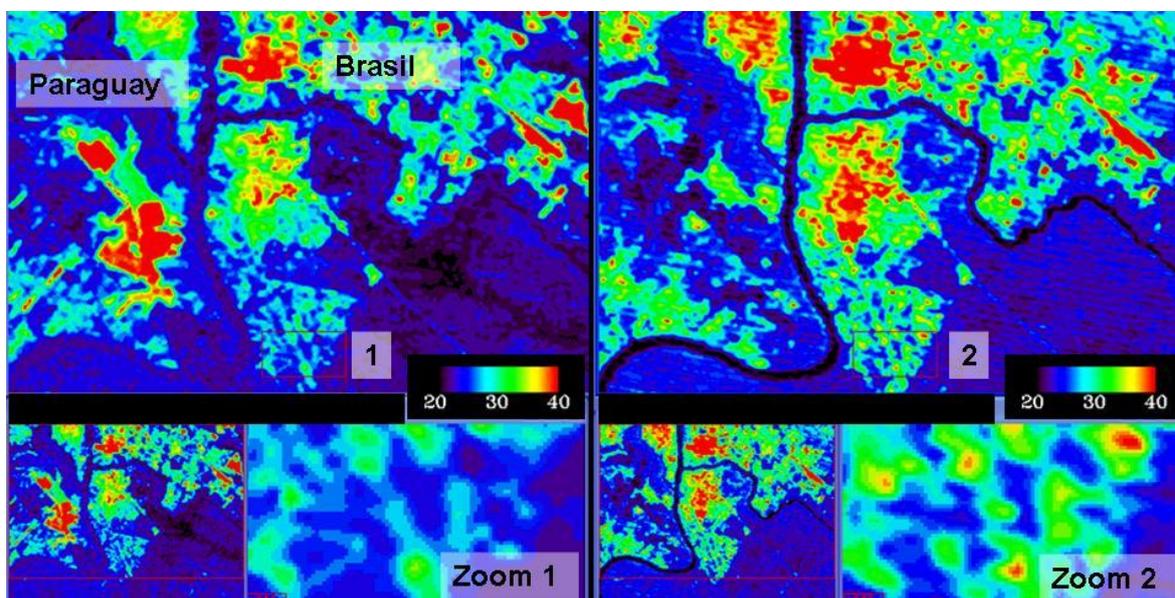


Figura 6. Comparación de Mapas de Temperatura de brillo, derivados las bandas térmicas de imágenes Landsat 5 TM (Path 224 – Row 78), del 28/03/2007 (izquierda) y 01/03/2009 (derecha). Las altas temperaturas que se visualizan al centro-oeste de la imagen del año 2007, está vinculado al suelo desnudo producto de la roturación de la tierra para la agricultura. En general, se observa un aumentogeneral de la temperatura estimada vinculado al crecimiento de las ciudades.

### Mapa de Porcentaje de cobertura de píxeles de alta temperatura superficial.

A partir de los mapas de Temperatura superficial, se creó un mapa temático indicando las áreas en las que la temperatura de superficie es mayor a la temperatura media de la imagen, más un desvío estándar. A partir de la misma, se construyó un mapa de porcentaje de cobertura de las áreas con temperaturas altas de la ciudad, utilizando el mismo procedimiento que para la obtención de los Mapas de Porcentaje de cobertura de cada Clase de Uso de Suelo, con filtros de 11 x 11 píxeles.

### Mapas relativos a la Topografía del terreno

Se incluyó un Modelo Digital de Elevación ASTER Global Digital Elevation Model (**GDEM**), gránulo S26 W055, de 30 metros de resolución espacial horizontal, que fue descargado en forma gratuita del sitio <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> (Copyright (c) 2009 Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC)).

A partir del DEM, se generó un mapa de pendiente (Wood, 1996), expresada como grados de inclinación del terreno. Derivado de la imagen ASTER GDEM, utilizando la herramienta Topographic Modeling (Envi 4.7), se generó información paramétrica de pendiente del terreno, expresada en grados con la convención de 0 grados para un plano horizontal. ENVI mide el ángulo de aspecto con la convención de 0 grados al norte (arriba) y los ángulos que aumentan en sentido horario. El cálculo se realiza sobre ventanas de la imagen o kernel, asignadas por el usuario, en este caso la mínima (3x3 píxeles), lo que determina la escala del mapa de salida.

### **3.3.1.6 Construcción de un Mapa de favorabilidad ambiental al desarrollo de estados inmaduros de *Aedes aegypti*.**

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre todas las variables generadas, y se eliminaron del set de variables predictoras las altamente correlacionadas. Las variables macro-ambientales seleccionadas fueron utilizadas como variables de entrada para una Clasificación Supervisada por el método del Paralelepípedo (Richards, 1999) utilizando el programa ENVI 4.1 (2004). La clasificación se realizó con un set de datos de entrenamiento y 3 sets de validación distintos construidos a partir de los 8944 lotes relevados durante este estudio. Las regiones de interés utilizadas como entrenamiento para el modelo estuvieron constituidas por el 80% de los 978 lotes positivos (píxeles) pertenecientes al primer año de registros de focos positivos a estados inmaduros de *Aedes aegypti* (desde el Muestreo 1 al Muestreo 11 inclusive). El resultado, de cada corrida, considerando como umbral 0.9 desvíos estándar de la media de cada variable, fue una imagen de probabilidad de presencia de focos positivos de larvas y/o pupas del vector. Esta fue expresada en niveles de riesgo (Muy Bajo, Bajo, Medio y Alto), definidos a partir de los intervalos cuartiles de los valores de probabilidad de la población de píxeles donde se registraron focos positivos. El mapa de salida generado representa la **favorabilidad** ambiental a la actividad de oviposición natural de *Aedes aegypti* en la ciudad de Puerto Iguazú. Para la validación del modelo, se utilizó el 20% de los lotes positivos relevados desde el Muestreo 1 al 11, no utilizados en el set del 80% para el entrenamiento del algoritmo. A su vez se validó y evaluó la predictibilidad del modelo, utilizando los totales anuales de focos (sumatoria para muestreos 12 a 19 y del 20 a 27) y para el total de sitios positivos del período de estudio. Por último se evaluó la predictibilidad para cada uno de

los Monitoreos mensuales, con todos los lotes positivos de los Muestreos 12 a 27.

Con el objetivo de evaluar el aporte de cada una de las variables seleccionadas, a la predicción del modelo, se utilizó el programa Maxent, para la predicción de sitios aptos para el desarrollo de *Aedes aegypti* en Puerto Iguazú, basándose en los requerimientos ambientales de la especie (Peterson, 2001, 2003; Edith et al., 2006). Dichos requerimientos son obtenidos a partir de un conjunto de sitios de presencia de la misma, en combinación con un conjunto de variables ambientales que describen algunos de los factores que probablemente influyen la aptitud del terreno para la especie. Debido a lo anterior, se parte de dos premisas básicas, una se refiere a que los sitios de presencia representan sitios en los que la especie crece exitosamente, mientras que la segunda se refiere a que las variables ambientales seleccionadas representan adecuadamente los requerimientos ecológicos de la especie. Cada sitio de presencia está indicado por un par de coordenadas geográficas (Datum WGS84), y representa un lote donde se encontraron focos o criaderos de *Aedes aegypti* durante el período de muestreos. El set de variables ambientales utilizadas fue el mismo que en el modelo anterior. El algoritmo empleado en esta parte del estudio se basa en el principio de máxima entropía (Phillips et al, 2006). La idea subyacente a este modelo es la de estimar una distribución de probabilidad objetivo (áreas aptas para la presencia de *Aedes aegypti*), encontrando la distribución de probabilidad más cercana a la uniformidad (máxima entropía), sujeta a un conjunto de restricciones que representan nuestra información incompleta acerca de la distribución buscada. La información acerca de dicha distribución la representan las variables ambientales utilizadas, llamadas rasgos, mientras que las restricciones son el valor esperado de cada rasgo y que se supone debe igualar a su promedio empírico (valor promedio para un conjunto de puntos de muestreo tomados de la distribución objetivo buscada, en este caso los sitios de presencia). La modelación se realizó mediante la versión 3.3.3k del software MAXENT (disponible en línea en <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>), entrenándolo con 80% de los sitios positivos totales (obtenidos en el período completo de colectas de campo). Se estableció un máximo de 1000 iteraciones y el parámetro de regularización a “auto”, para permitir que el software seleccione la cantidad de regularización que es apropiada para los datos ambientales y sitios utilizados (Phillips et al, 2006). Si bien no era el objetivo de su utilización, a su vez, se evaluó el nivel de predicción del modelo considerando como test un 20% de los sitios positivos totales (seleccionados al azar por el mismo programa MaxEnt).

### 3.3.2 Resultados y discusión

#### 3.3.2.1 Análisis Espaciales de los datos entomológicos

La Figura 7 expresa la densidad estimada de focos de *Aedes aegypti*, por hectárea, considerando los 2043 focos registrados en los rastrillajes de la fundación Mundo Sano (o relevamientos focales) entre el 13 de Agosto de 2007 al 15 de Octubre de 2010. Este mapa de estimación de la abundancia de criaderos de estados inmaduros (larvas y pupas) de *Aedes aegypti*, se basa en la totalidad acumulada de criaderos positivos en el período en estudio y se desarrolló utilizando la herramienta Density Point del programa Arcgis (Arcmap 9.0).

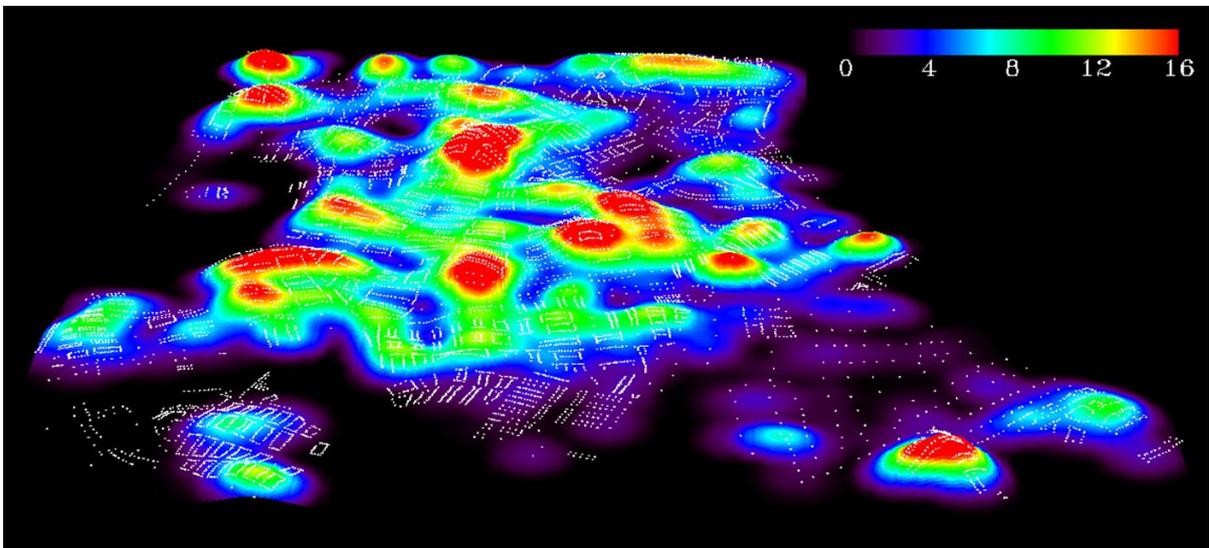
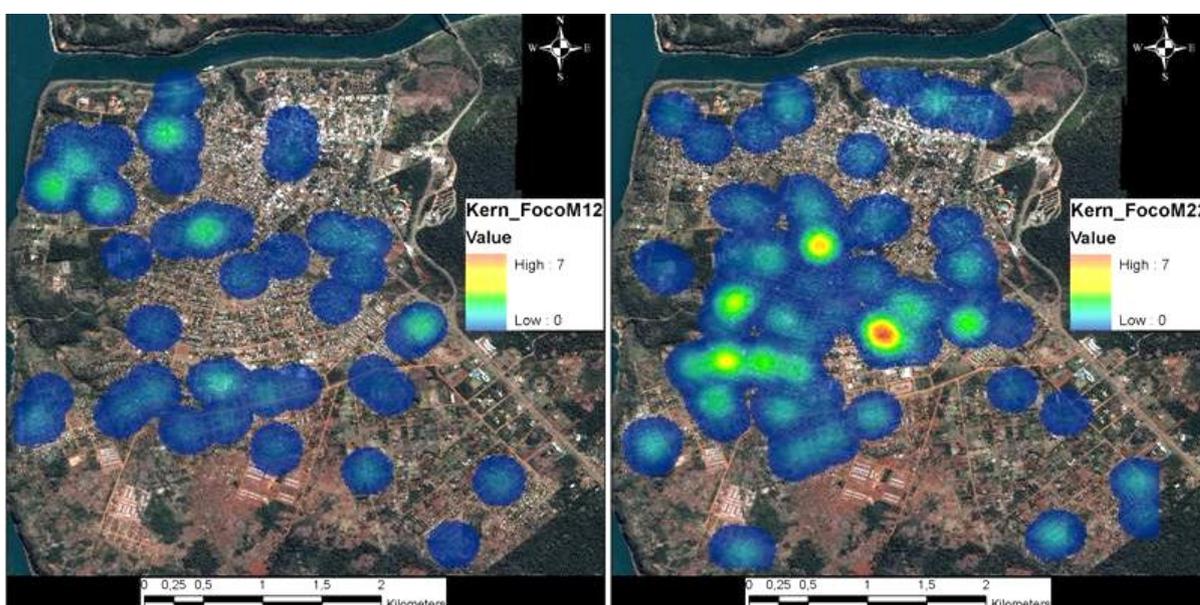


Figura 7. Mapas de la estimación de la densidad de focos de *Aedes aegypti* en Puerto Iguazú, relevados durante el total de monitoreos para la ciudad de Puerto Iguazú - Misiones - Argentina. Las unidades, con correspondencia al gradiente de colores, expresan el número de focos positivos esperados por hectárea, para un píxel de 10 x 10 metros. La variable densidad se expresó como un modelo de elevación digital con una exageración vertical positiva de 100 e indicando los puntos blancos los lotes catastrales de la ciudad.

Con el mismo programa se realizó el análisis de Promedio de vecinos más cercanos, para cuantificar y validar el patrón de distribución espacial del total de focos relevados. El cociente [Distancia media observada (29,617388) / Distancia media esperada (44,840619)] fue de 0,66, indicando que el patrón es agregado, existiendo menos de un 1% de probabilidad de que este patrón de agrupamiento espacial se deba al azar (Z Score:-29,36 Desviaciones Estándar y p-value: 0,000000)

Desde de su implementación, el SIG de la sede de Puerto Iguazú, de la Fundación Mundo Sano, genera mensualmente y en forma semi-automatizada los mapas de densidad de focos basados en los relevamientos de estados inmaduros de *Aedes aegypti*. De esta forma, esta herramienta constituye un soporte para las salas de situación montadas por el Ministerio de Salud de la Nación, Dirección de Epidemiología, ante el riesgo de circulación viral de Dengue en la ciudad (Figura 8), destacándose la concordancia espacial entre los sitios de mayor densidad de criaderos positivos y los barrios que presentaron tasas de incidencias más altas, durante el brote de Dengue de 2007 (San Lucas, Villa Alta, Santa Rosa, 1º de mayo, Libertad y Unión).



**Figura 8.** Mapas de densidad de criaderos de *Aedes Aegypti* por Hectárea, para dos fechas pico de Índices de Vivienda y Breteau, considerando un radio de búsqueda de 200 metros alrededor de cada sitio positivo. El muestreo 12 (izquierda) corresponde al menor de los picos máximos durante el período de estudio (ver figura 7 de este capítulo), y el muestreo 22 (derecha), al pico máximo de índices aélicos registrado durante el estudio descripto.

### 3.3.2.2 Variables macro-ambientales

La Figura 9 muestra el total de variables macro-ambientales o mapas temáticos generados a partir la imagen Spot 5 HRG mediante la metodología descripta en este capítulo.

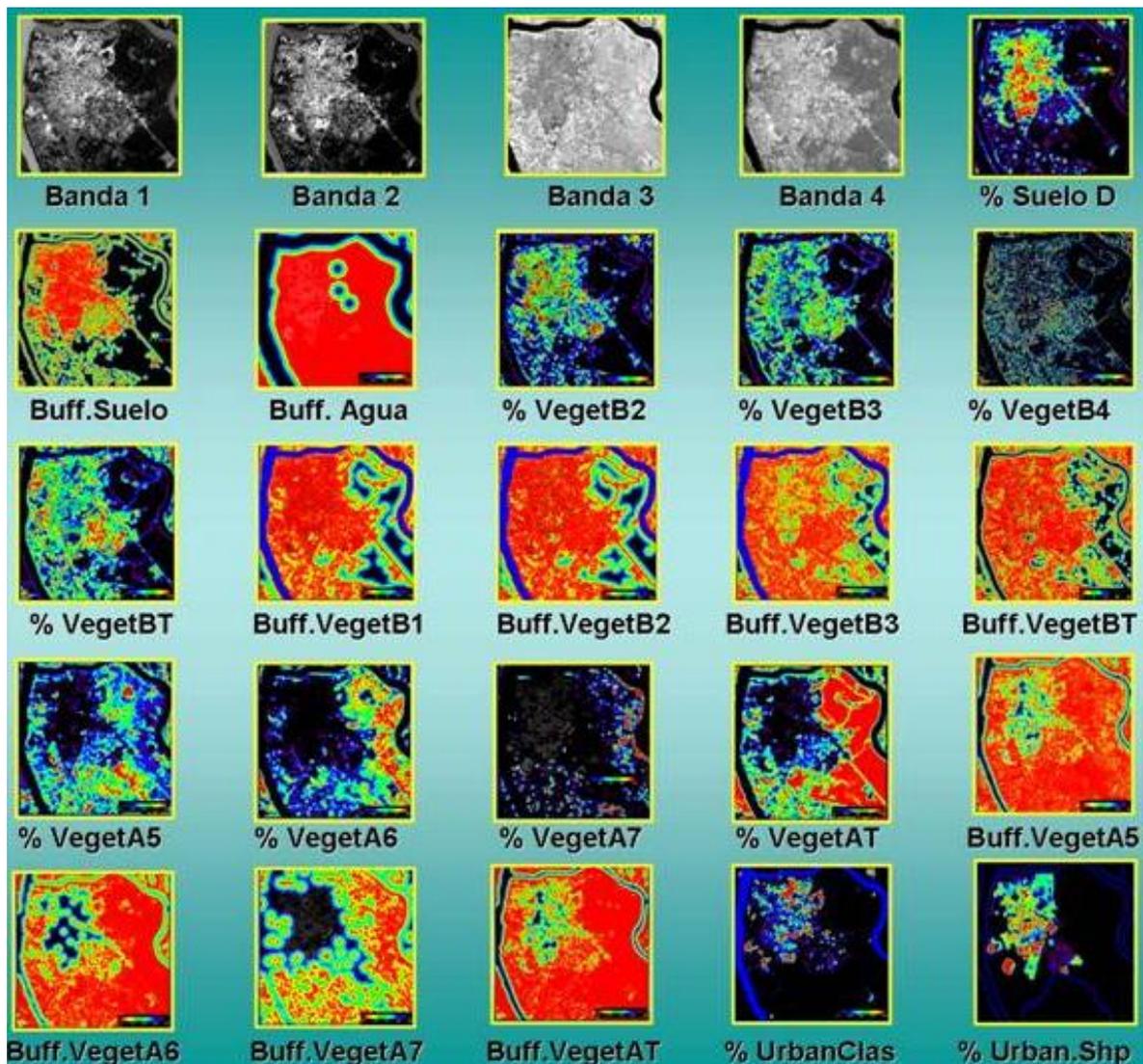
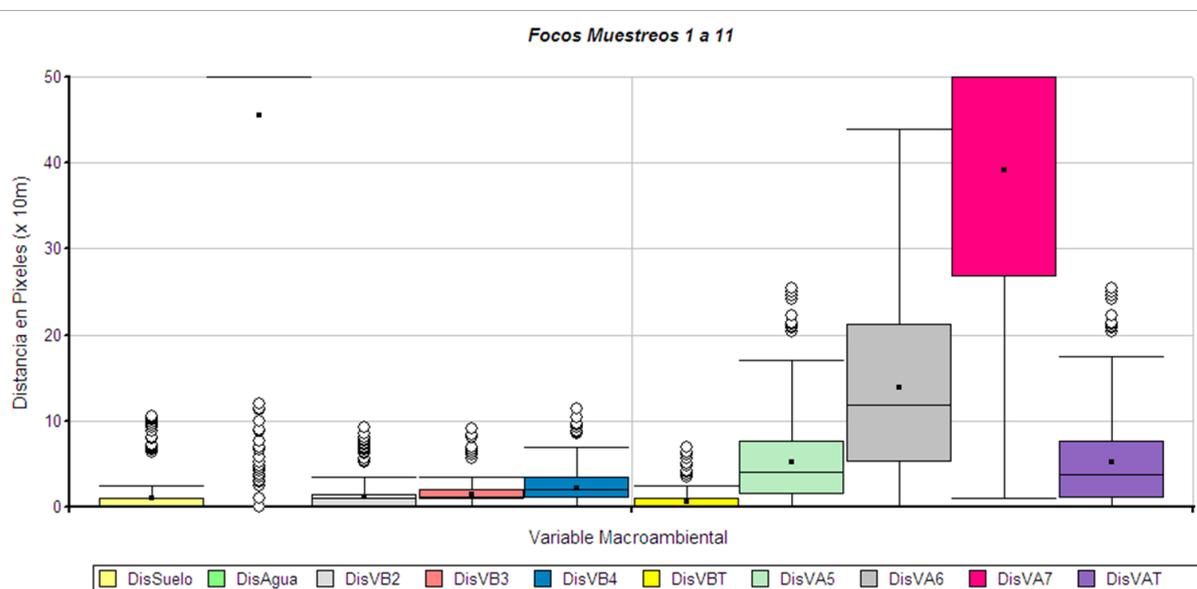


Figura 9. Mapas temáticos generados para la obtención de relaciones espaciales. Bandas (B) 1 a 4: Bandas originales del satélite spot. B5: Porcentaje de suelo desnudo. B6: Buffer al suelo desnudo. B7: Buffer a la clase agua. B8 a B10: Porcentajes de vegetación baja de tres tipos diferentes. VegetB, representa clases de vegetación Baja, en orden ascendente de cobertura y verdor. B11: VegetBT es la sumatoria de clases de vegetación Baja. B12 a B14: Buffers a las clases de vegetación Baja. B15: Buffer a la sumatoria de clases vegetación baja. B16 a B18: Porcentajes de vegetación Alta de tres tipos diferentes. VegetA, representa clases de vegetación Alta, en orden ascendente de cobertura y verdor. B19: VegetAT es la sumatoria de las clases de vegetación Alta. B20 a B22: Buffers a las clases de vegetación Alta. B23: Buffer a la sumatoria de clases vegetación Alta. B24: Porcentaje de Clase Urbana derivada de la imagen spot. B25: Porcentaje de Clase Urbana derivada del catastro de la ciudad.

La relación entre las variables macroambientales y los sitios positivos o focos de *Aedes aegypti* se puede apreciar en las Figuras 10 y 11. Cabe destacar que en relación a los mapas de distancia a cada clase, es evidente la relación que existe entre el tipo y densidad de la vegetación y la ruralidad. Las clases generadas como urbano, que describen

el catastro de la ciudad con una precisión global del 89% e índice Kappa 0.87, ponen en evidencia la utilidad de las imágenes Spot 5 HRG para caracterizaciones urbanas, y la comprobación de las preferencias antropofílicas de *Aedes aegypti* en Puerto Iguazú (Figura 12). El mismo patrón queda evidenciado a partir de los mapas de porcentaje de cada clase de uso de suelo, en las que claramente se detectan los patrones de paisaje típicos de urbanizaciones y en los que los porcentajes relacionadas a la urbanización decrecen desde la ciudad hacia las áreas naturales protegidas o riberas de ríos. La sensibilidad de estas variables es evidente al detectar zonas suburbanas muy pequeñas, o construcciones clandestinas en desmontes de la selva en áreas protegidas.



**Figura 10.** Distribución de las distancias de los focos positivos a *Aedes aegypti*, encontrados entre los Muestrales 1 y 11 (primer año de relevamientos), a las variables de uso de suelo generadas a partir de la imagen Spot 5 THRG (misma nomenclatura que en Figura 9). Las distancias expresadas en píxeles de Spot 5, de 10m de lado, alcanzan el valor máximo de 500 metros para la Vegetación más vigorosa y densa (VA7).

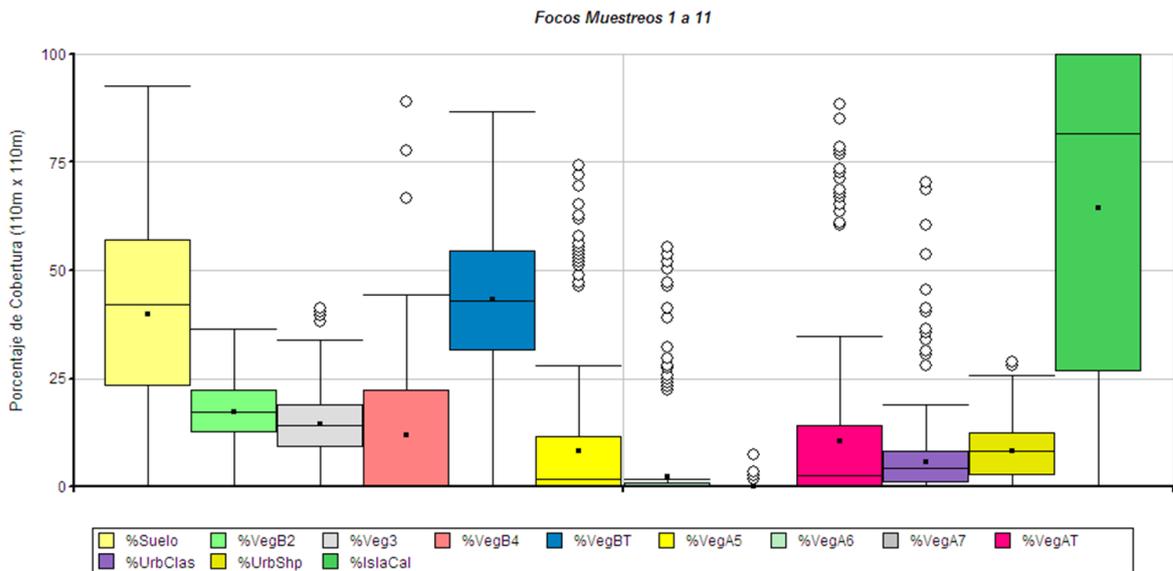


Figura 11. Gráfico de cajas que muestra distribución de superficie cubierta por clase de cobertura, para el total de sitios positivos a *Aedes aegypti*, encontrados entre los Muestrios 1 y 11. El área de interés de cada valor de superficie (píxel central de la ventana del filtro), es equivalente al rango de vuelo de la especie en estudio.

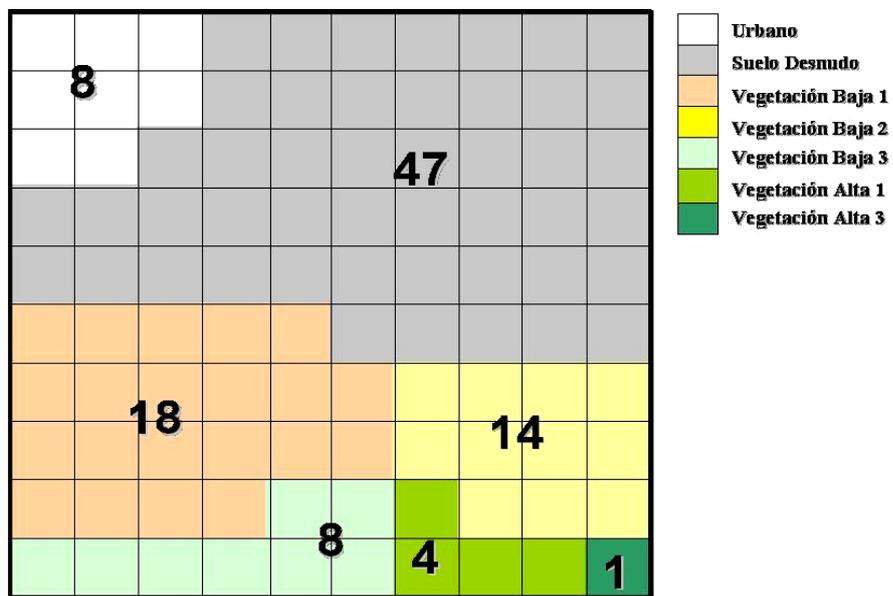


Figura 12. Caracterización de la composición del macroambiente donde se localizaron focos positivos de *Aedes aegypti*, a partir de información derivada del sensor THR de Spot 5. Los números indican el porcentaje de cada clase obtenida, que representa el hábitat típico estimado para la especie en Puerto Iguazú, para el período completo de estudio.

Con respecto a la relación del número de focos positivos de *Aedes aegypti* con la variable distancia al agua, los análisis deberían realizarse nuevamente a partir de la capa de agua corregida, ya que existen arroyos y pequeños cauces que surcan la ciudad, que no fueron discriminados por la clasificación de la imagen, debido a que se encuentra cubiertos por dosel arbóreo o por estructuras de la ciudad, y por lo tanto sus posiciones no son tomadas en cuenta para el análisis de distancias.

A su vez, con respecto a la variable LST, o temperatura de superficie, se encontraron diferencias significativas entre los píxeles dónde se registraron focos positivos a *Aedes aegypti*, y aquellos en los que no se registró actividad de larvas o pupas durante todo el período de estudio (Figura 13). El valor promedio de LST de los píxeles positivos a la presencia de *Aedes aegypti* fue de 31.19 Celsius, mientras que para los píxeles negativos a la presencia del vector fue de 30.06 Celsius (Chi2 frec. Observadas vs. Esperadas  $p < 0.0029$ ). A su vez, el valor promedio de LST de los píxeles de toda la ciudad de Puerto Iguazú fue de 28.28 Celsius.

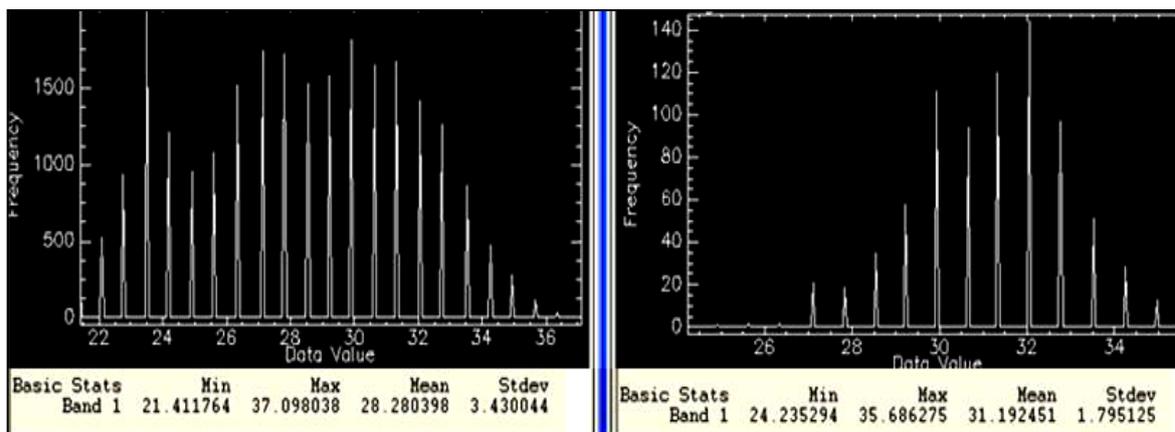


Figura 13. Distribución de frecuencias de valores de LST de píxeles de toda la ciudad (izquierda) y de aquellos en los que al menos se registró un foco positivo de larvas o pupas de *Aedes aegypti* durante el período total del estudio (derecha).

Por otra parte, los sitios dónde se registraron focos positivos a *Aedes aegypti* presentaron un valor medio de cobertura de píxeles de alta temperatura superficial del 64.5% y una mediana = 81.6% (Figura 14).

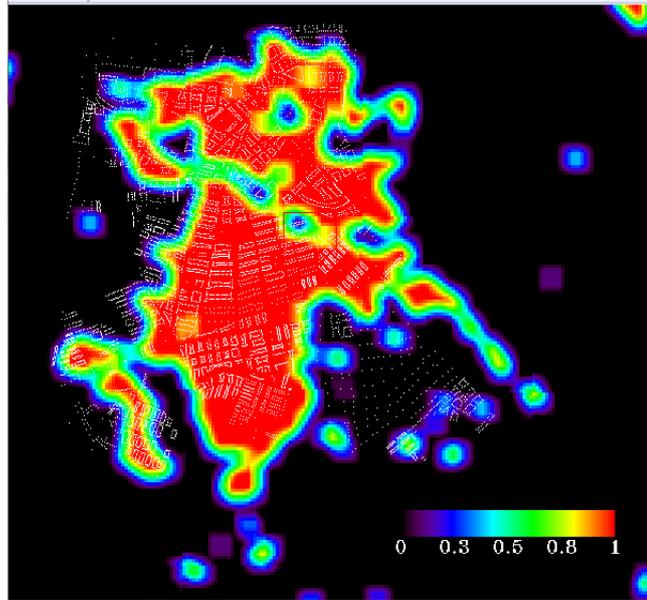


Figura 14. Mapa de Porcentaje de cobertura de píxeles de alta temperatura superficial. La escala de colores representa el porcentaje de cobertura de píxeles alta temperatura (0 = 0% y 1 = 100%), tomando en cuenta un área de 110 m x 110 m y asignándole ese valor al píxel central de la misma.

En relación a la topografía, los sitios donde se registraron estados inmaduros de *Aedes aegypti*, se encontraron entre los 110 y 220 msnm (promedio de 183 msnm) y con una pendiente media del terreno de 5° y máxima de 30° (Figura 15).

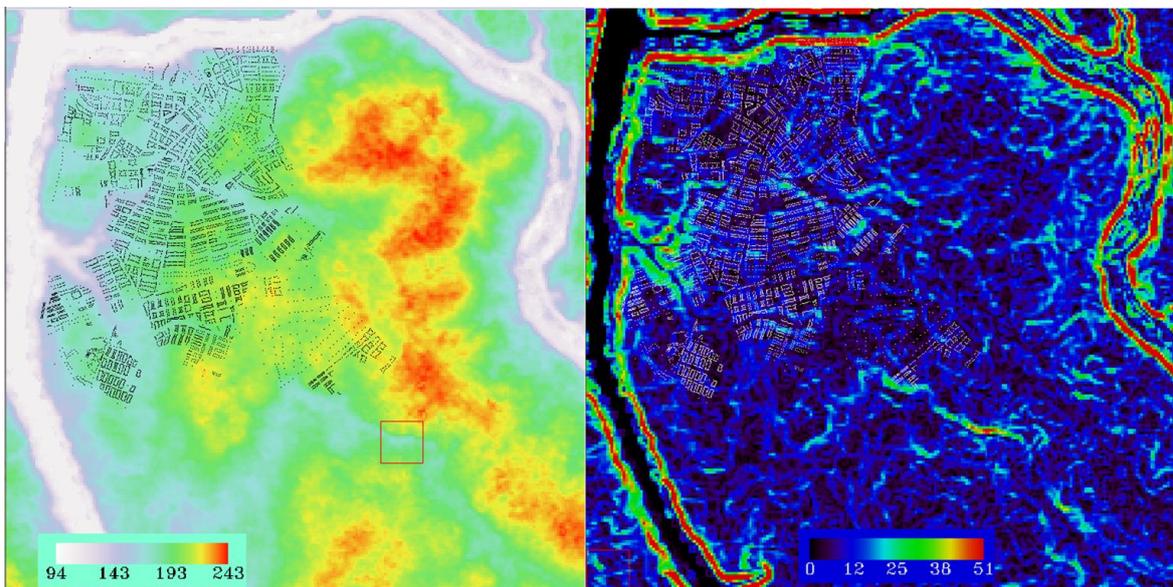


Figura 15. Modelo Digital de Elevación, expresado en metros sobre el nivel medio del océano (izquierda) y mapa de Pendientes (expresado en grados de desnivel), derivado del mismo DEM (derecha).

En el DEM puede observarse una región de mayor altura hacia el Oeste y el Sur de la imagen, correspondiente a regiones inhabitadas, y dominadas por Selva Paranaense. En el mapa de pendientes pueden observarse, bordeando a los ríos Paraná e Iguazú, ángulos mayores a los 40 grados correspondientes a las zonas de barrancas de ambos ríos, y cascadas sobre el río Iguazú en la región oeste y nor-oeste de la imagen.

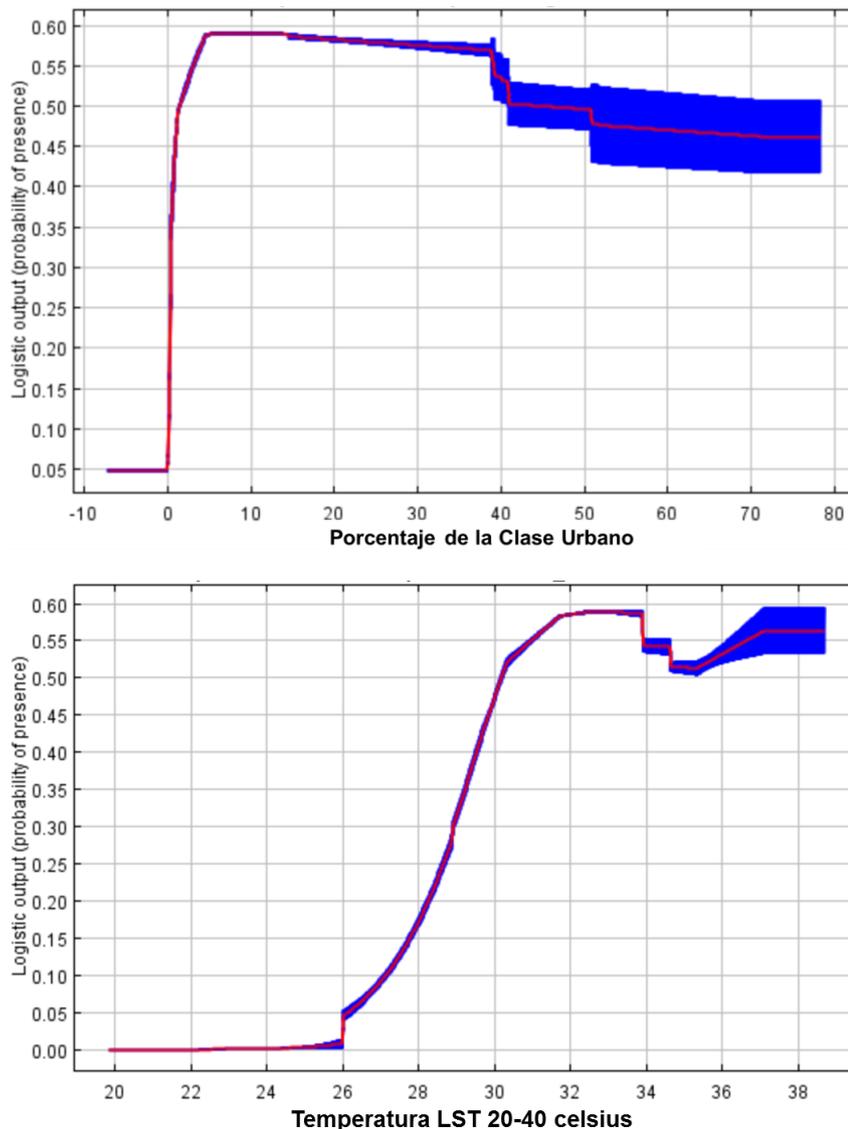
La evaluación de las variables en el programa Maxent, con un ajuste global de AUC 0.86 (Promedio bajo la curva de las corridas), permitió diferenciar las variables con mayor peso o contribución al modelo general (Tabla 2).

Variable	Percent contribution	Permutation importance
percentageurbanoclas	33.4	4.9
percentagesuelod	19.1	4.1
temperaturaland5_20-40celsius-en2008	15.5	18.6
distanciavegetalta7	8	11.4
percentagevegetacaltatot	5.2	9.2
distanciaagua	4.3	8.6
porctemperatmayormediamas1std-islacalor	3.3	0.4
percentagevegetacalta6	2.4	4
demastergdem2	1.5	5.4
percentagevegetacbajatot	1.3	1.6
percentagevegetacbaja2	1.2	8.5
banda4_spot5	1	2.5
percentagevegetacalta5	1	2.7
banda2_spot5	0.9	5.6
banda3_spot5	0.6	0.6
distanciavegetalta6	0.4	0.1
banda1_spot5	0.3	0.7
distanciasuelod	0.2	6.8
distanciavegetbaja2	0.2	0.5
percentagevegetacbaja3	0.1	0.7
distanciavegetbaja3	0.1	0.2
percentagevegetacbaja4	0.1	0
pendienteaster	0	0.4
distanciavegetbaja4.	0	1.5
percentagevegetacalta7	0	0.8
distanciavegetaltatot	0	0.1
distanciavegetbajatot	0	0.2
distanciavegetalta5	0	0.1

Tabla 2. Estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales en el modelo de Maxent. Los valores mostrados son los promedios de las repeticiones y permutaciones entre variables para la evaluación de su importancia al incorporarla o no en el modelo logístico.

En orden decreciente de importancia se observan El porcentaje de Clase Urbana, El porcentaje de suelo expuesto, la Temperatura de Superficie, La distancia a la vegetación alto 7, porcentaje de vegetación alto total, La distancia al agua, y las Islas de calor de la ciudad.

A su vez, las salidas del programa, muestran los rangos de cada variable que mejor predicen la variable respuesta, a partir de los cambios en la predicción logística al variar cada variable durante las permutaciones del programa. Como ejemplo se muestran dos de las variables explicativas con más peso del modelo (Figura 16).



**Figura 16.** Curvas de respuesta de las variables predictivas del modelo Maxent, que reflejan la dependencia de la favorabilidad predicha tanto en la variable seleccionada como en las dependencias inducidas por las correlaciones entre la variable seleccionada y otras variables. Las áreas resaltadas en azul, son los rangos de mayor predictibilidad de estas variables al incluirse en el modelo general.

### 3.3.2.3 Mapa de favorabilidad ambiental al desarrollo de focos de *Aedes aegypti*

Las variables predictoras eliminadas por estar altamente correlacionadas fueron la Banda 23: Buffer a la Sumatoria de vegetación Alta ( $r=0.988876$ , con la clase Buffer a vegetación alta 1) y la Banda 15: Buffer a la sumatoria de vegetación Baja ( $r=0.973190$ , con la clase Buffer a la clase vegetación baja 4).

La precisión global del mapa de favorabilidad fue del 71.7 % para el primer año de monitoreos (utilizando 176 puntos de validación equivalentes al 20% relevado), del 70.2 % para la predicción del segundo año (626 puntos de validación), y del 68.9 % para la predicción del segundo año (731 puntos de validación). Considerando el total de sitios positivos a *Aedes aegypti* registrados durante el estudio de 3 años (2043 puntos), la precisión global del modelo de favorabilidad fue del 70.6%.

Como se muestra en las Figuras 17 y 18, el 8% de toda el área de estudio fue clasificada como de Alta favorabilidad, y el 82% como áreas de baja y muy baja. Este elevado porcentaje de áreas de bajo riesgo está relacionado al gran porcentaje de áreas de vegetación densa y zonas deshabitadas de la región peri urbana. La Figura 19 muestra la clasificación de favorabilidad de la ciudad de Puerto Iguazú y una magnificación en barrios sub-urbanos. Para obtener el porcentaje real de ambientes favorables al desarrollo de criaderos de *Aedes aegypti*, realizamos el análisis de riesgo solamente sobre el área urbana (ciudad), y sus límites catastrales (incluyendo parques, plazas, baldíos, etc.) y eliminando cultivos, áreas naturales y agro-ecosistemas de la escena completa Spot, a través del enmascaramiento de los caracteres del paisaje no deseados. Estos píxeles representan la estadística de la ciudad en sí misma, mostrando, a este nivel, una favorabilidad ambiental total Alta en el 17% de la ciudad y un 60% como baja y muy baja. A su vez, el 87% de todos los focos de *Aedes aegypti* registrados en los muestreos 12 a 10 (un año después de la adquisición de la imagen y de la toma de muestras de entrenamiento), fueron registrados en áreas predichas por el modelo como de Favorabilidad Alta y Media (Figura 20).

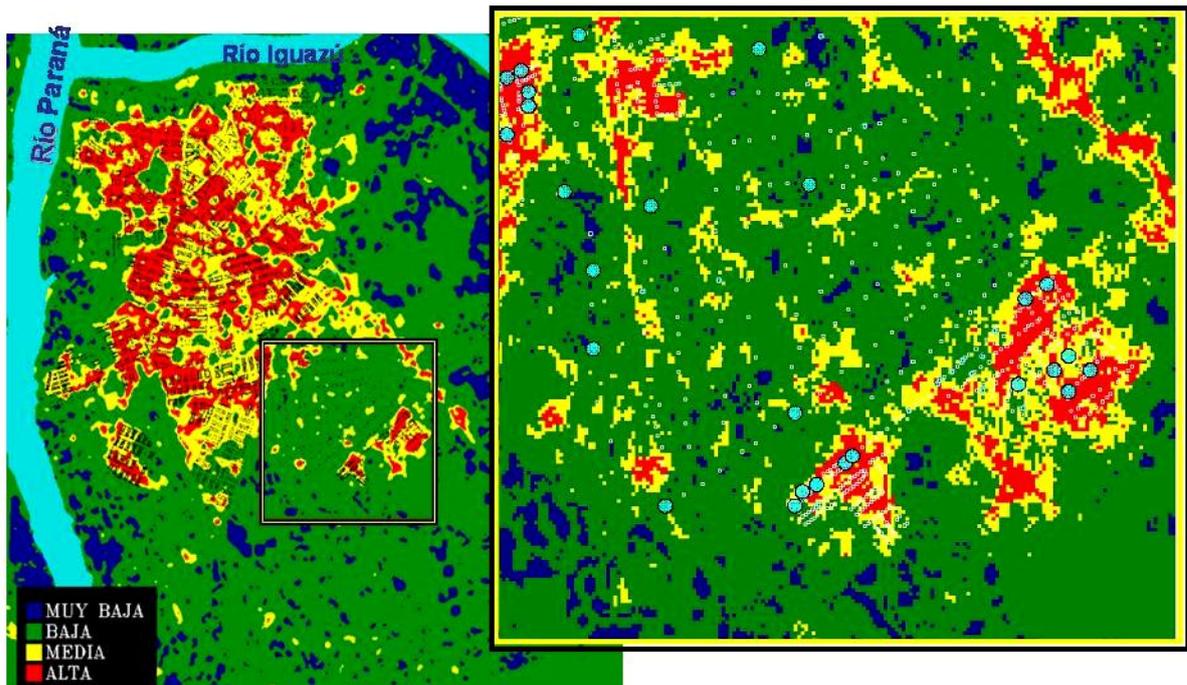


Figura 17. Imagen izquierda: salida del modelo para la ciudad de Puerto Iguazú, a la que se aplicó un filtro de Media (ventana de 5 X 5 píxeles). A la derecha, zoom del área indicada (recuadro negro y amarillo), que representa la salida natural del modelo, indicando con círculos turquesa las áreas donde se encontraron focos positivos de *Aedes aegypti* durante el periodo de monitoreos y con puntos blancos la ubicación de cada lote del catastro.

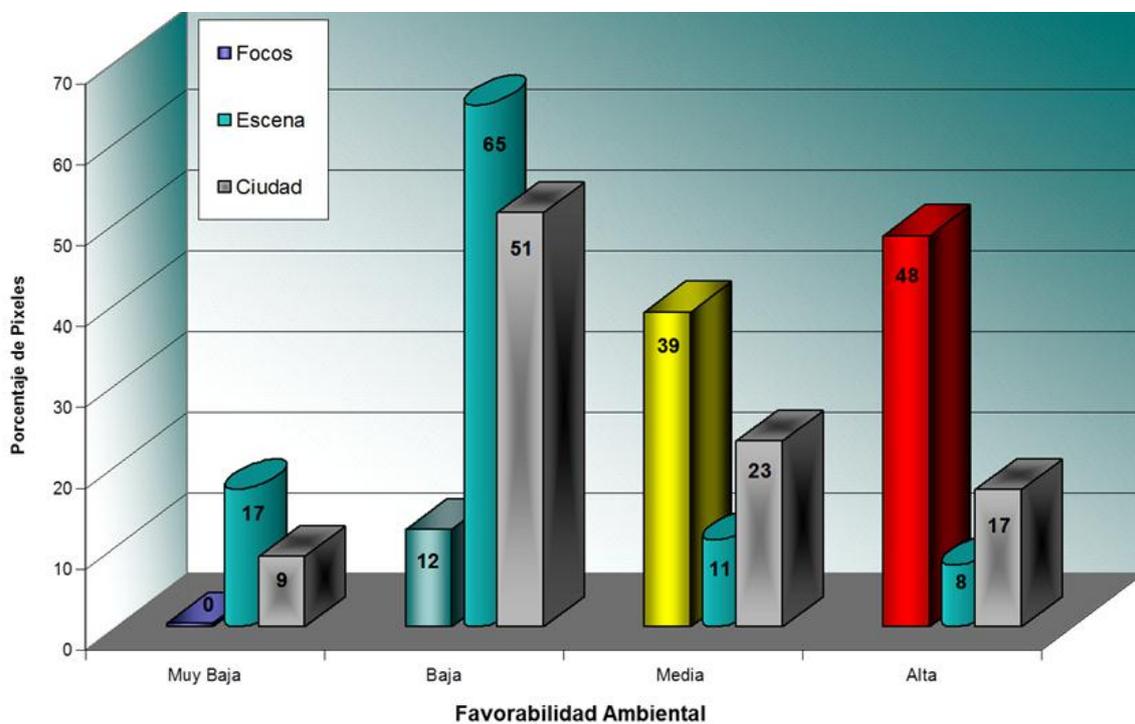


Figura 18. Distribución de frecuencia de píxeles asignados a cada nivel de favorabilidad ambiental, para los sitios donde se registraron focos positivos (cubos de colores, a la izquierda de cada serie), para el total de la escena Spot 5 utilizada (cilindros centrales) y para la ciudad de Puerto Iguazú (cubos grises).

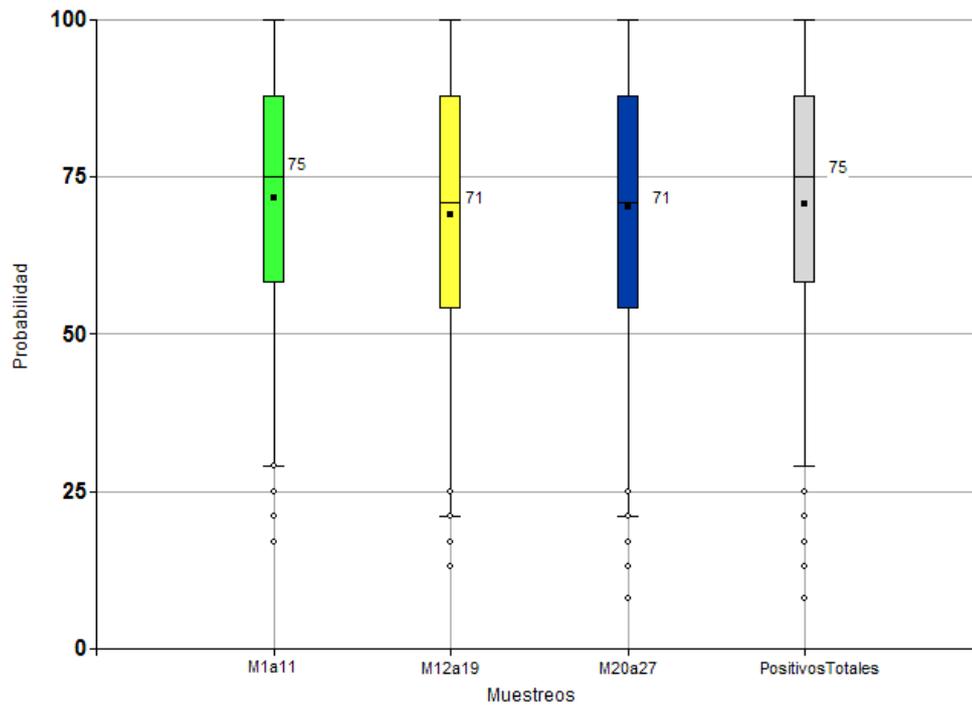


Figura 19. Distribución estadística de Favorabilidad ambiental, expresada en porcentaje, de los sitios positivos encontrados durante períodos de muestreos dentro del año de tomada la imagen satelital (M1a11), 1 año (M12a19) y dos años después de la misma (M20a27). El último grafo de caja, muestra la distribución de los sitios positivos acumulados de los 3 años de estudio.

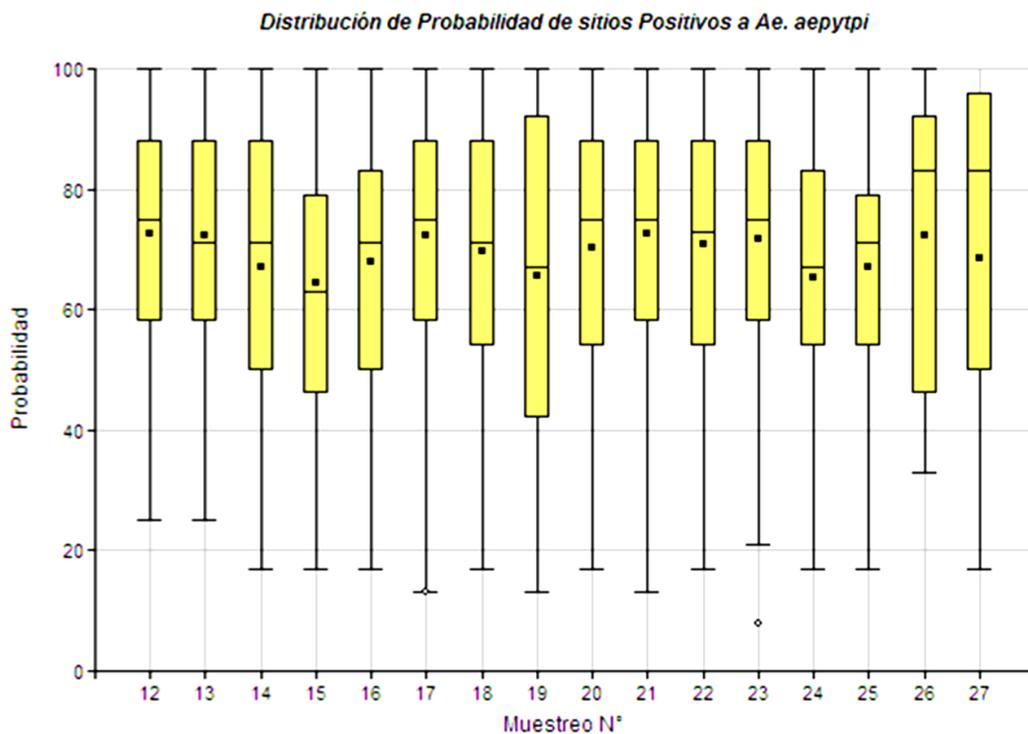


Figura 20. Distribución estadística de Favorabilidad ambiental, expresada en porcentaje, de los sitios positivos encontrados durante cada Muestreo, durante el período predictivo del modelo (M12a27).

A pesar de la complejidad de variables a tener en cuenta en el análisis de la distribución espacial de vectores antropofílicos como *Aedes aegypti*, las herramientas de análisis espacial y SIG, nos permitieron encontrar relaciones espaciales existentes entre los focos notificados y variables del macro-hábitat derivadas de sensores remotos que confirman el carácter antropofílico de la *Aedes aegypti* y su urbanización. En contraposición, *Aedes albopictus*, ha sido registrado en las periferias de la ciudad y zonas de barrancas, de fisonomía más agreste, si bien, desde que fuera descrita por primera vez en la ciudad, ha seguido una tendencia hacia la colonización de hábitats más urbanos (Espinoza, comunicación personal). En ese sentido, estas herramientas, permitirían cuantificar y validar esos supuestos.

Los mapas de favorabilidad generados en este trabajo, constituyen una herramienta de apoyo para la elección de medidas de gestión en el control del vector, y para la selección de zonas de implementación de dichas medidas, a micro escala, sobre todo en situaciones de Riesgo Epidemiológico y ante la imposibilidad de intervención del 100% de las viviendas de la ciudad.

Errores pueden ser generados por la diferencia en la resolución espacial entre la imagen satelital y la georeferencia de las viviendas, ya que la posición de los focos positivos fueron asignados al lote, y no a la/s vivienda/s propiamente dichas, teniendo en cuenta que existen lotes en la ciudad de puerto Iguazú de varias hectáreas.

De todos modos, parte de la incerteza del mapa de favorabilidad modelo puede tener su origen en la desactualización del catastro. A pesar de los esfuerzos llevados a cabo en su actualización, el crecimiento de la localidad a nivel de viviendas familiares, creció desde el 2008 más de un 30% (Fundación Mundo Sano, comunicación personal), siendo las variables que más explican la distribución de los sitios positivos las íntimamente asociadas a la urbanización y e infraestructura.

Este control requiere la identificación de áreas y períodos de riesgo y la identificación de mecanismos de propagación del virus en una comunidad para mejorar las estrategias de prevención (Tran et al., 2004). Se considera que la construcción y actualización de este tipo de mapas, y la verificación de la robustez de los modelos que los generan, son un paso necesario para el desarrollo de métodos para la predicción de áreas de transmisión potencial del virus del dengue. En este marco, para Argentina, la adopción de sistemas activos de vigilancia vectorial de este tipo, se estima constituiría una herramienta

eficaz para la prevención y mitigación de brotes de dengue, ayudando a la toma de decisiones y a la optimización de recursos en las acciones de prevención-control del vector.

De este modo, estos resultados constituyen una herramienta práctica para la estimación de las áreas ambientalmente favorables al desarrollo del vector, sobre todo dónde los datos de campo no están disponibles. En este sentido, estos refuerzan el uso potencial de los Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográficos en la vigilancia epidemiológica y estrategias multidisciplinarias de control. Esta meta, factible sólo si un sistema geo-referencial preciso está disponible, está limitado, principalmente, por la calidad de notificación de los sistemas de vigilancia y el acceso a datos de campo para la validación de los resultados de estudios basados en sensores remotos, sobre todo a la asimetría.

Si bien el modelo generado pretende evaluar la relación entre el macroambiente estimado a partir de imágenes satelitales y la distribución de criaderos de *Ae. aegypti*, lo irregular, desorganizado y poco documentado de las intervenciones para el control vectorial, hizo que estas últimas no pudieron ser incorporadas de forma sistemática para evaluar y ponderar su impacto. Por esta razón, las intervenciones a nivel de rociado espacial (máquinas de termo niebla del tipo ULV) y de control focal (descacharrado, y rociado intradomiciliario), desarrolladas por distintas instituciones gubernamentales (nivel Municipal, Provincial y Nacional) y no gubernamentales (ONGs y Fundaciones), normalmente en forma descincronizada e independiente, no fueron tenidos en cuenta para los análisis y se consideraron de impacto homogéneo sobre los focos de *Ae. aegypti*.

En concordancia con Kitron et al. (2006), todas estas preguntas sólo pueden ser abordadas a través de una sólida comprensión de la biología, epidemiología y socioeconomía del sistema en tiempo y espacio. Al utilizar datos de teledetección siempre hay que encontrar un compromiso entre la resolución espacial y temporal. En cuanto a la posibilidad de ir de lujo (extrapolar) o descendente de la escala (interpolación), citamos Levins (1968), quien afirmó que "el análisis detallado de un modelo para fines distintos de los que fue construido puede ser tan insignificante como el estudio de un mapa bajo un microscopio".

A futuro, podrían implementarse estudios sobre las áreas en las que el modelo tuvo

menor predicción, por ende en el que podría considerarse que el ambiente tuvo menos influencia sobre las poblaciones del vector, y no así otros factores como los socioeconómicos o conductuales de la comunidad. Esto ayudaría a enfocar los esfuerzos para encontrar las medidas o conductas que tienen más impacto sobre la reducción de las poblaciones en la ciudad de Puerto Iguazú. A su vez, sobre la competencia interespecífica de las especies de *Aedes* que coexisten en Puerto Iguazú en la actualidad, sobre todo teniendo en cuenta el avance de *Ae. albopictus* hacia las zonas más urbanizadas.

Por último, podría lograrse una disminución del ruido en los resultados debido a la alta transformación del paisaje urbano-rural de la ciudad, a partir de la mejora de la resolución espacial, tanto de los datos catastrales, como de las variables ambientales (Clasificaciones mas detalladas, series temporales de variables de alta resolución espacial derivadas de convenios entre CONAE-Spot France y de imágenes térmicas del satélite Landsat 8).

## **3.4. Caso 2: Estimación de índices de Vivienda y de Breteau basados en imágenes Landsat TM y ETM.**

El objetivo de este apartado, es el de construir un modelo estadístico predictivo de las variaciones temporales observadas de los índices de Vivienda y de Breteau para la ciudad de Tartagal, entre los años 1998 y 2003. Cabe destacar que una versión resumida este modelo fue publicado en el año 2004, en la página web de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales como: Rotela, C; Introini V; Lamfri M; Zaidenberg M; Gorla D.; Almirón W; Scavuzzo C.M., 2004. “Prediciendo índices vectoriales (Dengue) usando Información Espacial”, y se encuentra disponible en: <http://www.conae.gov.ar/images/gulich/aplicaciones/vectoresE.pdf>

### **3.4.1 Materiales y Método**

#### **3.4.1.1 Área de Estudio**

Para el desarrollo de este apartado, se utilizó como sitio piloto la ciudad de Tartagal (Provincia de Salta) situada en la base de la cordillera subandina, a 55 Km. al sur de la frontera con Bolivia y a 463 msnm (Volante et al., 2004). Situada a los 22° 31' S, 63° 48' O (Figura 1), siendo cabecera del departamento General San Martín, la ciudad poseía para el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 una población de 47.526 habitantes (INDEC 2001).

Para el período 1981-1990, las temperaturas extremas alcanzaron para verano máximas de 40,6 °C y mínimas de 11,3 °C. En otoño las temperaturas máximas fueron 38,2° C y las mínimas de 3,4 °C. Las máximas de Invierno alcanzaron los 36,6 °C y las mínimas -2,6 °C, registrando las máximas anuales en Primavera con 44,8 °C, registrando mínimas de 0,1 °C. La humedad relativa ambiente, registra los mayores valores desde los meses de Diciembre a Mayo, con una media anual de 79%, para el mismo período, y una máxima en el mes de Abril del 89% (Servicio Meteorológico Nacional, 2011) (Tabla 1)

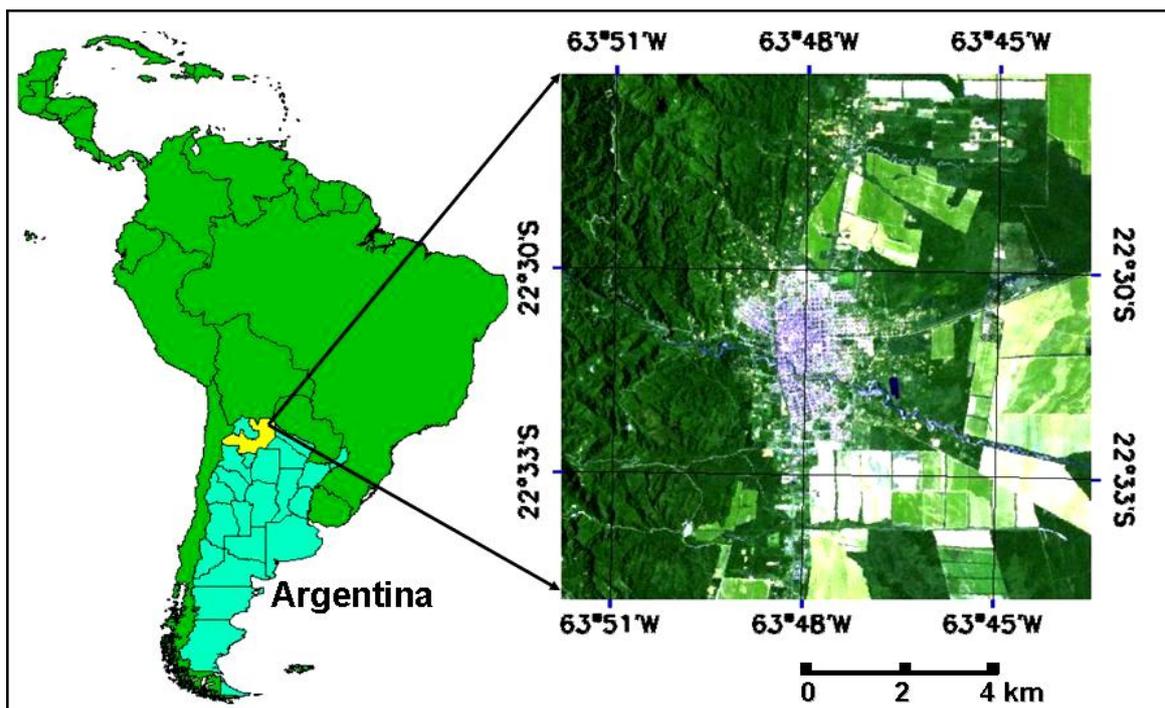


Figura 1. Ubicación del área de estudio, en la provincia de Salta. A la derecha, Imagen satelital Landsat 5 TM, Path: 230 – Row: 76 (RGB = 752). Puede observarse la ciudad de Tartagal, al centro, surcada de N-Oeste a S-Este por el río homónimo, y la selva pedemontana hacia al Oeste de la misma.

Mes	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Viento medio (km/h)	Número de días con			Precipitación mensual (mm)
	Máxima media	Media	Mínima media			Cielo claro	Cielo cubierto	Precipitación	
Ene	31.1	24.3	20.6	87	S/D	S/D	S/D	13	230.4
Feb	30.5	23.9	19.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Mar	28.8	22.3	18.9	88	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Abr	25.1	19.5	17.0	89	S/D	S/D	S/D	14	101.3
May	22.3	16.7	12.9	87	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Jun	19.9	13.9	9.7	85	S/D	S/D	S/D	5	9.3
Jul	21.8	14.2	8.9	79	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Ago	25.2	16.8	10.5	70	S/D	S/D	S/D	1	1.8
Sep	27.5	19.3	12.6	62	S/D	S/D	S/D	2	3.3
Oct	31.4	23.2	16.9	66	S/D	S/D	S/D	3	43.1
Nov	31.4	24.0	18.8	75	S/D	S/D	S/D	12	102.8
Dic	31.0	24.2	20.0	82	S/D	S/D	S/D	S/D	177.1

Tabla 1: Estadísticos mensuales de datos meteorológicos (período 1981-1990) suministrados, on-line, por el Servicio Meteorológico Nacional:

<http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Iguazu>

### 3.4.1.2 Datos de terreno

- Información bimestral del período Marzo 1998- Diciembre 2003, fue generada y suministrada por la Coordinación Nacional de Control de Vectores del Ministerio de Salud de la Nación Argentina (Tabla 2)

a) Entomológicos (Índices de Breteau y de Vivienda)

b) Actividades de control vectorial (Viviendas evaluadas y tratadas)

- Datos del Servicio Meteorológico Nacional

c) Precipitaciones diarias

- Información derivada de las imágenes Landsat 5TM y Landsat 7 ETM.

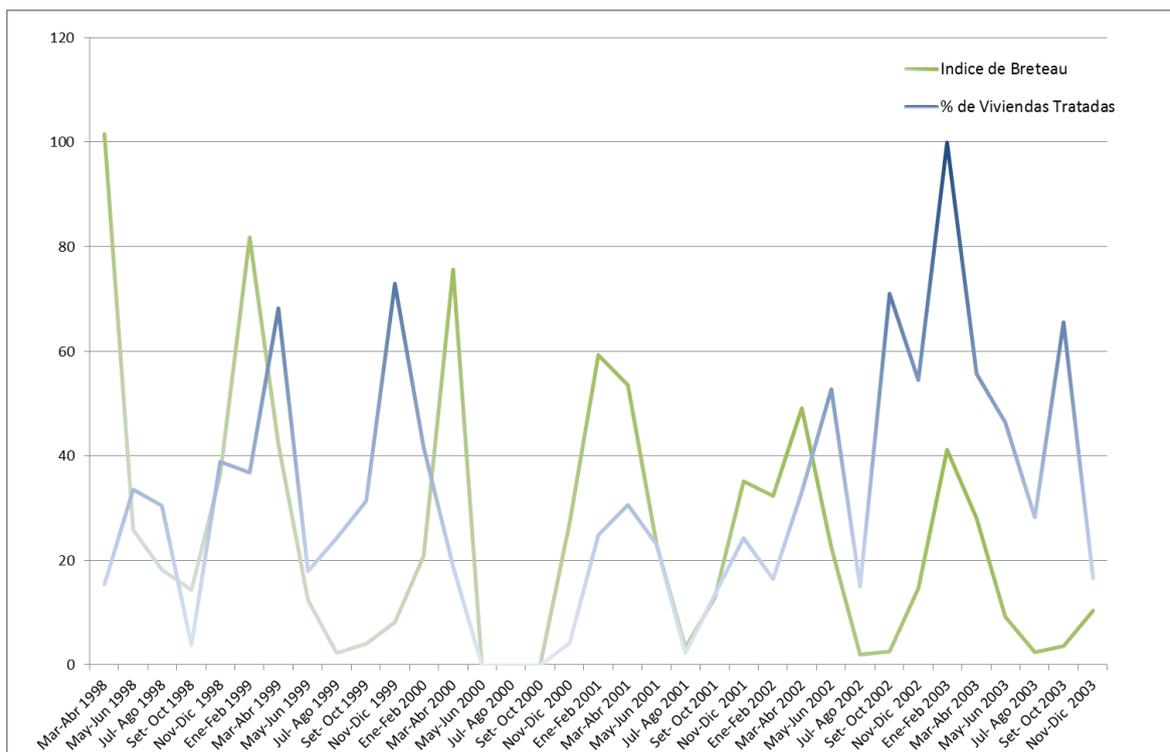
d) Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

e) Temperatura de Superficie (LST)

Dependiendo del período registrado, las acciones de control vectorial (viviendas evaluadas y tratadas) están representadas por el relevamiento de criaderos de *Ae. aegypti*, la eliminación de criaderos activos y potenciales (descacharrado de la vivienda visitada), la aplicación de larvicidas (en los recipientes de los cuales el agua no puede ser eliminada), y según correspondiese, en períodos epidémicos, el rociado con adulticidas focal (4 manzanas alrededor de cada caso de dengue sospechoso notificado), o espacial con ultra bajo volumen (ULV), durante los denominados ciclos de rociados. En la Figura 2 puede observarse la relación entre el porcentaje de viviendas tratadas y el índice de Breteau para el período en estudio.

Período	Viviendas Evaluadas y Tratadas	Población Protegida	Focos de <i>Ae. aegypti</i>	Indice Viviendas Cerradas %	Indice Vivienda	Indice Breteau
Mar-Abr 1998	2064	8927	2099	13,42	43,21	101,69
May-Jun 1998	4502	18962	1163	20,1	16,92	25,83
Jul- Ago 1998	4100	16287	741	20,75	11,02	18,17
Set- Oct 1998	509	1946	73	23,18	9,23	14,34
Nov-Dic 1998	5226	17476	1896	28,87	19,53	36,28
Ene-Feb 1999	4942	20244	4045	10,8	32,09	81,86
Mar-Abr 1999	9160	36677	4509	19	28,01	42,22
May-Jun 1999	2399	7756	295	24,88	8,96	12,29
Jul- Ago 1999	3265	13313	70	20,7	1,83	2,14
Set- Oct 1999	4217	16723	167	13,99	3,36	3,96
Nov-Dic 1999	9793	39597	787	20,95	7,03	8,03
Ene-Feb 2000	5591	21872	1158	21,67	12,25	20,71
Mar-Abr 2000	2518	9518	1905	0,18	37,45	75,65
May-Jun 2000	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Jul- Ago 2000	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Set- Oct 2000	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Nov-Dic 2000	561	2482	152	16,57	21,21	27,09
Ene-Feb 2001	3337	14735	1980	18,13	33,29	59,33
Mar-Abr 2001	4113	17216	2199	11,45	32,57	53,46
May-Jun 2001	3105	11282	712	24,79	16,23	22,93
Jul- Ago 2001	305	977	10	13,11	2,62	3,27
Set- Oct 2001	1816	6885	233	13,16	10,02	12,83
Nov-Dic 2001	3260	12286	1145	5,73	23,95	35,12
Ene-Feb 2002	2209	9333	712	4,75	25,39	32,23
Mar-Abr 2002	4441	17792	2183	12,2	28,37	49,15
May-Jun 2002	7079	27301	1584	22,75	14,47	22,37
Jul- Ago 2002	2011	8392	37	8,45	1,34	1,83
Set- Oct 2002	9535	33781	235	16,74	1,99	2,46
Nov-Dic 2002	7322	28931	1065	12,4	9,99	14,54
Ene-Feb 2003	13440	49593	5530	15,49	27,91	41,14
Mar-Abr 2003	7481	28430	2091	18,23	16,89	27,95
May-Jun 2003	6237	24023	567	14,33	7,13	9,09
Jul- Ago 2003	3795	12903	89	26	1,84	2,34
Set- Oct 2003	8812	35066	303	15,73	2,9	3,43
Nov-Dic 2003	2236	7075	230	28,17	7,78	10,28

Tabla 2: Resúmenes bimestrales de información vectorial y de actividades de control vectorial para Tartagal, en el período 1998-2003. Fuente: Coordinación Nacional de Control de Vectores (MSN).



**Figura 2: Variaciones del índice de Breteau (N° de recipientes positivos a *Ae. aegypti* cada 100 viviendas evaluadas) y el porcentaje de viviendas tratadas por los agentes del Ministerio de Salud de la Nación para el período en estudio.**

### 3.4.1.3 Información derivada de sensores a bordo de satélites

Todas las imágenes Landsat 5TM y Landsat 7 ETM (formato Fast format), utilizadas en este apartado, fueron adquiridas por CONAE, en el Centro Espacial Teófilo Tabanera, Falda de Cañete, Córdoba, Las imágenes Landsat 5, utilizadas fueron del Nivel 4 de procesamiento y las 7 ETM de Nivel 4X, es decir con correcciones sistemáticas de Bandas 1 a 7, y para la Banda 8 pancromática, Nivel 4P, también solo con correcciones sistemáticas.

Se geo-referenció un set de 41 imágenes Landsat 5TM y 7 ETM, Path: 230 – Row: 76, por el método “**imagen a imagen**” utilizando el programa ENVI 4.1 (2004), en base a una imagen georeferenciada (**formato .tif**), descargada de la página Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility. University of Maryland:

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

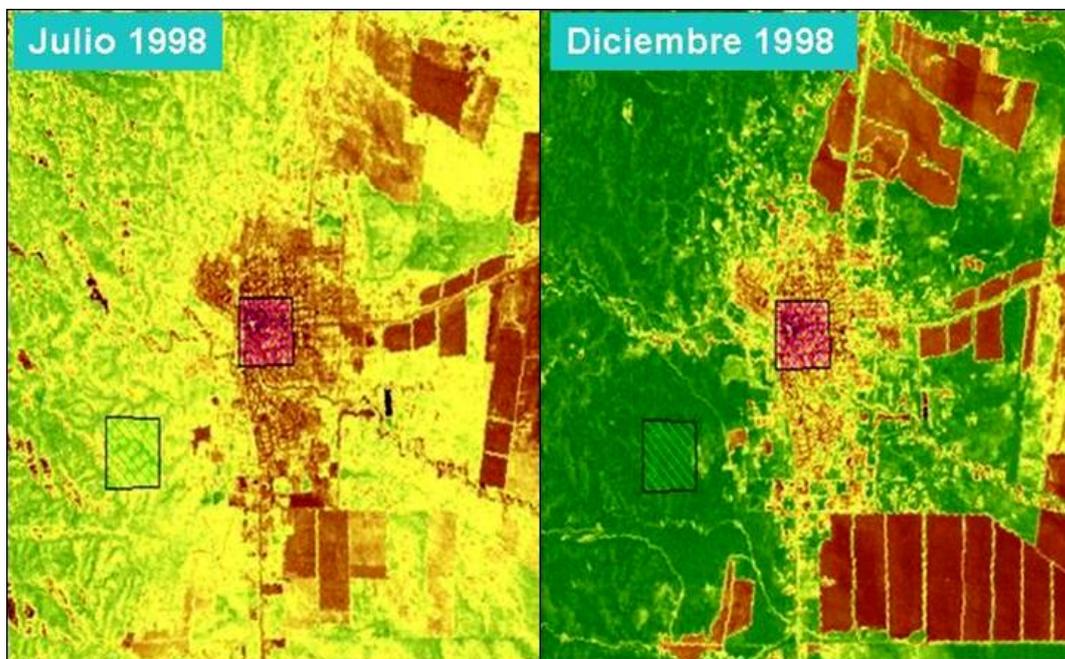
La serie temporal de imágenes construida abarca desde el 27 de Abril de 1997 hasta el 29 de Marzo de 2004, a las que se les asignó el formato de nombre de archivo:

### *AñoMesDía*

1)	19970427	15)	20000716	29)	20020620
2)	19970630	16)	20000724	30)	20020706
3)	19980601	17)	20000801	31)	20020823
4)	19980719	18)	20000808	32)	20020924
5)	19980921	19)	20000918	33)	20021026
6)	19981007	20)	20001207	34)	20021229
7)	19981210	21)	20010209	35)	20030130
8)	19981226	22)	20010329	36)	20030215
9)	19990706	23)	20010414	37)	20030420
10)	19990831	24)	20010804	38)	20030506
11)	19990908	25)	20011218	39)	20031022
12)	19990927	26)	20011226	40)	20040125
13)	19991010	27)	20020111	41)	20040329
14)	20000622	28)	20020316		

La calibración de las imágenes Landsat, se realizó de acuerdo a los rangos dinámicos de Chander (2003), utilizando rutinas de programación construidas en lenguaje IDL (Interactive Data Language) del programa Envi 4.1 (2004).

Con el objetivo de obtener variables macroambientales quincenales para cada imagen Landsat, sin cobertura nubosa, se seleccionaron dos áreas representativas de 1200 x 1200 metros (Figura 3), una abarcando el centro de la ciudad de Tartagal, y la otra un área de vegetación nativa, al Oeste de la ciudad.



**Figura 3. Productos de NDVI, derivados de imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM (Path: 230 – Row: 76) de Invierno y Verano de 1998. En cada imagen puede observarse la ciudad de Tartagal, al centro, y los recuadros de áreas de interés, desde donde se extrajeron los estadísticos representativos de las imágenes de NDVI y LST.**

De cada set de 1600 píxeles (40 x 40) se extrajeron los estadísticos descriptivos “Media” y “Varianza” de la Temperatura de Superficie y el INDICE de vegetación NDVI, para de cada sector. De esta forma se obtuvieron 8 variables derivadas de imágenes satelitales por cada escena utilizada.

Debido a la diferencia en la resolución temporal de cada variable independiente, el desfase en los pasos de tiempo de las mismas y los índices IV y IB, la resolución quincenal de la variable precipitación y la adquisiciones de Landsat casi quincenales, se aplicaron sobre todas las variables involucradas en el modelo, interpolaciones del tipo Spline cúbica, mediante la utilización del programa IDL (Envi 4.1, 2004). De esta forma, para cada variable, se generó una base de datos quincenal de 123 puntos, desde Marzo de 1998 hasta Diciembre de 2003 inclusive (Tabla 3).

Área	Variable	Estadístico / Unidad
Ciudad	NDVI	Promedio
		Varianza
	LST	Promedio
		Varianza
	Presipitación quincenal	Promedio (mm)
		Varianza (mm)
Control	Nº viviendas tratadas	
Selva	NDVI	Promedio
		Varianza
	LST	Promedio
		Varianza

**Tabla 3. Variables regresoras utilizadas para la obtención de los coeficientes del modelo estadístico multivariado para el total del período en estudio.**

Las 10 variables se incluyeron en las regresiones lineales múltiples, eliminando de los modelos las variables que menos contribuyeron a la explicación de la variable respuesta, teniendo en cuenta los valores de significación (p). Los modelos regresivos y el cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), entre los datos de los IV e IB y los estimados, se realizó con el programa InfoStat (2002).

Las ecuaciones generales de los modelos regresivos desarrollados se expresan del modo:

$$Y = b + a_0 \cdot X_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_n \cdot X_n$$

Representando **Y** al valor estimado del índice de Breteau o de Vivienda, **b** el valor de la constante y **a<sub>1</sub>..... a<sub>n</sub>** los coeficientes de las variables regresoras **X<sub>1</sub>.....X<sub>n</sub>**

Se generaron dos sets de coeficientes de regresión para cada modelo. Uno “retrospectivo”, donde se generaron los coeficientes de regresión utilizando la serie completa de las variables dependientes (IV e IB) del periodo 1998-2003, como entrenamiento, y otro “Predictivo”, que utiliza solo la primera mitad del set de datos de las variables dependientes, para la generación de los coeficientes de regresión. De esta forma, al correr el modelo Predictivo, utilizando los coeficientes regresores sobre las variables del tiempo T1, se estiman los valores de los índices de Vivienda y Breteau, para ese tiempo T1.

### 3.4.2 Resultados y discusión

Los modelos obtenidos presentaron ajustes significativamente ( $p < 0,0001$ ) con ambas variables respuesta. Los coeficientes de regresión de los mismos y los Lag de tiempo con mejor ajuste, se pueden observar en la (Tabla 4). El ajuste obtenido utilizando los coeficientes generados durante todo el periodo de estudio (138 puntos por variable), fue significativo desde el punto de vista estadístico ( $p < 0,0001$ ), obteniéndose un ajuste  $r = 0,94$  para el IV (Figura 18) y  $r = 0,84$  para el IB (Figura 19).

Al utilizar 86 puntos de entrenamiento para los coeficientes regresivos, los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos entre los valores del Índice de Breteau y Vivienda, de la segunda mitad del período en estudio, y los estimados por el modelo, presentan valores de  $r_{IB} = 0,815$  y  $r_{IV} = 0,88$  (Figuras 4 y 5).

Variable	Índice de Vivienda		Índice de Breteau	
	Nº de Lags	Coeficientes	Nº de Lags	Coeficientes
ndviMmonte	12	-0,468328	11	-2,23694
ndviVmonte	12	-0,093862	11	-0,668116
TempMmonte	12	-2,4981	11	0,474045
TempVmonte	11	0,0783823	11	0,0503641
Precipitación	9	-0,0467397	12	-0,191842
ndviMciudad	11	0,164471	11	1,06223
ndviVciudad	2	0,271587	11	0,78553
TempMciudad	12	0,0522371	2	-2,87457
TempVciudad	13	-0,0630463	11	0,0659237
Control Vect.	4	-0,150949	4	-0,302118

**Tabla 4. Coeficientes regresivos de las variables independientes contruidos a partir de 86 puntos de entrenamiento de las Variables. Se muestran los coeficientes de los modelos estadísticos multivariados y los Lag con mejor ajuste para cada modelo.**

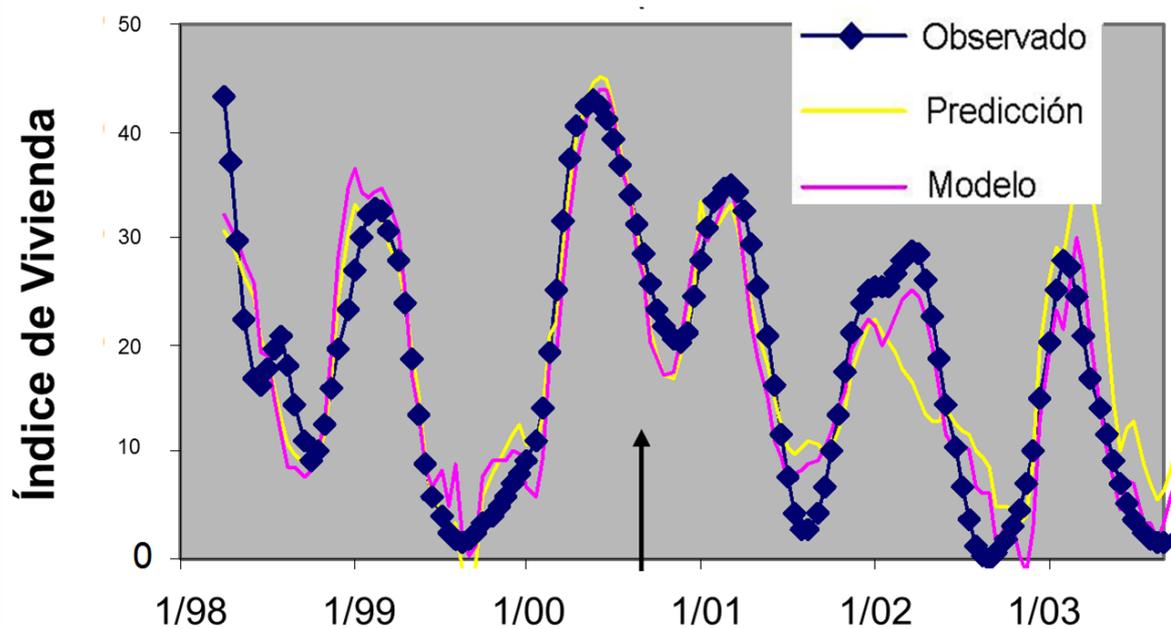


Figura 4. Resultados del modelo de regresión ajustado y el predictivo, y los datos originales del IV. La curva amarilla muestra la predicción del IV al utilizar la mitad de los índices originales para ajustar los coeficientes (86 puntos). La flecha divide el período de entrenamiento (años 98-2000) y el de Predicción (años 2001-2003). La línea rosa, muestra los valores obtenidos al ajustar el modelo utilizando la serie completa del IV como entrenamiento para los coeficientes regresivos.

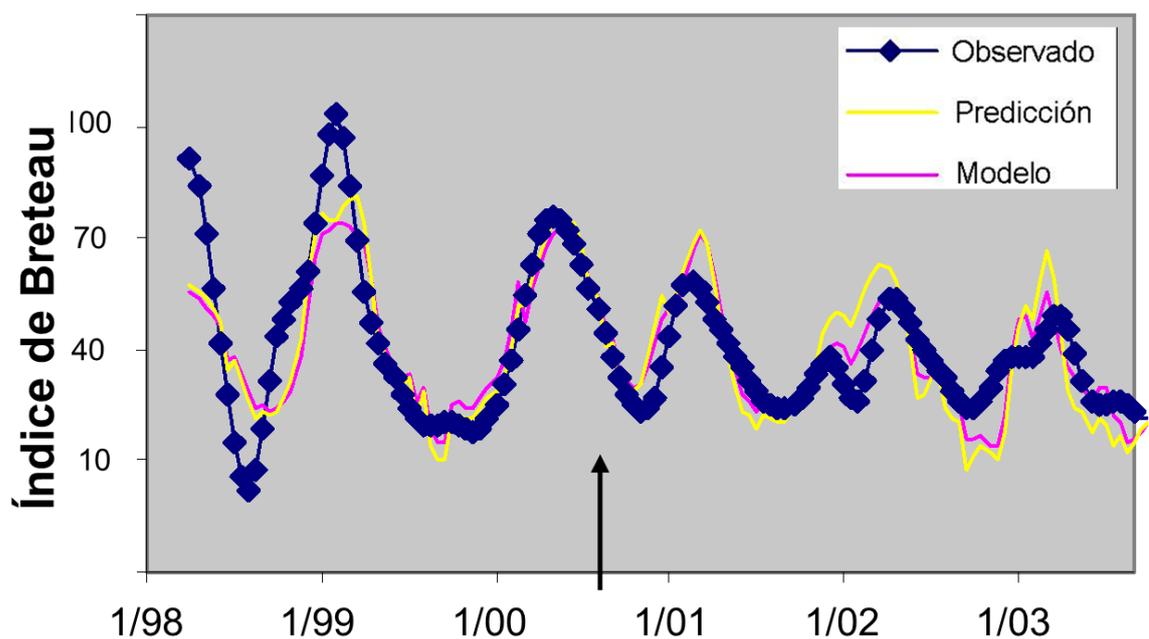


Figura 5. Resultados del modelo de regresión ajustado y predictivo, y los datos originales del IB. La curva amarilla muestra la predicción del IB al utilizar la primera mitad de los índices originales para ajustar los coeficientes. La flecha divide el período de entrenamiento (años 98-2000) y el de Predicción (años 2000-2003). La línea rosa, muestra los valores obtenidos al ajustar el modelo utilizando la serie completa del IB, como entrenamiento para la obtención de los coeficientes regresivos.

Al realizar un análisis de la predictibilidad del modelo en el tiempo, y considerando los Lags necesarios para lograr los mejores ajustes, un entrenamiento con 119 puntos del índice de Vivienda (de un conjunto de 123 puntos que representa 15 días cada uno), permitiría generar un pronóstico a 60 días del índice de Vivienda, con una correlación de Pearson de **0.866**. Pronósticos de 6 meses (rango de alcance medio), podrían generarse utilizando 110 puntos de entrenamiento para la generación de los coeficientes regresivos, con un  $r = 0.836$ . A su vez, pronósticos de 12 meses (gran rango de alcance) se generarían a partir de 98 puntos de entrenamiento, alcanzando niveles de correlación de **0.829**. Con estas estimaciones, una alerta temprana de 18 meses de antelación necesitaría de 86 puntos de entrenamiento, con un ajuste del **0.88** para el **IV** y **0.815** para el **IB**. Estos resultados muestran la robustez del modelo de regresión, ya que el mismo genera respuestas satisfactorias, incluso ante variaciones sustanciales de sus variables regresivas.

Con respecto a la utilización de métodos de interpolación de datos para la generación de series temporales regulares, cabe destacar que al correlacionar las salidas de los modelos generados con el set completo de Índices de campo originales (no interpolados), los mismos arrojaron valores de  $r = 0,8545$  para el índice de Breteau y  $r = 0,8809$ . Al correlacionarlos con la serie de predicción, es decir la segunda mitad de los datos de salida del modelo, los coeficientes de Pearson disminuyeron a **0,6363** para el **IB** y **0,7149** para el **IV** para un pronóstico de largo plazo o alerta temprana de 18 meses de antelación al **IB** e **IV**.

Desde un punto de vista biológico se esperaría que los datos entomológicos covaríen con variables como la temperatura o la vegetación del entorno como ha sido demostrado por distintos autores. Para este modelo en particular se esperaría esto suceda con la vegetación del monte, del parche seleccionado, ya que este potencialmente refleja las condiciones climáticas, al encontrarse en un área protegida. De hecho, el área con contribución más fuerte a la explicación del modelo aquí expuesto, la constituyó el Monte, con Lags de entre 5 y 6 meses en sus variables. Todas las variables satelitales extraídas del monte, presentaron coeficientes de correlación parcial elevados, del -0,585 para el NDVI medio, 0,567 para la varianza del NDVI, 0,575 para la varianza de la Temperatura LST y -0,414 para la media de la temperatura LST. Cabe mencionar que la Varianza de las variables Temperatura y NDVI del Monte tuvieron una correlación parcial positiva con los

índices, debido a que quizás la misma aumenta cuando la vegetación caducifolia pierde las hojas durante las épocas menos favorables para el vector. Esto produciría la exposición de suelo, rocas o cauces de agua (que en la época favorable son cubiertos por el dosel que homogeniza el paisaje), aumentando de esta forma la variabilidad de la respuesta espectral tanto al NDVI como de la LST en invierno, y correlacionando en forma positiva con el crecimiento poblacional del vector a los 6 meses durante el verano.

Las variables que menos contribuyeron a la explicación del modelo fueron la Precipitación ( $r = 0,130$ ), El NDVI medio de la ciudad ( $r = 0,056$ ) y la Varianza de la Temperatura LST de la ciudad ( $r = 0,010$ ), con Lags de mejor ajuste entre los 4.5 meses y 6,5 meses. Esto podría estar indicando que las precipitaciones no serían una fuente importante de criaderos en la ciudad, y que los tipos de recipientes, no dependientes de las precipitaciones para la acumulación de agua, estarían aportando la mayor fuente de criaderos (Tanques bajos, pozos de agua, tachos y baldes para la acumulación de agua en los barrios sin servicio de agua de red o con cortes del mismo en forma recurrente). A su vez, al parecer, las variaciones temporales de la biomasa fotosintéticamente activa de la ciudad, no expresaría las fluctuaciones de factores que influyen sobre la abundancia y presencia del vector como la humedad, temperatura y precipitaciones, como se ha demostrado en trabajos de Randolph y Rogers (1997), Gorla (2002), Porcasi et al. (2006), Lanfri et al. (2011). De todos modos, la Varianza del NDVI dentro de la ciudad, explicaría de forma positiva las fluctuaciones de los IV con un ajuste  $r = 0.55$ . Esto puede deberse a que los valores bajos de NDVI en la vegetación de invierno o épocas desfavorables para el crecimiento aéreo de las plantas, son muy similares a los de las edificaciones o suelo desnudo del sector urbano (ceranos a 0). Por ende, la variabilidad del NDVI en la ciudad es menor durante las épocas de menores precipitaciones y menor temperatura, que a su vez, normalmente se corresponden a las épocas de menor actividad de *Ae. aegypti* (Rueda et al., 1990; Dominguez et al., 2000; Carbajo et al. 2001; Barbazan et al., 2010).

Los resultados sugieren que a partir de las condiciones ambientales estimadas, el modelo es capaz de predecir la favorabilidad ambiental al desarrollo del vector y que, a su vez, la incorporación de la variable Control Vectorial, permitiría estimar el efecto de las campañas gubernamentales sobre las poblaciones del vector (reducción de criaderos y de adultos). Aquí radica la importancia de la calidad de los datos entomológicos y de

intervención incorporados, como ponderadores del efecto sobre las fluctuaciones del vector en respuesta a factores naturales. Como puede observarse en los figuras 4 y 5, y considerando el fuerte control vectorial efectuado a principios del año 2002, como consecuencia del brote registrado en la región, el efecto de las medidas sobre el vector son asimiladas correctamente por los modelos, disminuyendo los valores de los índices a valores cercanos a cero. Cabe destacar que la sobreestimación de un 50% en los valores del IV más bajos registrados en el período de estudio (1,38), corresponden al pronóstico a 6 meses del IV.

Teniendo en cuenta las facilidades actuales para la generación automatizada y publicación on-line de los productos satelitales, y datos de terreno requeridos para este tipo de modelos (Lanfri et al., 2011; Porcasi et al., 2012, Yang et al.,2012), debería considerarse la posibilidad de usar este tipo de modelos como sistema de alerta temprana y vigilancia vectorial, supeditado a someterlo a validaciones y actualizaciones periódicas, hasta que la comprobación de su robustez, permita una implementación con niveles de confianza deseados.

De todos modos, y si bien los niveles de predicción de los modelos planteados, demostrarían la potencialidad de utilización de información de origen espacial, como complemento de sistemas de vigilancia actuales, para la aplicación operacional de los mismos, se debería contar con series de datos entomológicos de campo, uniformes en el tiempo y confiables, de distribución regional, para las validaciones pertinentes. En este caso particular, la falta de regularidad en el rigor de relevamiento de los índices, la fluctuación en los presupuestos y personal asignados, el tipo y cantidad de personal técnico involucrado y las variaciones en las políticas de prevención y control del vector, generan incertezas

Este tipo de datos de salida, son de suma importancia a la hora de la concepción Operativa de Sistemas de alerta temprana epidemiológica, ya que permitirían predecir el comportamiento de un componente indispensable en la red epidemiológica de la transición del virus Dengue. El conocimiento a priori de las fluctuaciones poblacionales del único vector del Dengue comprobado para la Argentina, permitiría tomar medidas preventivas en un tiempo óptimo, e incluso ser utilizadas como dato de entrada de modelos epidemiológicos más complejos, a fin de anticipar o disminuir las medidas de mitigación una vez iniciado un brote.

# Capítulo IV

## Análisis de patrones epidemiológicos espacio-temporales

### 4.1 Introducción

Desde el punto de vista epidemiológico, se considera que una gran parte de las enfermedades humanas se propagan en una red de interacciones: todo el mundo no está en contacto con todo el mundo, existe una red de contactos definida por las relaciones entre las personas. La naturaleza y las propiedades de esa red determinan tanto la posibilidad de difusión de una epidemia como su dinámica a largo plazo (Newman. 2002). Los modelizadores han comprendido que la hipótesis de homogeneidad de contactos no puede ser aplicada en la mayoría de los desarrollos de modelos epidemiológicos. Es por ello, que para arribar a buenas predicciones se necesita tener en cuenta la heterogeneidad espacio-temporal de la población y la estructura de sus contactos (Sattenspiel & Dietz 1995). Por otra parte, si bien las investigaciones de los patrones espaciales de eventos epidémicos poseen una larga historia (Gatrell & Löytönen 1998), el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y uso de información espacial en salud, recientemente han permitido a los epidemiólogos incluir componentes espaciales en estudios epidemiológicos de manera más sencilla. En ese sentido Knox (1964), Diggle et al. (1995), Baker (1996), y Kulldorff and Hjalmarsson (1999), entre otros, han propuesto diferentes test para analizar la interacción espacial y temporal, con alto potencial de ser adaptados a la tele-epidemiología.

Teniendo en cuenta que la cadena epidemiológica se compone de tres eslabones, patógeno, vector y susceptible, resulta imprescindible conocer acabadamente a cada uno de ellos, para poder utilizarlos de base a la hora de construir modelos a partir de la información que se puede obtener de los sensores remotos. En este marco el desafío

científico para encarar estas problemáticas es sumamente complejo dependiendo gran parte de su desarrollo de trabajo interdisciplinario.

En el caso particular de nuestro país, en los últimos años y a partir de la acción conjunta del Ministerio de Salud de la Nación (MSN) y de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la aplicación de información espacial a la salud humana ha tomado un especial dinamismo (Scavuzzo et al. 2002, Porcasi et al. 2004). La CONAE cuenta con información de la Fiebre del Dengue, que necesita ser integrada y analizada desde el punto de vista espacio-temporal para arribar a la comprensión de comportamientos y patrones complejos indispensables a la hora de organizar los sistemas de vigilancia y control epidemiológicos.

Durante el verano 2003-2004 un importante brote de Dengue clásico ocurrió en el NO Argentino. En la ciudad de Tartagal el primer caso sospechoso de Dengue fue notificado el 24 de Enero de 2004, y la epidemia se extendió a toda la ciudad en aproximadamente 11 días. Durante los 109 días de brote, se notificaron un total de 487 personas “sospechosos clínicos” con una incidencia diferencial según las franjas etarias de la población. El Ministerio de Salud de la Nación, a través de la Coordinación Nacional de Control de Vectores, y conjuntamente con el Hospital de Tartagal, registro la fecha y la manzana del domicilio de cada caso notificado, y referenciada en un mapa catastral, en formato papel, de escala 1:1000.

Este trabajo es parte de los proyectos interinstitucionales para la generación de nuevas herramientas de vigilancia epidemiológica, y en el cuál han participado principalmente el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), el Instituto Nacional de Enfermedades Virales humanas “Dr. Julio I. Maiztegui”, ANLIS “Dr. Carlos G. Malbrán”, la Coordinación Nacional de control de Vectores del Ministerio de Salud de la Nación y la Universidad Nacional de Córdoba. A su vez, este proyecto está enmarcado dentro del programa de cooperación internacional MATE (Monitoreo Argentino de Tele-epidemiología) desarrollado en conjunto con el consorcio francés S2E (Surveillance Espatiale des Epidemies). A su vez, cabe destacar que parte de este trabajo fue publicado como: Rotela Camilo; Fouque Florence; Lamfri Mario; Sabatier Philippe; Introini Virginia; Zaidenberg Mario; Scavuzzo Marcelo, 2007. Space-time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, northern Argentina. *Acta Trópica*. Volume 103, Issue 1, pp.1-13.

## **4.2 Objetivos y contexto del capítulo**

A diferencia del capítulo anterior en el que se modelaron los índices entomológicos en el espacio y en el tiempo, considerándolas como dimensiones independientes y separadas, en el presente, así como en el próximo capítulo, el objetivo es el modelado de la enfermedad a del dengue a partir de la localización de los casos notificados oficialmente y la utilización de información de origen satelital. Así para el abordaje del presente capítulo se investigó la dinámica de propagación de un brote epidémico de Dengue que tuvo lugar en el año 2004, en la ciudad de Tartagal (Provincia de Salta). El total de casos sospechosos de dengue notificados, fueron geo-referenciados por el domicilio del paciente, registrándose la fecha de inicio de los síntomas de los mismos. Mapas de notificaciones diarias de casos de FD fueron generados para los 109 días de duración del brote. La epidemia afectó a la mayoría de la ciudad en los primeros 11 días de declarado el brote. La distribución etaria de los casos, difirió de la estructura de la población afectando en mayor parte a la franja en edad laboral. La agrupación espacio-temporal de los casos se analizó utilizando conceptos del Test de Knox, dando indicio de que los patrones encontrados, podrían estar relacionados con factores entomológicos, eco-epidemiológicos y de intervención vectorial.

A su vez, se discute sobre el potencial y las limitaciones estos análisis espaciales, como herramientas de la epidemiología panorámica para la elaboración y prueba de la eficacia de estrategias de vigilancia y control del dengue.

## **4.3 Materiales y Método**

### **4.3.1 Áreas de estudio**

El área de estudio, comprende el ejido urbano de la ciudad de Tartagal, durante el período 2003-2004. Ver descripción en Capítulo III. Caso 2: Estimación de índices de Vivienda y de Breteau, basados en imágenes Landsat TM y ETM.

### 4.3.2 Casos de dengue

Luego de que los primeros casos de FD fueran confirmados, todas las personas que visitaron el hospital de Tartagal con los siguientes síntomas: temperatura  $\geq 38^{\circ}\text{C}$ , artralgias, cefalea y mialgias, fueron considerados como casos sospechosos de FD y fueron notificadas por el "Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica" (SINAVE) a la Coordinación Nacional de Control de Vectores. Para la estimación de los casos probables y confirmados de FD, se tomaron muestras de sangre a aproximadamente la mitad de los casos sospechosos, que visitaron el hospital de forma espontánea o fueron enviados por los centros de salud privados.

La terminología de caso sospechoso, probable y caso confirmado de FD se utilizó de acuerdo a las definiciones adoptadas por el Ministerio de Salud de la Nación Argentina (Ministerio de Salud de la Nación, 1999), y el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), de Atlanta, Georgia (CDC, 1990; CDC, 2001).

**Caso sospechoso de dengue clásico:** Toda persona que presenta aparición aguda de fiebre con una duración de hasta 7 días, sin afección de vías aéreas superiores y sin foco aparente, acompañada de dos o más de los siguientes: cefalea, dolor retro-orbitario, mialgia, artralgia, erupción cutánea, manifestaciones hemorrágicas leves, y que resida o haya viajado a área endémica, o con transmisión activa de dengue o con presencia de vector.

**Caso confirmado por laboratorio:** Es un Caso sospechoso con al menos uno de los siguientes resultados de laboratorio: seroconversión de anticuerpos IgM o IgG en muestras pareadas, aislamiento de virus, prueba histoquímica o PCR. Cuando el caso se detecta en un período inter-epidémico, se requiere que la prueba de PCR se corrobore por aislamiento viral o por detección de IgM en una muestra posterior.

**Caso confirmado por nexa epidemiológico:** En una situación de epidemia luego de la confirmación de circulación del virus mediante las pruebas de laboratorio mencionadas, los siguientes casos se confirman por criterios clínico-epidemiológicos. Si bien es necesario continuar realizando análisis de laboratorio serológico en un porcentaje de casos, y molecular para verificar si existe introducción de otro serotipo, los estudios de laboratorio en una epidemia se centralizan hacia los casos graves, atípicos o hemorrágicos y para monitorear la expansión del brote hacia nuevas áreas.

**Caso confirmado post mortem:** Por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) se pueden detectar secuencias específicas de ARN viral de órganos en la autopsia.

El Ministerio de Salud de Argentina aprobó este programa de investigación y se obtuvo el consentimiento de todos los adultos y los padres de niños registrados como casos de dengue, a utilizar sus datos personales. Todos los casos confirmados por nexo epidemiológico fueron incluidos en el análisis espacio-temporal.

### **4.3.3 Georeferenciación de los casos y análisis espacio-temporal de la epidemia**

El Ministerio de Salud de la Nación Argentina proporcionó un mapa catastral de Tartagal con los números de identificación utilizados para referenciar a cada manzana en sus actividades de control, y una lista de casos clasificados como sospechosos clínicos y confirmados por serología por el Instituto Nacional de Enfermedades Virales Humanas de Pergamino, conteniendo la ubicación de los mismos a nivel de manzana, e incluyendo las fechas de inicio de síntomas, edad y sexo. Debido a problemas ético-legales, la ubicación del caso se limitó al nivel de manzana, generando errores de localización de alrededor de 100 metros.

El mapa catastral oficial, del Gobierno de Tartagal (escala 1:5.000), fue escaneado y se obtuvo un mapa digital geo-referenciado de la ciudad, al coregistrar el mapa escaneado con el software ENVI 4.1 (ENVI, 2004), utilizando puntos de control obtenidos de una imagen satelital Landsat 5TM geo-referenciada (Earth Science Data Interface, at the Global Land Cover Facility). Este mapa base fue utilizado para notificar espacialmente los casos diarios, semanales, mensuales y totales de FD y, a su vez, para generar mapas de incidencia a diferentes escalas temporales.

Se construyó una capa vectorial (formato .shp) conteniendo las manzanas de la ciudad y los casos fueron georeferenciados asociando cada caso notificado al centro de la manzana asignada por planilla y/o mapa de incidencia. Se utilizaron los software ENVI (Envi.,

2004), Arc view (ESRI, 1999). Esta capa permitió realizar en una rutina de IDL (Envi 2004) el cálculo de las distancias espaciales entre casos, mediante el cálculo de la hipotenusa (teorema de Pitágoras), en base a los catetos resultantes de la diferencia en X e Y de las coordenadas planas de cada par de casos.

Con el fin de identificar agrupamientos espaciales del total de casos del brote, se creó un mapa de incidencia de FD, a partir de la acumulación de los casos correspondientes a áreas de 3 x 3 manzanas. La imagen Raster se construyó asignándole a cada píxel, una densidad de casos, correspondiente al N° de casos cada 810.000 m<sup>2</sup> de área q los circunscribe.

En base a la capa SIG de distribución espacial de casos, se realizó un estudio de la dispersión espacio-temporal del brote, adaptando conceptos del test de Knox (Knox, 1964; Kulldorff and Hjalmars, 1999). Para ello se desarrolló una rutina de programación en lenguaje IDL (Envi 4.1, 2004) en la que primero se generan 2 matrices: 1 de distancia en el tiempo y otra de distancia en el espacio, entre cada par de casos notificados de FD, para los 109 días de duración del brote. Luego se cuentan y acumulan los pares de casos que se encuentran a una dada distancia en el espacio (en metros) y a una dada distancia en el tiempo (en días) y se comparan estadísticamente con casos generados al azar (de distribución normal), para áreas del mismo tamaño (en espacio) y dentro de los mismos intervalos de tiempo. Luego de una serie de iteraciones (aprox. 10.000), los pares que se encuentran significativamente más próximos que el azar (en tiempo y/o espacio), se acumulan generando clusters de distinta intensidad, en los dominios espacio y/o tiempo.

A su vez, con el fin de evaluar la presencia de periodicidad en la transmisión del virus del Dengue, tanto en el espacio, como en el tiempo, se realizaron análisis Armónicos de Fourier (Rajendra et al. 2002; Miller et al. 2004) sobre los histogramas de distancia (en el tiempo y en el espacio) de casos de FD generados por la rutina de programación de IDL implementada para el análisis de dispersión espacio-temporal.

## **4.4 Resultados y discusión**

## Pruebas de laboratorio sobre muestras serológicas

El brote de dengue de 2004 en Tartagal comenzó con la notificación de un caso sospechoso de FD, el 24 de enero de 2004. De los 487 casos sospechosos reportados de FD, se realizaron 261 (53,59%) muestras de laboratorio en muestras de suero, incluyendo pruebas serológicas, aislamiento viral y PCR. 5 casos fueron confirmados por aislamiento viral y/o PCR aislándose el serotipo DEN-3 (Tabla 1). El suero de 164 casos (62,8%) dio resultados positivos para el virus del dengue, con 156 casos confirmados de dengue-3 (Instituto Nacional de Enfermedades Virales Humanas de Pergamino, Argentina), y el suero de 92 casos (37,2%) resultaron negativos (o indeterminados).

Casos sospechosos de FD* sin confirmación laboratorial	226	46,41%
Casos de FD enviados para test de laboratorio	261	53,59%
Número Total de casos de FD	<b>487</b>	100,00%
Casos positivos de FD para IgG** y/o IgM	164	62,84%
<i>FD casos positivos para Den-3 IgG y/o IgM</i>	<i>156</i>	<i>59,77%</i>
Casos confirmados por aislamiento viral y/o PCR	5	1,92%
Casos sospechosos negativos o indeterminados	92	35,25%
Total de casos de FD por serología	<b>261</b>	100,00%

\*FD = Fiebre del Dengue

\*\* cambio en el título de anticuerpos IgG o IgM en cuatro veces o más en muestras de suero pareadas

**Tabla 1: Tipificación serológica de los casos notificados de FD para el brote de Tartagal 2004.**

En la Provincia de Salta, en 2004, el Ministerio de Salud de la Nación notificó 1.319 casos sospechosos de FD, y un total de 1.354 casos de FD en la Argentina (el último caso fue reportado el 11 de mayo de 2004). Durante los 109 días de la epidemia, 487 casos sospechosos de FD se notificaron distribuidos por toda la población afectando a un 0,76% de la población total. Originado en la ciudad de Pichanal, en la provincia de Salta, el brote de FD 2003-2004 se extendió a lo largo de la ruta nacional número 34, debido al tránsito

intenso de personas entre las ciudades de Embarcación, Orán, Tartagal y Salvador Mazza. La epidemia comenzó el 24 de enero y terminó el 11 de mayo de 2004 (Figura 1). Aproximadamente el 49% de los casos se produjeron entre la semana 9 y la semana 12, los casos de FD no se informaron todos los días y el intervalo de tiempo máximo sin ninguna notificación de casos fue de un período de 9 días, incluyendo la semana 13.

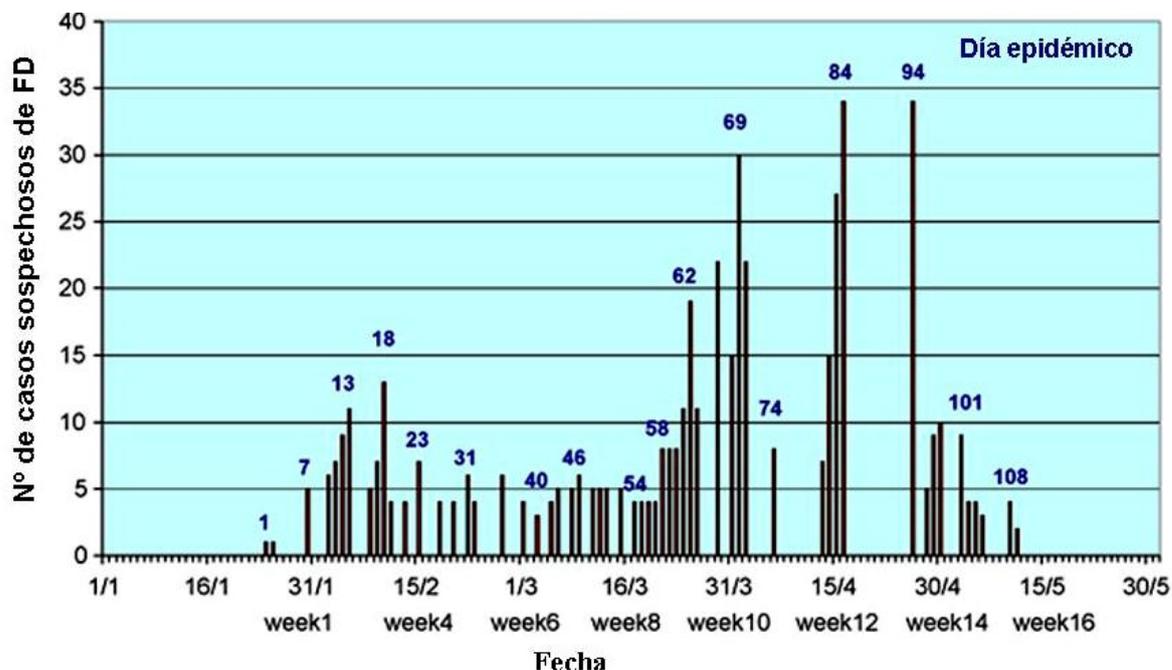
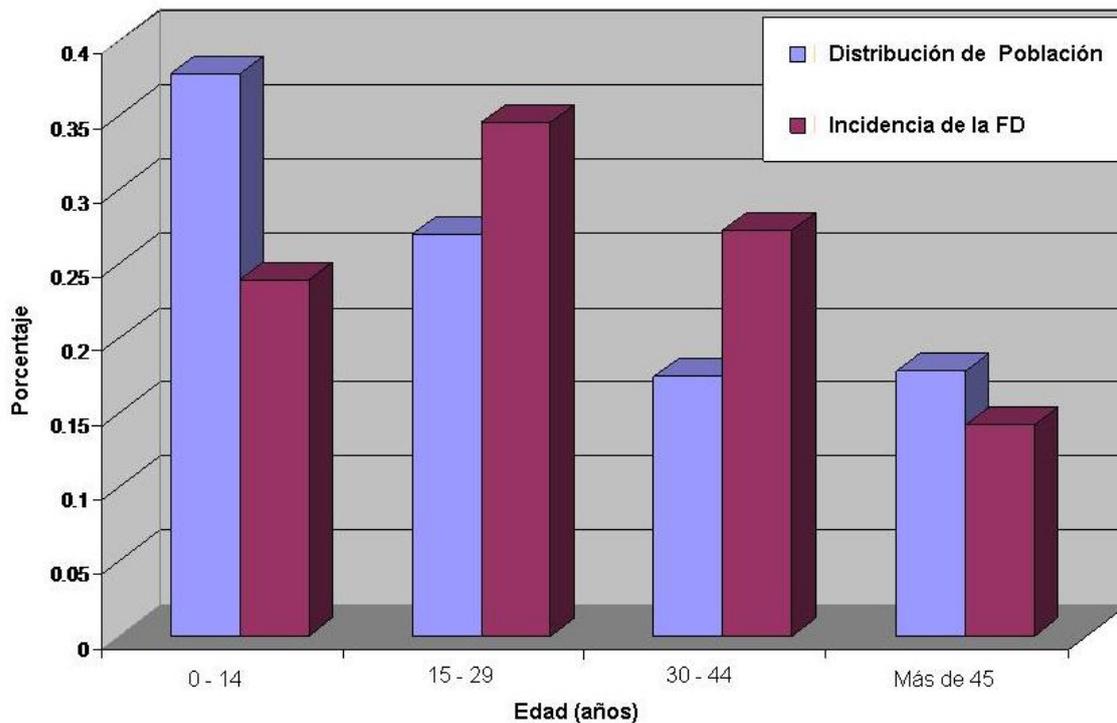


Figura 1. Número de casos sospechosos de Dengue notificados en Tartagal durante la epidemia de 2004 desde el 24/01/04 hasta el 11/05/04.

Al analizar la distribución por edades de los casos del FD (Figura 2), se observó una mayor incidencia para los grupos entre 15-29 y 30-44 años, y una menor incidencia en las poblaciones menores a 14 y mayores a 45, que lo esperado para esas franjas etarias. El test no paramétrico (Chi2) de frecuencias observadas (de los casos de Dengue) vs. Esperadas (de las franjas etarias) arrojó diferencias significativas para esta estructura (Chi2=14.11031, df = 3 y  $p < .002759$ ), pero no así al comparar la incidencia de DF con la estructura etaria de 23 rangos publicada por el INDEC para el año 2000 (Chi2 = .2156991, df = 22,  $p < 1.0$ ).



**Figura 2. Distribución por edad de los casos de dengue durante el brote de dengue en Tartagal, 2004, y la estructura poblacional de la ciudad por edades, para el censo INDEC 2000.**

La epidemia de dengue en Tartagal se extendió rápidamente en toda la ciudad durante las primeras semanas y la amplia distribución espacial de la FD se conservó durante el pico de la epidemia, entre las semanas 14 a 16. En la Figura 3 pueden apreciarse ejemplos de los mapas de notificación semanales de casos de FD, elaborados durante el período de epidemia. A partir del número total acumulado de casos notificados durante la epidemia, se construyó un mapa de incidencia de FD que confirma la distribución de casos notificados en la totalidad la ciudad, mostrando áreas de alta y baja densidad de incidencia (Figura 4). Un grupo de alta incidencia apreciable al Este del ejido, se debe a una pérdida de resolución espacial en la notificación de casos registrados en una Misión de pueblos originarios de etnias Wichi-Matacos, Chorote, Chulupí, Tobas, Chaneses y Chirigueno (Héctor Janútolu, comunicación personal), donde todos los casos fueron reportados o asignados a la misma manzana de la Misión, por haber carecido de mapas a nivel catastral de la misma, al momento de las notificaciones. A su vez, a nivel temporal, una vez que los servicios de salud fueron notificados del presunto brote de FD en la misión, la epidemia había llegado casi a su fin, generando un falso pico de notificaciones de los casos acumulados.

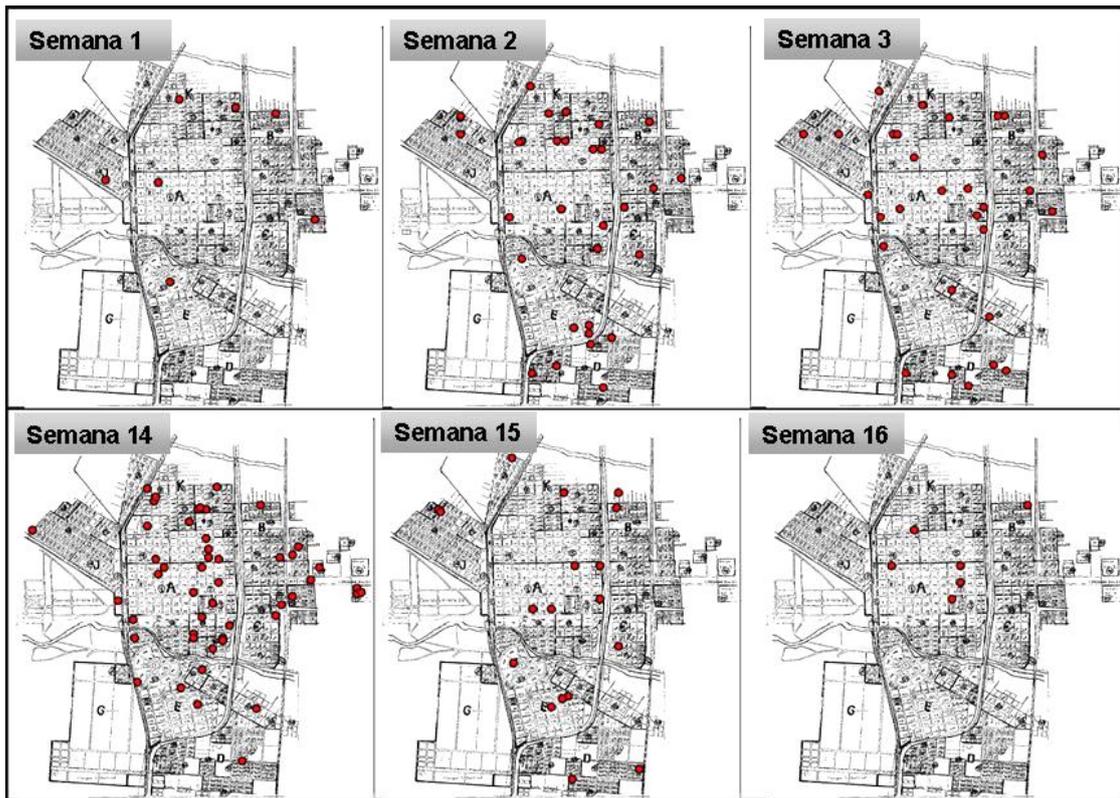


Figura 3. Ejemplos de mapas construidos semanalmente para el seguimiento de la evolución de la epidemia en Tartagal, indicando la localización de las manzanas de los sospechosos clínicos de FD (puntos rojos), para las semanas 1, 2, 3, y 14, 15 y 16.

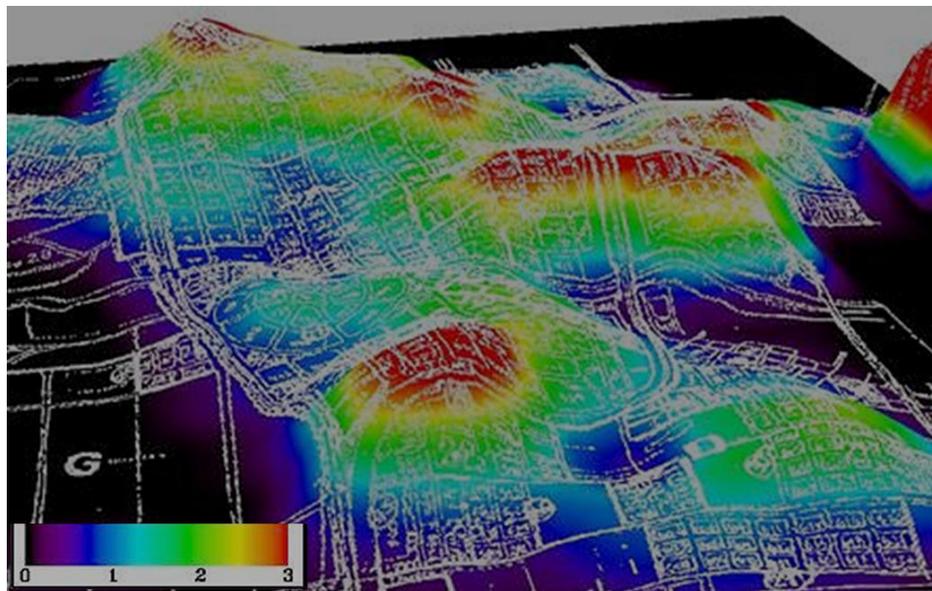


Figura 4. Mapa de Incidencia acumulada de casos de Dengue, durante los 109 días de extensión de la epidemia de 2004 en la ciudad de Tartagal. El mapa expresa en cada pixel, la cantidad de casos registrados en un área de  $300 \times 300$  metros circundantes al mismo. Las zonas rojas representan las áreas con alta densidad de casos y las áreas negras áreas sin notificación. El efecto de exageración vertical, es solo a los fines visuales, y guarda relación directa con la cantidad de casos acumulados.

## **Análisis de la dinámica espacio-temporal de la epidemia**

Cabe destacar, que para este análisis se utilizaron los datos de 443 casos notificados, excluyendo del mismo los casos notificados en la Misión de pueblos originarios utilizados para el mapa de incidencia de la figura N: (por su baja resolución espacio-temporal en la notificación) En el **Apéndice b.**, de esta tesis, se adjunta la matriz construida para el cálculo de las distancias espacio-temporales entre pares de casos notificados, en la que se registraron la fecha de inicio de síntomas, el día epidemiológico y se utilizaron coordenadas planas para el cálculo de la distancia real, en metros, entre casos.

Las distribuciones de frecuencias de distancias en espacio y en tiempo poseen distribuciones normales, y no mostraron diferencias significativas con las distribuciones de frecuencias de los datos de distribución normal generados al azar por IDL (Chi2 de frecuencias observadas vs. Esperadas). La Figura 5, muestra las distancias dadas entre todos los pares de casos sospechosos de FD, al considerar en el análisis los datos de los 443 casos de FD, q excluyen la Misión de pueblos originarios. El análisis de Promedio de vecinos más cercanos, indicó que el patrón es agregado. El cociente [Distancia media observada (**65,59661**) / Distancia media esperada (**115,14215**)] fue de **0,57**. En este patrón existe menos de un 1% de probabilidad de que el agrupamiento espacial se deba al azar (Z Score: **-17,35** Desviaciones Estándar y p-value: **0,000000**).

En el análisis espacio-temporal, la distribución de los casos FD para cada par de distancias (Figura 6) mostró la existencia de 3 agrupamientos principales, al considerar la interacción de las dos dimensiones. El primer grupo (arriba a la izquierda en la figura. 6) se encontró a 1 día y 100 m de distancia. El segundo grupo (parte central izquierda de la figura. 6) es mucho más importante y apareció entre los días 1 a 3, y los 500 y 2.800 m. Finalmente, el tercer grupo (centro de la Figura 6) se encontró entre los días 12 y 15, y entre los 700 y 2.800 m de distancia.

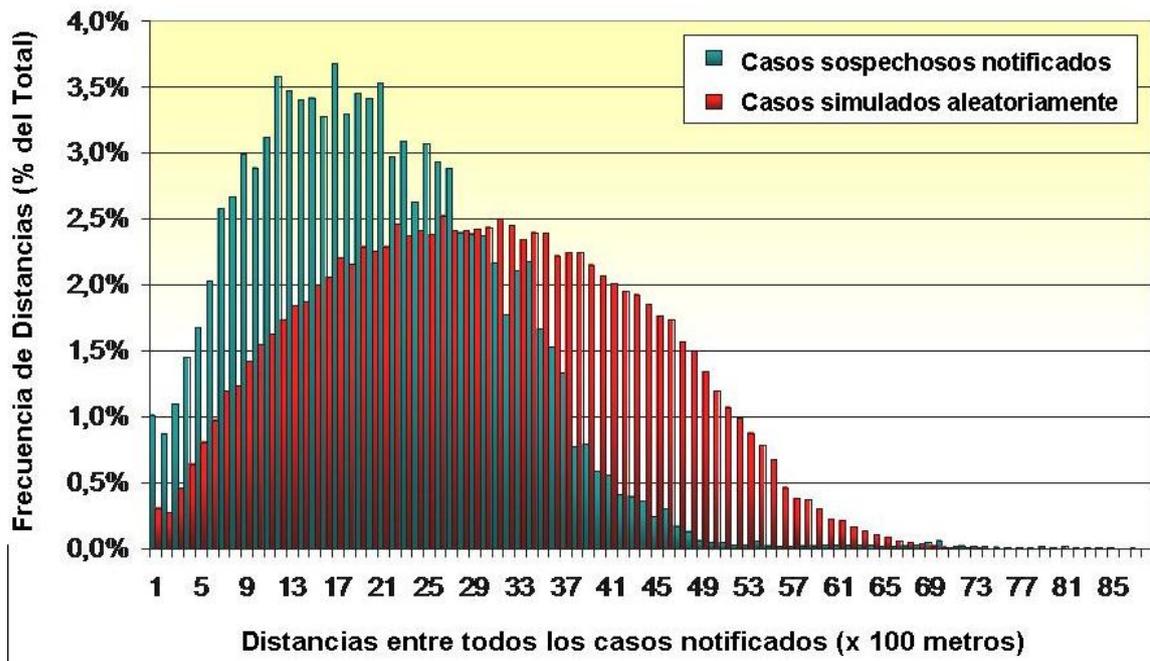


Figura 5. Distribución de frecuencias de la distancia espacial entre todos casos sospechosos de FD en Tartagal 2004 y las distancias entre casos simulados al azar para los mismos intervalos de 100 metros.

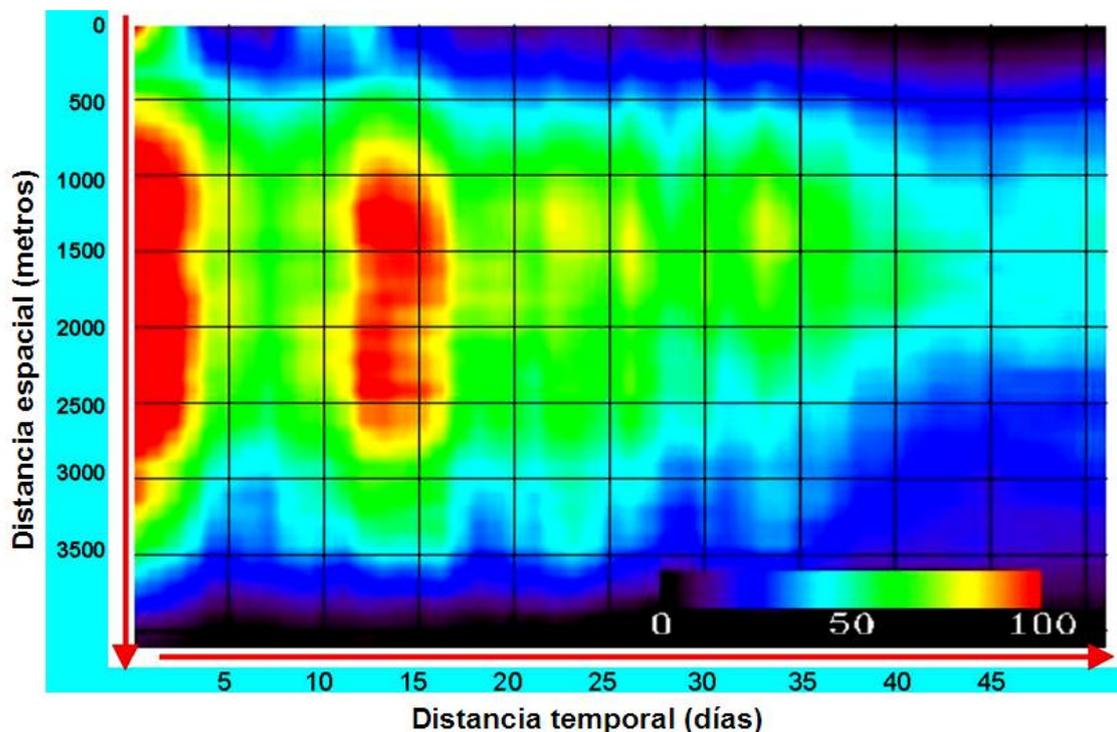
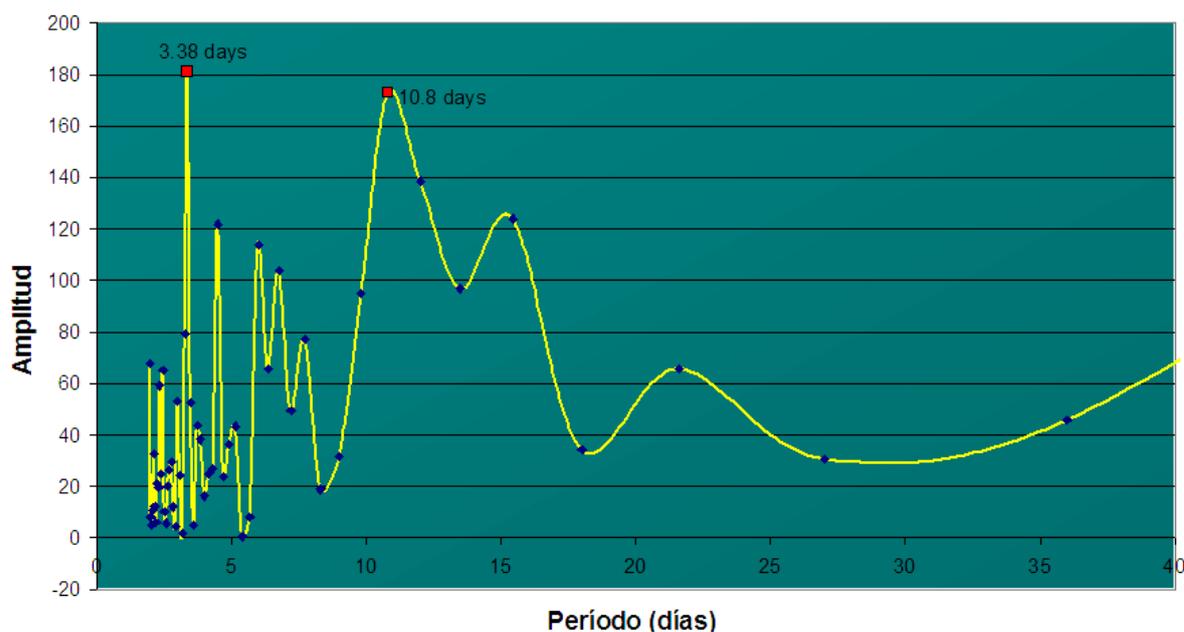


Figura 6. Gráfico del número de casos sospechosos acumulados para cada par de distancias espacio y tiempo, con agrupamientos de casos que indican una periodicidad temporal (líneas verticales) y patrones espaciales (líneas horizontales). La distribución de los casos de FD, para cada par de distancias, considerando 443 casos notificados, está representada por valores en negro (0 pares de casos acumulados) hasta el rojo (100 pares acumulados).

El análisis de series armónicas de Fourier de las distancias en tiempo entre los casos (en un gráfico de amplitud versus tiempo) mostró dos picos principales (Figura 7). El primer pico aproximadamente a los 3 días y el segundo pico entre los días 10 a 14. Por otro lado, la transformada rápida de Fourier de la distancia espacial entre los casos no muestra ningún pico siendo consistente con la Figura 6, donde se observa un patrón cíclico en la distribución distancia. Por otro lado, el semi-variograma espacial 2D mostró una dispersión homogénea de los casos, con respecto a la dirección de propagación.



**Figura 7.** Análisis armónico de Fourier de las frecuencias de distancias en el tiempo, entre casos sospechosos de dengue. Los puntos con mayores amplitudes, muestran los períodos principales o distancias temporales con mayor frecuencia de transmisión.

Para realizar el análisis de patrones dinámicos de la epidemia de FD en Tartagal, 2004, se localizaron todos los casos notificados de FD, en el espacio y en el tiempo, mediante la determinación de la manzana dónde se localizó el domicilio de cada paciente notificado, y la obtención de la fecha de inicio de síntomas, de los mismos. Teniendo en cuenta que la incidencia del dengue es mayor de lo esperado en el grupo de edad de 15 a 45 años de edad y menor en la población con menos movilidad, como en menores de 14 años y mayores de 45 años de edad, puede sospecharse una transmisión del virus de la FD fuera del hogar. Sin embargo, la mayor notificación de casos de FD en el grupo etario de 15 a 45 años, también pueden explicarse debido a la sub-notificación de personas mayores y jóvenes, menores tasas de picaduras de mosquitos en niños, síntomas clínicos menos

severos en personas jóvenes debido a una mejor recuperación, la inmunidad previa al dengue en las personas mayores, y la mayor movilidad en los adultos jóvenes, que los pone en contacto con los barrios "críticos a nivel de transmisión" (Guzman y Kouri 2002, Kourí et al. 1986)

Principios del test de Knox fueron utilizados para la detección de conglomerados y análisis espacio-tiempo, y adaptados de tal forma de eliminar la subjetividad citada por Besag y Newell (1991) y Bithell (1995) en la adopción de tiempos y distancias críticas, normalmente fijos es su aplicación. La detección, por este medio, de un amplio espectro de distancias espacio-temporales, nos permitió una aproximación al conocimiento de la dinámica del brote.

Como varios estudios confirman que la exposición al riesgo de dengue es mayor en el hogar debido a los hábitos endofílicos de *Aedes aegypti* (Rodhain, 1996; Diarrassouba y Dossou-Yovo 1997; Chadee y Martin, 2000), en consecuencia, se optó por utilizar la ubicación de la residencia en la manzana, como la mejor manera de analizar los patrones espacio-temporales de la dinámica del brote. Aunque la definición de la localización en tiempo es fácil de tratar, la escala de localización en el espacio elegido genera un error sistemático de 90m a 150 m aproximadamente, debido a la diferencia de ubicación de las viviendas con respecto al centro de las mismas (al que todas las posiciones son asumidas erróneamente). Es decir, si un domicilio se ubica en la esquina sur-oeste de una manzana, y otro domicilio, se ubica al nor-este de la manzana contigua al Este, la diferencia real es de aprox. 250m mientras que la calculada es de 150m. Por el contrario, dos domicilios separados por una calle residencial, de manzanas enfrentadas, se encuentran a una distancia promedio de 10 m, y para nuestros análisis, de igual forma, se calcula como de 100m.

La posible causa del primer patrón espacio-temporal de 1 día y 100 m en la figura. 8 puede corresponder a un mosquito hembra infectado que pica a varias personas el mismo día (para completar su sangre-comida), pero sin propagación de la enfermedad, tal vez debido a las acciones de bloqueo químico. El segundo grupo (días 1 a 3, de 500 a 2.800 m) puede corresponder a la extensión de la enfermedad debido a varios mosquitos infectados, y la duración de 3 días del patrón temporal puede estar relacionado con la sobrevida a campo del mosquito *Aedes aegypti* una vez infectado. Con un período de incubación extrínseco (PIE) de unos 10-12 días, más 3 días aproximadamente de sobrevida una vez

infectada, un total de 13 a 15 días de supervivencia en campo pareciera realista y compatible con la transmisión del dengue. El tercer grupo (días 12 a 15, de 700 m a 2.800 m) podría ser la segunda onda epidémica que aparece después del PIE de la segunda generación de mosquitos infectados. Una vez más, este grupo tiene una duración de 3 días, que está de acuerdo con la supervivencia de 15 días descripta anteriormente. La misma distancia entre ambos patrones 2 y 3, podría representar la duración de las olas epidémicas, en las condiciones ambientales de Tartagal.

En referencia al análisis armónico, el primer pico a aproximadamente 3 días, podría corresponder a la supervivencia de los mosquitos una vez infectados a campo (y / o ciclo gonadotrófico de las hembras de *Aedes aegypti*). El segundo pico en los días de 10 a 14 podría corresponder al período de incubación extrínseco (PIE) para el virus del dengue, en esas condiciones ambientales. El patrón de periodicidad observada de 3,28 y 10,8 días en la distancia temporal entre casos, es consistente con los patrones de transmisión correlacionados con la biología intrínseca del vector. Por primera vez, y sin la implementación de costosos estudios entomológicos, una media de 15 días supervivencia a campo de las hembras de *Aedes aegypti* pudo ser estimada, concordando con estimaciones anteriormente descritas por Muir y Kay (1998), Harrington et al (2001), e incluso por Tejerina (2010), para localidades de la Provincia de Misiones, dónde se observó un mínimo de supervivencia de 11,4 días y un máximo de 57,8 días. Por otra parte, el pico de 11 días ajusta con el período de 10 a 14 días de período de incubación extrínseco del virus del dengue, generalmente registrado en temperaturas con promedios similares a las reportadas en Tartagal, aunque puedan observarse períodos más largos a temperaturas más bajas (Watts et al., 1987). Otro resultado importante es el de la extensión de la epidemia con el rango de 500 m de 2.800 m. Si este rango es confirmado por otros estudios y parece ser en general para las condiciones de Tartagal, podría ser utilizado en la determinación de los radios de las actividades de control, al principio de una epidemia, como bloqueos y descacharrados alrededor de un caso para evitar la propagación de los casos.

Por otra parte, la aparición simultánea de casos de dengue en toda la ciudad de Tartagal puede tener varias explicaciones fundadas. En primer lugar, el patrón puede deberse a un retraso en la respuesta del sistema de vigilancia del dengue, en segundo lugar, los movimientos de las personas de Bolivia o de las ciudades vecinas infectadas pueden introducir el virus del dengue en la comunidad, en muchos lugares al inicio del brote y

propagar el virus a las casas infestadas con *Ae. aegypti*. A pesar de la capacidad de *Ae. aegypti* de desplazarse cientos de metros (Reiter et al. 1995), las barreras entre las casas y las barreras naturales entre barrios vecinos, indican que la migración de los mosquitos, por sí mismos, no es el origen de la dispersión de los casos dentro de la ciudad de Tartagal. Por otro lado, la rápida expansión y la gran incidencia del dengue dentro de la misión de pueblos originarios, pudo deberse a la tipología habitacional (sin límites definidos como tapiales, por ej.), que permite el abundante desarrollo y libre desplazamiento del vector entre las viviendas; y a su vez a la existencia de una importante fuente de mosquitos en el pozo de agua comunitario, recurso principal de agua potable de la Misión, que era utilizado a diario por los habitantes (comunicación personal de Héctor Janútoló, Coordinación Nacional de Control de Vectores de Tartagal, Salta, Argentina).

Los programas de vigilancia y control de enfermedades Transmitidas por vectores, requieren la ubicación precisa y rápida de los casos, con una coordinación eficaz entre los ministerios de salud (entre nación y provincias) y las instituciones de salud que prestan servicio (hospitales, laboratorios, control de vectores y de investigación). Los resultados presentados en este documento refuerzan el uso potencial de sensores remotos y Sistemas de información geográfica en la vigilancia epidemiológica y la estrategia de control del dengue, y hace hincapié en la necesidad de generalizar este tipo de estudio de los brotes de otros eventos, factible sólo si un preciso sistema de georreferenciación está disponible para cada comunidad. La metodología y las herramientas desarrolladas en este documento podrían ser de gran ayuda para simular los ciclos espacio-temporales de brotes en áreas donde no hay datos disponibles sobre el terreno.

Hoy en día en el norte de Argentina, un programa de vigilancia del dengue eficiente es esencial para optimizar los esfuerzos de los diferentes programas de salud y las partes interesadas en la salud. El trabajo multi-institucional que se presenta en este documento representa un paso importante para poner a disposición diariamente mapas SIG de la evolución del dengue y su incidencia y de la de predicción de su dispersión en base a patrones epidemiológicos identificados en brotes anteriores. Estas herramientas podrían ayudar a los tomadores de decisiones para mejorar la respuesta del sistema de salud y medidas de prevención relacionadas con el control vectorial en períodos inter e intra-epidémicos.

Por otro lado, parámetros de campo como el tiempo del ciclo gonadotrófico,

sobrevida de adultos luego de infectados, ciclo de incubación extrínseca del virus del dengue, fueron estimados mediante análisis estadísticos de patrones espaciotemporales de dispersión espacial de la enfermedad. Este conjunto de resultados muestran la utilidad y potencialidad del uso de los SIG y la estadística espacial como herramienta auxiliar a la epidemiología, para el entendimiento del desarrollo de brotes epidémicos y la evaluación de las tareas de prevención y control.

# Capítulo V

## Generación de Mapas de Favorabilidad Ambiental a escala local

### 5.1 Objetivos y contexto del capítulo

En este capítulo se desarrollaron Mapas de favorabilidad ambiental, basados en imágenes Landsat 5 TM, para dos áreas de estudio. La primera, la ciudad de Córdoba, para la que se desarrolló metodología en base a datos de un brote de Encefalitis de San Luis ocurrido en el año 2005. La segunda, la ciudad de Tartagal (Salta), seleccionada por ser la ciudad de la que se cuenta con los mejores datos de notificación de casos de Dengue, a escala espacio-temporal, para el brote completo notificado en el año 2004.

En lo que se denomina aquí Caso 1, se estudia un Brote de Encefalitis de San Luis (ESL) a escala local ocurrido en Córdoba capital, en el 2005. Este brote ocurrido en el año 2005, y en el que por primera vez se reportan casos humanos de ESL en la provincia de Córdoba (Argentina), se extendió desde Enero a Mayo del mismo año. A partir de evidencias que relacionaban la transmisión del virus, con ciertos componentes del paisaje, se planteó el objetivo de desarrollar un mapa de susceptibilidad macro-ambiental al virus de Encefalitis de San Luis (VESL) para la ciudad de Córdoba. Para ello, se generó un Sistema de Información Geográfico (SIG) con la ubicación de la residencia de los pacientes notificados durante el brote y se estudió la relación de su distribución espacial y variables ambientales derivadas del sensor TM del satélite Landsat 5 como el índice de vegetación normalizado (NDVI), índices Tasseled Cap de Verdor, brillo y humedad del suelo, mapas de distancia a la vegetación (con distinto grado de vigorosidad y densidad) y distancia a cuerpos de agua tanto loticos, como lenticos. Basado en estas relaciones, se creó un modelo de clasificación tipo árbol de decisión no jerárquico, a partir de cuya salida se

construyó un Mapa de favorabilidad ambiental a la transmisión del VESL para la ciudad de Córdoba. Los resultados mostraron una fuerte asociación entre el número de humanos infectados por el virus VESL y la cercanía a fuentes de vegetación vigorosa y densa (plazas, parques, baldíos y lineales), áreas con mayor índice de humedad del suelo, y rangos específicos de valores de las Bandas 1 y 7 del sensor TM del satélite Landsat 5. El mapa de susceptibilidad macro-ambiental para la incidencia de SLEV clasificó 17.9% de toda la ciudad como de Alto Riesgo y 34.1% de la ciudad como de riesgo Bajo o Muy Bajo. De la totalidad de la epidemia de 2005, 80% de los casos fueron notificados en áreas predichas por el modelo como de riesgo Alto y Medio Alto, y 0% de los casos en áreas de Riesgo Nulo.

Este modelo representa una aproximación a las aplicaciones de sensores remotos y SIGs para la construcción de mapas predictivos operativos a nivel sanitario. Se estima que para obtener robustez predictiva y que el modelo sea utilizado en forma operativa, este debería completar al menos 3 años completos de datos geo-referenciados de individuos con serología positiva al VESL y, a la vez, incorporar fluctuaciones temporales a través de por ejemplo series de datos vectoriales y de serología de aves reservorio.

Como caso 2 se presenta el estudio de un Brote de Fiebre de Dengue ocurrido en Tartagal, Salta en el 2004. En el mismo, a partir de la utilización de variables Macro-ambientales generadas a partir de imágenes del satélite Landsat 5 TM, se desarrolló un modelo predictivo de riesgo ambiental de Dengue, para la ciudad de Tartagal. El modelo del tipo árbol de decisión utiliza variables del tipo raster como “distancia al río”, “índice de vegetación”, “densidad de edificación”, “distancia a las rutas y avenidas principales”. Los mapas simulado y real poseen una correlación total del orden del 70%. Se estima que de incorporarse a este modelo factores micro-ambientales, datos poblacionales y de infraestructura detallados, sería posible tener a disposición una herramienta capaz de predecir la distribución espacial de este tipo de brotes, en forma operativa.

## **5.2 Caso1: Brote de Encefalitis de San Luis. Córdoba capital, 2005**

### 5.2.1 Antecedentes sobre ESL

La Encefalitis de San Luis (SLE) es una enfermedad arboviral del ser humano, transmitida por mosquitos, y causada por el virus de la ESL (SLE), miembro de la familia Flaviviridae. Se mantiene en ciclos enzoóticos que afecta principalmente a aves paseriformes y a mosquitos del género *Culex* (Monath, 1980). Ampliamente distribuido en el continente americano, el virus de ESL se ha aislado desde el sur de Canadá hasta Argentina y es responsable de un gran número de infecciones en seres humanos en los Estados Unidos de América (EE.UU.). Los seres humanos son considerados huéspedes terminales del virus y menos del 1% de las infecciones por virus de ESL son clínicamente aparentes (Tsai et al., 1987). La gravedad varía desde un simple dolor de cabeza febril a meningoencefalitis, incrementándose con la edad, con casos de encefalitis con más frecuencia en personas mayores de 60 años (Calisher, 1994). De acuerdo con las evidencias serológicas, el virus de ESL se encuentra ampliamente distribuido en la Argentina alcanzando tasas de infección del 50% de la población en algunos lugares (Sabattini, 1998; Spinsanti, 2000). Casos sintomáticos esporádicos ESL se han reportado desde 1964 y cepas de virus ESL han sido aisladas de seres humanos, mosquitos *Culex* y roedores silvestres (Sabattini et al., 1998). Entre 1998 y 2000, la seroprevalencia humana virus ESL en la ciudad de Córdoba se estimó en 13,9% (Spinsanti et al., 2002) con el primer caso clínico detectado en el verano de 2002 (Spinsanti et al., 2003). Más tarde, estudios basados en personas que asistieron a dos centros de salud diferentes, en la ciudad de Córdoba, mostraron una seroprevalencia similar. El riesgo de infección ha demostrado estar asociada con la presencia de basurales a cielo abierto en zonas residenciales o con actividades crepusculares al aire libre (Spinsanti et al., 2007). El primer brote notificado ESL en la Argentina ocurrió, en Provincia de Córdoba, a finales de enero de 2005 y afectó a 47 personas, nueve de los cuales murieron (Spinsanti et al., 2008). Dos cepas de virus ESL del genotipo III fueron aislados de *Culex quinquefasciatus* y *C. (Culex) Interfor* Dyar (Díaz et al. 2006a y Spinsanti 2009) encontrando un aumento de la seroprevalencia humana en muestras provenientes de centros de salud pública de Córdoba ciudad. Además, los estudios realizados en la misma ciudad entre 2001 y 2004 también detectaron la infección por el virus de ESL en otras especies de mosquitos, como *Aedes aegypti*, *Anopheles albirarsis*, *C. apicinus*, *Aedes albifasciatus (Ochlerotatus)*, *Aedes scapularis (Ochlerotatus)* y *Psorophora spp* (Díaz, 2009).

Como en cualquier enfermedad transmitida por artrópodos, hay una compleja relación donde participan factores propios del virus, del hospedador, del vector, el ambiente y el clima (Blanco *et al.*, 2001). De acuerdo con Rodhain & Rosen (1997), existen características biológicas de larvas y adultos de mosquitos que responden a particularidades macro-ambientales de cada localidad.

Mientras que en ejemplos descritos por Kitron *et al.* (2006) se hace hincapié en las ventajas de considerar los datos de alta resolución espacial para estudios epidemiológicos, otros estudios han aplicado con éxito herramientas espaciales para datos a nivel regional, nacional o incluso continental (Carbajo *et al.*, 2001; Snow *et al.*, 1999, 2005; Dumonteil y Gourbiere, 2004; Guerra *et al.*, 2006; Lamfri *et al.*, 2006). En este contexto, los modelos espaciales de riesgo de exposición humana a los patógenos transmitidos por vectores pueden ser construidos con éxito en base a datos epidemiológicos (Eisen y Eisen, 2008). Análisis de patrones paisajísticos, combinadas con análisis estadísticos espaciales, permiten generar predictores de riesgo epidemiológico a escala del paisaje, que pueden ser aplicados en regiones más amplias donde la verdad de campo es inexistente o inaccesible (Dister *et al.* 1997, Beck *et al.* 200, Tran *et al.* 2004), convirtiendo así los análisis basados en Sensores Remotos (SR) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en una herramienta valiosa en la vigilancia epidemiológica y programas de control (Morrison *et al.*, 1998, Rogers y Randolph, 2004).

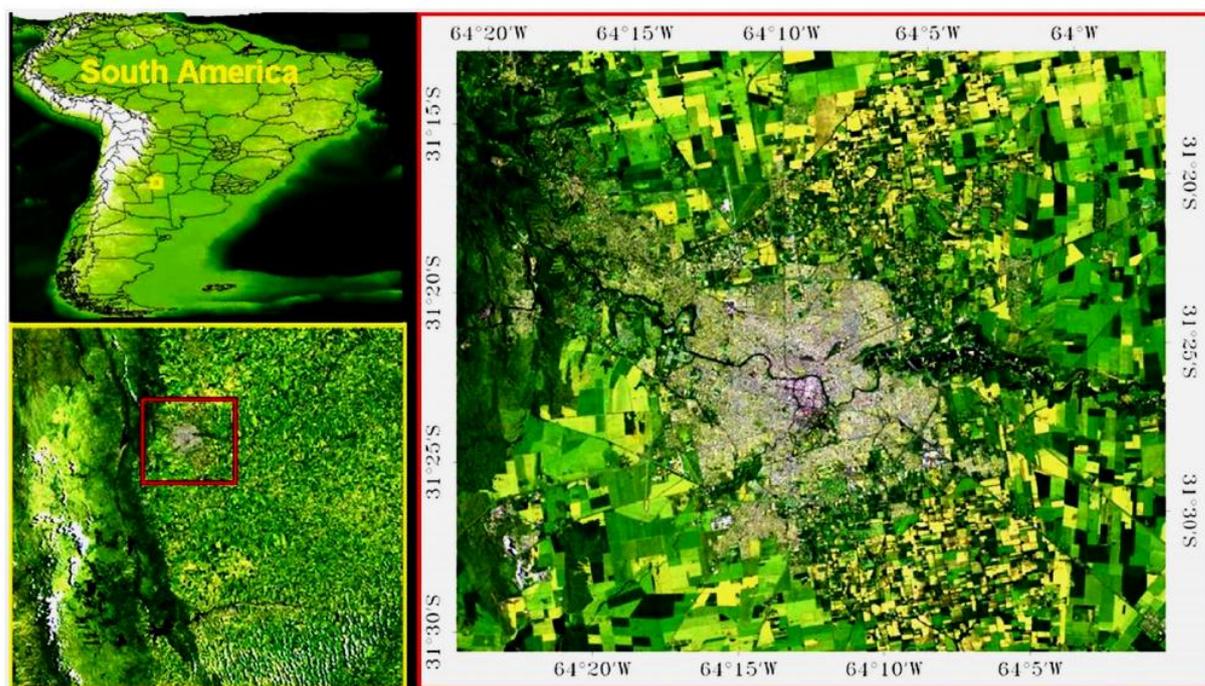
El objetivo principal de este estudio fue determinar los niveles de favorabilidad ambiental a la infección por el virus ESL en la ciudad de Córdoba, estimado por sensores remotos y herramientas geoespaciales.

## **5.2.2 Materiales y Método**

### **5.2.2.1. Sitio de estudio**

La ciudad de Córdoba (latitud 31° 24' 30"S y 64° 11' 02" de longitud Oeste), se encuentra a aproximadamente 450 m sobre el nivel medio del mar, en Provincia

homónima, en el centro de la República Argentina (Figura 1). Con una superficie aprox. de 576 km<sup>2</sup> y una población de aproximadamente 1.500.000 (Sbarato et al., 2004), el área urbana constituye alrededor del 37,2% de la superficie de la ciudad, rodeado por campos de cultivo de hortalizas, frutas, soja y trigo, intercalados con pequeños parches de bosques nativos. Presenta un clima templado, semi-seco, con un déficit importante de agua en invierno, a pesar del nivel relativamente alto de precipitación anual (750 a 800 mm). La temporada de lluvias se extiende de octubre a marzo, con niveles de precipitación más altos durante diciembre, enero y febrero (Jarsún et al., 2003).



**Figura 1.** Modelo de elevación digital sobre la base del Shuttle Radar Topography Mission y falso color compuesto derivado de una imagen NOAA AVHRR (superior izquierda). Escena completa del satélite Landsat 5 TM (RGB = B3-B2-B1) de la zona central de la Provincia de Córdoba, que corresponde al recuadro amarillo de la imagen anterior (izquierda-abajo). La sección derecha de la figura representa a una magnificación o "zoom in" del área de estudio (imagen Landsat TM falso color (RGB = B7-B5-B2), que corresponde al área indicada en el recuadro rojo).

#### 5.2.2.2. Descripción del brote de ESL de Córdoba (Argentina), 2005.

El brote de ESL de 2005, comenzó a finales de enero, alcanzando la mayor notificación de casos durante la segunda semana de marzo y culminando en el mes de Mayo. Los estudios serológicos y entomológicos fueron realizados como parte de la tesis

doctoral de la Biól. Lorena I. Spinsanti, del Laboratorio de Arbovirus, Instituto de Virología “Dr. J. M. Vanella”, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba, y con Fondos FONCYT 01-12572, del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), SECYT-UNC. Los casos confirmados fueron definidos por la presencia de anticuerpos IgM específicos en líquido cefalorraquídeo (LCR) o suero con un aumento de cuatro o más veces en los títulos de anticuerpos neutralizantes de virus de ESL (principalmente IgG) entre muestras pareadas de suero (obtenido por lo menos 1 semana de diferencia). Un caso probable se define por la demostración del virus ESL-anticuerpos IgM en suero o en LCR (Spinsanti et al., 2008). Los casos probables y confirmados de virus de ESL detectados por pruebas serológicas para el virus de ESL fueron consideradas como casos positivos, lo que resulta en 47 casos de un total de 72 pacientes estudiados en toda la provincia. La mayoría de los pacientes tuvieron fiebre asociada con signos meníngeos, alteración del estado mental, o ambas cosas. La infección afectó principalmente a personas entre 10 y 60 años de edad (52,2%) con un 40,4% de mayores de 60 años. La edad media fue de  $47,8 \pm 24,6$  años (rango: 7-87). Los hombres representaron 63,8% de los infectados y el 40% de los casos eran o desocupados o amas de casa.

### **5.2.2.3. Geo-referencia**

La Municipalidad de la ciudad de Córdoba cedió un mapa digital geo-referenciado, de la ciudad de Córdoba, conteniendo las calles y barrios de la misma, lo que permitió la localización de 35 de las 39 residencias de los pacientes positivos a ESL y la construcción de mapas diarios de incidencia humana de ESL. En la Figura 2 se pueden observar los mapas temáticos que representan la cantidad de habitantes por Barrio de la ciudad de Córdoba, y la densidad de habitantes por Hectárea de cada barrio. Los mismos fueron construidos con el programa Arcmap 9.1, utilizando los datos del censo poblacional 2001 del INDEC extraídos de Municipalidad de Córdoba (2006).

En la Figura 3 puede apreciarse un mapa que expresa la dinámica de las notificaciones en el espacio y el tiempo, conteniendo la ubicación de cada una de las viviendas de los casos humanos de infección por VESL registrados durante la epidemia del año 2005. A

partir de esta base de datos geo-espacial se pudieron realizar los análisis de estadística espacial y modelos predictivos de favorabilidad ambiental a VESL.

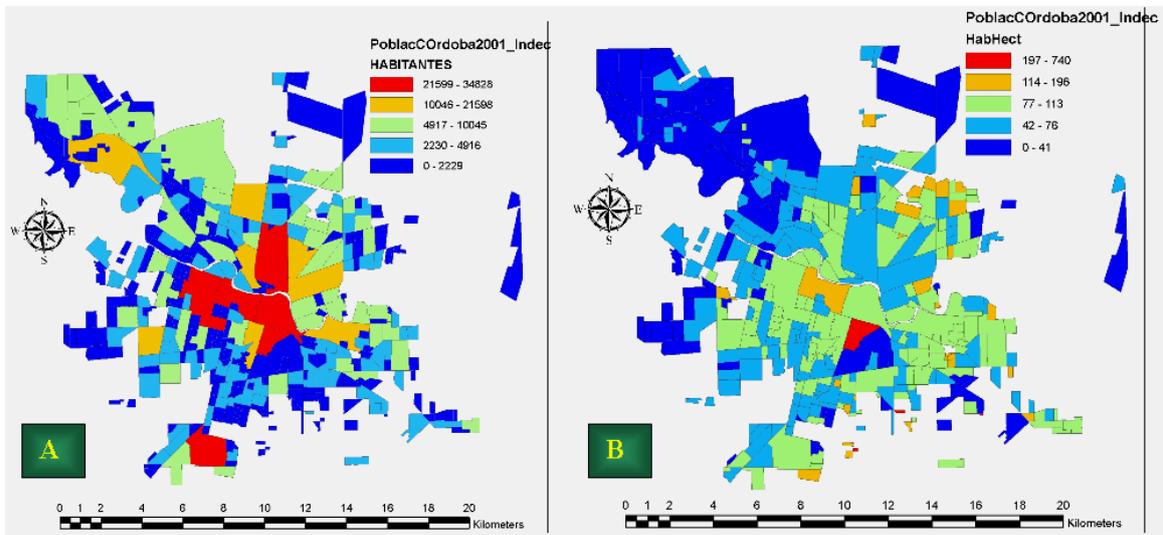


Figura 2. A la izquierda A) Mapa temático de la Cantidad de habitantes por Barrio de la ciudad de Córdoba, y a la derecha B) la densidad de habitantes por Hectárea de cada barrio para el año 2001 (Censo de Población y Vivienda INDEC 2001).

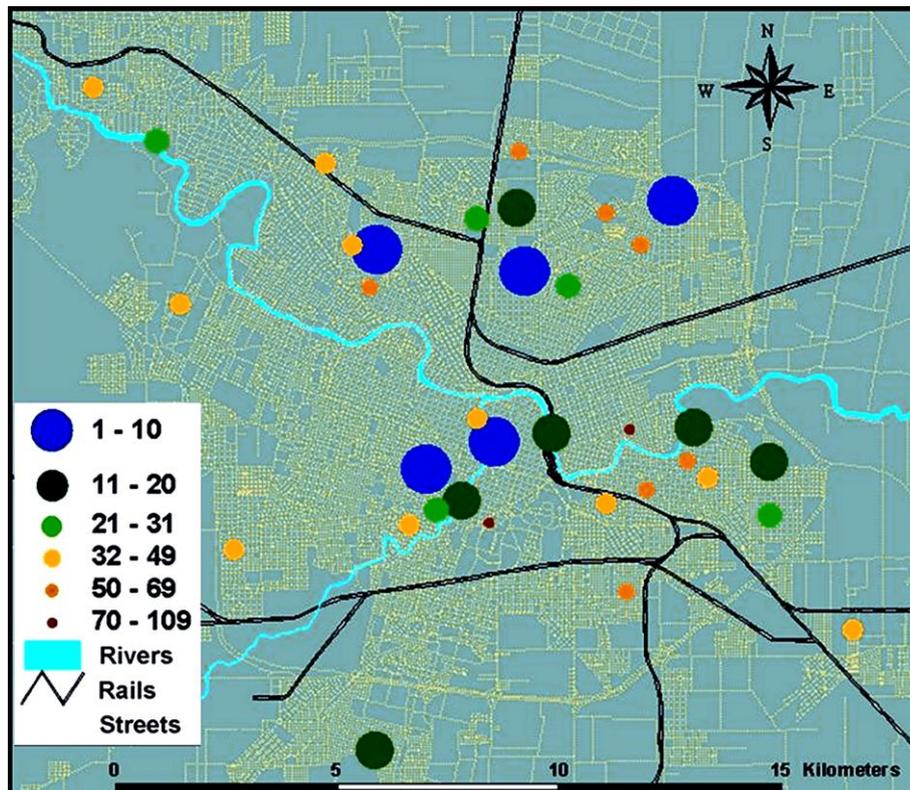


Figura 3. Patrón de difusión espacio-temporal de casos de infección por VESL notificados durante el brote en Córdoba, año 2005. El tamaño de los círculos está relacionado a la fecha de notificación de los síntomas por un sistema de vigilancia de febriles, expresando el rango de tiempo en días.

#### 5.2.2.4. Mapa de densidad de ESL

Se realizó un análisis de Promedio de vecinos más cercanos, utilizando el programa ArcMap 9.0 (ESRI, Redlands, CA, EE.UU.) con el fin de cuantificar el patrón de distribución espacial de los casos. Se seleccionó la Distancia euclidiana y 1,2 desviaciones estándar Z score. El valor de la Distancia media observada / Distancia media esperada fue de 0,9 lo que indicando que el patrón disperso, podría deberse al azar. A pesar de la falta de significación estadística, se utilizó la herramienta Kernel Density (ArcMap 9.0) para expresar la densidad de casos alrededor de cada pixel de salida creado del mapa de casos (Silverman, 1986). Con el objetivo de discriminar zonas de alta y baja densidad de casos de ESL, con un 99% de significación estadística, se seleccionó un radio de búsqueda de 2.000 m, teniendo en cuenta el rango de vuelo de *Culex quinquefasciatus* (Turell et al., 2005; Mora-Covarrubias et al., 2008) y su relación con la superficie de la ciudad) alrededor de cada residencia. Para ajustarlo a la resolución espacial de las imágenes Landsat 5 TM, se seleccionó un tamaño de píxel de salida de 30 x 30 m (Figura 4).

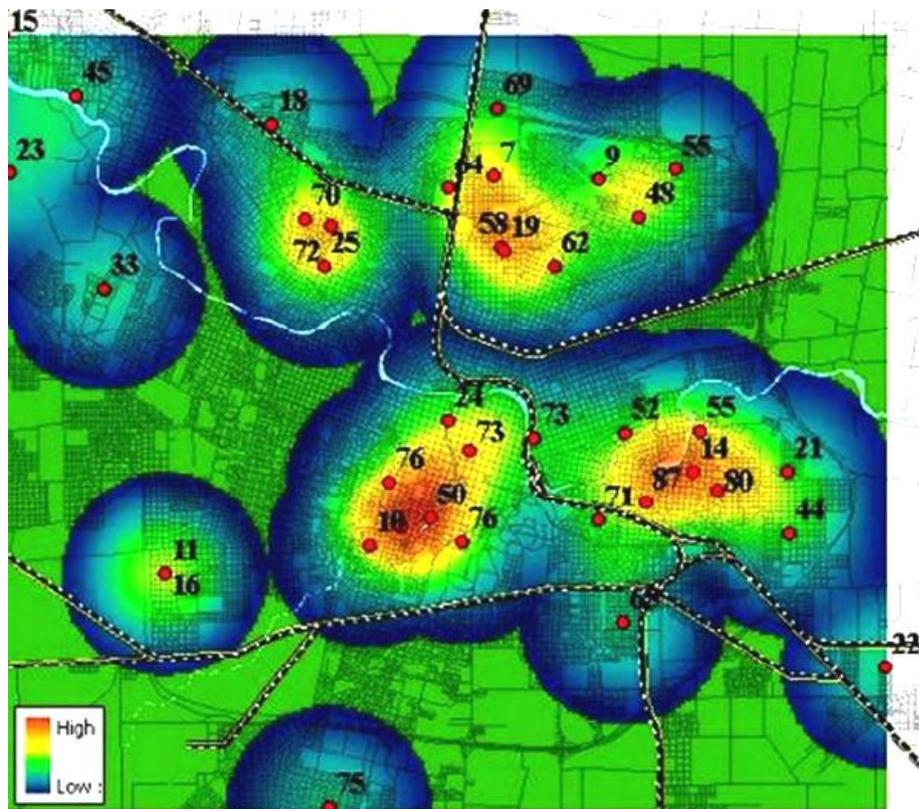


Figura 4. Mapa temático que representa a grupos de alta y baja densidad de casos humanos confirmados de ESL en la ciudad de Córdoba (de enero a mayo de 2005) y su relación con la edad del paciente.

Debido a la diversidad de especies de aves potenciales reservorios involucradas, y a que no se comprobó aun la competencia como reservorios de estas, se optó solo por considerar la dispersión por los mosquitos. La dispersión por humanos tampoco se tuvo en cuenta debido a la fuerte asociación encontrada por Díaz et al., (2006a, 2006b) y Díaz (2009) entre la residencia del paciente y las aves y mosquitos infectados en y alrededor de la misma.

#### **5.2.2.5. Pre-procesamiento de las imágenes satelitales**

La imagen Landsat 5 TM (path: 229 - Fila: 82) fue recibida por la estación terrestre de la CONAE (Centro Espacial Teófilo Tabanera) el 4 de enero de 2005, justo antes de la primera notificación de un caso de lupus eritematoso sistémico. La misma fue transformada a nivel de ocho bits (Chander et. Al, 2007), y geo-referenciada utilizando el software Envi 4.1, utilizando la técnica imagen a imagen (Richards y Jia, 2006) y puntos de control sobre terreno seleccionados a partir de una imagen Landsat 5TM (formato geo.tif) de base, obtenida de la Universidad de Maryland en su sitio web “Earth science data interface at the global land cover facility”.

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

Con un error medio (RSM) de 0,4 píxeles, de utilizó un polinomio de 1° grado para el ajuste de la imagen, utilizando el método de remuestreo de vecino más cercano. Los números digitales (ND) de las bandas espectrales del sensor TM fueron convertidos a radiancia (reflectancia por encima de la atmósfera) utilizando el programa Envi 4,1 (2004) y las ganancias y offsets disponibles post-lanzamiento en el sitio <http://landsat.usgs.gov/index.php>.

#### **5.2.2.6. Generación de mapas temáticos**

Un subconjunto de la imagen Landsata 5 Tm, de 882 km<sup>2</sup>, incluyendo la ciudad de Córdoba y sus alrededores inmediatos, se utilizó para crear un nuevo conjunto de variables ambientales derivados de la imagen de satélite utilizando el programa Envi 4.1 (2004). Se generaron tres índices Tasseled Cap: de brillo del suelo (representado como el brillo), de vegetación verde (representado como verdor) y un 3° índice de estimación de la interrelación del suelo y la humedad (el nivel de humedad) (Jensen, 1986; Crist y Cicone, 1984 ; Kauth et

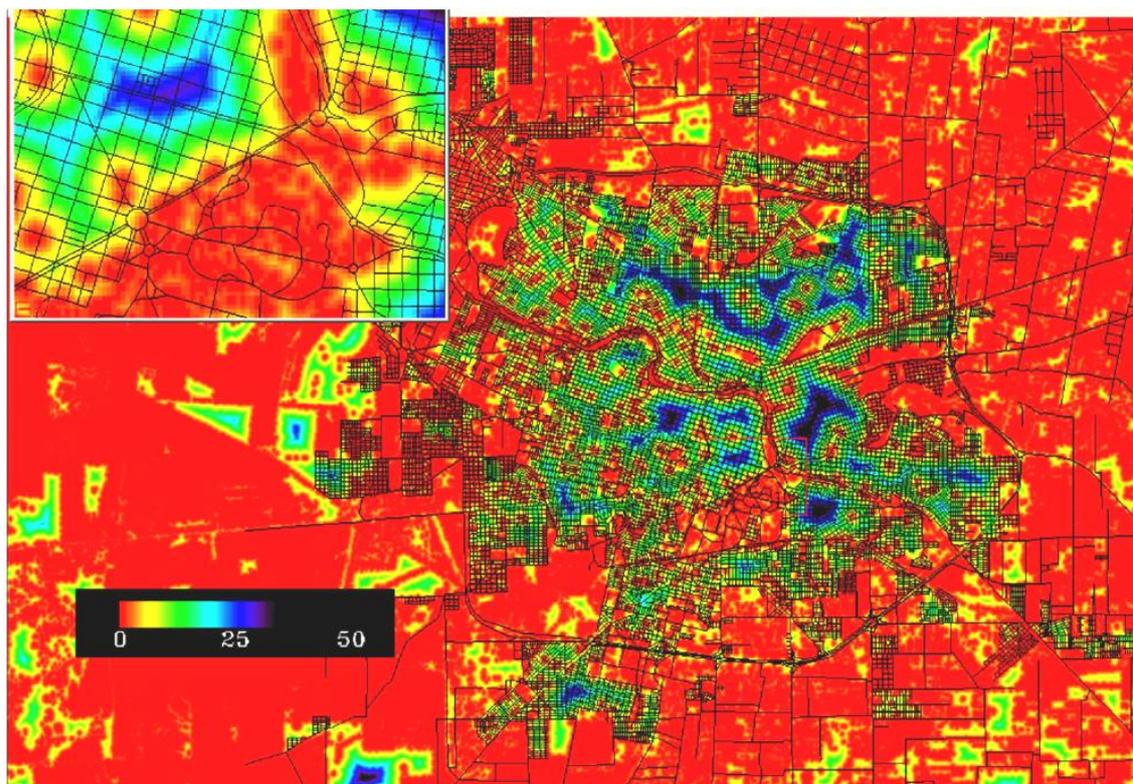
al., 1979; Yang et al., 2006), y a su vez, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Jensen, 2000). Los valores negativos del NDVI indican la ausencia de vegetación, mientras que los valores cercanos a 1 corresponden a la vegetación densa y vigorosa. Los valores positivos justo por encima de cero indican la vegetación con una cubierta escasa, tales como rocas o el suelo al descubierto.

Se elaboraron Mapas temáticos, con elementos del paisaje relacionados con la eco-epidemiología del virus de ESL, a partir de diferentes técnicas. El mapa de clases de vegetación de la ciudad de Córdoba y sus alrededores, conteniendo parques, plazas, terrenos baldíos, así como la vegetación a lo largo de carreteras y vías férreas o entre cultivos (hábitats lineales) fue preparado a partir de la selección de píxeles con valores umbral de NDVI entre 0,62 y 1. Con el fin de eliminar el efecto de las sombras de las construcciones en altura, sobre la radiometría de imágenes, y para evitar clasificaciones erróneas, se dividió a las bandas B1-B2-B3-B5-B7 TM de Landsat 5, por la banda del Infra Rojo Cercano o NIR (banda 4). En base a los valores corregidos, se generaron mapas hidrológicos cualitativos que podrían estar relacionados con el hábitat de larvas de mosquitos. Para ello, se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud, para la creación de tres categorías: cuerpos de agua lenticos (estanques, lagos y canteras), cuerpos de agua loticos (El arroyo de la Cañada y el río Suquía) y un mapa hidrológico general de la ciudad (incluyendo ambos tipos, lenticos y loticos). Todos estos mapas temáticos fueron validados con puntos de control sobre terreno, el conocimiento de expertos, y verificados con imágenes de alta resolución espacial de Google Earth (<http://earth.google.com>).

Se crearon mapas de Distancias o imágenes Buffer sobre la base de los mapas temáticos creados anteriormente. En estas imágenes, cada pixel tiene un valor definido como la distancia de ese pixel al pixel más cercano de la clase (o clases) seleccionada. Se definieron distancias máximas, por lo que a los píxeles con una distancia mayor a esta, se les asigna el valor la distancia máxima fijada. Las siguientes imágenes Buffer o distancia, fueron creadas con un rango de 0m a 5.700m (0 a 200 píxeles):

- 1) Distancia a la clase de vegetación (áreas con alta densidad y vigor de la vegetación, tales como parques, plazas, terrenos baldíos, espacios verdes y hábitats lineales). Figura 5.
- 2) Distancia a cuerpos de agua lenticos (canteras, estanques, lagos, lagunas temporales).
- 3) Distancia a cuerpos de agua loticos (arroyo "La Cañada" y "Suquía" río).
- 4) Distancia a cuerpos de agua mixta (loticos y lenticos).

Por último, una imagen de base de datos sintética, fue construida conteniendo toda la información de las nuevas bandas o capas de información creadas (Tabla 1)



**Figura 5.** Mapa de distancia o buffer a las áreas de vegetación vigorosa y densa. La rampa de colores de temperatura representa las distancias a la clase de vegetación expresada en unidades de píxel (28,5 x 28,5 m de resolución espacial). Los Píxeles rojos corresponden a las zonas a menos de 28,5 metros de las áreas de vegetación de gran vigor (NDVI mayor a 0.6). Los píxeles negros corresponden a las áreas más alejadas de aproximadamente 850m. En el sector superior izquierdo, puede observarse un zoom al Parque Sarmiento y el B° Nueva Córdoba.

#### 5.2.2.6. Análisis estadístico y construcción de modelos

La ubicación de cada paciente fue transformada a un área de 3 x 3 píxeles (de 30m de lado), utilizando la herramienta ROI Tool de Envi 4.1 (2004), incluyendo la residencia del mismo (píxel central) y el medio ambiente circundante. Esta herramienta permite extraer información de un conjunto de imágenes o de una sola banda, a partir del área de superposición región de interés (del inglés Region of Interest). La región de Córdoba incluyó a 35 pacientes con ESL (258.859 m<sup>2</sup> o 315 píxeles), consideradas como muestras de las zonas de riesgo ambiental al virus ESL, de donde se obtuvo la distribución estadística de los 315 valores de los píxeles, para cada una de las 13 variables predictivas derivadas de la imagen Landsat. Con el fin de eliminar las variables altamente

correlacionadas entre sí o redundantes, se realizó un análisis de correlación entre todas las variables teniendo en cuenta los subconjuntos obtenidos de cada variable de salida, pertenecientes a los 315 píxeles del ROI. De las variables correlacionadas con un  $r$  (Pearson) mayor a 0,7 o menor a -0,7, se eliminaron las que poseían esos niveles de correlación con más de una variable. A partir de los datos restantes, las variables predictoras fueron seleccionadas cuando los valores del análisis de la función discriminante entre los valores de los píxeles correspondientes a los ROI de casos de ESL y los píxeles de toda la ciudad, resultaran como discriminación media o alta.

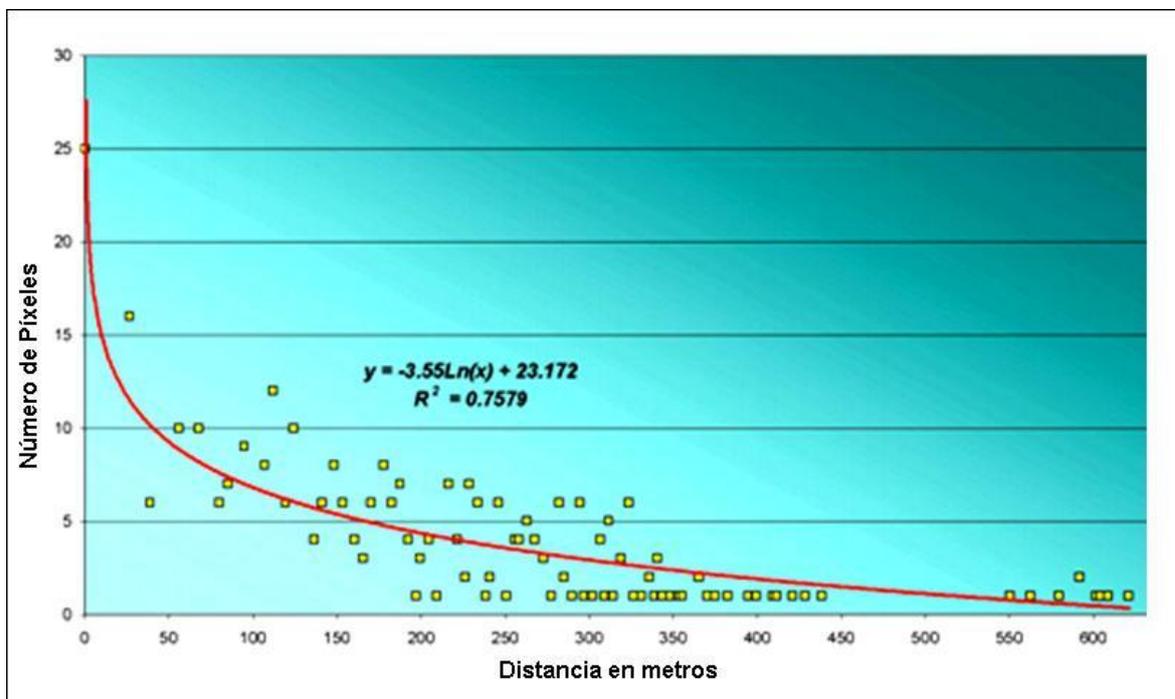
#### **5.2.2.7. Mapa de favorabilidad ambiental a ESL**

Sobre la base de las variables predictivas seleccionadas, se construyó un modelo estadístico, del tipo Árbol de Decisión No jerárquica (Breiman et al., 1984; Venables y Ripley, 1994) teniendo en cuenta criterios de clasificación del método del paralelepípedo (Albert et al. 2000, Richards 1999). Se utilizó el programa Envi 4.1 (2004) para la generación del modelo de clasificación tipo árbol de decisión a partir de imágenes TM y su información ambiental derivada. En esta estructura de árbol no-jerárquico, cada nodo de decisión resulta en dos ramas. Las expresiones en el clasificador, definen una sola decisión binaria (verdadera o falsa para cada píxel). En cada nueva división en el árbol, el mismo ejercicio se lleva a cabo y el árbol crece hasta llegar a sus nodos terminales, es decir, las hojas. Esto se conoce como el enfoque top-down o desde arriba hacia abajo (Min Xu, et al., 2005), donde cada hoja representa un conjunto único de píxeles, que define la salida de nivel de riesgo, en función del número de nodos de decisión cumplidos hasta arribar a esa hoja.

### **5.2.3 Resultados y Discusión**

La dispersión de los casos notificados de ESL en toda la ciudad durante el brote de la enfermedad se presenta en la Figura 6. La principal dispersión se observó entre los días 11 y 49 de la epidemia, con notificaciones de pacientes en las zonas central y centro-norte desde el día 50 hasta el final de la epidemia. Se encontró una relación lineal inversa ( $y = -0.194x + 3.84$ ) entre el número de casos de ESL y la distancia a la vegetación vigorosa

estimada a través de umbrales de NDVI, con una correlación de **0,58**. La distancia media entre la ubicación del paciente y esta clase vegetación fue 191 m (6.7 píxeles) con un mínimo de 0 metros, un máximo de 598 m (21 píxeles) y una desviación estándar de 123 m (4.3 píxeles). Más de 67,5% de los casos fueron registrados como viviendo a menos de 250 metros de vegetación vigorosa y el 95% de ellos a no más de 325 m de distancia de la misma. Por último, si se tiene en cuenta todas las ubicaciones de los pacientes y sus alrededores (3 x 3) píxeles, la regresión logarítmica ( $y = -3,55 \ln(x) + 23.17$ ) mostró un coeficiente  $r = 0,76$  (Figura 7). Por otro lado, no se encontró relación alguna entre el número de casos y el resto de las imágenes de distancia o buffer generadas, es decir, ni lentico, ni cuerpos de agua loticos o mixtos.



**Figura 6.** Relación ntre la distancia a la clase de vegetación y la región de interés (ROI) de píxeles de la zona de influencia de los casos de ESL.

### Modelo árbol de decisión

Band1/Band4, Band7/Band4, el índice Tasseled Cap 2 y la imagen de distancia o buffer a las áreas de vegetación vigorosa y densa fueron seleccionados como variables predictoras para el desarrollo del modelo árbol de decisión de ESL. Los nodos o criterios de decisión para la construcción del modelo árbol de decisión se muestra en la Figura 7.

La asignación de los niveles de riesgo se realizó de una manera no jerárquica. Las hojas o

salidas del modelo que cumplieron con cuatro criterios de los nodos, se clasifican como de alto riesgo, con tres nodos de Medio-Alto, con dos nodos riesgo medio, mientras que con un nodo significa de bajo riesgo. Los que no cumplen o no sobreviven a ningún criterio de nodo no se consideraban en riesgo.

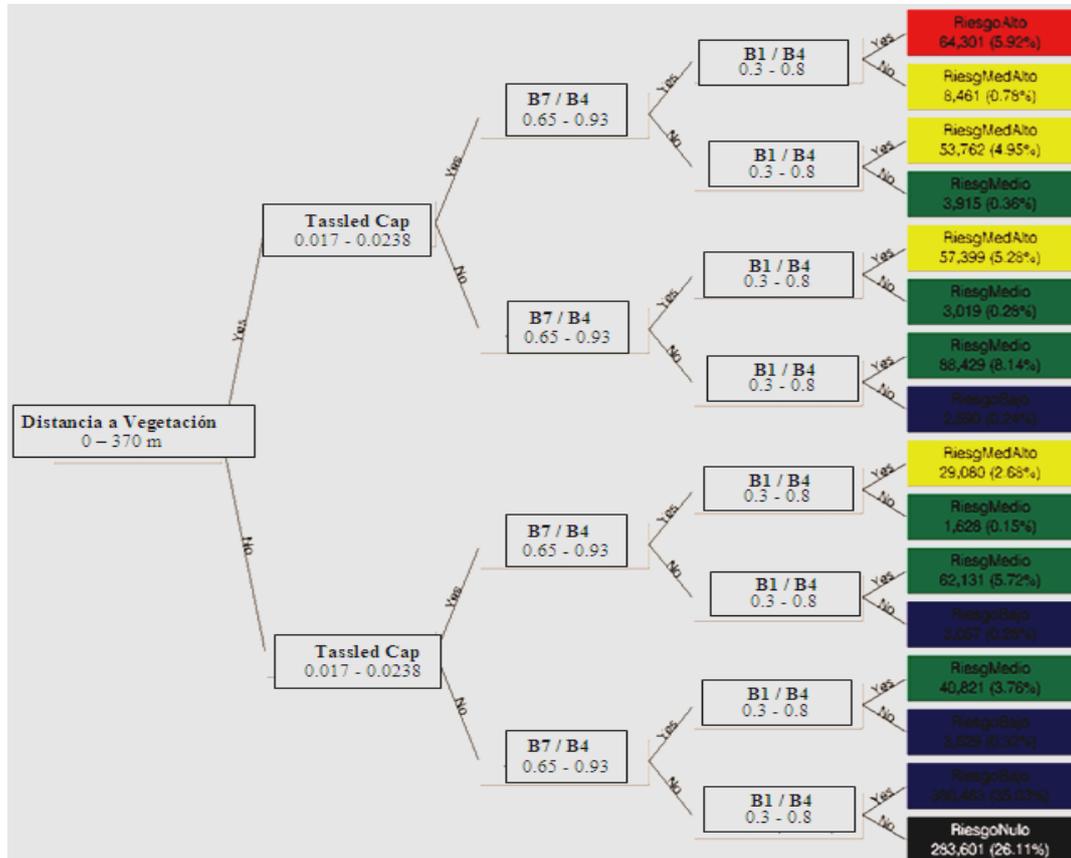


Figura 7. Modelo Árbol de Decisión de Riego de ESL, que muestra los nodos de decisión y los rango de datos de cada variable predictiva, incluyendo el porcentaje de píxeles que "sobreviven" a cada decisión y el porcentaje de píxeles del mapa de cada clase de favorabilidad ambiental a la transmisión de ESL (nodos terminales u hojas de DTM), refiriéndose a la ciudad de Córdoba y sus alrededores (30,4 Km. x 29 Km.)

Como se muestra en el mapa de favorabilidad ambiental a la transmisión de ESL (Figura 8), el 8,5% del subconjunto de la imagen de 882 km<sup>2</sup>, fue clasificado como de alto riesgo y el 38% como áreas sin riesgo. Este alto porcentaje de zonas sin riesgo se relaciona con el gran porcentaje de tierras de cultivo, bosques y zonas no ocupadas en la sub-escena. Para obtener el porcentaje real de zonas de alto riesgo ambiental para la ESL, se realizó un análisis del riesgo basado en píxeles urbanos (incluidos parques, plazas, baldíos, etc.), eliminándose del mismo los cultivos y alrededores con sistemas agrícolas, a través del enmascaramiento. El mapa de la favorabilidad ambiental a la trasmisión de ESL muestra que el 17,9% de toda la ciudad podría ser considerada como de alto riesgo para ESL, con

un 34,1% sin riesgo o de bajo riesgo. De todos los casos registrados, el 46% proceden de zonas consideradas de alto riesgo y el 80% de las zonas clasificadas como de alto riesgo o riesgo medio-alto (Figura 9).

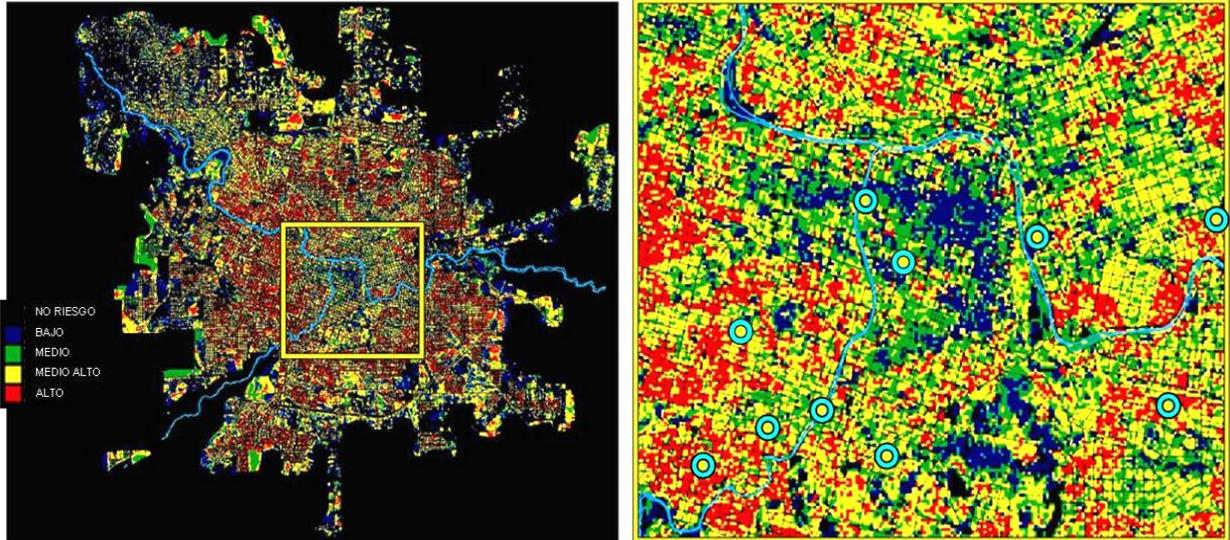


Figura 8. Mapa de favorabilidad ambiental a ESL en la ciudad de Córdoba (diferentes colores representan diferentes niveles de riesgo para el brote de LES 2005), mostrando el área del recuadro amarillo, magnificada a la derecha, representando los puntos color turquesa con centro amarillo, los casos notificados de ESL del año 2005.

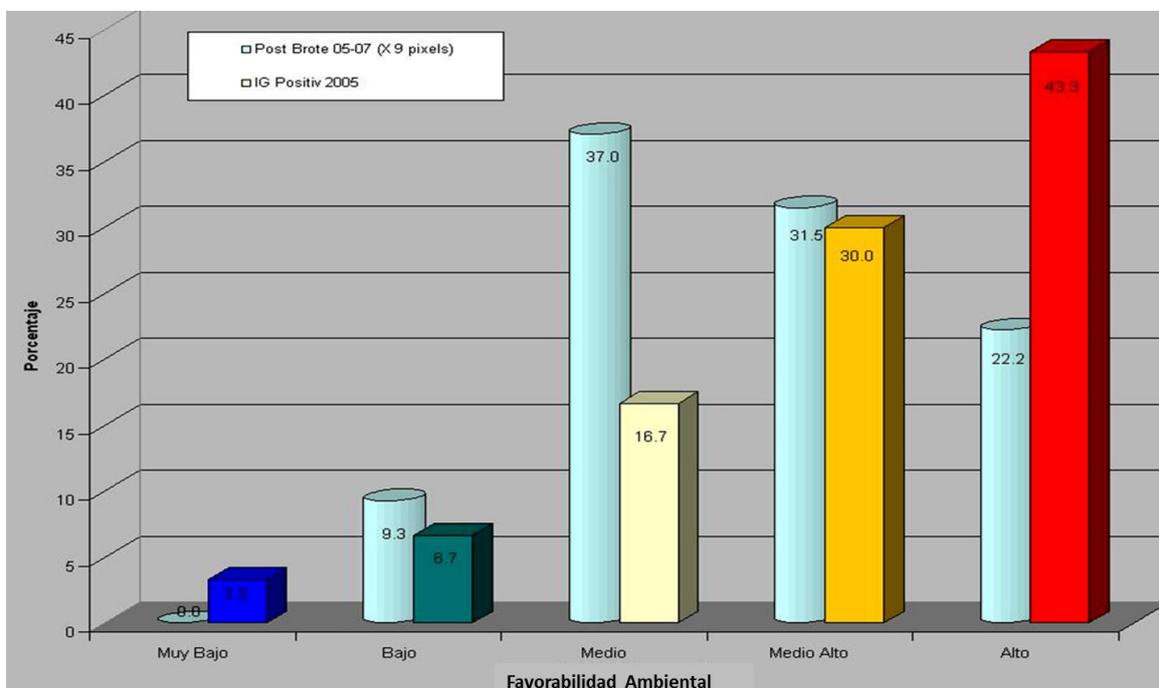


Figura 9. N° y distribución de los píxeles de cada clase de favorabilidad ambiental a ESL, para las áreas (3 x 3 píxeles) donde se registraron casos de ESL en 2005 (cubos de colores) y para encuestas serológicas post-brote entre 2005 y 2007 (cilindros celestes).

A pesar de la complejidad del análisis del brote de ESL, el SIG muestra claramente los patrones de distribución de los casos sintomáticos, incluyendo las relaciones espaciales entre los casos y las variables macro-ambientales derivadas del sensado remoto. La decisión de utilizar la residencia de los pacientes para el posicionamiento de los casos, se basa en la mayor incidencia ESL en pacientes mayores de 60 años (Spinsanti et al. 2008), que por lo general permanecen en su hogar por la noche y por lo tanto poseen más contacto efectivo con las áreas circundantes. Esta decisión se basó también en las franjas de actividad de alimentación (crepusculares o nocturnas) de los posibles vectores de virus ESL y en que, la infección con el virus ESL de aves de corral (aves domésticas) tuvo asociación espacial con casos notificados de ESL en humanos en 2005 (Díaz et al., 2006b). Por lo anterior, y para minimizar los errores de geolocalización de áreas probables de transmisión del virus de ESL, se escogió la dirección de residencia del caso humano notificado.

Con respecto al análisis espacio-temporal del brote, los patrones de dispersión observados difieren significativamente de los estudios previos sobre las epidemias de dengue en América del Sur, donde los patrones de dispersión se encontraban en el orden de cientos de metros, en supuesta respuesta al rango de vuelo de los mosquitos (Tran et al. 2001; Rotela et al. 2007). Aunque el mecanismo de introducción y propagación de los casos de LES en toda la ciudad de Córdoba sigue siendo especulativa, existen posibles explicaciones de los patrones de distribución de grandes distancias se encuentran, por ejemplo, los síntomas tardíos que no sean recogidos por el sistema de vigilancia, un gran número de infectados de ESL asintomáticos y la subnotificación (Tsai et al. 1987, Spinsanti 2009). Otras razones incluyen los movimientos de los ciudadanos durante las horas de transmisión y el contacto con los barrios con circulación viral.

El papel potencial de las aves en la transmisión viral y la dispersión dentro del ciclo del virus de ESL, es un mecanismo que debe ser explorado, ya que bien podría explicar los patrones urbanos de dispersión a distancias mayores de 2.000 y 4.000 m. Por ejemplo, estudios de Peterson et al. (2003) han señalado el papel fundamental de las aves en el transporte de larga distancia y la dispersión de virus del Nilo Occidental en el hemisferio norte. En consecuencia, consideramos que los movimientos de las aves infectadas en la ciudad podría ser el origen principal de este patrón de dispersión a larga distancia virus ESL. Estudios recientes realizados en la ciudad de Córdoba dan crédito a esta teoría

mediante la confirmación de anticuerpos de virus de ESL en un número creciente de aves nativas (Díaz et al., 2006b). Otro hecho relevante, es la continua destrucción de los hábitats de las aves silvestres provocados por las extinciones de bosques nativos en la Provincia de Córdoba, resultando en la pérdida entre 1969 y 1999 de un 76% a 94% de las mismas (Zak et al., 2004). Obviamente, sin muestras serológicas humanas representativas de toda la ciudad, es difícil establecer los verdaderos patrones de distribución de las áreas de transmisión de ESL. Sin embargo, consideramos que para poder entender mejor el sistema después de nuevos estudios de mosquitos y seres humanos en la ciudad de Córdoba, junto con estudios serológicos de aves, de captura-recaptura, ya que esto podría revelar el papel de cada componente de la red epidemiológica de ESL.

Los macro-factores relacionados con la transmisión de virus ESL presentados en este trabajo, tales como la proximidad a la vegetación, están vinculados a los posibles hábitats del vector del virus de ESL o áreas de descanso de los mismos, como fuera señalado por Cooke et al. (2006). Pero en este sentido, un análisis más preciso de cada factor sería necesario para alcanzar una plena comprensión de estas relaciones, como las encontrados por Brownstein (2003) y Ruiz (2004) para el virus del Nilo Occidental en Nueva York y Chicago, donde los patrones de los casos humanos se asociaron positivamente con la abundancia de vegetación.

En cuanto a los posibles criaderos de mosquitos (cuerpos de agua) derivados de imágenes satelitales, la principal limitación se asocia con la resolución espacial (tamaño de píxel) de las imágenes Landsat TM y la falta de capas de SIG de los desagües y alcantarillas de la ciudad. Por lo tanto, se sospecha que no es posible estimar la totalidad de hábitats de las especies involucradas en el ciclo de transmisión de virus ESL, basándose únicamente en este tipo de datos obtenidos a partir de satélites de resolución espacial media. Por ejemplo, para *Culex quinquefasciatus*, con hábitos peridomésticos, es difícil detectar sus hábitats adecuados de reproducción con este tipo de imágenes de sensores, ya que a menudo estos están asociados con la eliminación de los residuos cloacales e industriales (Monath, 1980).

Como ha sido indicado por Hay et al. (2002), la utilidad del tipo de mapas predictivos aquí tratados, debe ser confirmada con estudios que incluyan validaciones a pequeña y mediana escala y que prevean la factibilidad de su implementación para futuras epidemias. Teniendo en cuenta los casos notificados sintomáticos del brote de 2005, y la alta prevalencia del virus de ESL en los seres humanos (13,3%, 16,5% y 31%) que fueran

encontrados en tres diferentes centros de salud pública por Spinsanti (2009), se supone que un porcentaje muy bajo de personas infectados por el virus ESL son registrados debido a los síntomas clínicos. Este hecho demuestra la alta tasa de transmisión del virus en la región y la importancia de realizar estudios para determinar los puntos de transmisión a través de encuestas serológicas exhaustivas y distribuidas uniformemente en el espacio.

## **5.3 Caso2: Brote de Fiebre de Dengue. Tartagal, Salta 2004.**

### **5.3.1 Materiales y Método**

Tanto el área de estudio, como la descripción de la obtención de datos epidemiológicos, de serología y georeferencia de los casos de esta apartado, fueron descritos previamente en el Capítulo III de esta tesis.

#### **5.3.1.1 Creación de mapas predictivos de incidencia de Dengue**

El patrón espacial de una epidemia de dengue es el resultado cooperativo de múltiples factores que pueden agruparse en el medio ambiente, como entomológicos, demográficos y epidemiológicos, entre otros. Estos factores se pueden clasificar en micro-escala de factores (tales como los criaderos de mosquitos), los factores de mediana escala (como casas) y macro-escala de factores (tales como bloques de viviendas o carreteras). En este apartado, se explora cuál es el porcentaje del patrón de distribución espacial del brote de dengue de Tartagal 2004, que puede describirse por macro-factores identificados a través de técnicas de teledetección. Los factores macro-escala incluidos, son factores ambientales tales como ríos, vegetación, la humedad, temperatura y algunos factores demográficos, tales como edificaciones y carreteras.

Para la identificación de "hot spot" o zonas de alta incidencia del brote de DF en Tartagal, se creó un mapa de la incidencia de DF, a través de la acumulación del número de casos por cada 3 x 3 bloques durante la epidemia, asignando a cada píxel un valor de densidad de casos, igual al número de casos por unidad de área. Para construir el mapa de

predicción, se creó una base de datos de macro-hábitat, sobre la base de una imagen del satélite Landsat 5 TM (adquirida en Enero de 2004, Path 230/ Row 76), que fue almacenada como un conjunto de imágenes raster o capas. Una imagen sintética multibanda fue generada incluyendo las siguientes 13 capas raster: 1) distancia a las principales calles y carreteras, 2) distancias a los ríos, 3) distancia a la vegetación, 4) tasseled cap de brillo, 5) tasseled cap de verdor, 6) tasseled cap tasseled cap 3° o relacionado a la humedad, y 7 a 13) Bandas georeferenciadas y calibradas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Las capas 1, 2 y 3, que se definen como "la distancia a una clase de interés determinada" se calcularon con la función "buffer" del software de ENVI 4.1 (2004). Los elementos considerados en el paisaje (carreteras, ríos y vegetación) fueron identificados directamente de en imagen mediante interpretación visual y una clasificación de máxima verosimilitud, con un umbral de 0.95. Finalmente, las bandas Landsat 1 a 7 se incluyeron para testear si los datos capturados directamente por los sensores TM, representan parámetros ambientales asociados con los patrones espaciales de brotes DF. Para cada capa de información o layer, se estimó la relación existente con el mapa de densidad de incidencia de casos de FD, y se definió el umbral de cada capa mediante un análisis visual de los "puntos calientes", los conocimientos básicos sobre la ecología del vector y la distribución estadística de los mismos. Un algoritmo del tipo árbol de decisión fue construido (por ejemplo, si [la edificación LT (es menor que) xx] y [la distancia a las carreteras gt (es mayor a) XXX] y [verdor gt (es mayor que) 0,1], entonces el riesgo es MEDIO). La correlación entre los datos modelados y reales se calculó con la función de correlación del software ENVI 4.1 (2004).

## **5.3.2 Resultados y Discusión**

### **5.3.2.1 Mapa predictivo de incidencia de FD**

Las áreas de residencia de los casos notificados de FD, estuvieron relacionados con el siguiente conjunto de indicadores macro-ambientales: la distancias a los ríos, la distancia a la vegetación, los Tasseled cap de brillo, verdor y 3° o de humedad y con la banda 1 de Landsat 5 TM. El ajuste de los modelos reales y el mapa predictivo obtenido por el modelo (Figura 10) fueron cuantificados por la bondad del coeficiente de correlación lineal de Pearson (software ENVI función CORRELATE)  $r = 0,68$ . Además, el ajuste entre los datos

modelados y reales fue estimado a través de un transecta arbitraria, continua alrededor de la ciudad, que pasa alternativamente en las zonas de alta y baja incidencia, simulando el desplazamiento de un vehículo.  $r = 0.80$  (Figura 11) entre la incidencia real y simulada de los casos del DF.

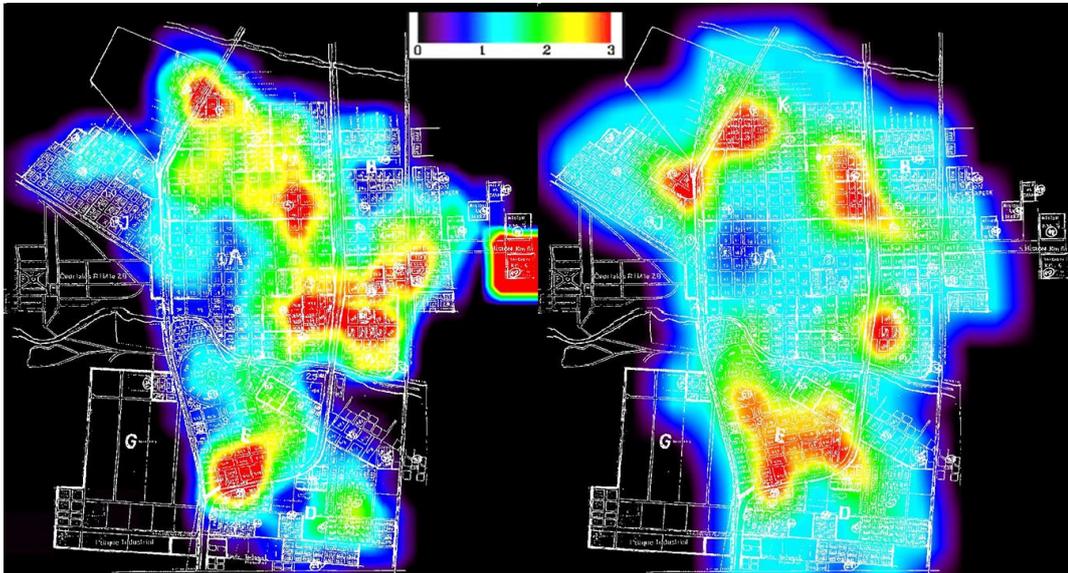


Figura 10. Mapa de Incidencia notificada de FD (izquierda) y predictivo (derecha) para la ciudad de Tartagal 2004. La paleta de colores utilizada (de temperatura), indica en color rojo las áreas predichas con mayor densidad de casos por Hectárea y las negras sin casos predichos. En líneas blancas puede apreciarse el catastro de la ciudad, además de las rutas, ríos y mensuras de lotes.

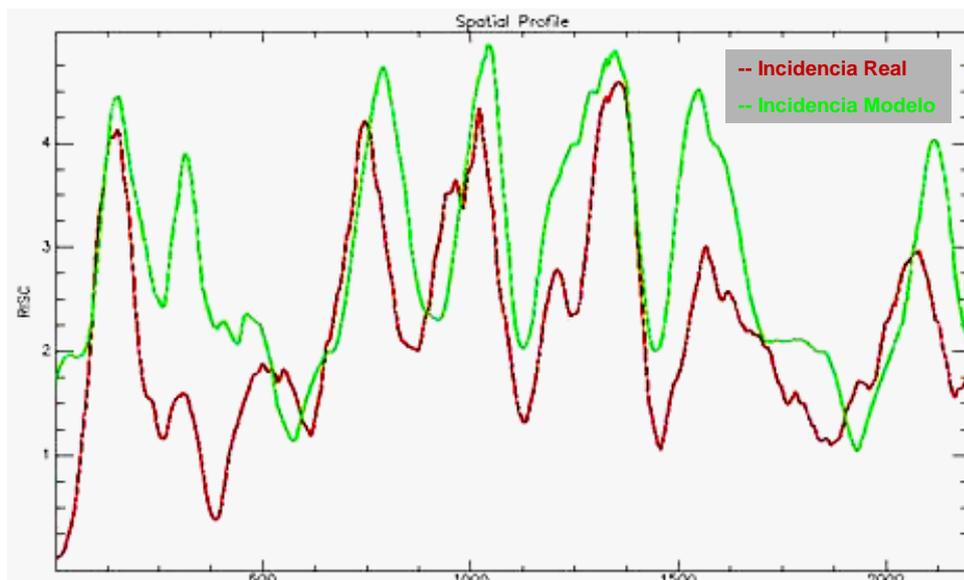


Figura 11. Líneas de muestreo de correlación entre los valores reales de incidencia de FD (líneas rojas) y las predichas por el modelo de favorabilidad ambiental (línea verde).

El aumento constante de información basada en datos satelitales, tanto en calidad como en cantidad, genera una gran contribución para la generación de mapas de riesgo sobre la base de modelos espaciales. Sin embargo, el uso de la teledetección para el modelado de la dinámica espacial sigue vinculado a los grandes factores que pueden explicar algunos, pero no todos, los elementos del comportamiento de los brotes, y la evaluación de este tipo de modelos sólo puede mejorarse a través de estudios de colaboración entre epidemiólogos, ecólogos y profesionales de la salud (Ostfeld et al., 2005). Los factores a nivel macro más relevantes, para la transmisión del dengue en el modelo presentado en este documento, como el por ejemplo la cercanía de los ríos o el índice 3° Tasseled cap (humedad del suelo) se deben probablemente a la ecología de *Aedes aegypti*, pero se necesita un análisis más preciso de cada factor por sí solo para comprender mejor estas relaciones. Por otra parte, la utilidad de un mapa predictivo debe confirmarse con el estudio de parámetros a pequeña y mediana escala, y su capacidad de estimar las futuras ondas epidémicas (Hay et al., 2002).

Las técnicas aquí desarrolladas para el modelado de patrones espaciales de un brote de dengue tienen un uso potencial de otros países. En la actualidad, datos o información derivada de la teledetección, están disponibles para la mayoría de los países, por lo que es de gran interés verificar si los parámetros seleccionados en este estudio son coincidentes (o no) para otras regiones, para investigar las diferencias y comparar los resultados de los mapas predictivos. Por el tipo de información utilizada, la técnica y el modelo también podrían ser extrapolados a otras enfermedades vectoriales o de transmisión vía reservorios. Sin embargo, la extrapolación es limitada por los datos disponibles de los sistemas de vigilancia, las instalaciones locales, así como a la viabilidad de estudios específicos para complementar los resultados de la teledetección.

En la actualidad, en el norte de Argentina, un programa de vigilancia del dengue eficiente es esencial para optimizar los esfuerzos de los diferentes programas de salud y las partes interesadas de la salud. El trabajo multi-institucional que se presenta en este documento representa un paso importante para la predicción de la incidencia de la FD a nivel espacial, y el desarrollo de modelos de predicción sobre la base de datos ambientales y epidemiológicos. Este tipo de herramientas, podrían representar una herramienta de ayuda para los tomadores de decisiones, con el fin de mejorar la respuesta de los sistemas de salud y las medidas de prevención relacionadas con el control de vectorial.

Se considera que para la región central de Argentina, la adopción de sistemas activos de vigilancia de Arbovirus es la herramienta más eficaz para la prevención y mitigación de brotes de ESL y Dengue, ayudando de esta forma a los tomadores de decisiones y las partes interesadas, a optimizar las respuestas del sistema de salud y focalizar las medidas preventivas. Nuestros resultados constituyen una herramienta práctica para destacar y ponderar áreas susceptibles para la transmisión del virus de ESL y Dengue, facilitando la comprensión de las preferencias de hábitat de los vectores que pueden generar brotes en ciertas áreas, especialmente aquellas donde los datos de campo medioambientales especializados no están disponibles. A su vez, estos potencian el uso de sensores remotos/SIG en sistemas de predicción multidisciplinarios y de vigilancia epidemiológica, así como en el establecimiento de estrategias para el control de la ESL. Este objetivo, posible sólo cuando un sistema de geo-referenciación preciso está disponible, se encuentra sin embargo limitado, principalmente por la calidad de las notificaciones de casos de ESL, la falta de vigilancia enzoótica de mosquitos y aves, y la falta de acceso a validaciones en tierra de resultados de estudios con sensores remotos.

# Conclusiones generales de la Tesis

Las herramientas aplicadas durante este trabajo, al poder ejecutarse en distintos programas de procesamiento de imágenes y SIG gratuitos, e incluso de código abierto, agilizan y garantizan la generación de cartografía base para usos epidemiológicos. Algunas de estas, posibilitan la notificación espacio temporal y el registro de eventos epidémicos, así como de monitoreos de la actividad de vectores, de forma rápida, sencilla y práctica a nivel operativo a distintas escalas y jerarquías de efectores. Se exploraron diferentes herramientas para la generación de cartografía e información geo-espacial para su inclusión en plataformas SIG gratuitas y operativas a multi-escala, útiles para la prevención, evaluación y el control epidemiológico. La información generada a partir de diversas fuentes, es combinada e integrada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) diseñados para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y despliegue de datos geo-referenciada. En ese sentido, la disponibilidad de información y programas gratuitos en distintos formatos y escalas, permite a los usuarios, la generación de cartografía apta para la especialización de datos eco-epidemiológicos, útiles a la hora de analizar el estado de los sistemas y la toma de decisiones en salud, a distintos niveles de ejecución.

Muchos estudios sugieren que el cambio climático y el incremento de la variabilidad climática ejercen presión en la dispersión de enfermedades infecciosas más allá de sus dominios geográficos tradicionales (Davis y Lederberg, 2001). Como ejemplo, el virus de West Nile, antiguamente confinado a África, Asia, y Europa (viejo mundo), se dispersado por América del Norte; *Aedes albopictus*, vector tanto del virus del Dengue como de West Nile, nativo de Asia, se estableció en América (Madon et al., 2002) y más precisamente en el Noreste de Argentina (Schweigmann et al., 2006), o especies de Flebotominos han sido registradas en nuevas áreas como Mar Chiquita, Córdoba, Argentina por Salomón et al., (2008). En este sentido el trabajo presentado en el Capítulo II, sobre el Modelado de la difusión espacio-temporal del género *Aedes*, brinda una herramienta que podría utilizarse como apoyo en la prevención estratégica de la dispersión de especies vectores en nuevas regiones, en base al modelado de sus preferencias de hábitat y parametrizaciones poblacionales específicas.

Con respecto a la identificación de factores de riesgo, a nivel mundial, los SIG han sido utilizados para ello a diferentes escalas (Beck et al., 1994; Boone et al., 2000; De Pietro et al., 2008; Arboleda et al., 2009, Monjeau et al., 2011), pero normalmente estos adolecen de un enfoque integral a nivel de escalabilidad (regional, local, focal) o las dimensiones del abordaje (temporal o espacial). En este sentido, los desarrollos de modelos empíricos de Favorabilidad ambiental al desarrollo de *Aedes aegypti* a dos escalas definidas del capítulo 3, se consideran como complementarios, y no como compartimentos aislados. Este hecho lo evidencia el desarrollo de los Sistema de Estratificación de Riesgo de Dengue (Porcasi et al., 2012), para la generación de un Sistema de alerta temprana a dos resoluciones espaciales (regional e intraurbano) y temporal (de riesgo diario y semestral), dónde se han integrado tanto las estimación de áreas favorables al desarrollo de *Aedes aegypti* de alta resolución espacial en base a imágenes SPOT 5 HRG1, como de la predictibilidad temporal del Caso 2, de Estimación de índices de Vivienda y de Breteau.

A nivel mundial, los SR y SIG han sido utilizados para el mapeo de diferentes patologías y análisis de la distribución espacio-temporal de los datos (Chaput et al., 2002; Tran et al., 2002). En comparación a los modelos predictivos basados en datos Meteorológicos, los modelos generados en el Capítulo V, de Generación de Mapas de Favorabilidad Ambiental a escala local, presentan la ventaja de la espacialización con gran nivel de detalle, mientras que los anteriores normalmente predicen un solo dato, para toda un área o localidad. Resultados como los de (Hopp y Foley, 2001; Gleiser et al., 2000; Ludueña Almeida et al., 2002; Estallo et al., 2011), muestran el fuerte control en la abundancia de las poblaciones, de la temperatura, humedad y las precipitaciones, que influyen significativamente en su desarrollo y supervivencia, los ciclos gonadotróficos, así de desarrollo y acelera la eclosión de los huevos (Epstein, 1998; Tun-lin et al., 2000; Ceccato et al., 2005; Hopp y Foley, 2001; Micieli y Campos, 2003). En este sentido, los modelos aquí elaborados, tienen en cuenta las características del paisaje, que el otro factor que regula la dinámica de las poblaciones de mosquitos. Sin embargo, estas aplicaciones son sin duda de difícil aplicación y extrapolación, debido a la extrema complejidad de la epidemiología y la inclusión espacializada de los vectores y patógenos en el equilibrio de los ecosistemas. Herramientas y métodos complementarios a diferentes escalas pueden ayudar a hacer frente a este problema, pero el uso racional de los datos de teledetección sigue dependiendo de la calidad de la información que llega desde el campo, y las extrapolaciones que se hagan de los resultados, como fuera demostrado por De La Rocque

et al., (2004).

A su vez, los SR y SIG han sido utilizados extensamente para el desarrollo de mapas de riesgo (Robinson, 1998; Carbajo et al., 2001, Pérez Martínez et al., 2003; Dumonteil y Gourbiere, 2004; Holowaty et al., 2010; Tiwari y Rushton, 2010). De todos modos, la mayoría de los mismos se basan en la vigilancia pasiva de enfermedades. Esto implica la notificación voluntaria por las personas suficientemente enfermos como para asistir a un centro de tratamiento. Estos casos como el análisis del brote sucedido en Tartagal en 2004 (Capítulos 4 y 5), por lo tanto, sólo son eficaces para la detección y mitigación después que la persona o un área ha sido infectada. En contra parte, y concordancia por lo planteado por Teklehaimanot (2005), la vigilancia de la enfermedad activa, como lo sucedido en el brote de SLEV en Córdoba, que implica "búsqueda" para la evidencia de la enfermedad de forma proactiva mediante la vigilancia de febriles rutinaria y continua, pueden ayudar a prevenir un brote, o a cortar la transmisión viral en un tiempo prudencial, antes de la ocurrencia de eventos epidémicos de grandes magnitudes. Para los errores de incorporación de pacientes, tanto por la no o sub-notificación, como por la ubicación errónea del caso, en un lugar distinto al de la transmisión (caso de Tartagal), estos errores podrían tenerse en cuenta utilizando el parámetro E. utilizado por Peterson et al., (2008), ya que este ofrece una manera cuantitativa de incorporar en análisis espaciales niveles de error inherentes conocidos, con el objetivo de no sobre interpretar datos, cuando se conoce que los datos tienen ruido a lo largo de la señal.

Los avances en las técnicas de mapeo de enfermedades, de los Sistemas de Información Geográfica y de las plataformas SIG web, brindan nuevas herramientas y oportunidades para la prevención y control de enfermedades emergentes y re-emergentes. De todos modos, y a pesar de las herramientas desarrolladas y la capacidad tecnológica para representar el riesgo espacial, temporal y espacio-temporal de enfermedades producidas por Arbovirus, uno de los problemas claves que se presentan a nivel operativo en las áreas de salud, son la escala de trabajo, la implementación de estos productos por los responsables en salud pública y la precisión con la que los datos ingresan a los sistemas de ponderación del Riesgo, en sus diversas formas. En este sentido, el máximo alcanzable en la precisión de los mapas o las salidas de los modelos de riesgo, es la precisión misma de los datos en los que se apoyan. A su vez, a nivel de la escala o resolución espacial es clave el conciliar el nivel de precisión al que los mapas basados en datos epidemiológicos deben

ser construidos, y la protección de la privacidad de los pacientes.

Si bien la comunidad científica se encuentra en una etapa muy prolífica en lo que concierne a generación de modelos y mapas predictivos basados en SIGs y sensores remotos, (basta ver la abundante bibliografía citada en este trabajo), existe aún un desfase entre el proceso de creación de los mismos y el uso de los mismos con fines de prevención y control. En este sentido, se estima que gran parte de este trabajo brinda aportes para la construcción de una interfaz más eficiente entre las áreas científica y operativa de los efectores en Salud.

De todas formas, para una correcta implementación de mapas de riesgo y modelos predictivos, es necesario realizar estudios sobre el impacto de los mismos a distintas escalas, y sobre grupos de personas blanco, como agentes de salud con distintas características a nivel de formación, recursos y experiencia. En este sentido, si bien la información de mapas y datos de infestación ha comenzado a utilizarse en algunos países del cono Sur, la combinación de resultados obtenidos de análisis estadísticos y otras utilidades de los Sistemas de Información Geográfica, como la referida a la accesibilidad de los puestos sanitarios o localidades, o la localización de áreas vulnerables, son poco utilizadas actualmente en los programas de salud (Russomando et al., 2007).

A futuro, es necesario un re direccionamiento de acciones para la obtención de series temporales largas de datos entomo-epidemiológicos de alta calidad, indispensables para el desarrollo de modelos y mapas de riesgo de alta calidad, a nivel de precisión y predictibilidad. Indefectiblemente, esto debe estar acompañado por la disponibilidad de datos socioeconómicos compatibles con dicha escala y calidad. Es necesario asegurar el acceso de las comunidades efectoras en salud, a Sistemas de Información Geográfica integrales, que incorporen la espacialización adecuada de los componentes determinantes de la salud. En este sentido, y con el objetivo de poder aportar herramientas a Sistemas de Alerta Temprana multiescala, este trabajo forma parte de los desarrollos llevados a cabo en marco del Sistema de Estratificación de Riesgo de Dengue (Lanfri et al., 2011; Peralta et al., 2011; Porcasi et al., 2012), desarrollado y ejecutado en forma conjunta por la CONAE y la Dirección de Enfermedades Transmisibles por Vectores (Ministerio de Salud de la Nación). Esta plataforma SIG web, en sus dos escalas de abordaje Nacional y Urbana, brinda un ejemplo de la integración de distintos modelos y herramientas de este tipo, con un fuerte componente interdisciplinario y adaptabilidad distintas jerarquías de usuarios.

En este contexto, a su vez, los convenios internacionales de CONAE, como los que garantizan la disponibilidad de imágenes de alta resolución espacial SPOT 5 o Cosmos Skymed (de microondas activas), o la reciente incorporación de imágenes gratuitas de la plataforma Landsat 8 (LDCM), nos brindan cierta seguridad respecto a la continuidad de los abordajes a estas escalas espacio temporales, para su oportuna validación e implementación.

# Bibliografía

- Albert D.P., Gesler W.M. y Levergood B., 2000. Classification: Information Generation. In: Albert, DP, Gesler, WM and Levergood, B. Spatial analysis, GIS and remote-sensing applications in the health sciences. Chelsea: Ann Arbor Press, 2000: 163.
- Almirón WR, Brewer, MM. Preferencia de hospedadores de Culicidae (Diptera) recolectados en el centro de la Argentina. Rev Saúde Pública 1995. 29: 108-14.
- Anselin L., Syabri I. y Kho Y., 2005. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. Geographical Analysis 38(1), 5-22.
- Antenucci J. C., Brown K., Croswell P. L., Kevany M. J. y Archer H., 1991. Geographic Information Systems: a Guide to the Technology, New York.
- Arboleda Sair, Nicolas Jaramillo y A. Townsend Peterson, 2009. Mapping Environmental Dimensions of Dengue Fever Transmission Risk in the Aburrá Valley, Colombia. Int. J. Environ. Res. Public Health 2009, 6, 3040-3055; doi:10.3390/ijerph6123040
- Arc Map 9.0. Arcview. Copyright 1999-2004. ESRI inc.
- Avilés G, Paz MV, Rangeon G, Ranaivoarisoa M, Verzeri N, Roginski S, Baroni P and Enria D, 2003. Laboratory surveillance of Dengue in Argentina, 1995-2001. Emerging infectious diseases. Vol 9, N°6, June 2003.
- Avilés G, Rangeon G, Vorndam V, Briones A, Baroni P, Enria D, Sabattini MS 1999. Dengue reemergence in Argentina. Emerg Infec Dis 5: 575-578.
- Baker RD, 1996. Testing for space-time clusters of unknown size. Journal of Applied Statistics, 23:543-554, 1996.
- Barbazan P., Guiserix M., Boonyuan W., Tuntaprasart W., Pontier D., and Gonzalez J.P., 2010. Modelling the effect of temperature on transmission of dengue. Med Vet Entomol 24:66-73.
- Barnes C. and W. Cibula. "Some implications of remote sensing technology in insect control programs including mosquitoes," Mosq. News, vol 82, p.p 39:271, 1979.
- Barnes, CM and Cibula WG. Some implications of remote sensing technology in insect

- control programs including mosquitoes. *Mosq. News* 1979; 39: 271-282.
- Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, Rodriguez AD, Rejmankova E, Ulloa A, 1994. Remote Sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg* 1994;51:271-80.
- Beck, LR, Lobitz, BM, Wood, BL. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerg Infect Dis* 6(3): 217-227.2000.
- Beck, LR, Lobitz, BM, Wood, BL. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. *Emerg. Infect. Dis.* 2000; 6(3): 217-227.
- Bejarano JFR 1979. Estudio sobre la fiebre amarilla selvática en la República Argentina, Subsecretaria de Medicina Sanitaria, República Argentina, 38 pp.
- Berge, TO. In: Berge, TO, ed. International catalogue of arboviruses including certain other viruses of vertebrates. U.S. Department of Health, Education, and Welfare; 1975: No. (CDC) 75-8301; 668-669.
- Besag J. y Newell J., 1991. The detection of clusters in rare diseases. *Journal of the Royal Statistical Society*, A154:143-155.
- Bidlingmayer W.L. y D.G. Hem. The range of visual attraction and the effect of competitive visual attractants upon mosquito (Diptera: Culicidae) flight. *Bull. Ent. Res.*, vol. 70, p.p. 321-342, 1980.
- Bithell JF, 1995. The choice of test for detecting raised disease risk near a point source. *Statistics in Medicine*, 14:2309-2322.
- Blanco S., Martínez M. V., Ripoll C. y Zaidenberg M., 2001. Dengue: Prevención y control. Guía para municipios. Coordinación Nacional de Vectores. Ministerio de Salud. Secretaría de Atención Sanitaria. Subsecretaría de programas de prevención y promoción.
- Boone JD, McGwire KC, Otteson EW, DeBaca RS, Kuhn EA, Villard P, 2000. Remote sensing and geographic information systems: charting Sin Nombre virus infections in deer mice. *Emerg Infect Dis*; 6:248-58.
- Breiman L, Freidman J, Olshend R, Stone C., 1984. Classification and regression trees. Monterey, Wadsworth, CA, USA.
- Brownstein JS, Rosen H, Purdy D, Miller JR, Merlino M, Mostashari F, Fish D. Spatial

- analysis of West Nile virus: rapid risk assessment of an introduced vector-borne zoonosis. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. September 1, 2002, 2(3): 157-164.
- BURROUGH, P. A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford.
- Calisher CH, Poland JD. Laboratory Diagnosis. In: Monath TP, editor. *St. Louis encephalitis*. Washington, DC: American Public Health Association; 1980: 571-601.
- Calisher CH. Medically important arboviruses of the United States and Canada. *Clin Microbiol Rev* 1994; 7: 89-116.
- Campos RE 1993. Presencia de *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. (Diptera: Culicidae) en la localidad de Quilmes (Buenos Aires, Argentina). *Rev Soc Entomol Argent* 52: 36.
- Carbajal de la Fuente AL, Porcasi X, Noireau F, Diotaiuti L, Gorla DE, 2009. The association between the geographic distribution of *Triatoma pseudomaculata* and *Triatoma wygodzinskyi* (Hemiptera: Reduviidae) with environmental variables recorded by remote sensors. *Infect Genet Evol*. 2009 Jan;9(1):54-61.
- Carbajo A, Schweigmann N, Curto de Casas S, 2001. Asociación espacial de *Aedes aegypti*, densidad de población humana, niveles de edificación y cobertura vegetal en Buenos Aires. Uso de GIS e imágenes satelitales. *Contribuciones Científicas 2001*, ISSN 0328-3194. pgs. 215-228. Puerto Madryn, GÆA Sociedad Argentina de Estudios Geográficos.
- Carcavallo RU, Martínez A 1968. Fiebre amarilla, vectores y cadena epidemiológica. *Comunicaciones Científicas - Entomoepidemiología de la República Argentina*, n. 13, Tomo I, Investigaciones Científicas de las Fuerzas Armadas Argentinas, Argentina, p. 105-144.
- Carde R.T., 1996. Odour plumes and odour-mediate flight in insects. In: *Ciba Foundation Symposium*, No. 200. *Olfaction in mosquito-host interactions* John Wiley and Sons Ltd. pp 54–66.
- CECCATO, P., S.J. CONNOR, I. JEANNE & M.C. THOMSON. 2005. Application of Geographical Information Systems and Remote Sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk. *Parasitología*. 47: 81-96.
- Chadee D.D. y Martinez R., 2000. Landing periodicity of *Aedes aegypti* with implications for dengue transmission in Trinidad, West Indies. *J. Vector Ecol*. 25(2), 158-163.

- Chander G., Brian L. Markham and Dennis L. Helder. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment* 113 (2009) 893–903.
- Chander Gyanesh B.L., Markham and Julia A. Barsi. Revised Landsat 5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol.4, N°3, July 2007.
- Chaput EK, Meek JI, Heimer R., 2002. Spatial analysis of Human Granulocytic Ehrlichiosis near Lyme, Connecticut. *Emerg Infect Dis*; 8:943-8
- Christophers S. R., 1960. *Aedes aegypti* (L.). The yellow fever mosquito, its life history, biomimics and structure. Ed. Cambridge Univ. Press, London.
- Chuvieco E., 1990. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ed. Rialp. Madrid, España.
- Chuvieco Salinero, E. 2002. *Teledetección ambiental*. Ariel Ciencia. Barcelona, España.
- CIGLIANO, M. Marta y TORRUSIO, Sandra. *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, pp. 1-14. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0373-56802003000100001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0373-56802003000100001&lng=es&nrm=iso). ISSN 1851-7471.
- Cooke WH III, Grala K and Wallis RC. Avian GIS models signal human risk for West Nile virus in Mississippi. *International Journal of Health Geographics* 2006; 5:36
- Cooperband M.F. y Carde R.T., 2006. Orientation of *Culex* mosquitoes to carbon dioxide-baited traps: flight manoeuvres and trapping efficiency. *Med Vet Entomol* 20: 11–26.
- Crist E.P. y Cicone, R.C., 1984. Physically-based transformation of Thematic Mapper Data-The TM tasseled cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol 22(3), p.p. 256-263, 1984.
- Crist E.P. y Kauth R.J., 1986. The tasseled cap de-mystified. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 6, p.p. 52:81, 1986.
- Crist, EP and RC Cicone. Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 1984; 50: 343-352.
- Curto S, Bofia R, Carbajo A, Plastina R, Schweigmann N, 2002. Reinfestación del territorio argentino por *Aedes aegypti*. *Distribución geográfica (1994-1999)*.

- Actualizaciones en Artropodología Sanitaria Argentina. Publicado por la Fundación Mundo Sano. ISBN 987-20421-0-1. Noviembre 2002.
- Davis JR, Lederberg J, editors. (2001) Emerging infectious diseases from the global to the local perspective. Washington (D.C.): National Academy Press. 134 p.
- De la Riva Fernández J., F. P. Cabello, 1998. El empleo de imágenes Landsat TM para la detección y cartografía de áreas incendiadas en el Prepirineo occidental oscense. *Geographicalia*. ISSN 0210-8380. N° 36, 1998, págs. 131-146.
- De Majo M.S., Fischer S., Otero M. y Schweigmann N., 2013. Effects of Thermal Heterogeneity and Egg Mortality on Differences in the Population Dynamics of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Over Short Distances in Temperate Argentina. *J. Med. Entomol.* 50(3): 543-551 (2013); DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/ME12211>.
- De Pietri DE, García S, Rico O., 2008. Modelos geo-espaciales para la vigilancia local de la salud. *Rev Panam Salud Pública*. 2008; 23(6):394-402.
- De Sousa, G.B., Blanco, A. & Gardenal, C.N. (2001) Genetic relationships among *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) populations from Argentina using random amplified polymorphic DNA polymerase chain reaction markers. *Journal of Medical Entomology*, 38, 371-375.
- Dekker T., Geier M. y Carde R.T., 2005. Carbon dioxide instantly sensitizes female yellow fever mosquitoes to human skin odours. *J Exp Biol* 208: 2963-2972.
- Dekker T., Takken W. y Carde R.T., 2001. Structure of host-odour plumes influences catch of *Anopheles gambiae* s.s. and *Aedes aegypti* in a dual-choice olfactometer. *Physiol Entomol* 26: 124-134.
- Del Ponte E, 1959. Enfoque sanitario de la fiebre amarilla para la República Argentina. *Primeras jornadas entomoepidemiológicas argentinas*. Tomo 1:217-274.
- Dengue: Datos Epidemiológicos. Rio de Janeiro: Secretaria de Saúde do Rio de Janeiro; 2009. Available from: <http://www.saude.rio.rj.gov.br> [ultimo acceso 11 Marzo 2010].
- Diarrassouba, S. and Dossou-Yovo J., 1997. Rythme d'activité atypique chez *Aedes aegypti* en zone de savane sub-soudanienne de Côte d'Ivoire. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* 90(5), 361-363.
- Díaz LA, Almiron WR, Ludueña Almeida F, Spinsanti LI, 2003. Vigilancia del virus

- Encefalitis de San Luis y mosquitos (Diptera: Culicidae) en la Provincia de Córdoba, Argentina. *Entomol Vect* 2003; 10 (4): 551-66.
- Díaz, LA, Ré, V, Almirón, WR, Farías, A, 2006. Genotype III Saint Louis encephalitis virus outbreak, Argentina, 2005. *Emerg Infect Dis.* 2006a; 12 (11):1752-4.
- Díaz, LA., Konigheim, BS, Aguilar, JJ, Spinsanti, LI, et al. Actividad del virus encefalitis San Luis (Flavivirus) en aves durante una epidemia de encefalitis en Córdoba, Argentina, 2005. *Acta Bioquim. Clin. Latinoam.* 2006b; 3: 298.
- Díaz, Luis Adrián. Patrones de actividad y estacionalidad del virus St. Louis Encephalitis en Córdoba, Argentina (2009). Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas - Universidad Nacional de Córdoba.
- Diggle P.J., Chetwynd A.G., Haggkvist R. and Morris AS., 1995. Second-order analysis of space-time clustering, *Statistical Methods in Medical Research*, 4, 124–136.
- Dister, SW, Fish, D, Bros, S, Frank, DH et al. Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme disease using satellite imagery. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1997; 57(6): 687-692.
- Dominguez MC, Ludueña Almeida F, Almirón W. (2000). Dinámica poblacional de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en Córdoba capital. *Rev. Sociedad Entomologica Argentina.* 59:41-50.
- Eisen RJ and 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* 2008; 45:181-192.
- Elith, J., C. H. Graham, and N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecogeography* 29:129-151.
- Engelthaler, D.M. et al. 1999. Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners Region, United States. *Emerging Infectious Diseases*, 5: 87-94.
- ENVI 4.1. The Environment for Visualizing Images. Research Systems, Inc., 2004. ENVI Version 4.1 Aug 20, 2004. WWW: <http://www.RSInc.com/envi>
- EPSTEIN, P.R. 1998. Global warming and vector-borne disease. *Lancet.* 351(9117): 1737.
- Espinoza Gómez F., Hernández Suárez C.M. y Coll Cárdenas R., 2001. Factores que

- modifican los índices larvarios de *Aedes aegypti* en Colima, México. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health* 10(1), 2001.
- Estallo Elizabet L., Mario A. Lamfri, Carlos M. Scavuzzo, Francisco F. Ludueña Almeida, María V. Introini, Mario Zaidenberg, and Walter R. Almirón, 2008. Models for Predicting *Aedes aegypti* Larval Indices Based on Satellite Images and Climatic Variables. *Journal of the American Mosquito Control Association* 2008 24 (3), 368-376
- Estes J.E. y Simonett, D.S., 1975. Fundamentals of image interpretation. *Manual of Remote Sensing*. R.G. Reeves Editores. Falls Church, American Society of Photogrametry: 869-1076.
- Ferrel-Vidal V. y Solé Sugrañes U., 1995. Caracterización de emisiones térmicas en áreas suburbanas mediante imágenes Thematic Mapper. *Revista de teledetección*. Instituto de ciencias de la tierra "Jaume Almera". Barcelona.
- Focks D.A., 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for Dengue vectors. Geneva: World Health Organization, 2003.
- Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2003/TDR\\_IDE\\_DEN\\_03.1.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2003/TDR_IDE_DEN_03.1.pdf)
- Focks D.A., Haile D.G., Daniels E., Mount G.A., 1993. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). *Analysis of the literature and model development*. *J Med Entomol* 30: 1003–1017.
- Focks DA. 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors. Geneva, Switzerland: World Health Organization [consultado en Marzo de 2013]. Disponible en: [whqlibdoc.who.int/hq/2003/TDR\\_IDE\\_DEN\\_03.1.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2003/TDR_IDE_DEN_03.1.pdf).
- Forman R.T. y Gordon M., 1986. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Forman R.T., 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Galuzo I.G., 1975. Landscape Epidemiology (epizootiology)." *Advances in Veterinary Science & Comparative Medicine*. 1975(19):73-96.
- Gandolfo F, González H. Dengue, 1945. En: *Clínica de las Enfermedades Infecciosas y su Tratamiento*. Tomo 1, 3ra edición, Buenos Aires, López editores: 1945: 494-500.
- Garramuño E.A., 2006. *Perspectivas de la ecología del paisaje en entomología aplicada*.

- Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 7(1): 54-60.
- Gatrell, A. C. and M. Löytönen, 1998. GIS and Health Research: an introduction. GIS and Health. A. C. Gatrell and M. Löytönen. London, Taylor & Francis: 3-16.
- Gaudino NM, 1916. El dengue: Algunas consideraciones sobre la epidemia de Entre Ríos de 1916. Rev Sanidad Mil 15: 617-627.
- Glass G.E., J.M. Morgan III, D.T. Johnson, P.M. Noy, E Israel and B.S. Schwartz, 1992. Infectious disease epidemiology and GIS: a case study of Lyme disease. GeoInfo Systems, vol. 2, p.p. 65-9, 1992.
- Glass GE, Morgan III, JM Johnson, DT Noy, PM Israel, E Schwartz, 1992. Infectious Disease Epidemiology and GIS: A Case Study of Lyme Disease. Geo Info Systems 1992; 2:65-69.
- Gorla D.E., 2002. Variables ambientales registradas por sensores remotos como indicadores de la distribución geográfica de *Triatoma infestans* (Heteroptera: Reduviidae). Ecol. Austral 2002; 12:117–127.
- Green Robert M and Simon I. Hay, 2002. The potential of Pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. Remote Sensing of Environment 79 (2002) 166– 175.
- Grez A., Zaviezo T., Tischendorf L. y Fahrig L., 2004. A transient, positive effect of habitat fragmentation on insect population densities. Oecología. 141: 444-451.
- Grilli M.P. y D.E. Gorla, 1997. The spatio-temporal pattern of *Delphacodes kuscheli* (Homoptera: Delphacidae) abundance in central Argentina. Bulletin of Entomological Research. 87: 45-53.
- Guichón M.L., M.E. Angelini, A. Benítez; M. C. Serafíni, M. H. Cassini, 1999. Caracterización ambiental de la cuenca del río Luján (Argentina) aplicando dos metodologías de procesamiento de información satelitaria. Revista de Teledetección. N°11. Junio 1999. disponible en [http://www.aet.org.es/revistas/revista11/AET11\\_1.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista11/AET11_1.pdf).
- Gürtler R., Garelli F., Coto H.. 2009. Effects of a Five-Year Citywide Intervention Program to control *Aedes aegypti* and Prevent Dengue Outbreaks in Northern Argentina. PLoS Neglected Tropical Diseases 3(4).e427:1-13.
- Guzman M.G. y Kouri G., 2002. Dengue: an update. The Lancet Infectious Diseases. Vol

2. January 2002: 33-42.

gvSIG 1.11.0, 2012. gvSIG 1.11.0 final (build 1305). [www.gvsig.org](http://www.gvsig.org). Copyright Generalitat Valenciana, IVER T.I. 2008.

Hales S, de Wet N, Maindonald J, Woodward A., 2002. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model. *Lancet* 2002;360:830–4. doi:10.1016/S0140-6736(02)09964-6 PMID:12243917

Harrington L.C., Buonaccorsi J.P., Edman J.D., Costero A., Kittayapong P., Clark G.G., Scott T.W., 2001. Analysis of survival of young and old *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from Puerto Rico and Thailand. *J. Med. Entomol.* 38(4), 537-547.

Harrington L.C., Scott T.W., Kriangkrai Lerthusnee, Russell C. Coleman, Adriana Costero, Gary G. Clark, James J. Jones, Sangvorn Kitthawee, Pattamaporn Kittayapong, Ratana Sithiprasasna y John D. Edman, 2005. Dispersal of the dengue vector *Aedes aegypti* within and between rural communities. *Am J Trop Med Hyg* February 2005 72:209-220

Hay S. I. and J. J. Lennon. 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.

Hay S.I., 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.

Hayes R.O., E.L. Maxwell, C.J. Mitchell and T.L. Woodzick., 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, 1985.

Hayes RO, Maxwell EL, Mitchell CJ and Woodzick TL., 1985. Detection, identification and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites. *Bull. World Health Organ* 1985; 63(2):361-374.

Hoffmann E.J. y Miller J.R., 2002. Reduction of mosquito (Diptera: Culicidae) attacks on a human subject by combination of wind and vapor-phase DEET repellent. *J. Med. Entomology*, 39:935-938.

- Holowaty Eric J, Todd A Norwood, Susitha Wanigaratne, Juanjo J Abellan and Linda Beale, 2010. Feesearschibility and utility of mapping disease risk at the neighbourhood level within a Canadian public health unit: an ecological study. *International Journal of Health Geographics* 2010, 9:21. <http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/21>
- <http://www.40jaiio.org.ar/sites/default/files/T2011/CAIS/CAIS2011-11.pdf>
- <http://www.ent.iastate.edu/dept/research/vandyk/hostseek.html>
- [http://www.paho.org/english/hcp/hct/vbd/dengue\\_history.htm](http://www.paho.org/english/hcp/hct/vbd/dengue_history.htm)
- Ibáñez-Bernal, S. y H. Gómez-Dantés. 1995. Los vectores del dengue en México: Una revisión crítica. *Salud Pública Méx.*, 37 supl: 53-63
- Indec, 2001. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2001. Sitio web: <http://www.indec.gov.ar/webcenso/publicados.asp>
- InfoStat, 2002. InfoStat/Profesional, versión 1.1. Grupo Info- Stat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Resultados correspondientes al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001. <http://www.indec.gov.ar/indec/ingles.asp>.
- Jaenisch T, Wills B. Resultado del estudio DENCO. TDR/WHO Reunión de Expertos en la Clasificación y Manejo de casos de Dengue. Implicaciones del Estudio DENCO. WHO, Ginebra, Sep 30- Oct. 1/2008.
- Jarsún, B, Gorjas, JA, Zamora, E, Bosnero, E. et al. Caracterización general de la provincia. In: Gorjas JA, JL Tassile, editors. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos. BR Copias. Córdoba, 2003; 23-60.
- Jensen J.R., 1986. *Introductory Digital Image Processing*. Prentice-Hall, New Jersey, p. 379. 1986.
- Kauth RJ, Lambeck PF, Richardson W, Thomas GS and Pentland AP., 1979. Feature Extraction Applied to Agricultural Crops as Seen by Landsat. *Proceedings, LACIE Symposium, Houston TX, NASA 1979; 705-721.*
- Kitron, U., 1998. Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. *J. Med. Entomol.* 1998; 35 (4):435-445.

- Kitron, U., Julie A. Clennon, M. Carla Cecere, Ricardo E. Gürtler, Charles H. King, Gonzalo Vazquez-Prokopec, 2006. Upscale or downscale: applications of fine scale remotely sensed data to Chagas disease in Argentina and schistosomiasis in Kenya. *Geospatial Health - Volume 1, Number 1, November 2006, Pages 49-58*
- Knox EG, 1964. The detection of space-time interactions. *Appl. Stat* 13: 25-29.
- Kourí G., Guzman M.G., Bravo J., 1986. Hemorrhagic dengue in Cuba: history of an epidemic. *Bull. Pan. Health Organ.* 20(1), 24-30.
- Krawchuk M. y Taylor P., 2003. Changing importance of habitat structure across multiple spatial scales for three species of insects. *Oikos.* 103: 153–161.
- Kulldorff M, Hjalmar U., 1999. The Knox method and other tests for space-time interaction. *Biometrics*; 55 (2):544–552.
- Lambrechts L, Paaijmans KP, Fansiri T, Carrington LB, Kramer LD, Thomas MB, et al. 2011. Impact of daily temperature fluctuations on dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108:7460-7465.
- Lanfri S, Frutos N, Porcasi X, Rotela C, Peralta G, De Elia E, Lanfri M, Scavuzzo M. 2011. Algoritmos para el Alerta Temprana de Dengue en un Ambiente Geomático. Congreso Argentino de Informática y Salud 40JAIIO-CAIS 2011 - ISSN: 1853-1881.(89-104). Disponible en:
- Li H., 1989. Spatio-temporal pattern analysis of managed forest landscapes: a simulation approach. Dissertation, Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- Linthicum K.J., A. Anyamba, C.J. Tucker, P.W. Kelley, M.F. Myers and C.J. Peters, 1999. Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya. *Science*, vol. 285, p.p. 397-400, 1999.
- Linthicum KJ, Anyamba A, Tucker CJ, Kelley, 1999. Climate and satellite indicators to forecast Rift Valley fever epidemics in Kenya. *Science*; 285:397-400.
- Maciel-de-Freitas R., Lourenço-de-Oliveira R., 2009. Presumed unconstrained dispersal of *Aedes aegypti* in the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Rev Saúde Pública* 2009;43(1):8-12.
- Mack TM, Brown BF, Sudia WD, Todd JC, 1964. Investigation of an epidemic of St. Louis encephalitis in Danville, Kentucky, 1964. *J Med Entomol* 1967; 4:70-6.
- Madon MB, Mulla MS, Shaw MW, Kluh S, Hazelrigg JE (2002) Introduction of *Aedes*

- albopictus (Skuse) in Southern California and potential for its establishment. *J Vect Ecol* 27: 149–154.
- Markham B.L. y Barker J.L., 1986. Landsat MSS and TM Post-Calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. En *EOS4T Landsat technical notes 1*. Pp 3-8.
- Marshall B., Burel F., Joenje W., Gerowitt B., Paoletti M., Thomas G., Kleijn D., Le Coeur D. y Moonen C., 2002. Field boundary habitats for wildlife, crop, and environmental protection. *Landscape ecology in agroecosystem management*. L. Ryszkowski. Boca Raton, CRC Press: 219-247.
- Martínez Torres, E., 1998. Dengue y Dengue Hemorrágico. Universidad Nacional de Quilmes & Elea Laboratorio (Editors), pp 43-56.
- Masuh H., Coto H., Licastro S., Zerba E., 2003. Control de larvas de *Aedes aegypti* en Clorinda. Un modelo para áreas urbanas. *Entomología y Vectores*, 10 (4):485-494.
- Matheus Roriz-Cruz, Eduardo Sprinz; Idiane Rosset, Luciano GoldaniI, Maria Gloria Teixeira, 2010. Dengue and primary care: a tale of two cities. *Bull World Health Organ*; 88:244. doi:10.2471/BLT.10.076935. <http://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-076935/en/index.html>.
- Micieli MV, Campos RE, 2003. Oviposition activity and seasonal pattern of a population of *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L.) (Diptera, Culicidae) in Subtropical Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz, Río de Janeiro*. Vol 98(5): 659-663, July 2003.
- Mills J.N and J.E Childs, 1998. Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health. *Emerg. Infect. Dis.* 4, 529 - 537.
- Min Xu, Pakorn Watanachaturaporn, Pramod K. Varshney, Manoj K. Arora, 2005. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, Volume 97, Issue 3, 15 August 2005, Pages 322-336, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2005.05.008. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425705001604](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425705001604)
- MINISTÉRIO da SAÚDE do BRASIL, 2005. Secretaria de Vigilância em Saúde. Diagnóstico rápido nos municípios para vigilância entomológica do *Aedes aegypti* no Brasil – LIRAA: metodologia para avaliação dos índices de Breteau e Predial. Brasília: Ministério da Saúde.

- Ministerio de salud de la Nación, 1999. Manual de normas y procedimientos del sistema Nacional de vigilancia epidemiológica Si.NA.VE. Revisión internacional 2.000. Capítulo 7. Enfermedades vectoriales. <http://www.direpi.vigia.org.ar/pdf/sinave.pdf>
- Ministerio de Salud de la Nación, 2002. Boletín Epidemiológico Nacional, 2002. Dirección de Epidemiología.
- Monath, T.P., 1980. Epidemiology. In: Monath, T.P. (Ed). St. Louis Encephalitis. Washington, DC: American Public Health Association; 1980:239-311.
- Monjeau J. Adrián, Camilo H. Rotela, Mario Lamfri, Jorge Márquez, C. Marcelo Scavuzzo, Ezequiel Gonzáles Rial, 2011. Estimating habitat suitability for potential hantavirus reservoirs in north-wester Patagonia using satellite imagery: Searching for the best predictive tools. *Mammalian Biology* 76 (2011) 409–416.
- Mora-Covarrubias A., Rubio Arias H.O. y Jiménez Castro J.A., 2008. Vigilancia entomológica de *Culex quinquefasciatus* Say, 1823, vector de enfermedades arbovirales en la zona urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Universidad y Ciencia. Tropico húmedo*. 24(2): 101-109.
- Morrison A.C., A. Getis, M. Santiago, J.G. Rigau-Perez and P. Reiter, 1998. Exploratory space-time analysis of reported dengue cases during an outbreak in Florida, Puerto Rico, 1991–1992. *Am J Trop Med Hyg*, vol. 58, p.p. 287-98.
- MSC - Ministerio de Salud de Chile 2007. Situación epidemiológica dengue en Isla de Pascua, Chile insular, 18/04/2007. Departamento de Epidemiología, Ministerio de Salud, Chile. Disponible en: <http://epi.minsal.cl/epi/html/bolets/reportes/Dengue/InfSituacDENGUEchile.pdf>.
- Muir L.E. y Kay B.H., 1998. *Aedes aegypti* survival and dispersal estimated by mark-release-recapture in Northern Australia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 58(3), 277-282.
- Municipalidad de Córdoba, 2006. Observatorio Urbano de la Ciudad. Secretaría de Planeamiento Finanzas y Desarrollo Económico. Indicador: Población Total por barrio. Ciudad de Córdoba. Año 2001. [http://www.cordoba.gov.ar/cordobaciudad/principal2/docs/observatorio/1\\_1DEMOGpototalPoblacion.pdf](http://www.cordoba.gov.ar/cordobaciudad/principal2/docs/observatorio/1_1DEMOGpototalPoblacion.pdf)
- Murray J., 2003. *Mathematical Biology II*. In: Springer-Verlag, Ed. Spatial models and biomedical applications. Berlin. 2003. 3rd Edition.

- Murray J., 2003. Spatial models and biomedical applications. *Mathematical Biology II*. 3rd Edition. Springer-Verlag, Berlin 2003.
- NASA official site, 2011. [http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/L5\\_td.html](http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/L5_td.html).
- Newman M.E.J., 2002. Spread of epidemic disease on networks. *Physical review E* 66: 016128.
- Ogunjemiyo S., Parker G. y Roberts D., 2005. Reflections in bumpy terrain: implications of canopy surface variations for the radiation balance of vegetation. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 2, Issue: 1, p.p. 90- 93, Jan. 2005.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 1986. *Aedes aegypti: biología y ecología*.
- OPS, 2007. Estrategia de Gestión Integrada de prevención y control de dengue para los Estados Partes y Asociados del MERCOSUR EGI-dengue MERCOSUR. Ministerios de Salud de Estados Partes y Asociados de MERCOSUR. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Disponible en <http://new.paho.org/hq/dmdocuments/2010/EGI-DENGUE%20ESTADOS%20PARTES%20Y%20ASOCIADOS%20DEL%20MERCOSUR.pdf>
- OPS, 2009. Boletín de OPS Dengue Hemorrhagic Fever (DHF) in the Americas, by Country: Number of Reported Cases of Dengue and Figures for 2009 (to week noted by each country) epidemiological Week/EW 28 (Updated 17 July 2009).
- OPS, 2011. Number of reported cases of dengue and dengue hemorrhagic fever in the Americas, by country". *Epidemiological Week / EW 52* (Updated 21 January 2011).
- OPS, 2011b. Cooperación Española con la OPS - Organización Panamericana de la Salud. Estrategia de Gestión Integrada (EGI) – Dengue. 20 de abril de 2011. Disponible en: <http://new.paho.org/blogs/esp/?p=746>. Última consulta: 2 de marzo de 2012.
- Organización Panamericana de la Salud, 1995. *Dengue y dengue hemorrágico en las Américas: guías para su prevención y control*. Washington (DC): OMS; Publicación Científica N° 548.
- Ostfeld RS, Glass GE, Keesing F., 2005. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. *Trends Ecol Evol*. 2005 Jun;20(6):328-36.
- Otero M, Solari H, Schweigmann N., 2006. A population dynamics model for *Aedes*

- aegypti: formulation and application to a city with tempered climate. *Bulletin of Mathematical Biology* 68: 1945-1974.
- PAHO - Pan-American Health Organization, 1994. *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever in the Americas: Guidelines for Prevention and Control*, PAHO Scientific Publication n. 548, Washington, 98 pp.
- Panamerican Health Organization, 2004. *Number of reported cases of Dengue & Dengue Hemorrhagic Fever (DHF), Region of the Americas*.  
[www.paho.org/English/AD/DPC/CD/dengue-cases-2003.html](http://www.paho.org/English/AD/DPC/CD/dengue-cases-2003.html)
- Pavlovsky E.N., 1966. *Natural Nidality of Transmissible Diseases, With Special Reference to the Landscape Epidemiology of Zoonthronose*. Urbana, Ill.: University of Illinois Press.
- Peralta GS, De Elia EA, Lanfri M, Porcasi X, Lanfri S, Frutos N, Rotela C., Scavuzzo M, Lanfri S., 2011. *Geomática aplicada a un Sistema de Alerta Temprana*. Congreso Argentino de Informática y Salud. 40JAIIO-CAIS 2011 - ISSN:1853-1881. (75 – 88.)  
 Disponible en <http://www.ibiomedic.net/wp-content/uploads/CAIS/CAIS2011-10.pdf>
- Pérez Martínez T., Iñiguez Rojas L, Sánchez Valdés L y R Remond Noa, 2003. *Vulnerabilidad Espacial al dengue. Una Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en el Municipio Playa de la ciudad de La Habana*. *Revista Cubana de Salud Pública*. Volumen 29. Número 4. Oct-Dic.
- Peterson AT, Papeş M, Soberón J. *Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling*. *Ecol. Model.* 2008;213:63–72.
- Peterson, A. T. 2001. *Predicting species' geographic distribution based on ecological niche modeling*. *The Condor* 103:599-605.
- Peterson, A. T. 2003. *Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling*. *The Quarterly Review of Biology* 78:419-433.
- Phillips S.J., Anderson R.P. y Schapire R.E. 2006. *Maximum entropy modelling of species geographic distributions*. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
- Porcasi X, Catalá SS, Hrellac H, Scavuzzo CM, 2006. *Infestation of rural houses by Triatoma infestans (Hemipera: Reduviidae) in the southern area of the Gran Chaco in Argentina*. *Journal of Medical Entomology* 2006; 30 (5):1060-1067.

- Porcasi X, Catalá SS, Hrellac H, Scavuzzo MC, Gorla DE, 2006. Infestation of rural houses by *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae) in southern area of Gran Chaco in Argentina. *J Med Entomol.* 2006 Sep;43(5):1060-7.
- Porcasi X., Calderón G., Lamfri M., Gardenal N., Polop J., Sabattini M., Scavuzzo C.M., 2005. The use of satellite data in modeling population dynamics and prevalence of infection in the rodent reservoir of Junin virus. *Ecological Modelling*, 185 (2-4), pp. 437-
- Porcasi X., Calderón G., Lamfri M., Scavuzzo C.M., Sabattini M., Polop J., 2006. Predictive Distribution Maps of Zoonoses Reservoir Rodents in a Southern America. *Mastozoología Neotropical.* 12(2):199-216
- Porcasi X., Rotela C.H., Introiini M.V., Frutos N., Lanfri S., Peralta G., De Elia E.A., Lanfri M.A., Scavuzzo C.M, 2012. An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology. *Geospat Health.* 6(3):S31-42.
- Porcasi, X, Calderón, G, Lamfri, M, Scavuzzo, CM., 2006. "Predictive Distribution Maps of Zoonoses Reservoir Rodents in a Southern America". *Mastozoología Neotropical* 2006; 12(2):199-216.
- Raffy M. y Tran A.L., 2005. On the dynamics of flying insects populations controlled by large scale information. *Theoretical Population Biology*, vol. 68. pp. 91–104, 2005.
- Randolph, S.E. and D.J. Rogers. 1997. A generic population model for the Africa tick *Rhipicephalus appendiculatus*. *Parasitology* 115: 265-279.
- Real Academia Española, 2001. *Diccionario de la Lengua Española - Vigésima segunda edición*, 2001. <http://www.rae.es/rae/html>.
- Real R., Guerrero J.C., Márquez A.L., Olivero J. y Vargas J.M., 2003. Tipificación corológica de los micromamíferos ibéricos en relación con Europa y África. *Graellsia*, 59(2-3): 287-298 (2003).
- Reiter P. y Gubler D.J., 1997. Surveillance and control of urban dengue vectors. From Gubler D.J & Kuno G. *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. CAB INTERNATIONAL. Pp.425-462.
- Reiter P., Amador M.A., Anderson R.A., Clark G.G., 1995. Dispersal of *Aedes aegypti* in an urban area after blood feeding as demonstrated by rubidium-marked eggs. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 52(2), 177-179.

- Reiter y Nathan, 2001. Guidelenes for Assessing the Efficacy of Insecticidal Space Spray for Control of the Dengue Vector *Aedes aegypti*. WHO, pp32.
- Richards A., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis. In: Springer-Verlag, Ed. Berlin:240.
- Richards J.A. y Jia X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer-Verlag, Germany.
- Richards J.A., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Richardson K., Hoffmann A.A., Johnson P., Ritchie S. y Kearney M.R., 2011. Thermal sensitivity of *Aedes aegypti* from Australia: empirical data and prediction of effects on distribution. *J Med Entomol* 48:914-923.
- Richerson P.J. y Lum K., 1980. Patterns of plant species diversity in California: relation to weather and topography. *American Naturalist*, 116: 504-536.
- Robinson T.P., 1998. Geographic Information Systems and the selection of priority areas for control of tsetse-transmitted trypanosomiasis in Africa. *Parasitol Today*; 14:457-60.
- Rodhain F. y L. Rosen., 1997. Mosquito vectors and dengue virus-vector relationships. En: Gubler, D.J. & G. Kuno (eds.), *Dengue and dengue hemorrhagic fever*. Ed. University Press, Cambridge, U.K. pp 45-61.
- Rodhain F., 1996. L'écologie d'*Aedes aegypti* en Afrique et en Asie. *Bull. Soc. Pathol. Exot.* 89(2), 103-106.
- Rogers D.J. y S.E. Randolph, 1993. Distribution of tse tse and ticks in Africa: past, present and future. *Parasitology Today* 9: 266-271.
- Rogers DJ y Randolph SE, 2003. Studying the global distribution of infectious diseases using GIS and RS. *Nat Rev Microbiol* 1(3):231-237.
- Rogers DJ, Randolph SE, Snow RW y Hay SI, 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 2002; 415:710-715.
- Rogers J., Myers M.F, Tucker C.J., Smith P.F., White D.J., Backenson P.B., Eidson M., Kramer L.D, Bakker B., Simon I.H., 2002. Predicting the distribution of West Nile Fever in North America using Satellite Sensor Data. *Journal of the America Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol 68, N 2.
- Rohde J, Cousens S, Chopra M, Tangcharoensathien V, Black R, Bhutta ZA, 2008. 30

- years after Alma-Ata: has primary health care worked in countries? *Lancet* 2008; 372:950–61. doi:10.1016/S0140-6736(08)61405-1 PMID:18790318
- Rossi GC, Lestani EA, D'Oria JM, 2006. Nuevos registros y distribución de mosquitos de la Argentina (Diptera: Culicidae). *Rev Soc Entomol Argent* 65: 51-56.
- Rotela Camilo, Florence Fouque, Mario Lamfri, Phillipe Sabatier, Virginia Introini, Mario Zaidenberg, Carlos Scavuzzo, 2007. Space–time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, Northern Argentina. *Acta Tropica* 103 (2007) 1–13.
- Rueda L.M., Patel K.J., Axtell R.C., Stinner R.E., 1990. Temperature-dependent development and survival rates of *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae). *J Med Entomol* 1990; 27:892-98,
- Ruiz MO, Tedesco C, McTighe TJ, Austin C, Kitron U., 2004. Environmental and social determinants of human risk during a West Nile virus outbreak in the greater Chicago area, 2002. *Int J Health Geogr.* 2004 Apr 20;3(1):8.
- Russomando, G., B. Paredes and E. Ferreira, 2007. GIS/GPS Operational Strategies in the national Program for Chagas Disease control, Paraguay. Pp:35-38. En: *Space Technology for E-Health. Med E-Tel Conference (U.N., ed.)*.
- Sa Fleitas MJ y Actis AS, 1959. Algunas enfermedades por virus y rickettsias como problema para la seguridad nacional. En: Bejarano J, Del Ponte E, Orfila R (eds). *Primeras Jornadas Entomoepidemiológicas Argentinas*, Buenos Aires 1959; 421-47.
- Sabattini MS, Avilés G y Monath TP., 1998 Historical, epidemiological and ecological aspects of arboviruses in Argentina: Flaviviridae, Bunyaviridae and Rhabdoviridae. In: Travassos da Rosa APA, Vasconcelos PFC, Travassos da Rosa JFS, editors. *An overview of arbovirology in Brazil and neighboring countries*. Belem, Brazil: Instituto Evandro Chagas Press; 1998:113-34.
- Salomon O.D., J.R. Rosa, M. Stein, M.G. Quintana, M. S. Fernández, A.M. Visintin, G.R. Spinelli, M. M. Bogado De Pascual, M.L. Molinari, L. Morán, D. Valdez & M. Romero Bruno, 2008. Phlebotominae (Diptera: Phlebotomidae) fauna in the Chaco region and Cutaneous Leishmaniasis transmission patterns in Argentina. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 103(6): 578-584.

- Salvatella Agrelo R., 2002. *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera, Culicidae), el vector del dengue y la fiebre amarilla. Universidad de la República Facultad de Medicina. Instituto de Higiene. <http://www.higiene.edu.uy/dengue.htm>.
- Salvatella R., 1997. *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). Notificación de su presencia en Uruguay. *Rev Méd Urug* 13: 118-121.
- San Martín J.L., Brathwaite O., Zambrano B., Solórzano J.O., Bouckennooghe A., Dayan G.H., Guzmán, M.G., 2010. The epidemiology of dengue in the Americas over the last three decades: A worrisome reality *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 82 (1), pp. 128-135.
- Sánchez L., V. Vanlerbergue, L. Alfonso, M. Marquetti, M.G. Guzmán, J. Bisset y P. van der Stuyft. *Aedes aegypti* larval indices and risk for dengue epidemics. *Emerging Infectious Diseases*, 12: 800-806, 2006.
- Sattenspiel, L. and K. Dietz (1995). "A structured epidemic model incorporating geographic mobility among regions." *Mathematical Biosciences* 128: 71-91.
- Sbarato D, Rotela C, Poggi JA, Cagliolo MF, 2004. Plan integral de forestación urbana: Ciudad de Córdoba, Argentina. In: Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Mundial de la Salud 2004:173.
- Scavuzzo C.M., Lamfri M.A., Caretti J.C., 2002. The Gulich Institute and the development of tools for applications of space information to epidemiology. 29th International Symposium on remote sensig of Enviromental, Bs.As. Abril 2002.
- Schatzmayr HG, 2000. Dengue situation in Brazil by year 2000. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 95: 179-181.
- Scheiner S.M. y Rey Benayas J.M., 1994. Global patterns of plant diversity. *Evolutionary Ecology* 8:331-347.
- Schneider y Deborah Droll, 2001. A timeline for dengue in the Americas to December 31, 2000, and noted first occurences. Pan American Health Organization. Division of Disease Prevention and Control.
- Schott J.R., 1989. Image processing of thermal infrared images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55: 1311-1321.

- Schweigmann N., Orellano P., Besan D., Kuruc J., Boffi R., 2006. *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse) in Eldorado (Misiones, Argentina). *Revista do Saúde Pública Sao Paulo, Brasil* 38 (1): 136-138.
- Secretaria de Saúde do Rio de Janeiro, 2009. Relatório de casos de Dengue – 2008. Rio de Janeiro. Available from: <http://www.riocontradengue.com.br/> [ultimo acceso 11 Marzo 2010].
- Seijo A, Cernigoi B, Deodato B, 2001. Dengue importado del Paraguay a Buenos Aires. *Medicina (Buenos Aires)*. 61: 137-141.
- Service MW., 1993. *Mosquito Ecology: Field sampling methods*. London: Chapman&Hall.
- Servicio Meteorológico Nacional. Datos Estadísticos (Período 1981-1990).  
<http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Salta&ciudad=Tartagal>.  
<http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Iguazu>.
- Última consulta 20 de Mayo de 2013. Servicio Meteorológico Nacional.
- Silverman BW, 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. In: Chapman and Hall, ed. New York 1986.
- Snow J.M.D., 1855. *On the Mode of Communication of Cholera*. London: John Churchill, New Burlington Street, England, 1855.
- SOBRINO J. A. y RAISSOUNI N., 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, 21(2): 353-366.
- Solano E., Solari L., Palomino M, Culqui D., Rotela C., Cabezas C., Suarez V., Scavuzzo C.M., 2006. Análisis espacio tiempo del brote de Dengue en Comas, Lima – Perú 2005. *Revista SELPER*.
- Spinsanti L, Ré, V, Diaz, MP and Contigiani, MS. Age-related seroprevalence study for St. Louis encephalitis in a population from Córdoba, Argentina. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo* 2002;44:59-62.
- Spinsanti L., Basquiera A.L., Bulacio S., Somale V., Kim S.C.H., Ré V., Rabbat D., Zárate A., Zlocowski J.C., Mayor C.Q., Contigiani M., Palacio, S., 2003. St. Louis encephalitis in Argentina: The first case reported in the last seventeen years. *Emerging Infectious Diseases*, 9 (2), pp. 271-273.

- Spinsanti L., Farías A., Aguilar J., Díaz M.P., Ghisiglieri S., Bustos M.A., Vilches N., González B., Contigiani, M., 2007. Risk factors associated with St. Louis encephalitis seroprevalence in two populations from Córdoba, Argentina. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 101 (12), pp. 1248-1252.
- Spinsanti LI, Díaz LA, Glatstein N, Arselán S, Morales MA, Farías AA, Fabbri C, Aguilar JJ, Ré V, Frías M, Almirón WR, Hunsperger E, Siirin M, Da Rosa AT, Tesh RB, Enría D, Contigiani M. Human outbreak of st. louis encephalitis detected in argentina, 2005. *Journal of Clinical Virology* 2008;42(1):27-33.
- Spinsanti Lorena Ivana, 2009. Epidemiología del virus encefalitis Saint Louis en la provincia de Córdoba. Tesis en Ciencias de la Salud - Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. 2009. [30], 149 h.: ilus., 30 cm.
- Spinsanti, L; Ré V.; Basualdo MA., 2000. Seroprevalencia de infección por el virus Encefalitis San Luis en la provincial de Formosa. *Medicina (B Aires)*, 60:474-476, 2000.
- Stein M., 2009. Dengue en la provincia del Chaco: Análisis de los factores que promovieron la situación en las zonas más afectadas. *Boletín de la sociedad Entomológica Argentina* n° 20 (1-2), Septiembre 2009.
- Tauil PL., 2001. Urbanization and dengue ecology. *Cad Saude Publica* 2001;17(Suppl):99–102. doi:10.1590/S0102-311X2001000700018 PMID:11426270
- Tejerina Edmundo Fabricio, Francisco Felipe Ludueña Almeida, Walter Ricardo Almirón, 2009. Bionomics of *Aedes aegypti* subpopulations (Diptera: Culicidae) from Misiones Province, northeastern Argentina. *Acta Tropica* 109 (2009) 45–49.
- Teklehaimanot A, Singer B, Spielman A, Tozan Y, Schapira A (2005) Coming to grips with malaria in the new millennium. UN Millennium Project. London: Earthscan.
- Terborgh, J., 1973. On the notion of favorableness in plant ecology. *American Naturalist*, 107: 481-501.
- Tiwari C. and Rushton G., 2010. A Spatial Analysis System for Integrating Data, Methods and Models on Environmental Risks and Health Outcomes. *Transactions in GIS*, 14: 177–195. doi: 10.1111/j.1467-9671.2010.01220.x.
- Townsend Peterson A, Vieglais DA, Andreasen JK, 2003. Migratory birds modeled as critical transport agents for West Nile Virus in North America. *Vector-Borne Zoonotic Dis*, 27-37.

- Tran A, Deparis X, Dussart P, Morvan J, Rabarison P, Remy F, Polidori L, Gardon J., 2004. Dengue spatial and temporal patterns, french guiana, 2001. *Emerging Infectious Diseases* 2004;10(4):615-21.
- Tran A, Gardon J, Weber S, Polidori L., 2002. Mapping disease incidence in suburban areas using remotely sensed data. *Am J Epidemiol* 2002; 156:662-8.
- Tran A., 2004. Télédétection et Épidémiologie: Modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle. Université Louis Pasteur Strasbourg France, pp200. <http://eprints-scd-ulp.u-strasbg.fr:8080/249/>
- Tran A.L., X. Deparis, P. Dussart, Morvan P, Rabarison F., Remy L., Polidori and J. Gardon. Dengue J spatial and temporal patterns, French Guiana, 2001. *Emerg Infect Dis*, vol. 10, p.p. 615-21. 2004.
- Tran AL, Deparis X, Dussart P, Morvan J, Rabarison P, Remy F, Polidori L, Gardon J., 2001. Dengue spatial and temporal patterns, French Guiana, 2001. *Emerg Infect Dis* 10(4):615-621. 2004.
- Tsai TF, Cobb WB, Bolin RA., 1987. Epidemiologic aspects of a st. louis encephalitis outbreak in mesa county, colorado. *Am J Epidemiol* 1987;126(3):460-73.
- Tsai TF, Smith GC, Happ CM, Kirk LJ, Jakob WL, Bolin RA, Francy DB, Lampert KJ., 1989. Surveillance of st. louis encephalitis virus vectors in grand junction, colorado, in 1987. *J Am Mosq Control Assoc* 1989;5(2):161-5.
- Tun-Lin W., B.H. Kay, A. Barnes y S. Forsyth, 1966. Critical examination of *Aedes aegypti* indices: correlation with abundance. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 54: 543-547, 1996.
- TUN-LIN, W., T.R. BURKOT & B.H. KAY. 2000. Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in North Queensland, Australia. *Med. Vet. Entomol.* 14: 31–37
- Turell M.J., Dohm D.J., Sardelis M.R., O'Guinn M.L., Andreadis T.G., Blow J.A., 2005. An Update on the Potential of North American Mosquitoes (Diptera: Culicidae) to Transmit West Nile Virus. *Journal of Medical Entomology* 42: 57-62.
- Van Dyk J.K., 2003. Mosquito Host-Seeking: a partial review Iowa State University Department of Entomology.

- Venables WN, Ripley BD, 1994. *Modern Applied Statistics with S-plus*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Vezzani D, Velazquez S, Soto S, Schweigmann N, 2001. Environmental characteristics of the cemeteries of Buenos Aires City (Argentina) and infestation levels of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Mem Inst Oswaldo Cruz, Río de Janeiro*, Vol. 96(4):467-471, May 2001
- Vezzani D., Carbajo A.E., 2008. *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and dengue in Argentina: current knowledge and future directions. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103, 66-74.
- Chander G. y Markham B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE T Geoscience Remote*, 41:2674-2677, 2003.
- Volante j., Bianchi A. R., Paoli H. P. y D.R. Fernández, 2004. Monitoreo de cultivos extensivos en el noroeste argentino a partir de sensores remotos. Campaña agrícola 2004–2005. INTA estación experimental agropecuaria, salta. [www.inta.gov.ar/prorenea](http://www.inta.gov.ar/prorenea). agosto de 2006.
- Watts D.M., Burke D.S., Harrison B.A., Whitmire R.E., Nisalak A., 1987. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue-2 virus. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 36(1), 143-152.
- Wheeler O.J., 1986. Spectral characterization of urban land covers from Thematic Mapper. E Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management. Enschede. Pp 893-898.
- Wood B.L., L.R. Beck, R.K., 1991. Washino, S. Palchnick and P. Sebesta. "Spectral and spatial characterization of rice field mosquito habitat." *Int J. Remote Sens*, vol. 2, p.p. 621-6.
- Wood BL, Beck LR, Washino RK, Hibbard KA, Salute JS, 1992. Estimating high mosquito-producing rice fields using spectral and spatial data. *Int J Remote Sens* 1992;13(15):2813-26.
- World Health Organization, 2009. *Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control*. Geneva.
- World Health Organization, 2010. *DengueNet database and geographic information system*. Geneva: disponible en [www.who.int/dengueNet](http://www.who.int/dengueNet)
- World Health Organization, 2010b. *Pandemic Influenza (H1N1) 2009*. Disponible en:

[www.who.int/csr/disease/swineflu/en](http://www.who.int/csr/disease/swineflu/en)

Yamazaki F., K. Kouchi y M. Matsuoka, 2006. Tsunami damage detection using moderate-resolution satellite imagery. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering April 18-22, 2006, San Francisco, California, USA.

Yang Guo-Jing, Penelope Vounatsou, Marcel Tanner, Xiao-Nong Zhou, Jürg Utzinger, 2006. Remote sensing for predicting potential habitats of *Oncomelania hupensis* in Hongze, Baima and Gaoyou lakes in Jiangsu province, China. *Geospatial Health* - Volume 1, Number 1, November 2006, Pages 85-92.

Yang K., Sun L.P., Huang Y.X., Yang G.J., Wu F., Hang D.R., Li W., Zhang J.F., Liang Y.S., Zhou X.N., 2012. A real-time platform for monitoring schistosomiasis transmission supported by Google Earth and a web-based geographical information system. *Geospatial Health* 6, 195-203.

Zak, MR, Cabido, M, Hodgson, JG., 2003. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future? *Biological Conservation* 2003; 120:589-598.

## **Anexo: Matriz de localización espacio-temporal de casos de Dengue.**

### **Tartagal 2004**

Matriz de localización espacio-temporal de casos totales del brote de Dengue de Tartagal 2004. Se exceptuaron los datos de distribución de casos de la Misión de pueblos originarios (por la baja resolución espacio-temporal de la notificación). Se aprecian los casos del brote en orden cronológico de notificación, indicando en la primera columna las coordenadas planas en X, en la segunda las coordinas en el eje Y, en la tercera la fecha calendario de inicio de síntomas y en la cuarta el día epidemiológico desde el primer caso notificado (día 1), hasta su cierre el día 109.

Coord. X	Coord. Y	Fecha Inic.Sint.	Día Epidem.
316	365	24-1-2004	1
467	121	25-1-2004	2
224	218	30-1-2004	7
299	221	30-1-2004	7
330	101	30-1-2004	7
409	113	30-1-2004	7
523	275	30-1-2004	7
343	161	2-2-2004	10
521	215	2-2-2004	10
440	257	2-2-2004	10
389	428	2-2-2004	10
422	446	2-2-2004	10
343	487	2-2-2004	10
205	127	3-2-2004	11
293	161	3-2-2004	11
275	272	3-2-2004	11
409	284	3-2-2004	11
293	332	3-2-2004	11
401	316	3-2-2004	11
308	497	3-2-2004	11
205	151	4-2-2004	12
332	122	4-2-2004	12
405	136	4-2-2004	12
474	125	4-2-2004	12
356	161	4-2-2004	12
395	173	4-2-2004	12
407	173	4-2-2004	12
459	325	4-2-2004	12
366	431	4-2-2004	12
307	78	5-2-2004	13
354	117	5-2-2004	13
205	125	5-2-2004	13
293	159	5-2-2004	13
486	231	5-2-2004	13
348	258	5-2-2004	13
399	313	5-2-2004	13
389	440	5-2-2004	13
394	450	5-2-2004	13
408	517	5-2-2004	13
330	109	8-2-2004	16
449	125	8-2-2004	16
503	182	8-2-2004	16
272	272	8-2-2004	16

307	493	8-2-2004	16
269	88	9-2-2004	17
293	151	9-2-2004	17
293	151	9-2-2004	17
359	233	9-2-2004	17
486	232	9-2-2004	17
274	315	9-2-2004	17
331	110	10-2-2004	18
369	124	10-2-2004	18
159	150	10-2-2004	18
320	185	10-2-2004	18
254	239	10-2-2004	18
397	232	10-2-2004	18
297	259	10-2-2004	18
516	264	10-2-2004	18
373	376	10-2-2004	18
435	484	10-2-2004	18
372	502	10-2-2004	18
411	269	11-2-2004	19
419	290	11-2-2004	19
430	419	11-2-2004	19
397	516	11-2-2004	19
209	154	13-2-2004	21
442	124	13-2-2004	21
417	256	13-2-2004	21
451	493	13-2-2004	21
442	124	15-2-2004	23
501	238	15-2-2004	23
417	282	15-2-2004	23
365	381	15-2-2004	23
325	466	15-2-2004	23
325	466	15-2-2004	23
356	474	15-2-2004	23
417	268	18-2-2004	26
335	301	18-2-2004	26
459	325	18-2-2004	26
357	444	18-2-2004	26
308	247	20-2-2004	28
417	282	20-2-2004	28
336	321	20-2-2004	28
316	452	20-2-2004	28
286	127	23-2-2004	31
307	165	23-2-2004	31
460	324	23-2-2004	31
453	338	23-2-2004	31

357	366	23-2-2004	31
397	516	23-2-2004	31
293	140	24-2-2004	32
332	162	24-2-2004	32
271	176	24-2-2004	32
373	490	24-2-2004	32
368	125	27-2-2004	35
442	124	27-2-2004	35
407	172	27-2-2004	35
407	172	27-2-2004	35
347	323	27-2-2004	35
463	508	27-2-2004	35
407	220	1-3-2004	38
516	244	1-3-2004	38
410	311	1-3-2004	38
393	387	1-3-2004	38
439	295	3-3-2004	40
458	295	3-3-2004	40
460	324	3-3-2004	40
313	420	3-3-2004	40
325	453	3-3-2004	40
277	90	5-3-2004	42
439	283	5-3-2004	42
457	284	5-3-2004	42
321	356	5-3-2004	42
308	198	6-3-2004	43
362	272	6-3-2004	43
439	271	6-3-2004	43
461	337	6-3-2004	43
468	193	8-3-2004	45
450	220	8-3-2004	45
414	242	8-3-2004	45
487	267	8-3-2004	45
312	474	8-3-2004	45
440	243	9-3-2004	46
410	310	9-3-2004	46
460	324	9-3-2004	46
342	366	9-3-2004	46
326	442	9-3-2004	46
428	482	9-3-2004	46
275	79	11-3-2004	48
413	195	11-3-2004	48
466	282	11-3-2004	48
476	282	11-3-2004	48
275	79	12-3-2004	49

270	175	12-3-2004	49
415	184	12-3-2004	49
385	308	12-3-2004	49
284	382	12-3-2004	49
475	267	13-3-2004	50
467	325	13-3-2004	50
467	325	13-3-2004	50
380	379	13-3-2004	50
369	430	13-3-2004	50
157	148	15-3-2004	52
231	143	15-3-2004	52
244	231	15-3-2004	52
487	254	15-3-2004	52
383	429	15-3-2004	52
139	151	17-3-2004	54
414	184	17-3-2004	54
333	356	17-3-2004	54
408	524	17-3-2004	54
259	144	18-3-2004	55
356	135	18-3-2004	55
349	300	18-3-2004	55
310	338	18-3-2004	55
277	91	20-3-2004	57
486	254	20-3-2004	57
309	329	20-3-2004	57
335	435	20-3-2004	57
380	116	22-3-2004	59
298	223	22-3-2004	59
516	246	22-3-2004	59
460	207	22-3-2004	59
310	338	22-3-2004	59
343	404	22-3-2004	59
317	440	22-3-2004	59
304	463	22-3-2004	59
275	44	23-3-2004	60
189	142	23-3-2004	60
294	150	23-3-2004	60
468	207	23-3-2004	60
421	411	23-3-2004	60
441	423	23-3-2004	60
336	447	23-3-2004	60
343	462	23-3-2004	60
289	54	24-3-2004	61
265	98	24-3-2004	61
249	151	24-3-2004	61

242	200	24-3-2004	61
485	193	24-3-2004	61
463	232	24-3-2004	61
487	242	24-3-2004	61
295	415	24-3-2004	61
334	435	24-3-2004	61
326	456	24-3-2004	61
326	456	24-3-2004	61
318	77	25-3-2004	62
293	164	25-3-2004	62
383	163	25-3-2004	62
415	195	25-3-2004	62
514	182	25-3-2004	62
308	233	25-3-2004	62
272	247	25-3-2004	62
476	254	25-3-2004	62
475	282	25-3-2004	62
400	300	25-3-2004	62
445	325	25-3-2004	62
467	324	25-3-2004	62
308	411	25-3-2004	62
334	435	25-3-2004	62
315	450	25-3-2004	62
315	450	25-3-2004	62
324	446	25-3-2004	62
324	446	25-3-2004	62
435	483	25-3-2004	62
406	137	26-3-2004	63
357	173	26-3-2004	63
332	173	26-3-2004	63
145	168	26-3-2004	63
487	231	26-3-2004	63
414	244	26-3-2004	63
514	251	26-3-2004	63
457	283	26-3-2004	63
399	308	26-3-2004	63
436	447	26-3-2004	63
315	474	26-3-2004	63
275	45	29-3-2004	66
305	102	29-3-2004	66
305	102	29-3-2004	66
305	102	29-3-2004	66
367	129	29-3-2004	66
380	137	29-3-2004	66
482	137	29-3-2004	66

396	172	29-3-2004	66
450	183	29-3-2004	66
361	198	29-3-2004	66
307	198	29-3-2004	66
242	200	29-3-2004	66
242	232	29-3-2004	66
242	232	29-3-2004	66
396	221	29-3-2004	66
372	264	29-3-2004	66
417	255	29-3-2004	66
371	265	29-3-2004	66
365	371	29-3-2004	66
331	427	29-3-2004	66
386	507	29-3-2004	66
288	73	31-3-2004	68
307	92	31-3-2004	68
279	109	31-3-2004	68
342	110	31-3-2004	68
203	149	31-3-2004	68
356	173	31-3-2004	68
372	233	31-3-2004	68
419	270	31-3-2004	68
468	325	31-3-2004	68
468	325	31-3-2004	68
392	405	31-3-2004	68
369	430	31-3-2004	68
352	432	31-3-2004	68
305	60	1-4-2004	69
289	75	1-4-2004	69
289	75	1-4-2004	69
289	75	1-4-2004	69
318	101	1-4-2004	69
368	111	1-4-2004	69
392	107	1-4-2004	69
260	141	1-4-2004	69
162	164	1-4-2004	69
271	175	1-4-2004	69
372	172	1-4-2004	69
358	184	1-4-2004	69
358	184	1-4-2004	69
512	181	1-4-2004	69
460	230	1-4-2004	69
486	255	1-4-2004	69
473	267	1-4-2004	69
439	270	1-4-2004	69

439	270	1-4-2004	69
400	300	1-4-2004	69
468	337	1-4-2004	69
283	346	1-4-2004	69
283	346	1-4-2004	69
368	429	1-4-2004	69
336	446	1-4-2004	69
325	445	1-4-2004	69
427	471	1-4-2004	69
428	485	1-4-2004	69
319	66	2-4-2004	70
319	82	2-4-2004	70
380	101	2-4-2004	70
357	162	2-4-2004	70
372	197	2-4-2004	70
559	194	2-4-2004	70
519	251	2-4-2004	70
475	266	2-4-2004	70
478	295	2-4-2004	70
467	295	2-4-2004	70
467	325	2-4-2004	70
386	308	2-4-2004	70
362	302	2-4-2004	70
354	353	2-4-2004	70
354	353	2-4-2004	70
301	374	2-4-2004	70
364	410	2-4-2004	70
419	459	2-4-2004	70
330	469	2-4-2004	70
344	506	2-4-2004	70
179	137	6-4-2004	74
318	129	6-4-2004	74
271	175	6-4-2004	74
414	171	6-4-2004	74
421	159	6-4-2004	74
512	181	6-4-2004	74
477	322	6-4-2004	74
361	198	13-4-2004	81
486	231	13-4-2004	81
530	247	13-4-2004	81
335	283	13-4-2004	81
335	283	13-4-2004	81
357	366	13-4-2004	81
440	505	13-4-2004	81
449	125	14-4-2004	82

250	155	14-4-2004	82
308	165	14-4-2004	82
332	173	14-4-2004	82
361	198	14-4-2004	82
407	196	14-4-2004	82
414	196	14-4-2004	82
559	194	14-4-2004	82
559	194	14-4-2004	82
559	194	14-4-2004	82
453	324	14-4-2004	82
305	390	14-4-2004	82
400	394	14-4-2004	82
427	484	14-4-2004	82
463	514	14-4-2004	82
282	50	15-4-2004	83
265	96	15-4-2004	83
233	142	15-4-2004	83
330	70	15-4-2004	83
271	175	15-4-2004	83
395	152	15-4-2004	83
357	184	15-4-2004	83
485	207	15-4-2004	83
499	229	15-4-2004	83
538	211	15-4-2004	83
560	194	15-4-2004	83
388	282	15-4-2004	83
274	286	15-4-2004	83
397	315	15-4-2004	83
410	310	15-4-2004	83
410	323	15-4-2004	83
375	375	15-4-2004	83
408	384	15-4-2004	83
450	460	15-4-2004	83
452	505	15-4-2004	83
377	514	15-4-2004	83
317	90	16-4-2004	84
357	94	16-4-2004	84
319	165	16-4-2004	84
211	140	16-4-2004	84
147	155	16-4-2004	84
214	484	16-4-2004	84
175	187	16-4-2004	84
242	200	16-4-2004	84
467	193	16-4-2004	84
538	211	16-4-2004	84

361	245	16-4-2004	84
271	223	16-4-2004	84
271	223	16-4-2004	84
287	247	16-4-2004	84
387	282	16-4-2004	84
455	350	16-4-2004	84
354	346	16-4-2004	84
457	448	16-4-2004	84
457	462	16-4-2004	84
420	492	16-4-2004	84
131	505	16-4-2004	84
451	513	16-4-2004	84
463	506	16-4-2004	84
307	80	26-4-2004	94
368	125	26-4-2004	94
381	129	26-4-2004	94
458	122	26-4-2004	94
293	151	26-4-2004	94
383	184	26-4-2004	94
397	196	26-4-2004	94
253	259	26-4-2004	94
361	245	26-4-2004	94
317	110	26-4-2004	94
360	221	26-4-2004	94
387	263	26-4-2004	94
374	283	26-4-2004	94
485	195	26-4-2004	94
528	229	26-4-2004	94
530	229	26-4-2004	94
275	287	26-4-2004	94
400	318	26-4-2004	94
400	318	26-4-2004	94
386	329	26-4-2004	94
373	358	26-4-2004	94
343	385	26-4-2004	94
363	411	26-4-2004	94
370	209	28-4-2004	96
513	181	28-4-2004	96
538	211	28-4-2004	96
486	268	28-4-2004	96
430	492	28-4-2004	96
305	117	29-4-2004	97
368	125	29-4-2004	97
356	147	29-4-2004	97
503	193	29-4-2004	97

320	211	29-4-2004	97
398	233	29-4-2004	97
501	254	29-4-2004	97
361	308	29-4-2004	97
450	412	29-4-2004	97
393	93	30-4-2004	98
307	110	30-4-2004	98
131	159	30-4-2004	98
383	197	30-4-2004	98
477	281	30-4-2004	98
411	295	30-4-2004	98
361	314	30-4-2004	98
276	316	30-4-2004	98
281	377	30-4-2004	98
367	102	3-5-2004	101
383	208	3-5-2004	101
415	209	3-5-2004	101
323	271	3-5-2004	101
349	271	3-5-2004	101
445	325	3-5-2004	101
376	397	3-5-2004	101
348	414	3-5-2004	101
378	514	3-5-2004	101
289	51	4-5-2004	102
186	127	4-5-2004	102
443	123	4-5-2004	102
476	501	4-5-2004	102
192	132	5-5-2004	103
417	256	5-5-2004	103
295	350	5-5-2004	103
361	401	5-5-2004	103
386	293	6-5-2004	104
361	307	6-5-2004	104
419	471	6-5-2004	104
481	121	10-5-2004	108
285	210	10-5-2004	108
384	209	10-5-2004	108
373	257	10-5-2004	108
319	158	11-5-2004	109
384	233	11-5-2004	109

