



Desarrollo de un mapa de riesgo epidemiológico de Leptospirosis en la ciudad de Rosario, utilizando datos provenientes de Sensores Remotos y de la Infraestructura de Datos Espaciales de Rosario

Resumen:

La reemergencia de enfermedades zoonóticas, está asociada con cambios ecológicos que favorecen el incremento de sus vectores. En marzo de 2007, en Rosario (Santa Fe, Argentina) acaecieron intensas lluvias provocando inundaciones/anegamientos; se evacuaron miles de personas y ocurrió un brote de Leptospirosis, enfermedad transmitida por roedores (98 casos sospechosos y 6 óbitos de causa probable).

Objetivo: construir un mapa de riesgo para Leptospirosis utilizando variables ambientales derivadas de imágenes satelitales y datos disponibles en la Infraestructura de Datos Espaciales de Rosario (IDERosario).

Metodología: Estudio retrospectivo, que incluyó el periodo 04/04 al 16/05 de 2007, donde ocurrieron los casos. Se trabajó con espacios territoriales donde se localizaron casos confirmados (21) y donde no se localizaron (38). Se utilizaron imágenes satelitales Landsat 5TM (17/03, 18/04 y 20/05) y bases cartográficas de vías férreas, zonas de vegetación y zonas inundadas/anegadas. Considerando los posibles habitats de los roedores (cercanía al río, vías férreas y zonas de vegetación) y la modificación de su radio de acción por inundaciones, se calcularon: 1) índices de vegetación, humedad y suelo; 2) capas de variación agua y vegetación entre fechas cercanas a la inundación; 3) áreas de influencia (distancia) de áreas inundadas y vías férreas. Estas variables se analizaron mediante regresión logística. Software: ENVI 4.3 y Statistica7.

Resultados y conclusiones: Las variables de mayor poder predictivo fueron la distancia a las zonas inundadas/anegadas y bandas 1 (0.45-0.52 μm) y 5 (1.55-1.75 μm) de la imagen Landsat del 18/04. Utilizando los coeficientes y el modelo obtenido de la regresión, se construyó un mapa de riesgo preliminar.

Los datos y servicios aportados por la IDERosario, y los disponibles en las imágenes satelitales utilizadas, permitieron construir un mapa preliminar de riesgo, constituyéndose en un valioso instrumento que fortalecería acciones de prevención en salud e intervenciones sanitarias ante futuros brotes.

Palabras claves: leptospirosis, sensores remotos, infraestructura de datos espaciales.

Introducción

La Leptospirosis es una enfermedad zoonótica bacteriana que afecta a humanos y animales. Los reservorios primarios son las ratas y el ratón de campo común (*Rattus norvegicus*, *R. rattus* y *Mus musculus*)¹ que excretan grandes cantidades de bacterias a través de su orina, pero también se las encuentra en perros, bovinos, porcinos y equinos.

Si bien esta enfermedad puede presentarse como un cuadro leve, también puede llevar a complicaciones, a veces letales. La relevancia de este estudio radica en la posibilidad de brindar herramientas a fin de realizar acciones de prevención en cuanto al control de roedores y saneamiento ambiental.

El objetivo de este proyecto consiste en identificar variables medioambientales relacionadas con el brote de Leptospirosis y con capacidad predictora del mismo, mediante la utilización de datos provenientes de Sensores Remotos (S.R.) y de la Infraestructura de Datos Espaciales de Rosario (IDE Rosario), con el propósito de construir un mapa de riesgo.

Las zonas cercanas al río y las aledañas a las vías férreas son las más habitadas por los roedores y cuanto más cerca esté el hombre del animal, mayores son los riesgos de contagiarse. Los

¹ Vanasco, N.; Sequeira, M.; Sequeira, G.; Tarabla, H.; "Factores de riesgo de Leptospirosis en roedores". Anuario 2002. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002/a2002_p68.htm.

baldíos urbanos son hábitats claves para el desarrollo de estos roedores, que favorecidos por su superioridad competitiva frente a roedores de otras especies, se encuentran en estos terrenos en grandes cantidades. Las viviendas contiguas a los baldíos representan un gran riesgo, ya que las paredes no son ningún impedimento para la diseminación de los mismos.

El espacio en el que un roedor se mueve durante un día se conoce como radio de acción. Estos animales acostumbran recorrer todos los días los mismos sitios en un área de cientos de metros, pero ante eventos climáticos adversos, migran desde las zonas inundadas concentrándose en áreas más seguras.

La infección por *Leptospira* se produce por consumo o exposición a las aguas y alimentos contaminados, pudiendo penetrar también a través de piel intacta o por mordedura de animales contaminados. La enfermedad puede variar desde un simple resfrío hasta una enfermedad severa, con disfunción hepática, renal y respiratoria, pudiendo llegar hasta la muerte. El período de incubación es de 1 a 2 semanas y en general no se transmite de persona a persona. Se la puede encontrar tanto en zonas rurales como urbanas y en todas las edades.

Las condiciones ambientales ideales para la proliferación de la bacteria son humedad alta, pH del agua neutro o ligeramente alcalino y temperaturas que oscilan entre los 20 y 30 °C. Las bacterias generalmente mueren al estar expuestas al calor, la luz, detergentes o desinfectantes, pero pueden permanecer viables en aguas alcalinas o en suelos húmedos.

La Leptospirosis se da generalmente en sectores urbanos empobrecidos, donde no se satisfacen las condiciones de saneamiento básico, en términos de disponibilidad de agua potable, disposición de los desechos, ventilación, espacio e infraestructura de alojamiento. Además, todos estos factores se ven agravados en condiciones climáticas adversas.

En este contexto, estos determinantes propician un aumento en la susceptibilidad tanto en humanos como en animales para desarrollar esta infección, situaciones que son prioritarias de abordar en el marco de las políticas públicas en Salud.

Brote de Leptospirosis en la ciudad de Rosario

En la ciudad de Rosario, se registró un brote de Leptospirosis en el mes de marzo de 2007, luego de producirse inundaciones y/o anegamientos a causa de fuertes precipitaciones.

La ciudad² está ubicada entre los paralelos 32° 52' 18" Sur y 33° 02' 22" Sur y los meridianos 60° 36' 44" Oeste y 60° 47' 46" Oeste, con una superficie total de 178,69 Km² y una población de aproximadamente 945.000 habitantes. En cuanto a la hidrografía, al este se ubica el río Paraná, así como los arroyos Ludueña al norte y Saladillo al sur, cruzando el municipio de oeste a este. La zona es de llanura ondulada con clima templado con temperatura promedio anual de 23,4 °C (máxima) y de 11,6 °C (mínima). El volumen de precipitaciones es de 1.038 milímetros al año.

Desde el 26 al 31 de marzo del 2007 cayeron en la ciudad aproximadamente 380 mm, inundando amplias zonas. Más de 4.000 mujeres y niños fueron evacuados, mientras que los hombres permanecieron en sus hogares.

En el brote se registraron 98 casos sospechosos, de los cuales 26 se confirmaron, 27 se descartaron, quedando 5 como probables y 40 como sospechosos. Se internaron 58 pacientes, en tanto el resto recibió atención ambulatoria. Se registraron 6 muertes entre los casos sospechosos³.

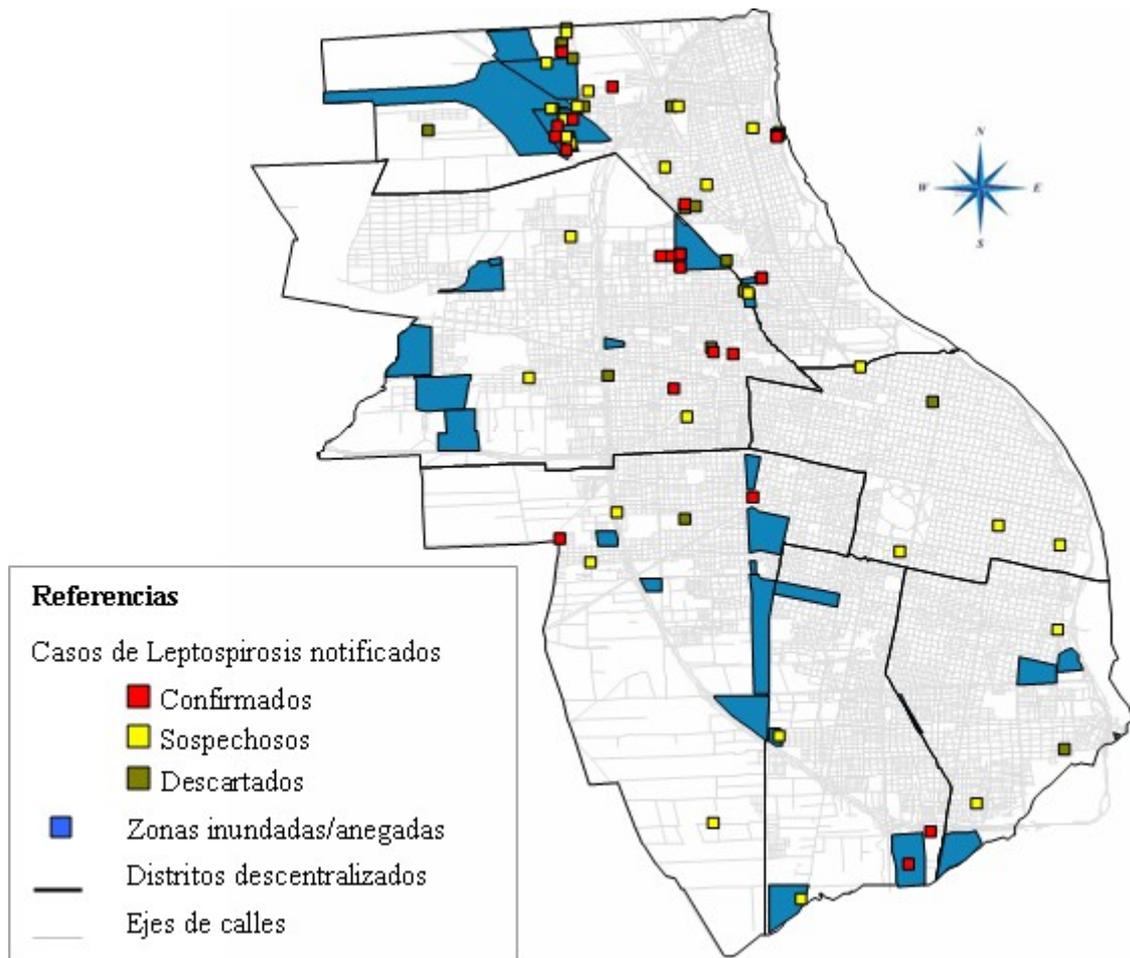
Las zonas inundadas/anegadas se caracterizaban por bajas condiciones socio-económicas y en el trabajo en terreno, se visualizaron criaderos de cerdos, perros vagabundos y basurales⁴ (*Figura 1*).

² IDE Rosario. www.rosario.gov.ar

³ Dirección de Servicios de Laboratorio y Análisis Clínicos. Secretaría de Salud Pública. Municipalidad de Rosario.

⁴ Sistema Municipal de Epidemiología (Si.M.E.). Secretaría de Salud Pública. Municipalidad de Rosario.

Figura 1: Localización de los casos de Leptospirosis notificados y de las zonas inundadas/anegadas en la ciudad de Rosario⁵. Período: 04/04 al 16/05 de 2007.



A los fines de identificar las variables ambientales con capacidad predictiva relacionadas con el brote de Leptospirosis, se utilizaron imágenes satelitales y bases cartográficas.

Dado que las intensas lluvias ocurrieron del 26 al 31 de marzo de 2007 y en función de la disponibilidad en el catálogo de la CONAE, se seleccionaron las imágenes satelitales Landsat 5 TM, compuestas por 7 bandas del espectro electromagnético, en las siguientes fechas:

- ✓ 17 de marzo (previo al brote)
- ✓ 18 de abril (durante el brote)
- ✓ 20 de mayo (después del brote)

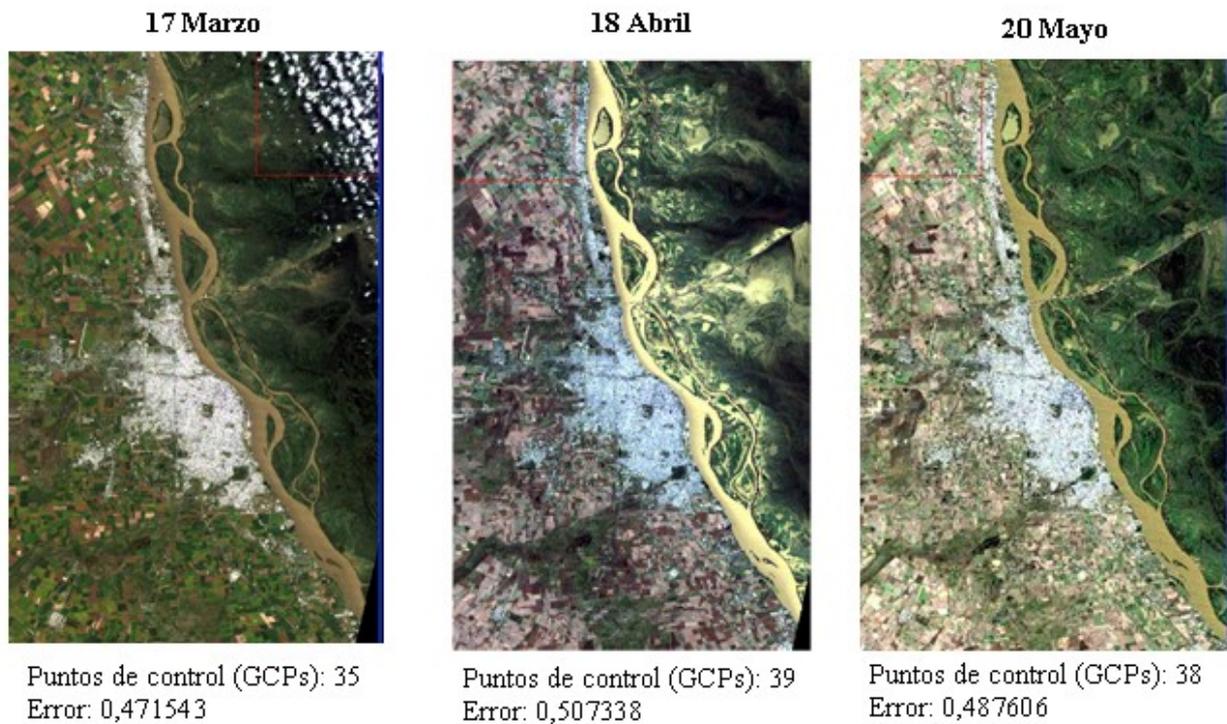
Existían disponibles otras imágenes que contenían grandes áreas cubiertas de nubes dificultando su análisis, motivo por el cual fueron descartadas.

Las imágenes de la CONAE fueron georreferenciadas (Figura 2) utilizando como base, una imagen de la University of Maryland⁶, correspondiente al satélite Landsat 7 ETM+ del 22 de abril de 2000.

⁵ Mapa elaborado por SiME, utilizando el software SIGEpi (Sistema de Información Geográfica en Epidemiología y Salud Pública, versión 1.0 .4.0 O.P.S. 2001-2004). Bases cartográficas disponibles en IDE Rosario, con datos provenientes de la Dirección General de Topografía y Catastro. Datos de zonas inundadas/anegadas proporcionados por Defensa Civil y reparticiones de los Distritos Municipales.

⁶ Web: <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

Figura 2: Georreferencia de las imágenes Landsat 5.



Se realizó un recorte de las imágenes en estudio, para facilitar la obtención de índices y otros indicadores ambientales, a saber:

- 1) Índice normalizado de vegetación (NDVI).
- 2) Índice normalizado de agua (NDWI).
- 3) Índice normalizado de suelo (NDSI).
- 4) Tasseled Cap.
- 5) Diferencia de agua:
 - a. Pre y durante brote
 - b. Durante y pos brote
- 6) Diferencia de vegetación:
 - a. Pre y durante brote
 - b. Durante y pos brote

El NDVI es un indicador sensible de la presencia y condición de la vegetación. Permite realizar la identificación y el seguimiento de áreas afectadas por eventos climatológicos.

El NDWI se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo.

El NDSI permite detectar el contenido de humedad en las plantas, siendo el contenido de agua también un indicador del estado de vigor de la vegetación. Valores bajos representan zonas densas de vegetación o vegetación con mayor vigor, valores medios indican vegetación más dispersa y con influencia de suelos, mientras que valores más altos indican dominancia de suelos.

El índice Tasseled Cap es una transformación que consiste en pasar 6 bandas de Landsat a 3 bandas que representan brillo, verdor y humedad.

Las diferencias de agua y vegetación son transformaciones (diferencias aritméticas píxel a píxel de las radiancias de distintas fechas) que permiten cuantificar la variación de humedad y vegetación acaecida luego del evento climático.

Se identificaron como hábitats propicios para los roedores a las cercanías a las vías del ferrocarril, las zonas de tupida vegetación y las zonas potencialmente inundables/anegables⁷. Luego de ocurridas las intensas lluvias, los animales modificaron su radio de acción, probablemente, buscando lugares más seguros y distantes. Por este motivo se construyeron las áreas de influencia asignándoles un radio buffer de 1.500 metros (50 píxeles) alrededor de estos nuevos hábitats. (Figura 3).

⁷ Bases cartográficas disponibles en la IDE Rosario, diseñadas por la Dirección General de Topografía y Catastro – Dirección de Cartografía - Departamento de Cartografía Digital. Municipalidad de Rosario.

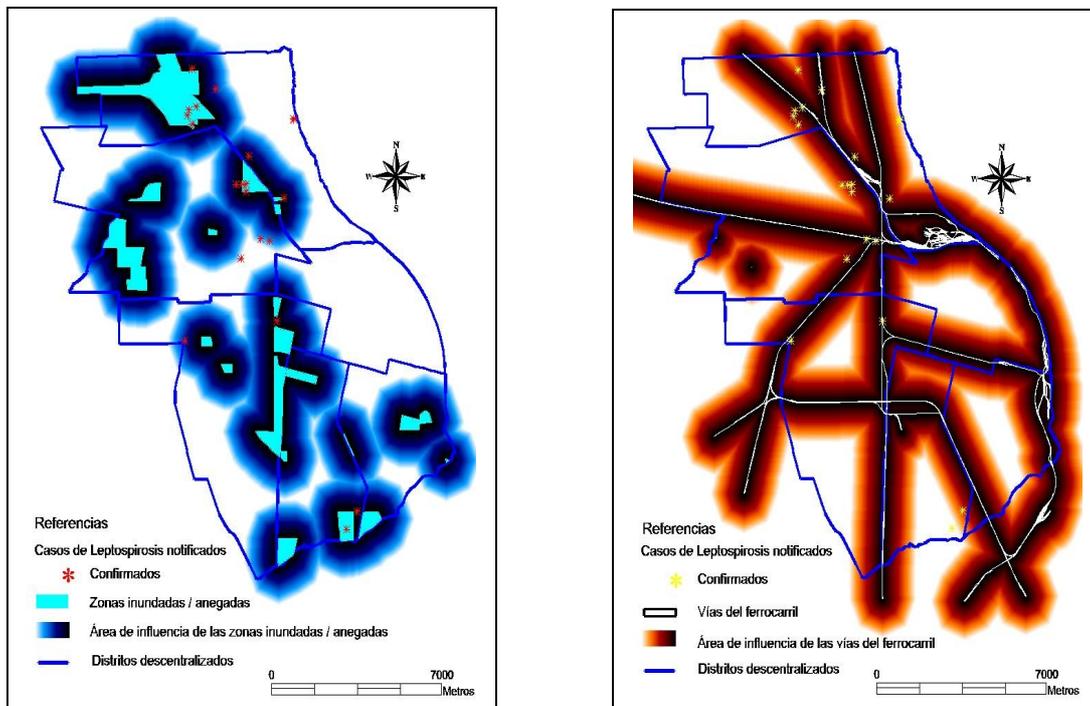


Figura 3: Localización de los casos de Leptospirosis, en las áreas de influencia de las zonas inundadas/anegadas y de las vías del ferrocarril en la ciudad de Rosario. Período: 04/04 al 16/05 de 2007.

Como resultado del cálculo de lo anteriormente expuesto, se obtuvo un total de 46 bandas que proporcionan información del territorio en estudio, donde la menor unidad de análisis es un área de 30x30m (píxel) (Tabla 1).

Tabla 1: Variables disponibles (46 bandas)

Variables	Detalle (N° de bandas)	Rango de variación
Distancia a la zona inundada/anegada	1	0 a 50
Distancia a las vías del ferrocarril	1	0 a 50
Distancia a la zona de vegetación	1	0 a 10
Imagen Landsat 5 - 17/03/2007 original	7	0 a 255
Imagen Landsat 5 - 18/04/2007 original	7	0 a 255
Imagen Landsat 5 - 20/05/2007 original	7	0 a 255
NDVI (pre, durante y pos brote)	3	-1 a 1
NDWI (pre, durante y pos brote)	3	-1 a 1
NDSI (pre, durante y pos brote)	3	-1 a 1
Tasseled Cap: brillo, vegetación y humedad (pre, durante y pos brote)	9
Diferencia del NDVI (pre - durante brote)	1	-2 a 2
Diferencia del NDVI (durante - pos brote)	1	-2 a 2
Diferencia del NDWI (pre - durante brote)	1	-2 a 2
Diferencia del NDWI (durante - pos brote)	1	-2 a 2
Total	46	-----

A los fines de poder determinar variables medioambientales relacionadas con el brote y con capacidad predictiva en cuanto a la presencia o ausencia de casos de Leptospirosis en el territorio, se consideró el espacio territorial correspondiente a la localización del domicilio de los 21 casos

confirmados (grupo A) y se seleccionaron en forma independiente 350 espacios territoriales donde no ocurrieron casos (grupo B) utilizando muestreo simple al azar (*Figura 4*).

Figura 4: Localización de espacios territoriales con presencia y ausencia de casos de Leptospirosis.



Grupo A: 21 espacios territoriales

Grupo B: 350 espacios territoriales

Dado que un número importante de espacios territoriales donde no ocurrieron casos se ubicaron fuera de la ciudad de Rosario, se procedió a realizar un recorte de las imágenes circunscripto a los límites de la misma, obteniéndose 38 espacios.

Estos espacios territoriales (grupos A y B) se constituyeron en lo que se denomina “región de interés” (ROI), obteniéndose en cada uno de ellos información de las 46 bandas vinculadas con el brote.

En la obtención de los índices y de los ROI se utilizó el programa ENVI 4.3. A los fines de obtener un modelo predictivo, se usó Regresión Logística⁸ disponible en el software Statistica 7. Esta técnica estadística tiene por objetivo modelar cómo influye en la probabilidad (p) de aparición de un suceso, la presencia o ausencia de diversos factores y el valor o nivel de los mismos.

$$p = \frac{1}{1 + e^{-f(x)}}$$

Donde

$$f(x) = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n$$

b_0, b_1, \dots, b_n coeficientes de regresión.

x_1, \dots, x_n variables explicativas.

Del total de variables consideradas en el análisis, la distancia a las zonas inundadas/anegadas y la banda 5 correspondiente a la imagen satelital del 18 de abril (durante el brote) resultaron significativas ($p < 0,05$), en tanto que la banda 1 correspondiente a la misma fecha también ingresó en el modelo pero con una probabilidad asociada menor ($p < 0,1$). En la *Tabla 2* se muestran las variables que ingresaron en el modelo predictivo (x_1, \dots, x_n), el valor de los coeficientes (b_0, b_1, \dots, b_n), su error standard, el valor de la estadística Chi² Wald que permite contrastar si el coeficiente es significativamente diferente de 0 y el valor de probabilidad asociado (P).

⁸ Hosmer, D.; Lemeshow, S. "Applied Logistic Regression". Edition: John Wiley. New York, 1989.

Tabla 2: Variables predictivas en el modelo y sus correspondientes estadísticas.

VARIABLES	COEFICIENTES	ERROR STANDARD	CHI² WALT	P	NIVEL SIGNIF.
Intercepto	-0,259254	2,152519	0,014506	0,904133	No
Distancia a las zonas inundadas/anegadas	0,046939	0,017316	7,348526	0,006712	p<0,05
Banda 1*	-0,064983	0,038065	2,914463	0,087789	p<0,10
Banda 5*	0,067405	0,033065	4,155691	0,041495	p<0,05

*Nota: las bandas 1 y 5 corresponden a la imagen satelital del 18/04/2007.

Los valores obtenidos a partir del modelo predictivo se comparan con los valores observados. Este modelo tiene un buen ajuste cuando da valores mayores a 0,5 al predecir las zonas donde ocurrieron los casos y cuando da valores menores a 0,5 al predecir la mayoría de las zonas donde no ocurrieron casos (*Tabla 3*).

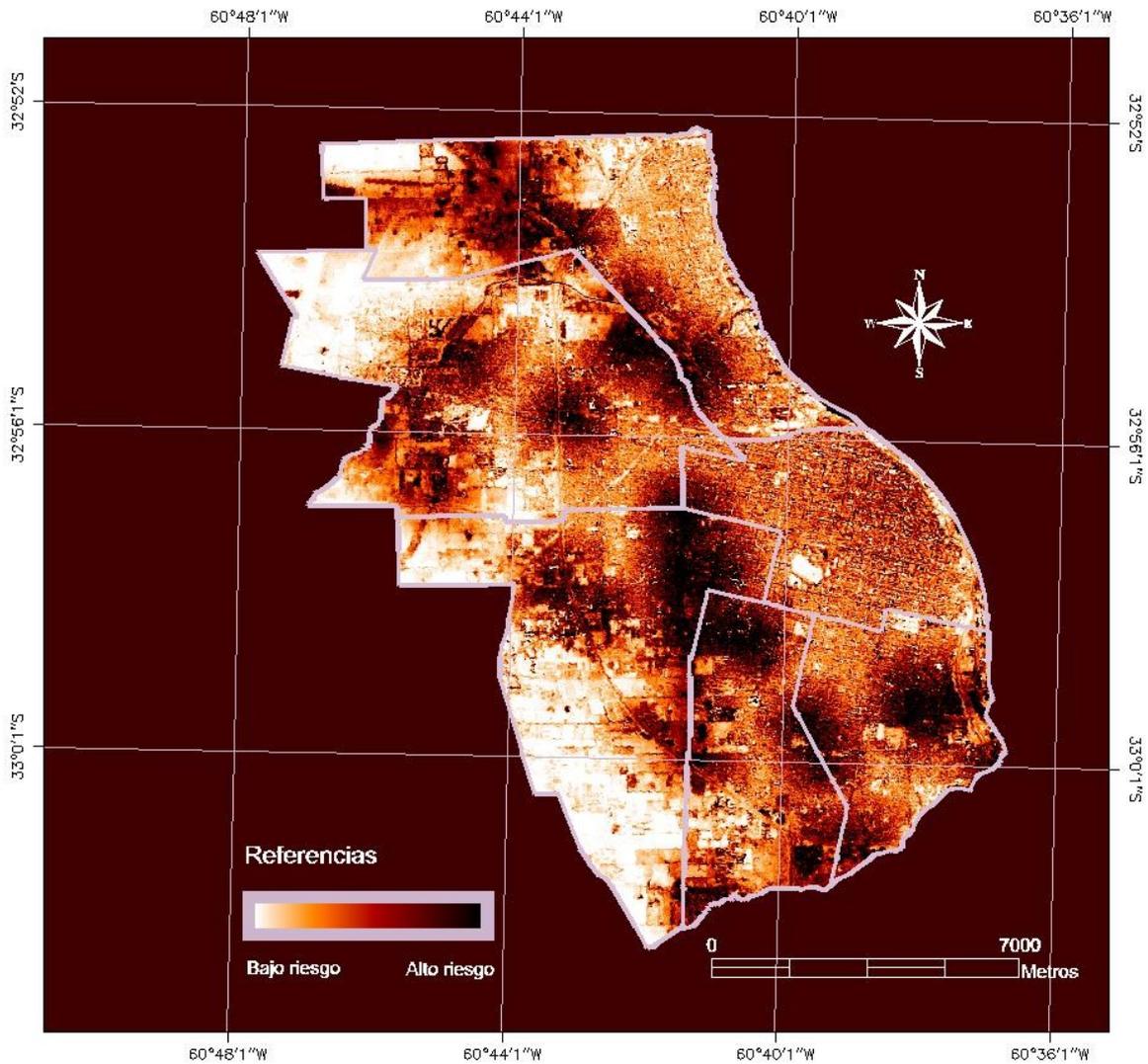
Tabla 3: Valores predichos versus valores observados

Predichos	Grupo A	Grupo B	Total
Observados			
Grupo A	11	10	21
Grupo B	7	31	38
Total	18	41	59

Mapa preliminar de riesgo epidemiológico de Leptospirosis en la ciudad de Rosario

Las bandas que resultaron significativas en el modelo, sus correspondientes coeficientes y el modelo matemático se utilizaron para construir un primer mapa preliminar de riesgo de Leptospirosis para la ciudad de Rosario. Para ello se usó una herramienta disponible en ENVI: "matemática de bandas" (*Figura 5*).

Figura 5: Mapa preliminar de riesgo epidemiológico de Leptospirosis en la ciudad de Rosario, según sus distritos descentralizados. Año 2007.



En la Figura, el color rojo intenso dentro de los límites del municipio de Rosario, muestra las zonas con mayor probabilidad de riesgo de aparición de casos de Leptospirosis.

Conclusiones

Con el propósito de desarrollar un mapa de riesgo que permita obtener las zonas más probables de aparición de un brote de Leptospirosis, se buscaron variables relacionadas con este evento.

De la utilización de los datos, provenientes tanto de IDE Rosario como de las imágenes satelitales (indicadores medioambientales), se obtuvieron en total 46 variables. Las que tuvieron mayor peso predictivo fueron:

- ✓ La distancia a las zonas inundadas/anegadas, confirmando que la cercanía a las mismas implica una mayor probabilidad de riesgo de enfermar.
- ✓ La Banda 1, que permite diferenciar entre suelo y vegetación.
- ✓ La Banda 5 (infrarrojo medio), que es un indicativo del contenido de humedad de la vegetación y del suelo.

Estas variables, sus correspondientes coeficientes y el modelo matemático se utilizaron para construir un primer mapa preliminar de riesgo de Leptospirosis para la ciudad de Rosario.

Consideraciones finales

En este desarrollo ha quedado en evidencia una de las utilidades de las imágenes satelitales. Las mismas se incorporaron como una nueva fuente de datos al estudio epidemiológico de enfermedades, principalmente para las transmitidas por vectores, tornándose así la Epidemiología

Panorámica en una valiosa disciplina que permitiría, entre otras aplicaciones, fortalecer las acciones de prevención de la salud de los habitantes.

Cabe destacar que el uso de esta nueva herramienta en el ámbito epidemiológico se constituye en un punto de partida en la construcción de mapas de riesgo, quedando pendiente incorporar al análisis la siguiente información disponible: densidad poblacional, índice de condiciones saludables, localización de basurales, localización de lotes baldíos, trampeo de roedores, entre otras; como también investigar los casos ocurridos distantes de las zonas inundadas/anegadas. A futuro se prevé incorporar al proyecto imágenes SAR (radar), las que posibilitarían una mejor interpretación en épocas lluviosas.

Una vez finalizado este mapa, será incluido en el catálogo de datos de la IDE Rosario, entendiendo que este producto permitiría facilitar, la gestión al momento de fortalecer acciones de prevención y las intervenciones sanitarias ante la ocurrencia de un nuevo brote.

Bibliografía

- Alonso, P. Tema 9. “*Obtención de variables físicas a partir de respuestas espectrales*”. Fotointerpretación y Teledetección. SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia (SIGMUR). <http://www.um.es/geograf/sigmur/index.html> Junio, 2006.
- Barcellos, C.; Sabrosa, C. “*The Place behind the case: leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro*”. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(suplemento):59-67,2001.
- Bense, T. “*Índices N-Dimensionales – Tasseled Cap*” Tutorial – Introducción a la Percepción Remota. Sextas Jornadas de Educación y Primeras Uruguayas en Percepción Remota en el Ámbito del MERCOSUR. Noviembre de 2007.
- Chuvieco, E. “*Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*”. Editorial: Ariel, S.A. Barcelona, 2006.
- Comisión Científica sobre Leptospirosis de la República Argentina. “Informe sobre Leptospirosis en la República Argentina”, 2006.
- Hosmer, D.; Lemeshow, S. “Applied Logistic Regression”. Edition: John Wiley. New York, 1989.
- Lamfri, M; Scavuzzo, M. “*Índices de Vegetación y su uso en sensado remoto*”. Doc. N° CEHTN – 0010A. CONAE. Julio, 2002.
- *Manual de control de roedores en Municipios*. Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Instituto Nacional de Enfermedades Virales Humanas (INEVH). Fundación Mundo Sano, 2003.
- McGwire, K.; Boone, J.; Jeur, S. “*Field Sampling Design for Zoonoses with Geospatial Technologies*”. Revista Journal SELPER. Edición Especial 2005. Pag. 52-56.
- Moliner, L. “*La Regresión Logística (I)*”. Asociación de la Sociedad Española de Hipertensión. <http://www.seh-lelha.org/pdf/rlogis1.pdf>. Enero, 2001.
- Moragues, J.; Hernández, A. “*Uso de la información espacial para la gestión de Salud*”. CONAE – Ciclo VI. Junio, 2003.
- Polop, J.; Porcasi, X.; et al. “*Sensores Remotos en el Estudio de Reservorios de Enfermedades Zoonóticas*”. Revista Journal SELPER. Edición Especial 2005. Pag. 8-13.
- Rodrigo, E.; Soldano, A.; Serafin, M. “*Generación de cartografía sobre susceptibilidad a Inundaciones en las Islas del Delta Superior y Medio del río Paraná*”. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Enero de 2009. www.geonet.es.
- Scavuzzo, C.; Fea, M.. “*Internacional Workshop on space Technologies applies to Human health for the Benefit of latin american and caribbean countries -some highlights*”. Revista Journal SELPER. Edición Especial 2005. Pag. 5-7.
- Vanasco, N.; Sequeira, G.; Dalla Fontana, M.; Fusco, S.; Sequeira, M.; Enría, D. “*Descripción de un brote de leptospirosis en la ciudad de Santa Fe, Argentina, marzo-abril de 1998*”. Rev. Panam. Salud Pública 2000; 7 (1): 35-40.
- Vanasco, N.; Sequeira, M.; Sequeira, G.; Tarabla, H.; “*Factores de riesgo de leptospirosis en roedores*”. Anuario 2002. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002/a2002_p68.htm.