

Rosario, 26 de noviembre de 2018

Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales
Curso de postgrado

"Procesamiento de series de tiempo en GRASS GIS. Aplicaciones en Ecología y Ambiente"

Fecha: 22 al 26 de octubre de 2018

Docente: Dra. Verónica Andreo

INFORME DE EVALUACIÓN

Título: Evaluación del riesgo epidemiológico de leptospirosis en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina), período 2013 – 2015

Estudiante: Lic. Laura Rita Balparda

Introducción

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica bacteriana que afecta a humanos y animales. Los reservorios primarios de la leptospira son las ratas y la laucha domestica (*Rattus norvegicus*, *Rattus rattus* y *Mus musculus*, respectivamente) que excretan grandes cantidades de bacterias a través de su orina. No obstante, dicho micro-organismo también se presenta en perros, bovinos, porcinos y equinos [1] [2].

La infección por leptospira en humanos se produce por transmisión directa o indirecta. La leptospirosis 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 los casos se presentan tanto en zonas rurales como urbanas y en todos los rangos etarios [1] [3] [4].

Numerosos factores ambientales, sociales y económicos son determinantes de la ocurrencia de casos y brotes epidémicos (más frecuentes en períodos de lluvias intensas e inundaciones, en presencia de altas temperaturas ambientales). La urbanización sin planificación territorial (asentamientos irregulares), donde prima el acceso inadecuado al agua potable, al saneamiento y a otras infraestructuras, con calidad estructural deficiente de la vivienda, hacinamiento, deficiente tratamiento de los residuos sólidos, cercanías a vías de ferrocarriles, entre otros, compone un ambiente propicio para la aparición de casos de leptospirosis. En estas zonas es común la presencia de animales de producción y domésticos sin control sanitario. Es así que estos asentamientos componen un escenario plausible de presentar un grave problema de salud pública [1] [5] [6] [7] [8].

En el control de una enfermedad zoonótica, es fundamental el conocimiento de las variables necesarias para mantener viable el patógeno en la naturaleza, sus condiciones medioambientales, ecológicas, climáticas, interacciones con reservorios y vectores, la manifestación de infección/enfermedad en poblaciones humanas. Este conocimiento permite identificar la distribución espacial y temporal del riesgo de enfermedad en el paisaje. Considerar la visión del entorno o paisaje que rodea al hombre que puede enfermar da lugar al concepto de eco-epidemiología o epidemiología panorámica (landscape epidemiology). En la actualidad, las tecnologías geoespaciales de la teledetección, los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) proporcionan herramientas para abordar los objetivos de la epidemiología panorámica. Es decir, a partir de las imágenes captadas por sensores remotos es posible obtener datos que combinados con datos de terreno permiten evaluar la disposición espacial y temporal del riesgo. La comprensión de estos patrones y las variables a las que se asocian, permite asimismo, predecir el riesgo de una enfermedad como así también la generación de alertas tempranas [9] [10].

Registro e incidencia de la leptospirosis

En muchas partes del mundo, principalmente en América y Asia, la leptospirosis tiene un impacto significativo. Se estima que ocurren unos 500.000 casos de leptospirosis por año, con una mortalidad de más del 10% y que la incidencia anual varía dentro de un rango desde, aproximadamente 0,1 a 1 por 100.000 habitantes en climas templados hasta 10 a 100 por 100.000 en climas húmedos tropicales [5] [11].

En Argentina, en el año 2015 se notificaron al Sistema Nacional de Vigilancia por Laboratorios -Ministerio de Salud de la Nación Argentina-, un total de 2.379 casos sospechosos (un 64% más que en el año 2014), de los cuales se confirmaron 177 (tasa de 0,44 por cada 100.000 habitantes) [12]. En el mismo año, en la ciudad de Rosario de un total de 205 notificaciones, 12 se confirmaron por resultados de laboratorio (tasa de 1,21 por cada 100.000 habitantes) y 12 se clasificaron como probables [13].

En función de los casos ocurrido en la ciudad de Rosario en el período 2013-2015 se plantea la necesidad de actualizar y completar los mapas preliminares existentes, incrementar el conocimiento sobre las relaciones entre la probabilidad de infección y factores ambientales, y producir una herramienta que facilite la toma de decisiones oportunas para la prevención y control de la leptospirosis.

Objetivo

Evaluar el riesgo epidemiológico de leptospirosis según estación del año, en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina) para el período 2013-2015, en función de variables obtenidas desde sensores remotos y de la infraestructura de datos espaciales de la ciudad.

Objetivo específico

-Identificar y obtener variables medio ambientales relacionadas con la presencia de casos de leptospirosis, a partir de imágenes satelitales y datos disponibles en la infraestructura de datos espaciales de la ciudad de Rosario.

-Definir, evaluar y proyectar un modelo de riesgo epidemiológico de leptospirosis según estación del año, utilizando la técnica Random Forest.

Metodología

Área de estudio

La ciudad de Rosario está ubicada en la zona sur de la provincia de Santa Fe, República Argentina, entre 32° 52' 18" y 33° 02' 22" latitud Sur y entre 60° 36' 44" y 60° 47' 46" longitud Oeste; con una altitud sobre el nivel del mar que oscila entre los 22,5 y 24,6. Cuenta con una superficie total de 178,69 km², un área urbanizada de 120,37 km² integrada por 8.271 manzanas y una superficie total destinada a espacios verdes de 11,26 km² (6,30%). En la dirección Oeste a Este, el arroyo Ludueña cruza a la ciudad en el área Norte, en tanto que el Saladillo lo hace en el área Sur; al Este limita con el río Paraná. El censo del año 2010 arrojó una población de 928.312 habitantes y se estima para el año 2015 en 985.624 habitantes.

El clima es húmedo y templado en la mayor parte del año, y se clasifica como clima templado pampeano. Entre octubre y abril, las temperaturas oscilan entre los 18°C y 36°C; en tanto que entre principios de junio y primera mitad de agosto se presenta una temperatura mínima promedio de 5°C y máximas promedio de 16°C. Las lluvias ocurren principalmente en el verano, con un volumen de precipitaciones total de entre 800 y 1300 mm al año.

Datos

A continuación se listan los datos a utilizar, a saber:

- Casos notificados de síndrome febril con sospecha para leptospirosis. Ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe, Argentina. Período 2013 a 2015 [14].
- Imágenes satelitales de Landsat Data Continuity Mission (LDCM) o Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS)[15].
- Base cartográfica (modelo ráster): cobertura global de la tierra FROM-GLC [16].
- Bases cartográficas (modelo vectorial): distritos descentralizados, cuerpos de agua (arroyos y río), vías de ferrocarriles, basurales, espacios verdes (paseos, plazas, parques y parcelas sin manzanas), zonas inundables de Arroyo Saladillo (Ord. N° 7336/02) y Arroyo Ludueña (Ord. N° 8876/11), asentamientos irregulares, puerto de la ciudad de Rosario, vías de acceso al puerto de la ciudad de Rosario y lotes baldíos [17] [18] [19]. Nota: estas bases cartográficas fueron trabajadas previamente utilizando el software QGIS y se incluyen en el presente informe como bases cartográficas de proximidad en formato ráster.

Método

A los fines de alcanzar los objetivos se plantea un estudio del tipo casos y controles para el período 2013 a 2015 según estación del año (Tabla1); donde los casos están constituidos por espacios territoriales (píxeles) donde ocurrió un caso de leptospirosis confirmado/probable y los controles por espacios territoriales seleccionados aleatoriamente. En este estudio se plantea como unidad de análisis espacial un píxel de 30 x 30 metros, dado que se prevé utilizar imágenes satelitales Landsat 8 (resolución espacial 30 metros).

Tabla 1: Distribución de los casos y controles según estación del año

ID	Estación	Mes	Caso-2013	Caso-2104	Caso-2015	Control	Total
1	Verano	ene-feb-mar	6	0	12	30	48
2	Otoño	abr-may-jun	3	1	5	30	39
3	Invierno	jul-ago-sep	2	1	3	30	36
4	Primavera	oct-nov-dic	1	2	4	30	37

En los "casos" se seleccionan los píxeles donde residen pacientes con un diagnóstico confirmado o probable para leptospirosis en el período 2013 - 2015 y se define un área de influencia de 45 metros.

A los fines de seleccionar los controles se eligen píxeles correspondientes a espacios territoriales donde no ocurrieron casos de leptospirosis (ciudad de Rosario excluidas las áreas de influencias de los casos) utilizando muestreo aleatorio simple (semillero aleatorio).

En el programa GRASS GIS se realiza una sintaxis para las etapas de pre y procesamiento de las bases cartográficas en formato vectorial.

Las imágenes satelitales Landsat 8 seleccionadas en el período 2013-2015 (Tabla 2) se calibran por radiancia y reflectancia, se corrigen atmosféricamente y georreferencian. Las variables se obtienen utilizando matemática de bandas de las imágenes satelitales, a saber: índice normalizado de vegetación (NDVI), índice normalizado de agua (NDWI) y temperatura (LST); para cada estación del año se promedian las imágenes de los tres años y el efecto de valores anómalos se disminuye aplicando un filtrado de paso bajo (3x3).

Tabla 2: Fecha de las imágenes satelitales Landsat 8 seleccionadas según grupo. Período 2013-2015

Estación	Descripción	Año		
		2013	2014	2015
1	Verano	Sin datos*	13-marzo	7-marzo
2	Otoño	20-mayo	23-mayo	3-mayo
3	Invierno	16-julio	20-agosto	22-julio
4	Primavera	5-noviembre	15-noviembre	4-diciembre

* Disponibilidad de imágenes satelitales Landsat 8 para el área de estudio desde 20 de mayo de 2013.

Las bases cartográficas de proximidad en formato ráster de cuerpos de agua, vías de ferrocarriles, basurales, espacios verdes, zonas inundables de Arroyo Saladillo y Arroyo Ludueña, asentamientos irregulares, puerto de la ciudad de Rosario, vías de acceso al puerto de la ciudad de Rosario y lotes baldíos se importan al proyecto en GRASS GIS.

En el programa GRASS GIS se realiza una sintaxis para trabajar las bases cartográficas en formato ráster.

En la definición, evaluación y predicción de un modelo de riesgo epidemiológico se utiliza el método Random Forest desarrollado por Leo Breiman y Adele Cutler (2000), el cual combina el re-muestreo de las observaciones con la aleatorización de las variables predictoras, con el objetivo de controlar el efecto de la correlación entre las mismas; especialmente adecuado para conjuntos con un gran número de variables y escasos individuos. Con el fin de aplicar éste método se utiliza el paquete 'biomod2' versión 3.3-7 de los autores Thuiller W. et.al (2016) bajo el título "Ensemble Platform for Species Distribution Modeling"; diseñado principalmente para la definición de nichos ecológicos de una especie en particular utilizando variables ambientales, pero útil en el modelado de cualquier variable con distribución binomial en función de variables explicativas [20] [21] [22].

Al utilizar el paquete 'biomod2 se siguen tres etapas:

a) formateo de los datos: se importan los datos de casos/controles por estación del año (myResp) y las variables ambientales (myExpl); también se obtienen y almacenan las coordenadas de los casos/controles (myRespXY). Los datos importados se transforman en un formato apropiado para 'biomod2' con la función BIOMOD_FormaingData().

b) definición, entrenamiento y evaluación del modelo: se definen las opciones de modelado con la función BIOMOD_ModelingOptions(), se computan modelos con BIOMOD_Modeling(), se capturan los resultados para la evaluación de los modelos con get_evaluations(). A continuación, se valora la importancia relativa de las variables explicativas en el proceso predictivo; estos datos se capturan con la función get_variables_importance(), donde valores cercanos a 0 indican que la aleatorización de la variable tiene poca influencia en el proceso de predicción y los cercanos a 1 son altamente influyentes. Luego, se combinan modelos individuales para construir un 'meta-modelo' con la función BIOMOD_EnsembleModeling y se capturan los indicadores de evaluación con get_evaluations(). Los indicadores para evaluar modelos son:

- Relative Operating Characteristic (ROC): rango de variación 0 a 1; 0.5 indica sin capacidad para discriminar y 1 refiere a una alta habilidad para clasificar.

- Hanssen and Kuipers discriminant (true skill statistic, Peirce's skill score) referido como TSS: rango de variación -1 a 1; un valor de 0 indica sin capacidad para discriminar y un valor de 1 revela una alta habilidad de clasificación.

c) proyección: finalizada la etapa de entrenamiento y evaluación del modelo, se procede a proyectar la distribución potencial de casos/controles en el área de estudio con BIOMOD_Projection(). Por último, para proyectar el 'meta-modelo' se utiliza

BIOMOD_EnsembleForecasting() que requiere de las salidas de BIOMOD_EnsembleModeling () y de BIOMOD_Projection(); el resultado queda disponible en myBiomodEF. Este se grafica con la función plot().

En el programa RStudio se realiza una sintaxis para la obtención de los mapas de riesgo epidemiológico de leptospirosis [20] [23][21][24].

En la Figura 1 se presenta un diagrama que sintetiza la metodología.

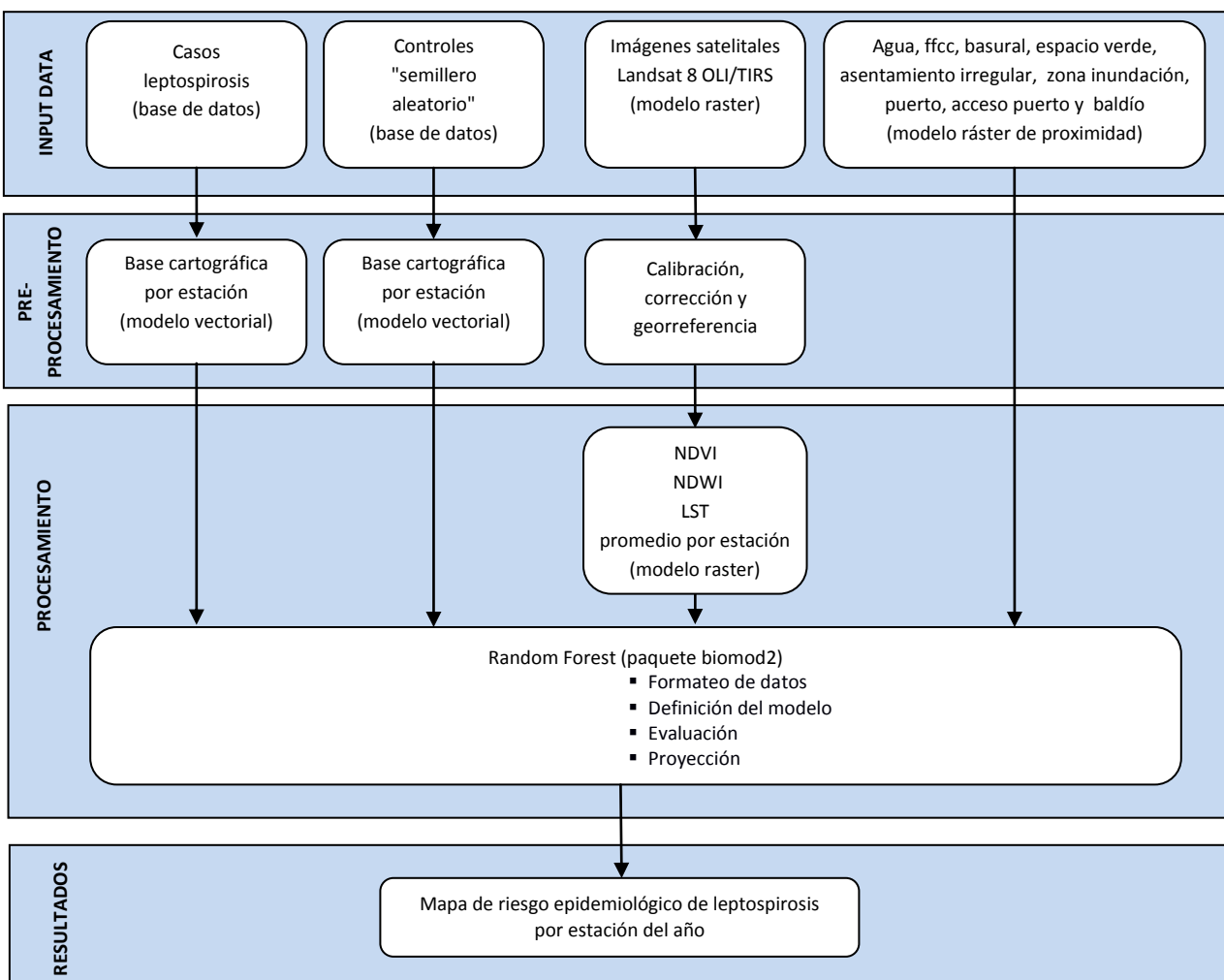


Figura1. Esquema de la metodología

Se utilizan los siguientes software para el procesamiento y análisis de datos: R (Versión 3.5.1) [25], RStudio (Versión 1.1.423)[26]y Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software (Versión 7.4.1) [27].

Resultados

En una primera etapa de pre-procesamiento se obtuvo una base cartográfica vectorial para cada estación tanto para los casos como para los controles; su distribución territorial se observa en la Figura 2.

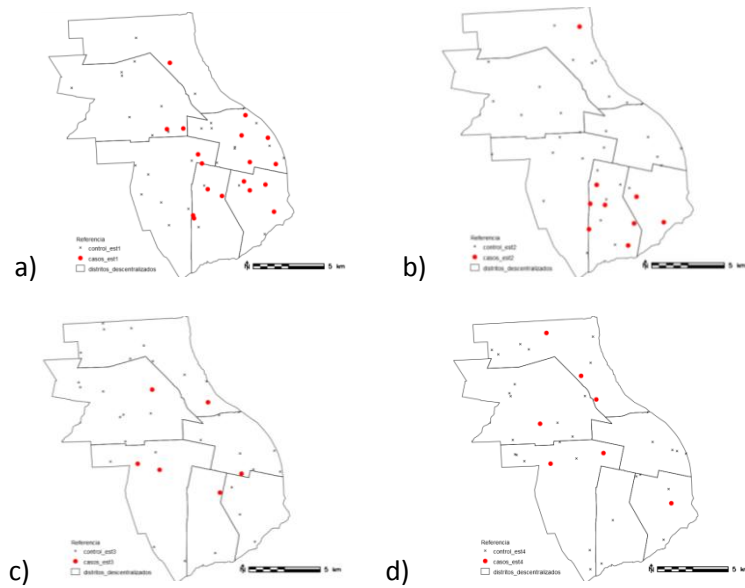


Figura 2. Distribución de los casos y controles según estación: a) Verano, b) Otoño, c) Invierno y d) Primavera.

En el pre-procesamiento de las imágenes satelitales se obtuvieron productos calibrados por radiancia y reflectancia, corregidos atmosféricamente y georreferenciados. Luego, se calcularon los índices de NDVI, NDWI y LST y se obtuvo un producto promedio por estación para el período 2013-2015. En la Figura 3 se presenta estos índices para el promedio de verano.

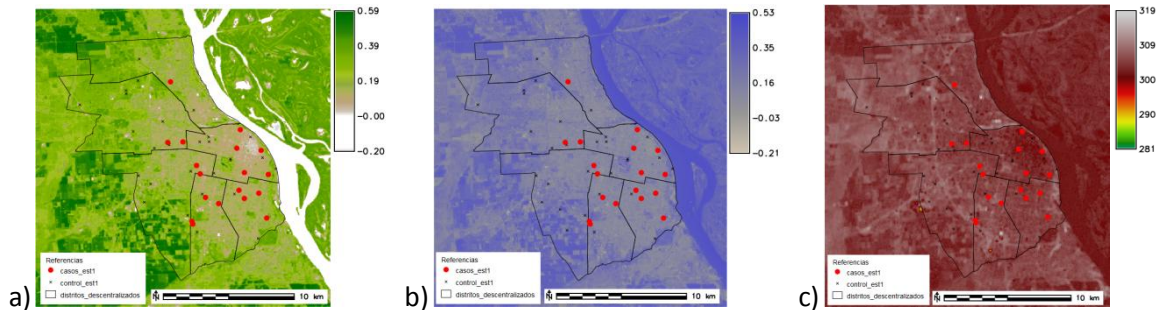


Figura 3. Distribución de casos/controles y los índices promedio de Verano: a) NDVI, b) NDWI y c) LST.

Por último, se incorporaron las capas ráster de proximidad de cuerpos de agua, vías de ferrocarriles, basurales, espacios verdes, zonas inundables de Arroyo Saladillo y Arroyo Ludueña, asentamientos irregulares, puerto de la ciudad de Rosario, vías de acceso al puerto de la ciudad de Rosario y lotes baldíos (Figura 4).

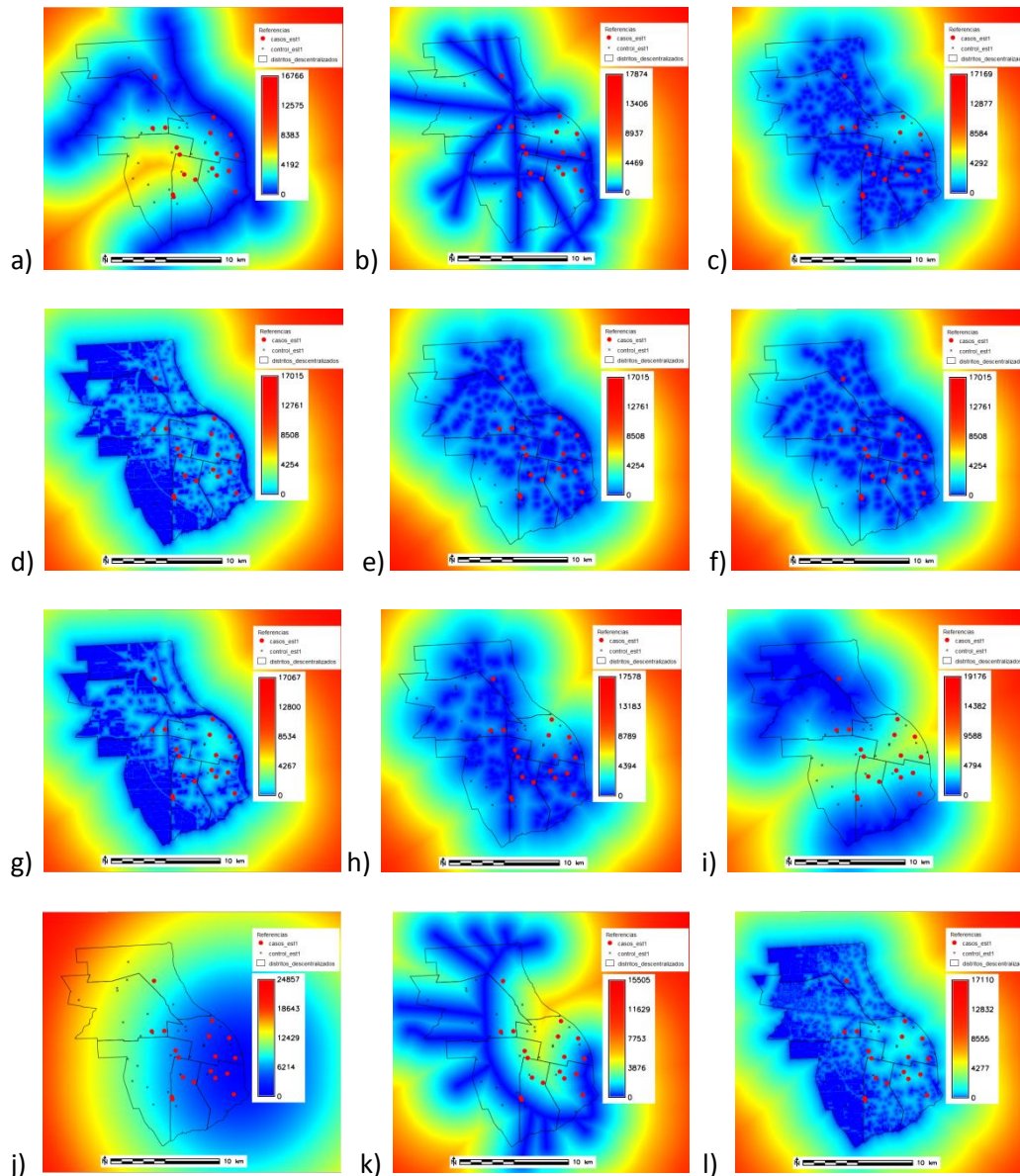


Figura 4. Localización de casos/controles para Verano y bases cartográficas de proximidad: a) AGUA, b) FFCC, c) BASURAL, d) VERDE0, e) VERDE1, f) VERDE2, g) VERDE3, h) AI (Asentamiento irregular), i) I1 (Zona de inundación), j) PUERTO, k) ACCESO (puerto Rosario) y l) BALDIO.

Una vez finalizada la etapa de preparación de los datos, se vincularon en el software RStudio para dar inicio al proceso de definición, evaluación y proyección del modelo de riesgo epidemiológico utilizando el método de Random Forest.

Producto de la definición y evaluación de los modelos, se obtuvieron los indicadores TSS, Sensibilidad y Especificidad, para las cuatro estaciones en cada una de las 10 ejecuciones del modelo (Tabla 3). El rango de variación de TSS en las cuatro estaciones tomó valores entre 0.111 y 1; motivo por el cual para la definición del modelo conjunto o 'meta' modelo se consideraron los modelos con TSS superior a 0.500, con excepción de la estación Otoño (TSS \geq 0.400).

Tabla 3: TSS, Sensibilidad y Especificidad para las 10 repeticiones, según estación.

Estación	Indicador	Modelo									
		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
Verano	TSS	0.133	0.333	0.578	0.556	0.244	0.444	0.333	0.556	0.378	0.689
	Sensitivity	80.000	100.000	80.000	100.000	80.000	100.000	100.000	100.000	60.000	80.000
	Specificity	33.333	33.333	77.778	55.556	44.444	44.444	33.333	55.556	77.778	88.889
Otoño	TSS	0.667	0.222	0.111	0.222	0.222	0.444	0.333	0.333	0.333	0.222
	Sensitivity	100.000	66.667	33.333	66.667	66.667	66.667	33.333	66.667	33.333	66.667
	Specificity	66.667	55.556	77.778	55.556	55.556	77.778	100.000	66.667	100.000	55.556
Invierno	TSS	0.500	0.667	0.278	0.444	0.500	0.778	0.889	1.000	0.778	0.333
	Sensitivity	50.000	100.000	50.000	100.000	50.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	Specificity	100.000	66.667	77.778	33.333	100.000	77.778	88.889	100.000	77.778	33.333
Primavera	TSS	0.444	0.111	0.556	0.500	0.778	0.222	0.444	0.444	0.667	0.667
	Sensitivity	100.000	100.000	100.000	50.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	Specificity	44.444	11.111	55.556	100.000	77.778	22.222	44.444	44.444	66.667	66.667

La importancia relativa de cada variable según estación en las 10 ejecuciones del modelo se presenta en el Anexo A. Este indicador tomó valores entre 0.000 y 0.475, con una mediana de 0.007; lo cual indicó la baja influencia de la aleatorización de las variables en el proceso de predicción.

En la tabla 4 se presentan los indicadores de TSS, ROC, Sensibilidad y Especificidad para el modelo conjunto o 'meta' modelo según estación. En las cuatro estaciones se observó valores de TSS y ROC iguales o muy próximos a 1; así como valores muy altos de sensibilidad y especificidad.

Tabla 4: TSS, ROC, Sensibilidad y Especificidad para el modelo conjunto, según estación.

Estación	Indicador	Testing.data	Cutoff	Sensitivity	Specificity
Verano	TSS	0.889	639.5	88.889	100.000
	ROC	0.989	640.0	88.889	100.000
Otoño	TSS	0.933	287.0	100.000	93.333
	ROC	0.993	286.0	100.000	93.333
Invierno	TSS	1.000	395.5	100.000	100.000
	ROC	1.000	395.0	100.000	100.000
Primavera	TSS	1.000	440.0	100.000	100.000
	ROC	1.000	441.5	100.000	100.000

En la Figura 4 se presentan los mapas de riesgo epidemiológico de leptospirosis según estación del año, para la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina) en el período 2013-2015, en función de variables obtenidas desde sensores remotos y de la infraestructura de datos espaciales de la ciudad.

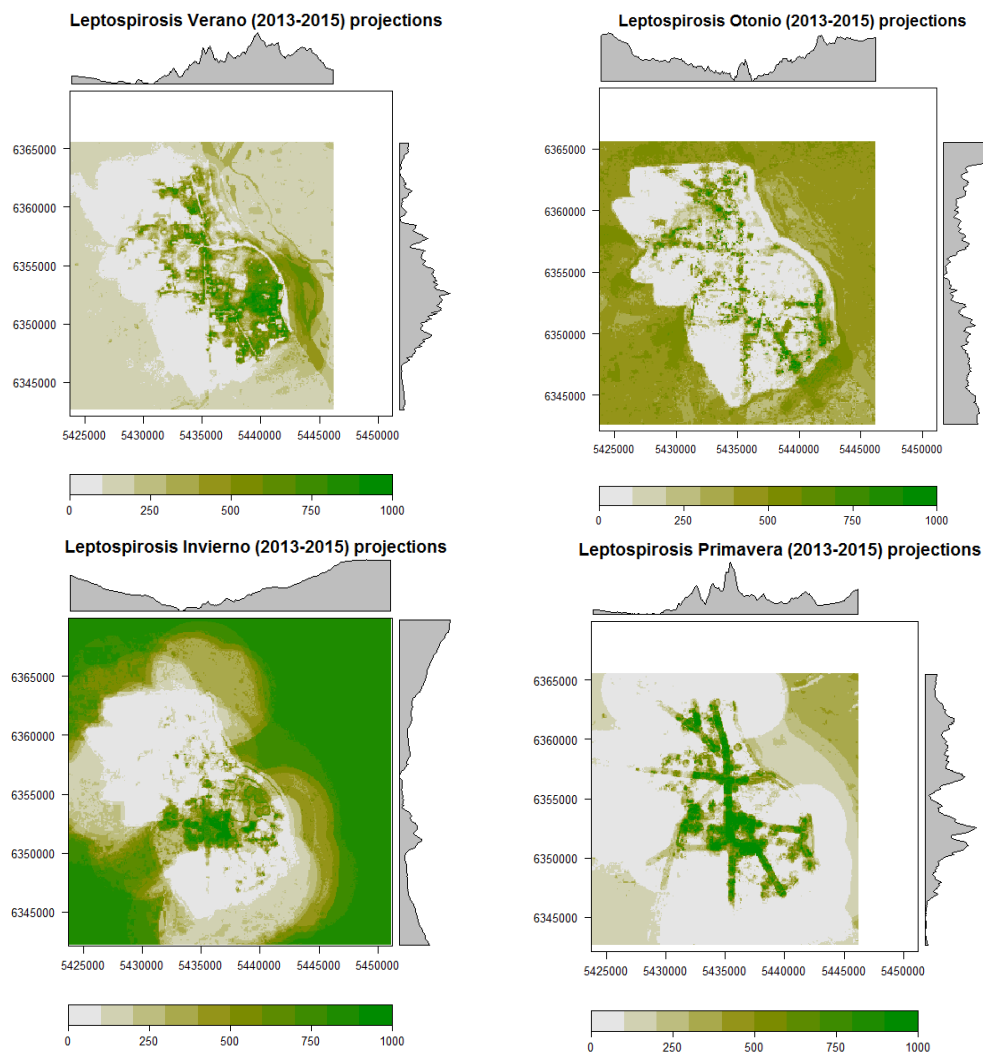


Figura 4. Mapas de riesgo epidemiológico de leptospirosis según estación del año, para la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina) en el período 2013-2015

Consideraciones finales

Un mapa de riesgo epidemiológico de leptospirosis en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina) para cada estación del año en el período 2013-2015 se obtuvo utilizando el paquete 'biomod2' de los autores Thuiller et al (2016) y el método Random Forest desarrollado por Leo Breiman y Adele Cutler (2000).

A partir de datos en las imágenes satelitales y en la Infraestructura de datos espaciales de la Ciudad de Rosario es posible identificar variables explicativas de la ocurrencia de casos de leptospirosis.

En la evaluación de los modelos las medidas de Hanssen and Kuipers discriminant (true skill statistic, Peirce's skill score) comunmente conocido como TSS, como también la sensibilidad y especificidad indican que los modelos con $TSS \geq 0.500$ (o $TSS \geq 0.400$ en el caso de la estación de Otoño), tienen la capacidad para discriminar entre casos y controles a partir de las variables explicativas.

En la evaluación del modelo conjunto o 'meta' modelo, las medidas TSS, ROC Relative Operating Characteristic (ROC), sensibilidad y especificidad indican que el modelo por estación tiene muy buena capacidad para clasificar casos de controles.

Los mapas por estación del año, al interior de los límites distritales de la ciudad de Rosario, muestran un comportamiento diferente. En Verano el riesgo se presenta principalmente en las áreas con asentamiento irregular y en la zona del puerto de Rosario. En Otoño, el riesgo se encuentra menos marcado que en Verano y se presenta principalmente en las proximidades de las vías del ferrocarril y en las cercanías del puerto. En Invierno, se observa hacia el norte y sur de la ciudad libres de indicios de riesgo; se observa que se concentra en el centro-oeste de la ciudad donde confluyen las vías del ferrocarril y la presencia de asentamientos irregulares. Por último en Primavera, el riesgo se evidencia en la traza de las vías del ferrocarril donde generalmente se aglutinan los asentamientos irregulares y la presencia de basura.

Los datos y el método utilizado permitieron producir una herramienta que se espera facilite la toma de decisiones oportunas para la prevención y control de la leptospirosis en la ciudad de Rosario.

Bibliografía

- [1] Argentina Ministerio de Salud de la Nación. Enfermedades infecciosas. Leptospirosis. Guía para el equipo de Salud Nro 9. (2014). Buenos Aires, Dirección de Epidemiología del Ministerio de Salud de la Nación. [Consulta: 22 de noviembre de 2016]. Disponible en web: <http://www.msal.gob.ar/index.php/home/funciones/materiales-para-equipos-de-salud>.
- [2] Ko, A.I., Goarant, C. y Picardeau, M. (2009). Leptospira: the dawn of the molecular genetics era for an emerging zoonotic pathogen. *Nat Rev Microbiol* 7: 736–747.
- [3] Bharti, A.R., Nally, J.E., Ricaldi, J.N., Matthias, M.A., Diaz, M.M., Lovett, M.A., Levett, P.N., Gilman, R.H., Willig, M.R., Gotuzzo, E. y Vinetz, J.M. (2003). Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *Lancet Infect Dis* 3:757–771.
- [4] OMS (2008). Leptospirosis humana: guía para el diagnóstico, vigilancia y control. Organización Mundial de la Salud; traducción del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa. - Rio de Janeiro: Centro Panamericano de Fiebre Aftosa –VP/OPS/OMS, 2008. pp 15-17; 68-69.
- [5] WHO (2010). Report of the First Meeting of the Leptospirosis Burden Epidemiology Reference Group. Genova: OMS, Department of Food Safety and Zoonoses; 2010. Report N°: ISBN 978 92 4 159989 4.
- [6] Ko, A.I., Galvao Reis, M., Ribeiro Dourado, C.M., Johnson, W.D. y Riley LW (1999) Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil. Salvador Leptospirosis Study Group. *Lancet* 354: 820–825.
- [7] Riley, L.W., Ko, A.I., Unger, A. y Reis, M.G. (2007). Slum health: diseases of neglected populations. *BMC Int Health Hum Rights* 7: 2.
- [8] Felzemburgh, R.D., Ribeiro, G.S., Costa, F., Reis, R.B. y Hagan, J.E. (2014). Prospective study of leptospirosis transmission in an urban slum community: role of poor environment in repeated exposures to the *Leptospira* agent. *PLoS Negl Trop Dis* 8: e2927.
- [9] Rotela, C. et al. Epidemiología panorámica: introducción al uso de herramientas geoespaciales aplicadas a la salud pública. Comisión Nacional de Actividades Espaciales; Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios Ministerio de Salud de la Nación. Dirección de Epidemiología. Buenos Aires, 2014. pp. 13-14.
- [10] McGwire, K., Boone, J. y St. Jeor, S. (2006). Field sampling design for zoonoses with geospatial technologies, Sociedad Especialistas Latinoamericana en Percepción Remota (SELPER), special edition on remote sensing applications to health, June, 2006, pp. 52-56, ISSN 0717-2915.

- [11] WHO (2008). Leptospirosis humana: guía para el diagnóstico, vigilancia y control. Organización Mundial de la Salud; traducción del Centro Panamericano de Fiebre Aftosa. Rio de Janeiro.
- [12] Ministerio de Salud Argentina (2016). Boletín integrado de vigilancia. Dirección Nacional de Epidemiología y Análisis de la Situación de Salud. N°335. SE 45. pp. 90. Noviembre de 2016. Buenos Aires.
- [13] Municipalidad de Rosario (2016). Sala de Situación. Sistema Municipal de Epidemiología. Secretaría de Salud Pública. [Consulta: 29 de noviembre de 2016]. Disponible en web: https://www.rosario.gov.ar/mr/epidemiologia/sala-de-situacion/curvas-epidemicas-y-canales-endemicos/eventos-de-notificacion-obligatoria/copy2_of_evento-de-notificacion-obligatoria-ciudad-de-rosario-ano-2014.
- [14] Sistema Municipal de Epidemiología. Secretaría de Salud Pública. Municipalidad de Rosario.
- [15] National Aeronautics and Space Administration (NASA) y Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).
- [16] Tsinghua University. [Mapa FROM-GLC, Finer Resolution Observation and Monitoring - Global Land Cover]. Recuperado el 21 de Noviembre de 2018, de: <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>
- [17] Datos disponibles a través del servicio WMS de la Infraestructura de Datos Espaciales de Rosario. URL: <http://www.rosario.gov.ar/wms/planobase>. Fecha de acceso: 15/06/2018.
- [18] Infraestructura de Datos Espaciales de Rosario (IDERosario). Disponible en web: <http://www.rosario.gov.ar/web/gobierno/gobierno-abierto/infraestructura-de-datos-espaciales-ide>. [Consulta: 11 de diciembre de 2016]. Dirección General de Informática. Municipalidad de Rosario.
- [19] Datos Abiertos. Municipalidad de Rosario. URL: <http://datos.rosario.gob.ar/dataset/barrios>. Fecha última modificación: 11/06/2018. Fecha de acceso: 15/06/2018.
- [20] Andreo, V. (2018). Procesamiento de series de tiempo en GRASS GIS: Aplicaciones en Ecología y Ambiente. Gitlab: curso-grass-gis-rioiv. <https://gitlab.com/veroandreo/cursos-grass-gis-rioiv.git>
- [21] Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., y Breiner, F. (2016). biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package version 3.3-7. <https://CRAN.R-project.org/package=biomod2>.
- [22] Dianda, D. y Kovalevski, L. (2018). Random Forest [Material de clase]. Seminario: Big data y minería de datos. Rosario. Universidad Nacional de Rosario, Rosario.
- [23] Georges, D. y Thuiller, W. (2013). An example of species distribution modeling with biomod2 [archivo PDF]. Recuperado de https://r-forge.r-project.org/scm/viewvc.php/*checkout*/pkg/biomod2/inst/doc/Simple_species_modelling.pdf?root=biomod
- [24] Thuiller, W., Georges, D., Engler, R. y Lafourcade, B. (2012). BIOMOD: Tutorial [archivo PDF]. Recuperado de <http://www.will.chez-alice.fr/pdf/BiomodTutorial.pdf>
- [25] R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [26] RStudio Team (2016). RStudio: Integrated Development for R (version 1.1.423). RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- [27] Quantum GIS Development Team (2016). Quantum GIS Geographic Information System (Versión 2.14.0-Essen). Open Source Geospatial Foundation Project. URL <http://qgis.osgeo.org>.
- [26] GRASS Development Team (2015). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software (Versión 7.0.1). Open Source Geospatial Foundation. URL <http://grass.osgeo.org>.

ANEXO A

VAR	Modelos Verano									
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
NDVI1	0.001	0.020	0.021	0.001	0.031	0.010	0.007	0.008	0.003	0.005
NDW1	0.002	0.009	0.002	0.011	0.001	0.007	0.003	0.007	0.002	0.011
LST1	0.001	0.008	0.010	0.006	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003
AGUA	0.002	0.010	0.002	0.002	0.000	0.002	0.009	0.001	0.005	0.015
FFCC	0.003	0.002	0.004	0.007	0.004	0.010	0.007	0.007	0.003	0.004
BASURA	0.019	0.003	0.010	0.014	0.028	0.001	0.019	0.076	0.019	0.003
VERDE0	0.012	0.011	0.016	0.022	0.021	0.063	0.032	0.029	0.049	0.037
VERDE1	0.007	0.011	0.005	0.002	0.001	0.002	0.002	0.005	0.002	0.005
VERDE2	0.083	0.138	0.014	0.017	0.034	0.024	0.002	0.023	0.013	0.008
VERDE3	0.026	0.020	0.010	0.006	0.002	0.003	0.031	0.013	0.011	0.004
VERDE4	0.084	0.014	0.033	0.007	0.007	0.018	0.055	0.024	0.016	0.002
AI	0.012	0.004	0.034	0.015	0.053	0.017	0.015	0.009	0.014	0.013
I1	0.005	0.015	0.008	0.002	0.004	0.024	0.008	0.004	0.047	0.001
PUERTO	0.015	0.020	0.020	0.027	0.035	0.024	0.010	0.033	0.038	0.067
ACCESO	0.006	0.005	0.007	0.017	0.006	0.002	0.005	0.002	0.004	0.005
BALDIO	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.025	0.000	0.001	0.005
Min	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001
Max	0.084	0.138	0.034	0.027	0.053	0.063	0.055	0.076	0.049	0.067

VAR	Modelos Otoño									
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
NDVI1	0.015	0.002	0.015	0.011	0.003	0.002	0.005	0.003	0.006	0.005
NDW1	0.002	0.006	0.019	0.023	0.007	0.025	0.013	0.003	0.012	0.004
LST1	0.044	0.005	0.067	0.001	0.001	0.011	0.019	0.002	0.004	0.036
AGUA	0.019	0.001	0.008	0.002	0.004	0.025	0.012	0.004	0.003	0.005
FFCC	0.053	0.282	0.018	0.024	0.002	0.021	0.002	0.285	0.008	0.054
BASURA	0.135	0.062	0.060	0.015	0.051	0.035	0.098	0.002	0.050	0.010
VERDE0	0.033	0.002	0.003	0.005	0.008	0.003	0.008	0.003	0.003	0.006
VERDE1	0.020	0.004	0.004	0.049	0.039	0.034	0.009	0.034	0.025	0.025
VERDE2	0.011	0.003	0.003	0.076	0.007	0.005	0.005	0.016	0.012	0.017
VERDE3	0.022	0.001	0.049	0.002	0.002	0.001	0.013	0.001	0.001	0.013
VERDE4	0.017	0.001	0.026	0.002	0.000	0.001	0.008	0.001	0.002	0.016
AI	0.015	0.010	0.003	0.009	0.003	0.003	0.005	0.013	0.003	0.001
I1	0.036	0.001	0.012	0.001	0.005	0.004	0.007	0.001	0.001	0.010
PUERTO	0.035	0.021	0.003	0.003	0.070	0.028	0.012	0.017	0.024	0.025
ACCESO	0.013	0.004	0.001	0.012	0.002	0.035	0.012	0.027	0.008	0.032
BALDIO	0.135	0.020	0.018	0.031	0.092	0.015	0.009	0.010	0.066	0.012
Min	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Max	0.135	0.282	0.067	0.076	0.092	0.035	0.098	0.285	0.066	0.054

VAR	Modelos Invierno									
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
NDVI1	0.003	0.024	0.003	0.000	0.000	0.003	0.025	0.005	0.003	0.000
NDW1	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.005	0.011	0.000
LST1	0.011	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.005	0.006
AGUA	0.104	0.019	0.012	0.139	0.047	0.024	0.121	0.175	0.057	0.061
FFCC	0.000	0.039	0.004	0.000	0.000	0.001	0.001	0.008	0.000	0.000
BASURA	0.005	0.016	0.066	0.004	0.018	0.007	0.001	0.006	0.000	0.002
VERDE0	0.001	0.003	0.036	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.040	0.006
VERDE1	0.001	0.044	0.003	0.000	0.003	0.003	0.006	0.004	0.002	0.001
VERDE2	0.003	0.045	0.006	0.001	0.000	0.002	0.009	0.007	0.002	0.007
VERDE3	0.005	0.014	0.025	0.004	0.003	0.000	0.007	0.021	0.031	0.010
VERDE4	0.004	0.013	0.016	0.003	0.002	0.001	0.011	0.006	0.028	0.024
AI	0.143	0.115	0.018	0.031	0.249	0.337	0.075	0.121	0.041	0.070
I1	0.011	0.039	0.009	0.080	0.010	0.007	0.009	0.052	0.005	0.005
PUERTO	0.000	0.016	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000
ACCESO	0.000	0.130	0.038	0.000	0.000	0.010	0.121	0.044	0.005	0.002
BALDIO	0.048	0.065	0.018	0.007	0.027	0.002	0.004	0.033	0.038	0.054
Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Max	0.143	0.130	0.066	0.139	0.249	0.337	0.121	0.175	0.057	0.07

VAR	Modelos Primavera									
	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
NDVI1	0.001	0.021	0.004	0.000	0.003	0.001	0.003	0.001	0.001	0.005
NDW1	0.008	0.026	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.004	0.006	0.012
LST1	0.040	0.055	0.058	0.018	0.021	0.001	0.014	0.014	0.024	0.073
AGUA	0.088	0.024	0.004	0.036	0.014	0.005	0.013	0.010	0.037	0.014
FFCC	0.005	0.003	0.015	0.021	0.090	0.008	0.008	0.003	0.096	0.017
BASURA	0.010	0.038	0.242	0.039	0.088	0.475	0.053	0.021	0.011	0.165
VERDE0	0.001	0.000	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.000	0.000	0.004
VERDE1	0.002	0.012	0.001	0.003	0.010	0.000	0.025	0.018	0.001	0.002
VERDE2	0.000	0.011	0.001	0.007	0.012	0.000	0.019	0.012	0.001	0.002
VERDE3	0.001	0.001	0.006	0.013	0.006	0.002	0.003	0.002	0.004	0.011
VERDE4	0.003	0.001	0.003	0.032	0.008	0.002	0.006	0.003	0.001	0.003
AI	0.023	0.103	0.085	0.126	0.030	0.009	0.028	0.236	0.021	0.030
I1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.001	0.000	0.000	0.001	0.007
PUERTO	0.012	0.001	0.004	0.000	0.002	0.001	0.000	0.008	0.006	0.011
ACCESO	0.045	0.007	0.014	0.057	0.009	0.014	0.013	0.036	0.021	0.006
BALDIO	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max	0.088	0.103	0.242	0.126	0.09	0.475	0.053	0.236	0.096	0.165