



Instituto de
Altos Estudios Espaciales
"Mario Gulich"



ESTUDIO DE LA ASOCIACIÓN ENTRE DESASTRES NATURALES POR INUNDACIÓN Y EVENTOS EPIDÉMICOS

Por Biol. Diego Hernán Pons

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física
y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich
como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y
RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Septiembre, 2011

©IG - CONAE/UNC 2011

© FaMAF - UNC 2011

Dra. Ximena Porcasi y Dra. Gabriela Quintana.

Índice	Página
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPITULO 1	7
INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE LA EPIDEMIOLOGÍA POSTDESASTRE APLICADA A INUNDACIONES EN SUDAMÉRICA Y ARGENTINA	7
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS DESASTRES NATURALES.....	8
1.1.1 Las inundaciones como desastres.....	9
1.1.2 Efecto de las inundaciones sobre la salud.....	9
1.1.3 El rol de la epidemiología en los desastres	12
1.1.4 La epidemiología y su rol en la respuesta a emergencias	12
Análisis de las consecuencias de catástrofes por inundación en Sudamérica y Argentina	18
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
1.2.1 Información de eventos de inundación	18
1.3 RESULTADOS	18
1.3.1 Análisis del efecto de las inundaciones en Sudamérica.....	18
1.3.1.1 Análisis general	18
1.3.2 Análisis del efecto de las inundaciones en Argentina.....	21
1.3.2.1 Análisis general	21
1.3.2.2 Tipo de inundación	23
1.3.2.3 Eventos de inundación con impacto máximo para Argentina desde 1900 a 2011	24
1.3.2.4 Tendencias en la última década de las inundaciones para Argentina.....	25
1.4 CONCLUSIONES	27
CAPITULO 2	28
ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE BROTES EPIDÉMICOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES	28
2.1 INTRODUCCIÓN	29
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.2.1 Información de eventos de inundación	29
2.2.2 Información epidemiológica	30
2.2.4 Análisis estadístico	34
2.3 RESULTADOS	34
2.3.1 Ocurrencia de epidemias ante inundaciones.....	34
2.3.2 Frecuencia de brotes epidémicos por causa de inundación	34
2.3.3 Relación entre descriptivos de inundación y brotes epidémicos	36
2.3.4 Análisis epidémico de eventos de inundación por causa de inundación	38
2.3.4.1 Brotes epidémicos y número de enfermos, según tipo de inundación.....	38
2.3.4.1.1 Inundaciones debidas a lluvias	38
2.3.4.2 Inundaciones por lluvias y desbordes	39
2.3.5 Número de brotes epidémicos y número de enfermos por epidemia según causa de inundación y enfermedad	41
2.3.5.1 Enfermedades no vectoriales	41
2.3.5.2 Enfermedades transmitidas por vectores.....	42
2.4 CONCLUSIONES	42
CAPITULO 3	45
DINÁMICA TEMPORAL DE LAS EPIDEMIAS EN RELACIÓN A EVENTOS DE INUNDACIÓN	45
3.1 INTRODUCCIÓN	46
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	47
Correlaciones cruzadas	47
Caracterización ambiental postinundación.....	47
3.3 RESULTADOS	47



3.3.1. <i>Enfermedades de transmisión no vectorial</i>	47
3.3.1.1 Diarreas	48
3.3.1.2 Tuberculosis	49
3.3.1.3 Parasitosis intestinales	52
3.3.1.4 Parotiditis.....	54
3.1.5 Toxoalimentarias	55
3.3.2 <i>Enfermedades de transmisión vectorial</i>	57
3.3.2.1. Dengue.....	57
3.3.2.2. Malaria.....	58
3.3.2.3. Hantavirus	60
3.3.2.4. Leishmaniasis cutánea	62
3.3.2.5. Leptospirosis.....	63
3.3. <i>Caracterización ambiental postinundación por variable ambiental</i>	64
3.3.1. Temperatura máxima, mínimas y media promedio semanal.....	64
3.3.2. Precipitaciones promedio semanales	65
3.3.3. Precipitaciones acumuladas totales.....	66
3.3.4. Precipitación máxima semanal	66
3.3.5. NDVIM promedio	67
3.3.6. Número máximo de epidemias según rango de variables ambientales	68
3.4 CONCLUSIONES	68
CAPITULO 4.....	70
4.1 INTRODUCCIÓN	71
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	71
4.2.1 <i>Variables ambientales</i>	71
4.2.2 <i>Información epidemiológica</i>	71
4.2.3 <i>Ajuste de modelos</i>	71
4.2.4 <i>Procedimientos de Estimación</i>	74
4.2.5 <i>Selección de Modelos</i>	74
4.3 RESULTADOS.....	75
4.3.1 <i>Modelos ajustados por enfermedad</i>	75
4.3.1.1 Dengue.....	75
4.3.1.2 Diarreas	77
4.3.1.3 Leptospirosis.....	78
4.3.1.4. Malaria.....	80
4.3.1.5. Parasitosis intestinales	82
4.4 CONCLUSIONES	83
CAPITULO 5.....	85
<i>EJEMPLO DE TRATAMIENTO ESPACIAL DE DATOS EN CIUDADES CON BROTES RECURRENTE</i>	85
<i>ENFERMEDAD: MALARIA</i>	85
<i>TIPOS DE COBERTURA Y CUERPOS DE AGUA SOBRE LA INCIDENCIA EN UNA REGIÓN SUBTROPICAL</i>	85
5.1 INTRODUCCIÓN	86
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	88
5.2.1 <i>Área de estudio</i>	88
5.2.2. <i>Colecta de datos</i>	88
5.2.2.1. Datos satelitales.....	88
5.2.2.2. Datos de terreno.....	88
5.2.3 <i>Condiciones climáticas</i>	89
5.3 PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS	91
5.3.1 <i>Clasificación de tipos de cobertura y uso de suelo con imágenes ópticas</i>	91
Procedimiento de clasificación.....	91
Procedimiento seguido para la detección de cambios.....	93
5.3.2 <i>Clasificación con imágenes SAR</i>	94
Fusión de Imágenes	94
Procedimiento para la fusión de imágenes.....	94
5.3.3 <i>Análisis con Sistemas de Información Geográfica</i>	95
Distancia a asentamientos urbanos	95
Cambios en la frontera entre tipos de cobertura	96
Clasificación de coberturas de suelo y determinación de cambios en el uso del suelo	97
5.3.4 <i>Identificación de cuerpos de agua mediante SAR y modelos de elevación digital</i>	98



5.3.5 Identificación de cuerpos de agua con imágenes ópticas fusionadas a SAR.....	99
5.3.6 Estimación de humedad de suelo mediante imágenes ALOS Palsar	104
5.3.7 Aplicación del índice de humedad topográfico (<i>topography wetness index (TWI)</i>), para la estimación de humedad potencial de suelo	108
5.4 MODELO ESPACIAL DE MALARIA	110
5.4.1 Modelado de hábitat del vector	110
5.4.2 Modelo de riesgo de exposición al vector	111
5.4.2.1 Aplicación del modelo espacial de riesgo	112
5.5 CONSIDERACIONES FINALES	114
CAPITULO 6.....	116
CONCLUSIONES FINALES.....	116
BIBLIOGRAFÍA.....	125
ANEXO.....	132

Agradecimientos

Cuando bebas agua, recuerda la fuente. (Proverbio Chino)

En todo periodo de aprendizaje el tiempo nos enseña que los errores valen a veces más que los mismos aciertos, y que solo la terquedad del soñador permite alcanzar la meta jamás imaginada.

Así como solo el velero mas imponente llega a buen puerto solo con buenos vientos, este manojo de esfuerzos y sacrificios, llamado tesis, se resumen en el amor y entrega que pusieron mi familia en estos mas de dos años de cursado, exámenes, viajes, despedidas, anhelos y suspiros cargados de tristeza, melancolías y alegrías eternas.

Por eso eternas gracias a Andrea, Jerónimo, Francisca, Ulises, Aquiles, Diana, Laura, Pablo, Fernanda, quienes son los latidos de mi corazón.

Gracias a mis queridos compañeros de maestría que en el tiempo compartido se convirtieron en mis hermanos de la vida, con palabras de apoyo y aliento.

Gracias a mis directoras, Ximena Porcasi y Gabriela Quintana, por la paciencia y ahínco con que soportaron el peculiar desarrollo de estas líneas y de mis confusos borradores.

Gracias a Camilo Rotela y Nicolás Frutos por su apoyo y por las horas compartidas, por haberme facilitado los datos de GECHO, de mosquitos Anopheles en Iguazú, y de Casos de malaria, por los algoritmos de detección de bordes, el TWI, y asistencia en el uso de SIG en general, pero en especial por su amistad.

Gracias a Mario Lamfri por su ayuda con las imágenes de NDVI aportadas por el INPE.

Gracias a CPTEC-INPE por aportar imágenes de una década de NDVI para toda Sudamérica.

Gracias al Ministerio de Salud por los datos epidemiológicos y los instructivos para el uso del sistema GECHO.

Gracias a Marina Stein por los datos de localización de sitios de cría de mosquitos. A la Fundación Mundo Sano por proveer información de los casos de malaria en Puerto Iguazú

Gracias a Marcelo y Gabriel por bajar las líneas necesarias para marcar nuestro norte y a todos los profesores que desde su entrega vocacional nos abrieron un nuevo mundo a explorar.

Gracias a todo el personal del Institute for Applied Remote Sensing del EURAC, en Bolzano, Italia, y en particular a Claudia Notarnicola y Luca Pasolli, por todo su apoyo y asesoramiento en el uso de imágenes radar, SIG e imágenes ópticas.

Gracias a CONAE por haberme dado la posibilidad de poder acceder a este mundo sin fronteras que es la tecnología espacial y con el cual soñé de niño.

Y como dijera Dietrich Bonnhöffer, “Solo quien agradece lo pequeño, recibe también lo grande”

Gracias totales...



Estudio de la asociación entre desastres naturales por inundación y eventos epidémicos

Resumen

La presente tesis analiza la ocurrencia de brotes epidémicos y su relación causal con eventos de inundación en Argentina durante el periodo 2005 a 2007. Mediante el uso de información meteorológica y epidemiológica, se analizaron la relación entre los diferentes descriptores de las inundaciones, y su relación con la ocurrencia, número y tipo de brotes epidémicos. Asimismo, se caracterizaron las condiciones ambientales por tipo de epidemia y factor ambiental. Mediante el uso de modelos lineales generalizados mixtos, se analizó la ocurrencia de casos por enfermedad y su relación con factores ambientales, observándose relaciones significativas como vegetación (NDVI), lluvias acumuladas semanalmente, lluvias máximas y temperaturas medias, máximas y mínimas. Se analizó en particular un brote epidémico de malaria Iguazú durante el año 2007, generándose un mapa de distribución potencial del vector y áreas más riesgosas, basado en la biología del vector, humedad de suelo, tipos de cobertura del suelo y cercanía a cuerpos de agua. Para la determinación de humedad de suelo se utilizaron imágenes SAR (ALOS Palsar) y modelos inversos. Finalmente se sugirieron productos de potencial uso para la gestión de epidemias postinundación, provistos por la red GeoNet Cast Américas, relacionados con estado de la vegetación y variables climáticas.

Abstract

The present work analyzed the relationship between the flood events and epidemics in Argentina since 2005 to 2007. Using meteorological data and epidemiological analyzes the relationship between the different descriptors of flooding, and its relation to the occurrence, number and type of outbreaks. Also, environmental conditions were characterized by type of epidemic and environmental factor. Using generalized linear mixed models, we analyzed the occurrence of cases of disease and its relationship with environmental factors, significant relation as vegetation (NDVI), weekly accumulated rainfall, maximum and average maximum and minimum temperatures, and rainfall. They discuss an Iguazú malaria outbreak in 2007, generating a vector potential distribution map and more risky areas, based on vector biology, soil moisture, land cover types and proximity to water bodies. For the determination of soil moisture were used SAR images (ALOS PALSAR) and inverse models. Identification of water bodies go through using DEMs and SAR images combined in a decision tree. Landscape coverage's were identified using a fusion of Landsat 5 TM and ALOS Palsar images. Finally it is suggested products for potential use in the management of epidemics post flood events, provided by the GeoNet Cast Americas network related to vegetation conditions and weather variables.

Introducción

La relación entre los desastres naturales y enfermedades es frecuentemente malinterpretada. Generalmente, se presume alto el riesgo de brotes epidémicos en el caos subsiguiente a un desastre natural, debido a la relación entre cadáveres y epidemias. Sin embargo, los factores de riesgo de brotes epidémicos están asociados principalmente con el tamaño y las características de la población afectada, debido al desplazamiento de la población. Los rumores infundados así como la rapidez con la cual se moviliza la masiva ayuda médica internacional hasta las zonas más alejadas, han contribuido en parte a difundir la idea errónea de que los desastres están, casi inevitablemente, acompañados de brotes epidémicos transmitidos por las aguas contaminadas, los vectores o el contacto directo. (CEPAL.).

Las inundaciones pueden dar lugar indirectamente al incremento de las enfermedades transmitidas por vectores, debido a la expansión del número y rango de hábitats de los vectores. Aunque la inundación puede inicialmente lavar los sitios de cría, estos se recuperan una vez que las aguas retroceden. Cuerpos de agua temporarios causados por lluvias fuertes o desborde de ríos, pueden actuar como sitios de cría para mosquitos, y en consecuencia aumentar el riesgo potencial de exposición de la población afectada por el desastre a enfermedades tales como dengue, malaria o fiebre del Nilo. El registro de brotes epidémicos de malaria a raíz de inundaciones es un fenómeno bien conocido en las áreas endémicas de malaria alrededor del mundo. Ejemplos de esto son los brotes registrados en Costa Rica, 1991 tras el terremoto y posterior inundación y las inundaciones en Republica Dominicana en 2004 (WHO, 2005).

El riesgo de epidemia es incrementado asimismo por otros factores, tales como los cambios en los comportamientos humanos, los que pueden dar lugar al incremento en la exposición al picado de mosquitos por dormir al exterior, debido a la pérdida de casas o el temor a estructuras con riesgo de colapso, así como la interrupción temporaria de las actividades de control, sobrepoblación y hacinamiento. Por otra parte se dan cambios en el hábitat que promueven la reproducción del mosquito, tales como deslizamientos, deforestación, embalsamiento o alteración del curso de ríos.

Ratas y ratones son importantes en la salud pública, debido principalmente a su rol de portadores o reservorios de infecciones y enfermedades que pueden ser transmitidas a humanos.

Dentro de las enfermedades presentes en América, se incluyen la plaga (*Yersinia pestis*), salmonelosis (*S. typhimurium*; *S. enteritidis*); leptospirosis (*L. icterohaemorrhagiae*); tifo murino (*Rickettsia typhi*); rickettsiosis (*R. akari*); coriomeningitis linfocítica (arenavirus); fiebre de la mordida de la rata (*Spirillum minus*, *Streptobacillus moniliformis*); síndrome pulmonar hemorrágico provocando por Hantavirus; fiebres hemorrágicas (Arenavirus); encefalitis equina de Venezuela (alphavirus); encefalitis Powassan (Flavivirus); rabias; tifo exantemático de las Rocallosas (*R. rickettsii*); y tularemia (*Francisella tularensis*), así como parasitismos, como triquinosis (*Trichinella spiralis*); meningitis eosinofílica (*Angiostrongylus cantonensis*); y teniasis (*Hymenolepis nana* o *H. diminuta*) (WHO, 2005). La transmisión de estas infecciones a humanos ocurre por contacto indirecto. Algunas son transmitidas a través del contacto con orina o heces de roedores infectados, otras por medio de moscas y piojos o por picadura de mosquitos.

En términos generales, se tienen un conocimiento limitado de cómo los distintos tipos de inundaciones afectan a la salud humana en distintas poblaciones. Hay muchos problemas metodológicos en el estudio de los impactos en la salud de las inundaciones, y las dificultades de esto puede ser una razón de la escasez de estudios. Sin embargo, es probable que muchas comunidades (especialmente en los países en desarrollo) sean particularmente vulnerables a inundaciones, por lo que existe una necesidad de una mejor comprensión de cómo las inundaciones afectan a la salud, a fin de permitir el desarrollo de programas tendientes a evitar la pérdida innecesaria de vidas y lesiones.

En Argentina, las inundaciones son los desastres naturales que más víctimas y costos económicos ocasionan, pero aun así son escasos los antecedentes de relevamientos del efecto de las inundaciones y los factores ambientales implicados, sobre el surgimiento de brotes epidémicos.



Objetivo general

Es por ello que el objetivo de la presente tesis fue analizar las variables ambientales, que potencialmente se encontrarían relacionadas con brotes epidémicos de enfermedades transmisibles y transmitidas por vectores, en situaciones posteriores a inundaciones. En segundo lugar se pretende sugerir o guiar la colecta e interpretación de datos de Sensores Remotos (SR), que puedan alertar sobre la emergencia de enfermedades transmitidas por vectores, sugiriendo procedimientos metodológicos para la generación de mapas de riesgo para la prevención de enfermedades y vigilancia epidemiológica postdesastre.

El presente trabajo final está estructurado en 6 capítulos. El capítulo 1, trata de un marco conceptual introductorio a la problemática de los desastres naturales, haciendo hincapié en la importancia de las inundaciones como eventos catastróficos, tipos, causas, y efectos. Luego se describe la importancia de sus efectos sobre la salud, como causa de epidemias, la importancia de la epidemiología en la gestión de desastres por inundación y se realiza una breve reseña de las patologías más comunes observadas a posteriori de eventos de esta naturaleza, las cuales serán motivo de análisis durante la presente tesis.

Finalmente se presentan resultados del análisis de los efectos de las inundaciones sobre bienes y personas en Sudamérica en general y Argentina en particular.

A continuación, el capítulo 2 analiza las relaciones existentes entre los efectos de la inundaciones, tales como número de evacuados, afectados, pérdidas económicas, duración y magnitud, sobre el número y tipo de epidemias. Se buscó patrones de ocurrencia de diferentes enfermedades según modo de transmisión, no vectorial (transmitidas por agua y aire) y vectoriales (transmitidas por insectos y roedores). Por otra parte se consideran también las mordeduras, como potenciales transmisores de rabia.

El capítulo 3 analiza la dinámica temporal de los brotes epidémicos más comunes y su relación con los registros de precipitaciones acumuladas. Para este análisis, las patologías se dividieron en enfermedades de transmisión no vectorial y vectorial. Dentro de las no vectoriales se observaron los patrones temporales en diarreas, enfermedades toxoalimentarias y parasitosis intestinales. Dentro de las vectoriales se estudiaron brotes de malaria, dengue, hantavirus y leptospirosis. Los patrones temporales se analizaron mediante correlaciones cruzadas con respecto a las precipitaciones acumuladas semanalmente. Finalmente se caracterizó los ambientes postinundación para cada una de las enfermedades, con diferentes indicadores climáticos (temperaturas mínimas, máximas y medias), lluvias promedio semanales, acumuladas total y de vegetación (NDVIM).

El capítulo 4 tiene por objetivo evaluar la asociación de las variables ambientales precipitaciones, temperatura y vegetación, con el registro de casos de enfermedades posteriores a eventos de inundación. Se analizó el efecto de los factores ambientales como posibles explicadores de procesos epidémicos, mediante modelos estadísticos (modelos mixtos no lineales generalizados y selección de modelos), aplicados a años donde se observaron eventos y brotes epidémicos.

El capítulo 5 analiza con mayor detalle y a modo de caso de estudio particular, las variables ambientales relevantes a la biología del vector del paludismo, y el efecto de su distribución espacial en un evento epidémico de malaria registrado en la ciudad de Puerto Iguazú durante 2007. Se observaron las variaciones en las coberturas de terreno y humedad de suelo, usando imágenes ópticas y de radar de apertura sintética. Se espera desarrollar un caso de estudio particular con el fin



de ilustrar la metodología a utilizar para la confección de mapas de riesgo útiles para la gestión de áreas susceptibles de sufrir epidemias luego de inundaciones.

El capítulo 6 consiste en las conclusiones finales del estudio, mostrando las consideraciones finales derivadas de los capítulos precedentes, sugiriendo usos y aplicaciones de los resultados obtenidos, así como necesidades a tener en cuenta para el desarrollo de la epidemiología postdesastre en nuestro país.

Finalmente, los anexos abordan aspectos relacionados con la Red DesInventar y el cálculo de parámetros necesarios para la estimación de humedad de suelo con imágenes SAR ALOS Palsar. Además se menciona el funcionamiento y estructura del sistema GeonetCast y potencial rol en la asistencia de emergencias y monitoreo epidemiológico postinundación. También se discute sobre la aplicación de los productos disponibles en la gestión de epidemias postdesastre y las ventajas y desventajas presentadas para su uso en el presente estudio.



CONAE



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Capítulo 1

Introducción al análisis de la epidemiología postdesastre aplicada a inundaciones en Sudamérica y Argentina

El presente marco teórico tiene por objetivo el mostrar la importancia del impacto de los desastres en forma global, y su relación con factores ambientales y sociales, culturales y macroeconómicos, haciendo hincapié en las inundaciones.

Posteriormente se trata acerca de los efectos de las inundaciones sobre la salud y se reseña sobre las principales patologías observadas durante la fase postemergencia. Finalmente se analizan datos provenientes de la base de datos EM DAT.

1.1 Introducción a los desastres naturales.

Durante las dos últimas décadas los desastres naturales han cobrado la vida de millones de personas, afectando la vida de al menos un billón de personas, ocasionando daños económicos sustanciales. Los desastres naturales son eventos catastróficos de origen atmosférico, geológico e hidrológico, que incluyen terremotos, inundaciones, deslizamientos de laderas, tsunamis, erupciones volcánicas y sequías. Estos eventos pueden ser de ocurrencia rápida o lenta, con consecuencias serias en lo social, económico y la salud de las poblaciones.

Varias definiciones hacen hincapié en el carácter del término “desastres naturales”. Durante la década de 1960, se entendieron por desastres a aquellos acontecimientos no controlables en los que una sociedad sufría grave peligro, interrumpiendo todas o algunas de sus funciones esenciales (Fritz, 1961). La idea de una sociedad indefensa claramente dañada por una poderosa fuerza natural se expresa en una definición de que un desastre es una interrupción grave y repentina y con frecuencia fuera de lo normal, de los mecanismos estructurales dentro de un sistema social, sobre el cual el sistema social no tiene ningún control (Barkun, 1974).

Los desastres naturales deben ser considerados no sólo por su carácter natural, sino también por sus aspectos sociales y económicos. En consecuencia, un desastre natural puede ser definido como un impacto rápido, instantáneo profundo del entorno natural en el sistema socio- económico (Alexander, 1993), o como un desequilibrio repentino entre las fuerzas liberadas por el sistema natural y las fuerzas del sistema social. La gravedad de tales desequilibrios depende de la relación entre la magnitud del evento natural y la tolerancia de los asentamientos humanos a tal evento (Albala-Bertrand, 1993). Westgate & O'Keefe (1976) definen al desastre como la interacción entre fenómenos físicos o naturales extremos y un grupo humano vulnerable, lo que resulta en la interrupción general y la destrucción de medios de subsistencia, lesiones y la pérdida de vidas. IDNDR (International Decade for Natural Disaster Reduction, 1992) define un desastre como "una perturbación grave del funcionamiento de una sociedad, que causa pérdidas humanas, materiales o ambientales extensas, que exceden la capacidad de la sociedad afectada para hacerle frente con sus propios recursos. Los desastres se clasifican de acuerdo a su velocidad de aparición (repentina o lenta), o de acuerdo con su causa (natural o provocados por el hombre).

Si bien los desastres naturales son un problema mundial, su efecto es mayor sobre países pobres. El número de muertes debidas a desastres naturales se concentra en los países en desarrollo, y puede ser tan alta como 95% de la cifra total de muertes por desastres (Alexander, 1993). Asia y América Latina comparten la mayor concentración de las inundaciones y los riesgos asociados, debido a los huracanes, ciclones, tormentas tropicales, tifones y monzones. Aunque los desastres naturales y la pobreza no deben ser considerados como sinónimos, lo cierto es que algunas características, como resultado del sistema económico-social-político-cultural reduce o elimina el acceso equitativo a las oportunidades, y por lo tanto al desarrollo, aumentando la vulnerabilidad de sus poblaciones. Por lo tanto, la ocurrencia de desastres naturales en los países en desarrollo esta no sólo vinculada a la susceptibilidad de los riesgos naturales debido a las características geológico-geomorfológicas y ubicación geográfica, sino también, debido a su vulnerabilidad. La alta densidad de población, el empleo de bajos ingresos y la pobreza han contribuido a estándares de vida pobres

(vulnerabilidad social y económica). Todos los elementos derivados de la especial vulnerabilidad física, social y económica de la zona se combinan durante un desastre.

1.1.1 Las inundaciones como desastres

Dentro de las emergencias ambientales, las inundaciones continúan siendo la catástrofe más común a nivel mundial, estimándose como el 40% de todos los desastres naturales, provocando cerca del 26% de las muertes relacionadas con desastres. En los últimos 30 años se han registrado 3.119 eventos (Center for Research of the Epidemiology of Disasters (CRED), 2010), que resultaron en la muerte de más de 200000 personas y 2.8 billones afectadas, siendo los más afectados los países en vías de desarrollo, como los sudamericanos, debido a su falta de infraestructura, recursos y sistemas de respuesta ante catástrofes. Según la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y Luna Creciente, en los 10 años desde 1993 a 2002, los desastres debidos a inundación han afectado a más personas en todo el mundo, que las afectadas por todos los desastres naturales y tecnológicos juntos (IFCR, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2003).

Los desastres debidos a inundaciones y sus consecuencias de mortalidad están muy sesgados hacia Asia, donde hay altas concentraciones de población en las llanuras aluviales de los principales ríos, como el Ganges- Brahmaputra, Mekong, Yangtzé y cuencas, y son frecuentes los ciclones costeros regionales, como alrededor de la Bahía de Bengala y el Mar de China Meridional. Según el CRED (2010), las inundaciones vienen en segundo lugar como causa de mortalidad directa, tras las sequías y las hambrunas en los últimos años, y representan más de la mitad de todas las personas «afectadas» por los desastres naturales.

Las inundaciones y sus efectos no sólo varían en el espacio, sino también a través del tiempo, variando anualmente su incidencia, o con periodos más largos, por ejemplo por influencias del El Niño - Oscilación Sur (ENOS), con cambios a gran escala en las tormentas y patrones de precipitaciones y en consecuencia el riesgo de inundación (Kovats *et al.*, 2003).

La incidencia de las inundaciones es muy afectada por una serie de cambios ambientales (Bronstert, 2003). Las alteraciones de la cubierta vegetal y la influencia de la urbanización en las características de absorción del agua de la superficie terrestre, en muchos casos aumentan las tasas de escorrentía, aumentando las inundaciones por grandes precipitaciones (Bronstert, 2003; Woodworth *et al.*, 2004.). A pesar de que estos cambios tienen lugar en una escala local, pueden combinarse acumulación de cambios en el uso del suelo que podrían ser asociados con las tendencias de las inundaciones a escala regional o mundial. Por otra parte, la vulnerabilidad humana a las inundaciones se ve afectada por otros agentes de cambio, incluyendo el crecimiento demográfico y los patrones de asentamiento. Para el caso de los eventos extremos, de baja probabilidad de ocurrencia, pero de alto impacto, los retos para la cuantificación y la predicción son especialmente grandes (Goodess *et al.*, 2001).

Aunque la información de las tendencias recientes sobre inundaciones está inconclusa, las tendencias globales del nivel del mar y la temperatura, proporcionan una fuerte evidencia del cambio climático. Durante los próximos 100 años, la temperatura media anual cerca de la superficie en todo el mundo se prevé que aumentará entre 1,4 °C y 5,8 °C, provocando un aumento del peligro de inundaciones en algunas zonas, debido a la subida del nivel del mar, cambios en la precipitación estacional o el patrón de las tormentas de viento (Houghton *et al.*, 2001; McCarthy *et al.*, 2001).

1.1.2 Efecto de las inundaciones sobre la salud

Todos los desastres tienen una repercusión sobre el sector de la salud, sea por la necesidad de preservar la salud de la población durante situaciones de emergencia y desastres, evacuar y rescatar a las víctimas, modificar programas o modelos de atención de salud en el mediano y largo

plazo, o porque provocan daños a las infraestructuras de la red de servicios de salud. Esta repercusión se traduce tanto en las necesidades inmediatas como en los efectos a largo plazo.

El resultado de las inundaciones sobre la salud puede ser directo (muerte, heridas o picos de enfermedades infecciosas) o indirectos (e.g. destrucción de la infraestructura y pérdida de medicamentos esenciales) (Tabla 1.1), y puede ocurrir a diferentes periodos de tiempo (antes, durante y posterior al evento).

Efectos sobre la salud	
Directos	Indirectos
Heridas	Daño a la infraestructura de salud
• Muerte (ahogamiento y heridas mortales)	Contaminación química de agua y alimentos
	• Daño a la infraestructura de provisión de agua potable y saneamiento (cloacas, plantas potabilizadoras o depuradoras)
• Enfermedades de transmisión fecal-oral	• Daño a cultivos y/o interrupción en la provisión de alimentos
• Enfermedades transmitidas por vectores y roedores	• Daño y destrucción de la propiedad (e.g. falta de refugios puede dar lugar al incremento e exposición a vectores)
• Infecciones respiratorias	• Desplazamiento de la población
• Infecciones de la piel	
• Enfermedades mentales (shock, trauma, etc.)	

Tabla 1.1. Tipo de impactos de las inundaciones sobre la salud

Desde 1900, los desastres debidos a inundaciones han causado al menos 6.8 millones de muertes, reportando 1.3 millones de lesionados. A la fecha, se han publicado pocas revisiones del impacto de las inundaciones sobre la salud humana (Western, 1982; Seaman, 1984; Hajat *et al.*, 2003; Malilay, 1997). Los mismos solo se han enfocado sobre regiones geográficas en particular o no han involucrado una revisión sistemática de la evidencia epidemiológica disponible.

Los informes de los principales resultados de la revisión de los impactos en la salud, a menudo no son generalizables debido a la falta de información sobre la exposición a la inundación.

El mito de que las cosas vuelven a la normalidad en unas pocas semanas es especialmente pernicioso, ya que los efectos de un desastre duran mucho tiempo (Galea *et al.*, 2005). La mayor parte de la necesidad de asistencia externa es la restauración de la normalidad de los servicios de atención primaria de la salud, sistemas de agua, la vivienda y el empleo. Dichos factores que trabajan sinérgicamente incrementan el riesgo de morbilidad y mortalidad de enfermedades transmisibles. Los desastres frecuentemente dan lugar a cambios en factores ambientales que sinérgicamente incrementan el riesgo de morbilidad y mortalidad de enfermedades transmisibles o en la introducción de nuevos patógenos. Los factores de riesgo de brotes epidémicos post-catástrofe están asociados principalmente con el tamaño y las características de la población afectada. La disponibilidad de agua potable y estructura sanitaria, el grado de agrupamiento, el estado sanitario de la población y la disponibilidad de servicios de salud, interactúan en el contexto de la ecología local de la enfermedad, influyendo en el riesgo de transmisión de enfermedades y muerte (Watson *et al.*, 2007).

Los desastres también se pueden considerar como un problema de salud pública por otras razones:

- Pueden afectar la salud mental, el comportamiento psicológico y social de las comunidades afectadas. El pánico generalizado, el trauma paralizante y el comportamiento antisocial raramente se presentan después de los grandes desastres y los sobrevivientes rápidamente se recuperan del choque inicial. Sin embargo, se puede presentar ansiedad, neurosis y depresión luego de emergencias de inicio súbito o lento;
- Algunos desastres pueden causar escasez de alimentos con severas consecuencias nutricionales, como un déficit específico de micronutrientes -deficiencia vitamínica;

- Pueden causar grandes movimientos de población, espontáneos u organizados, a menudo hacia áreas donde los servicios de salud no pueden atender la nueva situación con el consecuente incremento de la morbilidad y la mortalidad. El desplazamiento de grandes grupos de población también puede aumentar el riesgo de brotes de enfermedades transmisibles en las comunidades desplazadas y anfitrionas, donde los grandes grupos de población de personas desplazadas pueden estar hacinadas y compartir condiciones insalubres o agua contaminada.

Después del desastre, el sector debe encargarse de tres tareas esenciales: el rescate, el tratamiento y el seguimiento a las víctimas primarias traumáticas que han sufrido los efectos directos del desastre y, por otra parte, la prevención de la aparición o de la propagación de efectos nocivos para la salud pública, así como asegurar la pronta recuperación de los establecimientos de salud afectados.

La relación entre los desastres naturales y enfermedades es frecuentemente malinterpretada. Generalmente, el riesgo de brotes epidémicos se presume alto en el caos subsiguiente a un desastre natural, debido a la relación entre cadáveres y epidemias. Sin embargo, los factores de riesgo de brotes epidémicos están asociados principalmente con el tamaño y las características de la población afectada, debido al desplazamiento de la población. La disponibilidad de agua potable y estructura sanitaria, el grado de agrupamiento, el estado sanitario de la población y la disponibilidad de servicios de salud, interactúan en el contexto de la ecología local de la enfermedad, influyendo en el riesgo de transmisión de enfermedades y muerte en la población afectada.

Las inundaciones pueden dar lugar indirectamente al incremento de las enfermedades transmitidas por vectores, debido a la expansión del número y rango de hábitats de los vectores. Aunque la inundación puede inicialmente lavar los sitios de cría, estos se recuperan una vez que las aguas retroceden. Cuerpos de agua temporarios causados por lluvias fuertes o desborde de ríos, pueden actuar como sitios de cría para mosquitos, y en consecuencia aumentar el riesgo potencial de exposición de la población afectada por el desastre a enfermedades tales como dengue, malaria o fiebre del Nilo. El registro de brotes epidémicos de malaria a raíz de inundaciones es un fenómeno bien conocido en las áreas endémicas de malaria alrededor del mundo. Ejemplos de esto son los brotes registrados en Costa Rica, 1991 tras el terremoto y posterior inundación y las inundaciones en República Dominicana en 2004 (WHO, 2005).

El riesgo de epidemia es incrementado asimismo por otros factores, tales como los cambios en los comportamientos humanos, los que pueden dar lugar al incremento en la exposición al picado de mosquitos por dormir al exterior, debido a la pérdida de casas o el temor a estructuras con riesgo de colapso, así como la interrupción temporaria de las actividades de control, sobrepoblación y hacinamiento. Por otra parte se dan cambios en el hábitat que promueven la reproducción del mosquito, tales como deslizamientos, deforestación, embalsamiento o alteración del curso de ríos.

Ratas y ratones (comensales y silvestres) son importantes en la salud pública, debido principalmente a su rol de portadores o reservorios de infecciones y enfermedades que pueden ser transmitidas a humanos (zoonosis). Dentro de las enfermedades presentes en América, se incluyen la plaga (*Yersinia pestis*), salmonelosis (*S. typhimurium*; *S. enteritidis*); leptospirosis (*L. icterohaemorrhagiae*); tifo murino (*Rickettsia typhi*); rickettsiosis (*R. akari*); coriomeningitis linfocítica (arenavirus); fiebre de la mordida de la rata (*Spirillum minus*, *Streptobacillus moniliformis*); síndrome pulmonar por Hantavirus; fiebres hemorrágicas (Arenavirus); encefalitis equina de Venezuela (alphavirus); encefalitis Powassan (Flavivirus); rabias; tifo exantemático de las Rocallosas (*R. rickettsii*); y tularemia (*Francisella tularensis*), así como parasitismos, como triquinosis (*Trichinella spiralis*); meningitis eosinofílica (*Angiostrongylus cantonensis*); y teniasis (*Hymenolepis nana* o *H. diminuta*) (WHO, 2005). La transmisión de estas infecciones a humanos ocurre por contacto indirecto. Algunas son transmitidas a través del contacto con orina o heces de roedores infectados, otras por medio de moscas y piojos o por picadura de mosquitos.

1.1.3 El rol de la epidemiología en los desastres

En el contexto de las desastres por inundaciones, la información epidemiológica resulta importante para que los funcionarios de salud pública y organizaciones de ayuda durante los desastres obtengan una mejor comprensión de los diferentes resultados sobre el estado sanitario, derivado de este tipo de eventos, los diferentes grupos de población afectados, y la mejor forma de reducir al mínimo las repercusiones sanitarias de los acontecimientos futuros. La epidemiología, como un instrumento de aplicación e intervención para la salud pública, puede proveer información muy valiosa para la aplicación de políticas para el manejo de desastres, en forma racional, efectiva y flexible. En particular, la epidemiología provee las herramientas para la resolución rápida y efectiva de problemas durante emergencias sanitarias, y sea por desastres naturales o tecnológicos y emergencias por terrorismo. La información epidemiológica es esencial para determinar prioridades sobre salud, para el diseño y evaluación de las intervenciones sobre salud pública y es también una herramienta importante en su promoción.

Los resultados de la investigación epidemiológica sobre las catástrofes han permitido formar una base científica para una prevención cada vez más eficaz y establecer estrategias de intervención a fin de disminuir la mortalidad en varias situaciones de desastre (Liu *et al.*, 1994, tornados). Los resultados de las investigaciones epidemiológicas sobre un amplio espectro de consecuencias médicas adversas y sobre la salud a consecuencia de los desastres, han permitido dirigir intervenciones específicas para prevenir ciertos efectos relacionados con la salud, provocados por el desastre (por ejemplo, mejora de la alerta y la evacuación antes de inundaciones y ciclones tropicales (Noji, 1993, Staes *et al.*, 1994) y terremotos (Armenian *et al.*, 1992). Esto es útil para ayudar a las comunidades locales a desarrollar una mejor preparación para emergencias y programas de mitigación.

Considerar y evaluar los efectos de las inundaciones sobre la salud, requieren de la disponibilidad de información que permita determinar, en los plazos compatibles con la evaluación, el nivel de alcance del sector en sus diferentes componentes y funcionalidad o, en su ausencia, medir por estudios puntuales o por proyecciones el tiempo y los requerimientos para la recuperación. La disponibilidad y la calidad de la información sanitaria son muy importantes, ya que permiten entender los fundamentos de la política sanitaria, brindando así, la oportunidad de realizar una revisión de la red de los servicios de salud, en el enfoque de la racionalización de los medios y de la modernización del sector. Aún existen vacíos críticos de información, acerca de cómo el sistema de atención de salud debe tratar los desastres. En general se carece de un proceso eficaz, institucionalizado a nivel nacional, de transferencia de conocimientos para la recopilación y difusión de las lecciones aprendidas de las respuestas de salud a los desastres, por parte de los investigadores, hacia a los asistentes de primera respuesta.

1.1.4 La epidemiología y su rol en la respuesta a emergencias

La preparación ante epidemias y la capacidad de detectar y verificar la existencia de epidemias desde el inicio de una emergencia son cruciales para la contención temprana de brotes y la reducción de la mortalidad. A menudo hay retrasos en la detección como resultado de una falta de vigilancia y comunicaciones adecuadas, infraestructura, personal sin conocimientos técnicos, y recursos insuficientes para analizar, investigar y responder adecuadamente a las alertas.

Estos retrasos se producen a menudo cuando las poblaciones afectadas por desastres están ampliamente dispersas y viven en un área con una infraestructura de salud pública colapsada. El alerta temprana exige una noción mucho más amplia de vigilancia, a través de “rumores” de epidemias generadas por redes de alerta temprana, las que podrían implicar, por ejemplo, a las organizaciones no gubernamentales (tanto en la salud y no salud) y de trabajadores de la comunidad. Esto debe ser combinado con la capacidad para verificar rumores y llevar a cabo investigaciones de campo para confirmar los brotes a través de epidemiología descriptiva y sencilla.

La planificación de estos eventos es de vital importancia y debe hacerse con un amplio conjunto de socios y la provisión adecuada para garantizar la disponibilidad de medicamentos, vacunas y otros suministros, tales como equipos de protección personal que podrían ser necesarios. En este sentido, la identificación de áreas de frecuente ocurrencia de brotes epidémicos, así como su asociación con diferentes enfermedades epidémicas, ayudaría al establecimiento y mejoramiento de los sistemas de alerta temprana, focalizados en dichas patologías, optimizando personal, tiempo y recursos.

Un enfoque organizado para la recogida de datos en situaciones de desastre ayudaría a los administradores de desastres tomar decisiones cruciales y a predecir la variedad de opciones durante las diferentes fases de un desastre (Ahern *et al.*, 2005).

Los brotes de enfermedades infecciosas relacionadas con inundaciones son más probables que ocurran en los países en desarrollo, donde la transmisión de enfermedades infecciosas es un problema de salud pública existente, y en muchos de estos países, la infraestructura de salud pública no está tan bien establecida, con muchas personas más vulnerables.

Los estudios sobre las consecuencias de las inundaciones sobre la salud están dominados por las inundaciones de evolución lenta ocurridas en los países de altos ingresos, los cuales pueden tener poca relevancia a las inundaciones repentinas e inundaciones en lugares de bajos ingresos, como los países latinoamericanos. Algunos son inundaciones catastróficas y pueden afectar a miles de personas que pueden tener poca capacidad para protegerse a sí mismos, como fue el caso en Mozambique en 2000 y en Bangladesh en 2004. En el otro extremo del espectro, se encuentra las inundaciones en pequeña escala en países de altos ingresos, donde los servicios de emergencia y apoyo están en mejores condiciones para hacer frente a los efectos inmediatos y de más largo plazo.

La comparación de diferentes inundaciones sugiere que el riesgo de muerte está influenciado tanto por las características de la inundación (por ejemplo, su escala y duración, además de lo repentino de su aparición, la velocidad y la profundidad del agua, la falta de advertencia y de la población que afecta. La mayoría de los eventos de inundación del tipo de evolución lenta son menos propensos a causar muertes y lesiones, por lo menos en la fase de inicio. Los países en desarrollo poseen factores únicos que los hacen más propensos a favorecer la aparición de la enfermedad, entre ellos se encuentran las altas tasas endémicas de la enfermedad, bajas tasas de inmunización, el acceso limitado al agua potable (Mosley *et al.*, 2004), el saneamiento deficiente, el hacinamiento prolongado en los refugios, y una alimentación inadecuada.

Las muertes y lesiones relacionadas en su mayoría con el periodo de ocurrencia de las inundaciones, y se pueden deber a asfixia o lesiones mortales sufridas cuando las personas son golpeadas por los desechos presentes en las aguas que fluyen rápidamente. Los brotes de enfermedades infecciosas y los efectos adversos sobre la salud mental son más propensos a ocurrir en el medio y largo plazo. Contrariamente a la creencia popular, la presencia de un gran número de cadáveres luego de las catástrofes naturales no se asocia con las epidemias de enfermedades infecciosas (Morgan, 2004). Estas muertes son causadas por la fuerza traumática de un desastre natural, no por la enfermedad, y por lo tanto no dan lugar a epidemias.

Las consecuencias para la salud debido a inundaciones se podrían agregar en los siguientes grupos:

- Mortalidad
- Heridas
- Diarreas
- Enfermedades fecales – orales
- Enfermedades transmitidas por vectores
- Enfermedades transmitidas por roedores
- Enfermedades mentales
- Otras

Mortalidad

De acuerdo con EM-DAT (The International Disaster Database del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) entre 1900 y 2004 había más de 6,8 millones de muertes durante eventos de inundaciones, lo que representa alrededor del 20% de todas las muertes debidas a desastres naturales, y más del 98% de estas muertes ocurrieron en Asia. La gran mayoría de estas muertes se produjeron durante eventos de inundaciones catastróficas en China en 1931 y 1959. Aunque sujeta a sesgos de información a través del tiempo y, entre los países, EM-DAT indica que el número de muertes por evento ha ido disminuyendo. La mayor incidencia (de mortalidad per cápita al año) debido a las inundaciones fluviales y deslizamientos son en América del Sur. La mayor incidencia de muerte debida a las inundaciones costeras se registra en el Caribe y América Central, del Sur y Este de Asia (Bangladesh e India).

En términos generales, la mayoría de las muertes debidas a inundaciones se producen en la fase inicial, por ahogamiento, o por heridas mortales recibidas por el golpe con objetos movidos por el flujo rápido de las aguas. En consecuencia, la velocidad de la inundación es uno de los principales factores que determina el número de muertes, siendo las “inundaciones rápidas” particularmente dañinas, debido a la escasa oportunidad de alertar a las comunidades y realizar maniobras evasivas (Jonkman (in press))

El crecimiento poblacional, junto con otros factores ha aumentado la población en riesgo de inundación y por lo tanto es muy difícil estimar las tendencias en el tiempo y la vulnerabilidad entre países.

Asimismo, las muertes debidas a inundaciones pueden también deberse a otros factores, los cuales no ocurren durante la fase inicial. Por ejemplo, las inundaciones pueden incrementar el riesgo de enfermedades infecciosas (e.g. diarreas, malaria), y en algunos casos volverse fatales.

Heridas

Las heridas debidas a inundaciones pueden ocurrir antes, durante o después de la inundación. En la fase inicial las heridas son ocasionadas cuando los individuos tratan de rescatarse por sí mismos, a sus familiares o sus posesiones de las aguas en aproximación. El riesgo de heridas serias se presenta cuando hay objetos grandes y pesados en el flujo de aguas rápidas. Hay también un riesgo potencial de heridas durante la fase de finalización, cuando la gente retorna a sus hogares y negocios y comienzan las operaciones de limpieza. En esta fase se debe tener particular cuidado con los edificios, los cuales pueden volverse inestables, y presentar riesgo de electrocución debido a cables eléctricos sueltos.

Por otra parte, así como los casos de muertes, la mayoría de los heridos durante inundaciones ocurrieron en Asia con un 93% (EM-DAT)

En general, las inundaciones con un comienzo lento son menos probables de generar heridas (Siddique *et al.*, 1991). Las lesiones más comunes suelen ser esguinces, distensiones, laceraciones, otras lesiones, y abrasiones/contusiones (Schmidt *et al.*, 1993; Atchison *et al.*, 1993; Duclos *et al.*, 1991).

Enfermedades Infecciosas

En general, hay pocos estudios de calidad sobre las enfermedades infecciosas relacionadas con las inundaciones (Hajat *et al.*; 2003; Malilay, 1997) reportándose eventos que varían en magnitud y mortalidad. Hay evidencia epidemiológica de que las inundaciones lentas y leves conducen a brotes de enfermedades infecciosas (por ejemplo, cólera, hepatitis, enfermedades transmitidas por vectores).

En la presente sección se presentaran antecedentes de las diversas patologías asociadas a eventos de inundación y que fueron relevadas durante el presente estudio.

Diarreas

Las enfermedades diarreicas son una causa importante de mortalidad en la niñez y la morbilidad en los países en desarrollo. Los picos estacionales en la mortalidad por diarrea y la morbilidad están, en algunos casos, asociados con las lluvias e inundaciones.

Las enfermedades diarreicas pueden ser causadas por virus y patógenos bacterianos. La infección transmitida por el agua se produce cuando los seres humanos beben agua infectada con un agente patógeno, tales como *Vibrio cholerae*, pero también puede transmitirse por vía fecal-oral, como por ejemplo a través de alimentos contaminados (Cairncross & Feachem, 1993).

Uno de los principales impactos de las inundaciones deviene del derrame de tanques de las plantas de tratamientos de aguas servidas que fueron inundadas, así como por la flotación de lodos fermentados de las letrinas y pozos negros, incluso, de tanques sépticos. Asimismo, en los países con menos desarrollo, las letrinas y pozos están en las zonas suburbanas y rurales. La materia y las bacterias fecales así dispersadas afectan directamente a los damnificados.

Varios trabajos se centraron en la diarrea no específica en los países en desarrollo, observando un incremento en el número de casos luego de inundaciones, mostrando mayor mortalidad los niños de menos de 5 años (Siddique *et al.*, 1991; Kunii *et al.*, 2002; Biswas *et al.*, 1999; Mondal *et al.*, 2001; Kondo *et al.*, 2002; MMWR, 1989; Woodruff *et al.*, 1990).

Similar patrón se observó para las parasitosis intestinales en niños (Kostioingue *et al.*, 2002). No hay evidencia disponible de que las inundaciones conduzcan a brotes de enfermedades diarreicas en los países industrializados (Cervantes, 1976; Aavitsland *et al.*, 1996; Atchison *et al.*, 1993 y Schmidt *et al.*, 1993). Rotavirus y criptosporidios son también causa común de diarrea en niños y bebés, pero su dinámica epidemiológica relacionada con las inundaciones no está del todo clara (Fun *et al.*, 1991; Ahmed *et al.*, 1991; Katsumata *et al.*, 1998).

Hepatitis A y E.

El virus de la Hepatitis A y E (VHA y VHE) se transmite principalmente a través de la vía fecal-oral (Chin, 2000). El origen común de los brotes para VHE incluye aguas contaminadas y así como consumo de alimentos y aguas contaminadas por VHA.

Numerosos autores sugieren que muchos de los grandes brotes de VHE y VHA se han producido después de lluvias fuertes e inundaciones (Piper-Jenks *et al.*, 2000; McCarthy *et al.*, 1994; Mackowiak *et al.*, 1976; Corwin *et al.*, 1999; Hau *et al.*, 1999).

Parasitosis intestinales

La infección por helmintos (gusanos parásitos) puede ser a mediante agua o suelo. La infección mediada por agua (por ejemplo, la esquistosomiasis) resulta de la infección por helmintos, que dependen de un huésped intermediario acuático para completar su ciclo de vida. Helmintos transmitidos por el suelo no son inmediatamente infecciosos, ya que primero necesitan un período de desarrollo en condiciones favorables, por lo general en el suelo húmedo (Cairncross & Feachem, 1993). Ambas infecciones a base de agua y suelo están asociados con condiciones de sanidad e higiene deficientes, ya que los huevos infecciosos se transmiten por la orina humana o (por lo general) las heces.

Lilley *et al.* (1997), observaron el efecto de las inundaciones sobre el ciclo de los parásitos registrando incrementos en la prevalencia de la anquilostomiasis, atribuidas al aumento de la humedad en los suelos por inundación. El anquilostoma es una infección parasitaria crónica y es ampliamente endémica en zonas tropicales y países subtropicales y con condiciones de humedad y temperatura del suelo favorables para el desarrollo de las larvas infectantes (Chin, 2000). Dentro de los parásitos más frecuentes se incluyen *Enterobius vermicularis* (16,45%), *Ascaris lumbricoides* (2,8%) y *Trichuris trichuris* (0,29%) (Plonka y Dzbenski, 1999).

Tuberculosis

La tuberculosis se está convirtiendo en un problema importante durante las emergencias complejas. La movilidad de la población y la escasez de acceso a los servicios de salud y medicamentos interrumpen los programas de control de la tuberculosis, incrementando la transmisión como consecuencia del hacinamiento y la malnutrición.

Además, durante las emergencias complejas aumentan el desarrollo de casos crónicos y la resistencia a múltiples fármacos y bajas tasas de curación, elevando aún más la transmisión (Kessler *et al.*, 2003)

Enfermedades transmitidas por vectores

Las enfermedades transmitidas por insectos vectores relacionados con el agua representan una importante categoría que pueden ser afectadas por las inundaciones. Muchas infecciones importantes se transmiten por los mosquitos, que se reproducen en, o cerca del agua estancada o en movimiento lento (charcos, lagunas). La recogida de aguas estancadas debido al bloqueo de los desagües en las zonas urbanas también se asocia con aumentos en la transmisión. Por el contrario, los mosquitos vectores del dengue crían en contenedores y por lo que la relación con la precipitación es menor.

Malaria

La malaria es una enfermedad parasitaria, que se produce en los seres humanos, cuando uno de los cuatro agentes infecciosos- *Plasmodium vivax*, *P. malariae*, *P. falciparum* y *P. ovale* - se transmiten en el flujo de sangre a través de la picadura de un mosquito hembra (Chin, 2000). Las precipitaciones tienen un papel especialmente importante que desempeñar en la transmisión de la malaria en las zonas donde el clima suele ser demasiado seco para mantener poblaciones del mosquito suficientemente abundantes. Por otra parte, las inundaciones pueden ser beneficiosas, en el sentido de que puede lavar sitios de reproducción, y en las zonas donde la enfermedad transmitida por mosquitos es endémica esto puede llevar a reducir la transmisión (Sidley, 2000), al menos durante el período en que los niveles de agua son altos.

Se ha informado de transmisión de la malaria relacionada con las inundaciones en África (MMWR 1989; Woodruff *et al.*, 1990; McCarthy *et al.*, 1996; El-Sayed *et al.*, 2000; Kondo *et al.*, 2002), Asia (Nandi y Sharma, 2000; Sharma *et al.*, 1997; Mathur *et al.*, 1992) y América Latina. (Moreira Cedeño, 1986; Russac, 1986; Hederra, 1987; Sáenz *et al.*, 1995).

Arbovirosis

Los mosquitos también son responsables de la transmisión de una serie de Arbovirosis (virus transmitidos por artrópodos), incluyendo el dengue, y varias formas de encefalitis. El dengue es una enfermedad viral aguda febril y se transmite a los humanos por medio del mosquito *Aedes aegypti*, el cual predomina en el entorno urbano, y cuyo hábitat reproductivo preferido es en recipientes hechos por el hombre, tales como recipientes de almacenamiento de agua potable.

El dengue es poco probable que sea un problema particular durante la fase de inicio de una inundación, ya que muchos hábitats de cría de *Aedes aegypti* son probables que sean rebalsados por las aguas. Sin embargo, en la fase posterior, existe la posibilidad de que el retroceso de las aguas proporcione hábitats ideales de cría. Rigau-Pérez *et al.*, 2001 se refirieron al dengue en el contexto de las inundaciones, e informó que extensas inundaciones en 1996, no afectaron la forma y la altura de la epidemia de dengue.

Enfermedades transmitidas por roedores

Síndrome pulmonar por hantavirus

El síndrome pulmonar por hantavirus (SPH) es una enfermedad viral zoonótica aguda, y se han identificado múltiples hantavirus en las Américas. La enfermedad fue reconocida por primera vez en 1993 en Nuevo México y Arizona, EE.UU. (Chin, 2000). El reservorio natural de la

enfermedad incluye varias especies de roedores, y la infección en los seres humanos se produce después de la inhalación del virus en aerosol o por contacto directo con roedores infectados o con sus excrementos (Bayard *et al.*, 2000).

Se han registrado aumento de los casos, casi al mismo tiempo que un aumento en los roedores peri-doméstico asociado al incremento de las precipitaciones e inundaciones (Bayard *et al.*, 2000). Bayard y sus colegas (2000) también sugirieron que un aumento en la incidencia de HPS se relacionó con los períodos de lluvia por sobre el promedio.

Leptospirosis

La leptospirosis es una enfermedad zoonótica causada por la bacteria *Leptospirapatógeno interrogans*, y se transmite en la orina de los animales a los seres humanos, ya sea directamente, cuando la orina de un animal infectado (como perros, gatos, ganado, roedores y animales silvestres) entra en el cuerpo a través de una herida en la piel, o indirectamente, en el agua contaminada y el suelo (Ingraham & Ingraham, 1995; Bharti *et al.*, 2003). El patógeno entra en el torrente sanguíneo y después de llegar a los riñones se multiplica y se excreta en la orina.

A menudo existe una falta de conciencia de la enfermedad, y su difícil diagnóstico hacen subestimar sus tasas de incidencia (Bharti *et al.*, 2003).

Existen informes de brotes asociados con las inundaciones de una amplia gama de países, entre ellos: Argentina (Varnasco *et al.*, 2000), Brasil (Barcellos y Sabroza, 2000; Barcellos y Sabroza, 2001; Correa, 1975; Ko *et al.*, 1999; Kupek *et al.*, 2000.; Marotto *et al.*, 1997; Sarkar *et al.*, 2002), Cuba (Suárez Hernández *et al.*, 1999), México, (Leal-Castellanos *et al.*, 2003.), Nicaragua (Ashford *et al.*, 2000; Muñoz *et al.*, 1995; Trevejo *et al.*, 1998), Puerto Rico (Sanders *et al.*, 1999) India (OMS, 2000; Seghal *et al.*, 2002; Karande *et al.*, 2003; Karande *et al.*, 2002), Corea (Park *et al.*, 1989), Filipinas (Easton, 1999) y Portugal (Simoes *et al.*, 1969). En general, las inundaciones después de fuertes lluvias son particularmente favorables para las leptospiras ya que evita que la orina de los animales sean absorbidas por el suelo o se evaporen, pudiendo pasar directamente a las aguas superficiales o persistir en el barro "(Sanders *et al.*, 1999). Para la mayoría de los autores la explicación de esta epidemia es la mayor exposición a las aguas de inundación contaminadas con orina de animales infectados con leptospiras (Trevejo *et al.*, 1998; Muñoz *et al.*, 1995; Ashford *et al.*, 2000; Sarkar *et al.*, 2002).

Análisis de las consecuencias de catástrofes por inundación en Sudamérica y Argentina

Debido a la importancia global que representan las inundaciones como desastre natural, el presente capítulo tiene como objetivo, analizar la ocurrencia de eventos de inundación causantes de catástrofes en Sudamérica y específicamente en Argentina, y sus efectos sobre la población y sus bienes.

1.2 Materiales y métodos

1.2.1 Información de eventos de inundación

La información de los eventos de inundación ocurridos en Sudamérica y Argentina fue suministrada por la base de datos EM-DAT del Center for Research on the Epidemiology of Disasters de la Universidad de Lovaina, Bélgica (CRED). EM-DAT se creó en 1988 y tiene una variedad de fuentes de información, entre éstos se incluyen Naciones Unidas, organizaciones no gubernamentales, compañías de seguros, institutos de investigación y agencias de prensa (<http://www.emdat.net/who.htm>).

Para que un desastre que se introduzca en la base de datos EM-DAT, al menos uno de los siguientes criterios se tiene que cumplir:

- 10 o más personas reportadas muertas
- 100 personas reportadas como afectadas
- una solicitud de ayuda internacional
- declaración del estado de emergencia

En términos de la epidemiología de los desastres naturales la base de datos no proporciona detalles sobre la causa de muerte y lesiones, ni sobre la constitución de los diferentes grupos que podrían verse afectados por estos desastres. Fuente: sitio web de EM-DAT (<http://www.emdat.net/who.htm>).

Dentro de estas características podemos encontrar las causas que la originan, su magnitud y duración, número de personas afectadas y víctimas.

Para el análisis de la frecuencia por tipo de catástrofe para Sudamérica, y sus consecuencias, evaluadas en número de muertes, afectados y daño económico, se consideraron datos del periodo 2000-2010.

Para el análisis de las tendencias de la ocurrencia y consecuencias de las catástrofes para Argentina, se tuvo en cuenta el periodo 1900 a 2011, discriminando el efecto de las inundaciones según su tipo (general, inespecífica y rápidas).

Se observó la tendencia en la ocurrencia, daño económico, afectados, muertos, personas sin hogar y lesionados en la última década (periodo 2000-2009).

Finalmente se relevaron las consecuencias de las inundaciones de máximo efecto para Argentina durante el periodo 1900 a 2011.

1.3 Resultados

1.3.1 Análisis del efecto de las inundaciones en Sudamérica

1.3.1.1 Análisis general

El análisis propio sobre los datos suministrados por CRED, sugieren que, en Sudamérica las inundaciones se cobran el mayor porcentaje de muertos entre todos los desastres naturales registrados en la región, con un total de 3954 muertos para el periodo 2000 a 2010 (Figura 1.1).

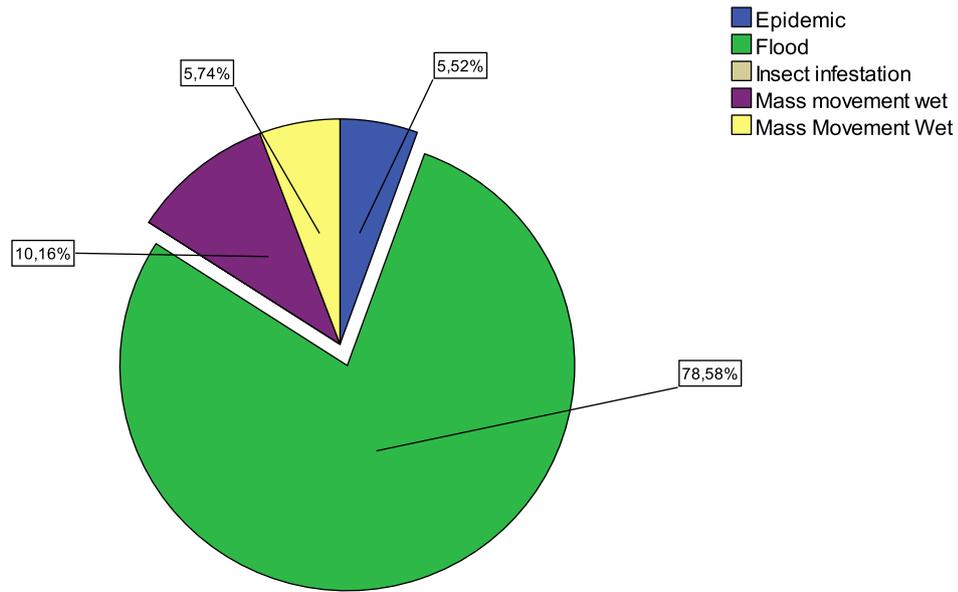


Figura 1.1. Porcentaje de muertos por desastre natural para Sudamérica (Fuente: CRED, periodo 2000-2010).

Dentro de la región, los países más afectados en número de muertes son Colombia y Brasil, con más del 66% de las víctimas. Argentina registra menos del 2% (Figura 1.2).

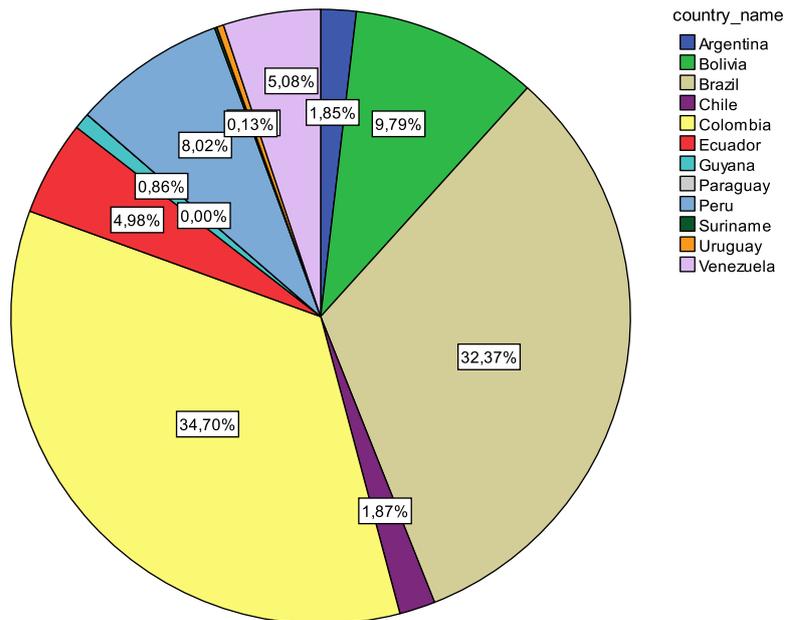


Figura 1.2. Porcentaje de muertos por inundación por país para Sudamérica (Fuente: CRED).

De igual manera, los países con mayor cantidad de personas afectadas por inundación fueron Colombia y Brasil, con más de 10 millones de víctimas. Argentina registró aproximadamente un 4%, correspondiente a más de 700 mil personas (Figura 1.3).

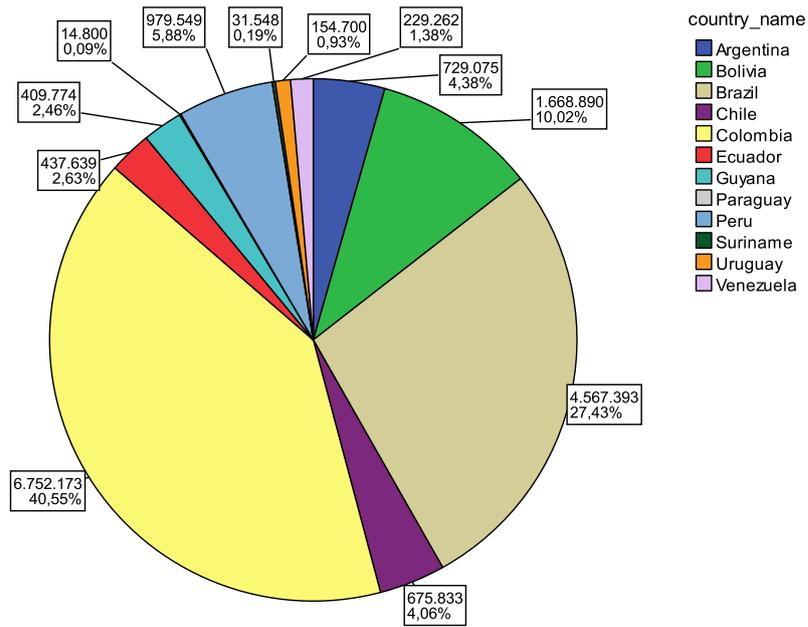


Figura 1.3. Número y Porcentaje de personas afectadas por eventos de por inundación por país para Sudamérica (Fuente: CRED, periodo 2000-2010).

Las pérdidas estimadas muestran a Argentina y Brasil como los países más afectados económicamente (Figura 1.4). Cabe destacar que la estimación de las pérdidas debido a eventos de inundación no está cuantificada para todos los casos.

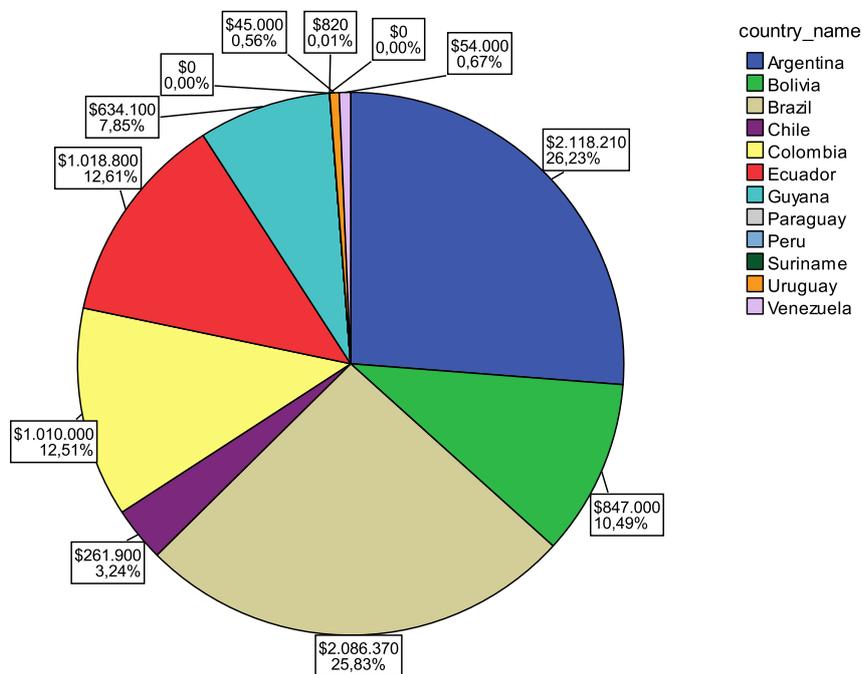


Figura 1.4. Perdida en dólares debido a eventos de inundación por país para Sudamérica (Fuente: CRED, periodo 2000-2010).

1.3.2 Análisis del efecto de las inundaciones en Argentina

1.3.2.1 Análisis general

Un ranking de los desastres naturales que mayor número de muertes ocasionó en Argentina, durante el periodo 1900-2011, muestra a los terremotos como los desastres más importantes en cuanto a número máximo de víctimas ocasionadas, seguido por las inundaciones (Tabla 1.2).

Desastres	Fecha	No Muertos
Terremotos (actividad sísmica)	15/01/1944	10000
Inundaciones	jul-58	360
Temperaturas Extremas	04/01/1972	100
Tormentas	feb-74	100
Terremotos (actividad sísmica)	23/11/1977	70
Epidemia	feb-92	67
Inundaciones	28/02/1966	62
Tormentas	01/01/1973	60
Inundaciones	10/10/1967	56
Deslizamientos	16/08/1965	45

Tabla 1.2. Ranking de los 10 desastres naturales que mas muertos ocasiono en Argentina durante el periodo 1900-2011.

Por otra parte, las inundaciones se mostraron como el desastre natural más frecuente durante el periodo 1900-2011, con aproximadamente la mitad de los eventos catastróficos relevados (46 eventos).

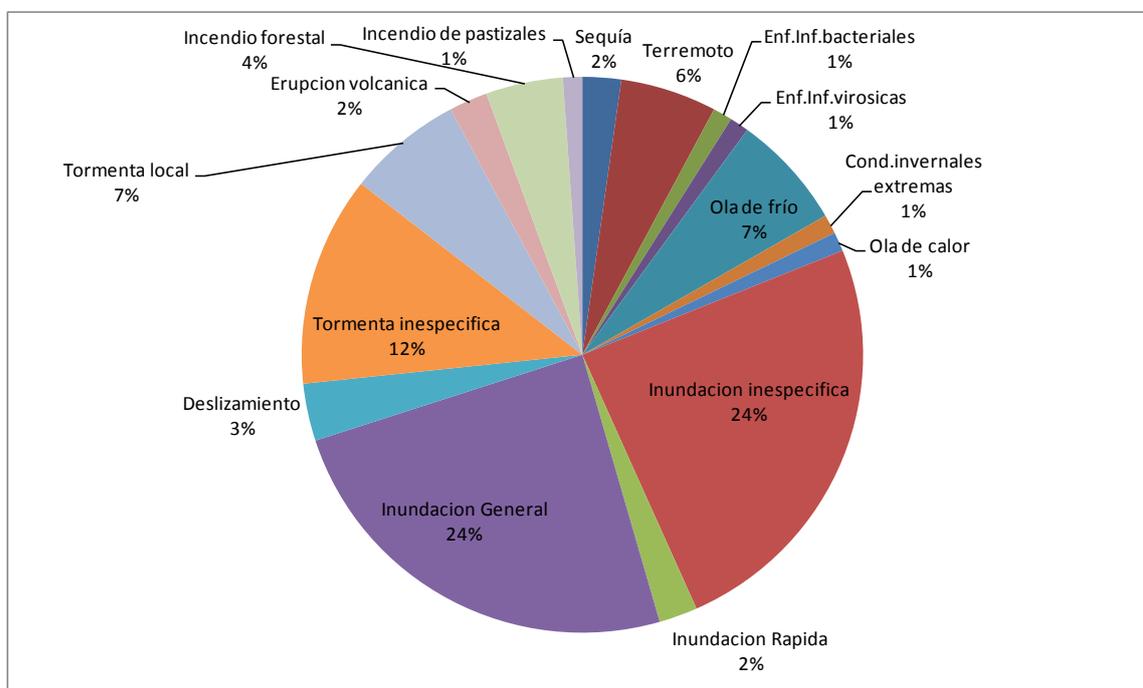


Figura 1.5. Porcentaje de eventos de catástrofe registrados para Argentina durante el periodo 1900-2010 (Fuente: CRED).

Por otra parte, en Argentina, durante el periodo 1900-2010, los terremotos fueron el desastre natural que mayor número de vidas se cobró (aprox. 10000 personas), mientras que el 87% de las personas afectadas por desastres, fueron víctimas de las inundaciones (Figura 2.5), con

aproximadamente 13742249 de personas. En Argentina, en la última década, se registraron 73 muertos por inundaciones.

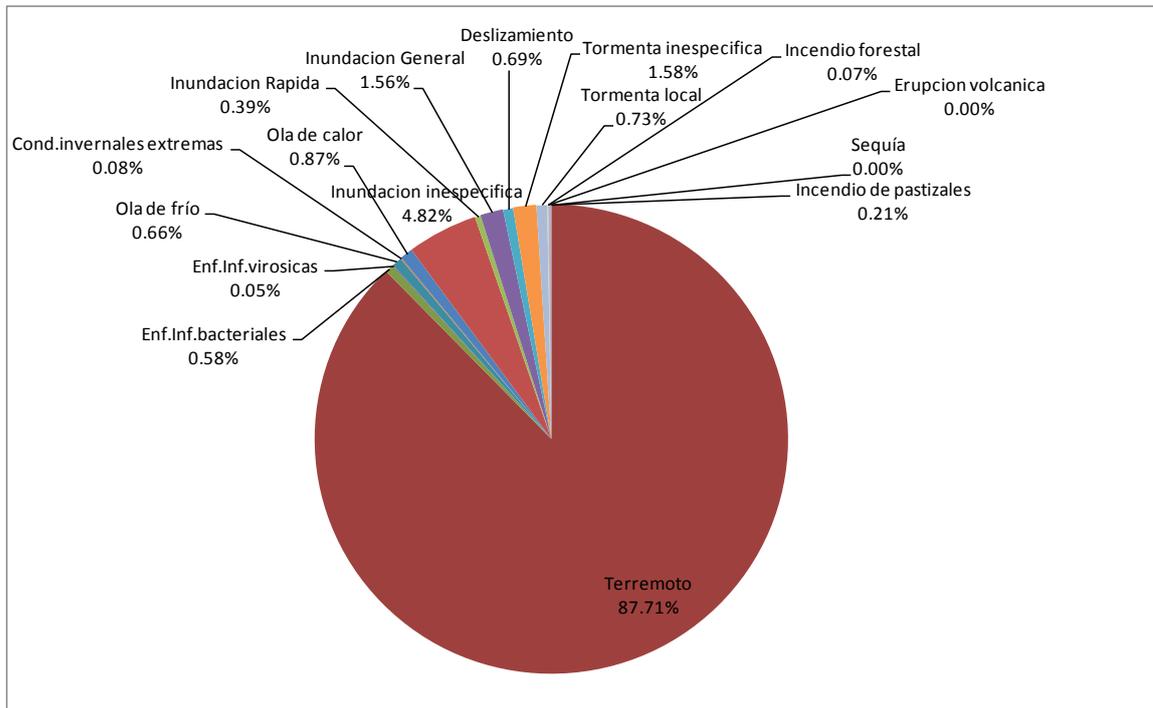


Figura 1.6. Porcentaje de muertos por tipo de desastre natural registrados para Argentina durante el periodo 1900-2010 (Fuente: CRED, periodo 2000-2010).

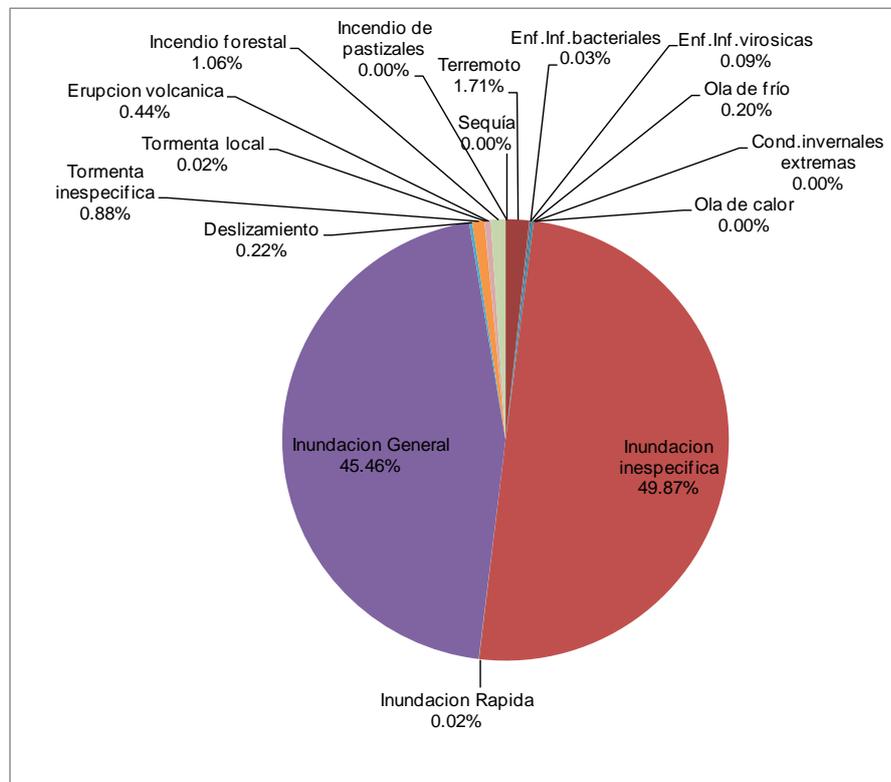


Figura 1.7. Porcentaje de afectados por tipo de desastre natural registrados para Argentina durante el periodo 1900-2010 (Fuente: CRED, periodo 2000-2010).

Por otra parte las inundaciones fueron capaces de generar daños económicos más importantes con respecto a los demás desastres, con aproximadamente el 90% de los daños (Figura 1.8), correspondiente a un total de 8.698.210.000 U\$\$ en pérdidas.

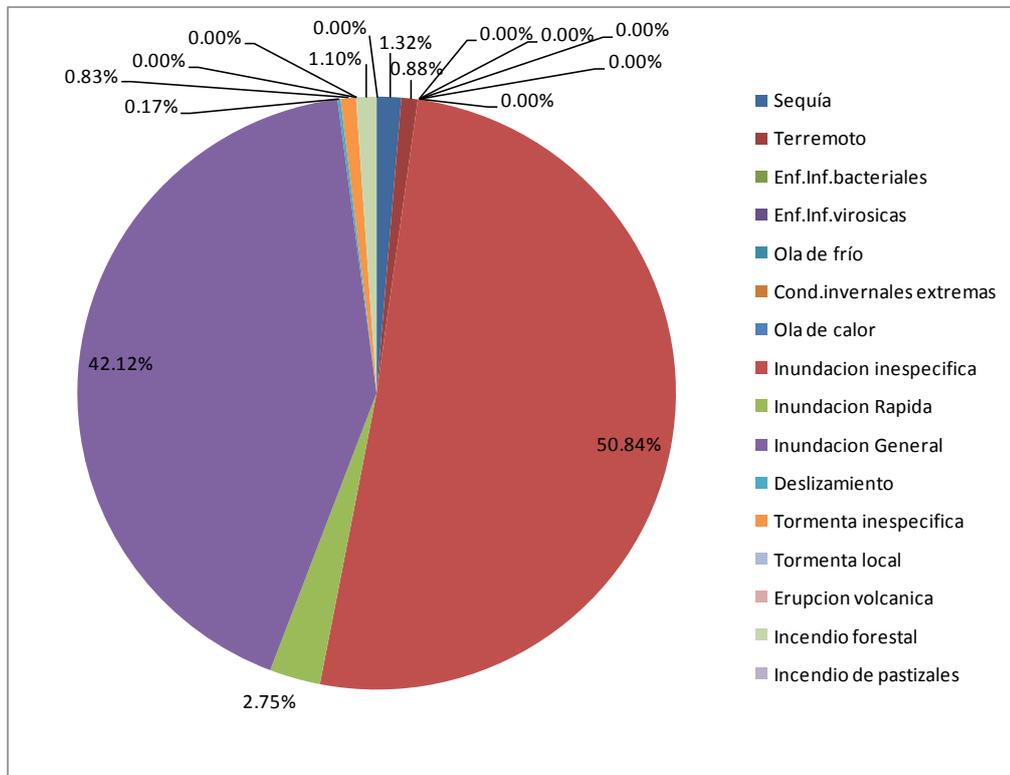


Figura 1.8. Porcentaje del daño económico por tipo de desastre natural para Argentina durante el periodo 1900 a 2010.

1.3.2.2 Tipo de inundación

Las inundaciones generales e inespecíficas resultaron las más frecuentes, con más del 95% de los eventos (Figura 1.9).

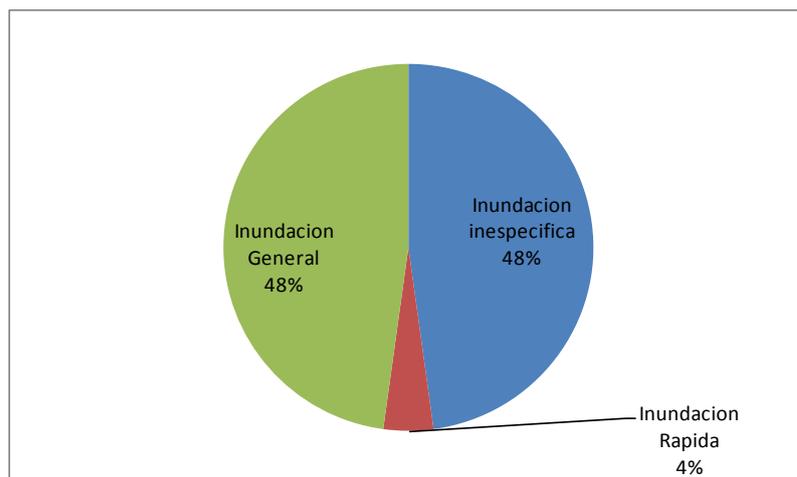


Figura 2.9. Porcentaje de eventos registrados según tipo de inundación (1900-2011)

Se registró un mayor número de muertos totales para las inundaciones generales e inespecíficas (Figura 2.10), consecuencia de la mayor frecuencia de dichos eventos.

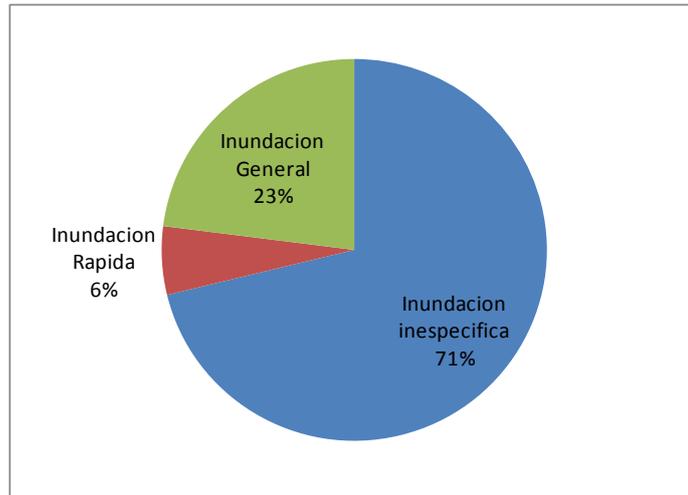


Figura 2.10. Porcentaje del total de muertos por evento registrado, según tipo de inundación (1900-2011)

Las inundaciones rápidas mostraron un número promedio de muertos por evento mayor que las inundaciones generales, considerando que solo se registraron 2 eventos (Figura 1.11)

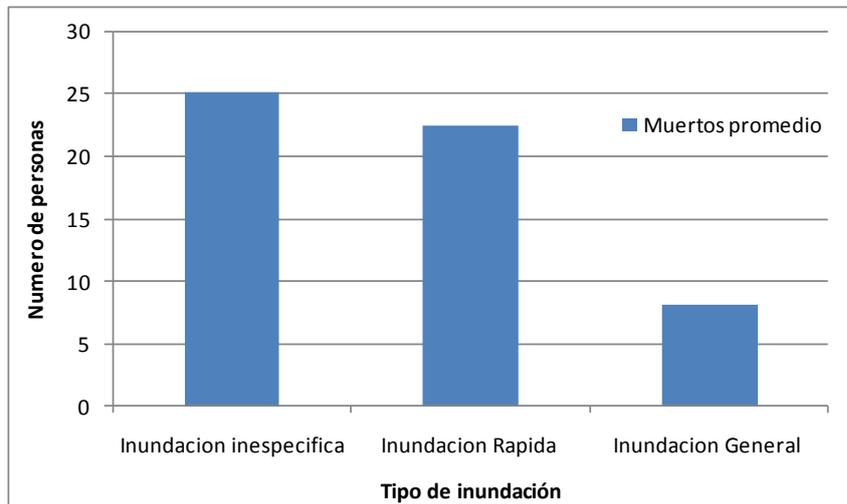


Figura 1.11. Muertos promedio por evento registrado, según tipo de inundación 1900-2011).

1.3.2.3 Eventos de inundación con impacto máximo para Argentina desde 1900 a 2011

El registro del número de afectados observa una disminución en la década del 90, observándose los máximos durante la década del 80 (Figura 1.12). En la última década se registraron un total de 729075 afectados.

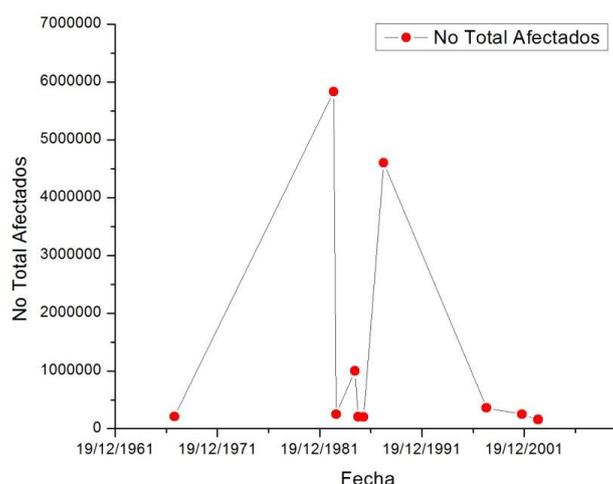


Figura 1.12. Sucesión temporal de las 10 inundaciones más importantes en número de afectados en Argentina durante el periodo 1900 a 2011.

No se observa una disminución notable en el daño económico registrado en los 10 eventos de máximo impacto desde 1900 a la actualidad (Figura 1.13). Durante la última década los daños calculados ascendieron a 2118210000 U\$\$

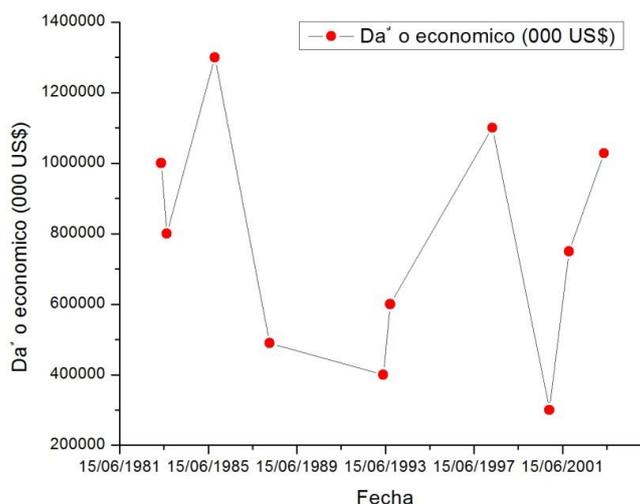


Figura 1.13. Sucesión temporal de las 10 inundaciones más importantes en daño económico (000 U\$\$) en Argentina durante el periodo 1900 a 2011.

1.3.2.4 Tendencias en la última década de las inundaciones para Argentina

El análisis del número de eventos de inundación durante el periodo 2000-2009 muestra un leve disminución para el caso de Argentina, mientras que Brasil es el más afectado, incrementando casi el doble el número de inundaciones anuales (datos EM-DAT) (Figura 1.14).

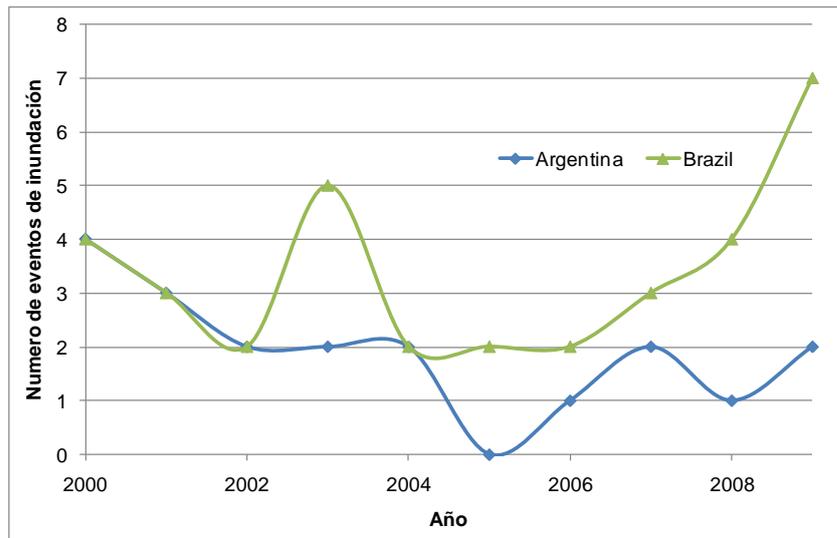


Figura 1.14. Numero de eventos de inundación anuales para Argentina y Brasil, durante el periodo 2000-2009.

En general se observa una disminución en el número de personas muertas, afectadas, sin hogar y lesionadas, como consecuencia directa del menor número de eventos de inundación registrados (figura 1.15). Se observa a 2003 como el año más crítico con mayor número de muertos y desplazados, consecuencias de la inundación en Santa Fe debido al desborde del rio Salado (Figura 1.15).

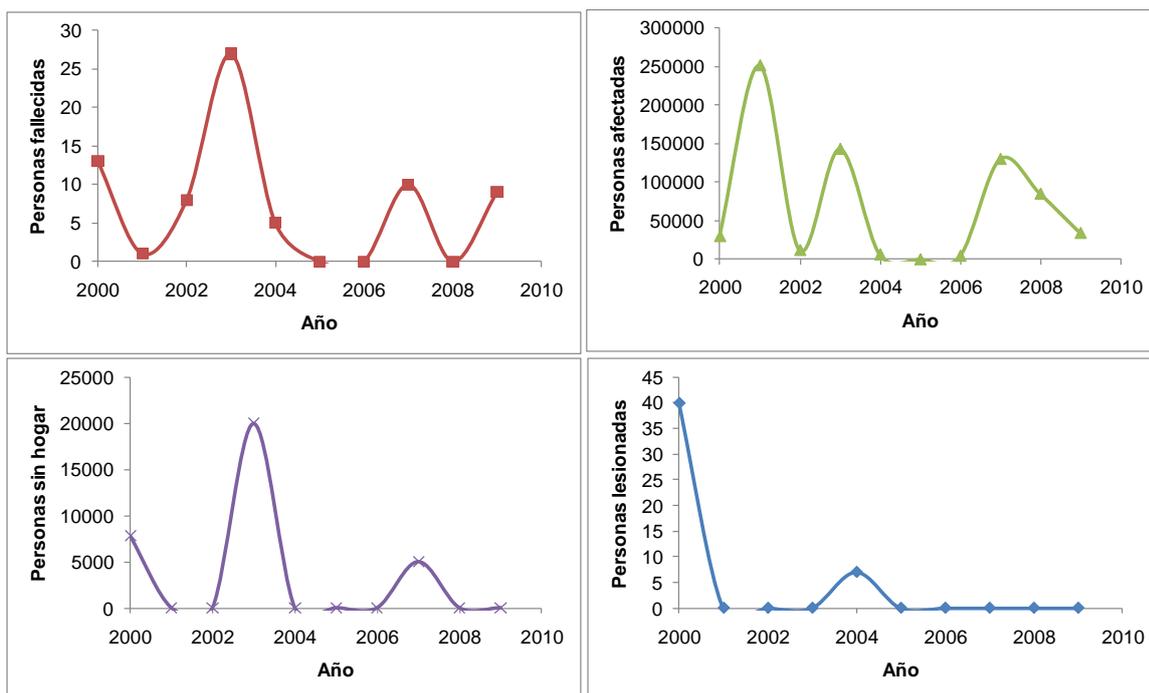


Figura 1.15. Número de personas fallecidas, afectadas, desplazadas o sin hogar y lesionadas anuales para Argentina durante el período 2000-2009.



1.4 Conclusiones

Durante el periodo 1900 a 2011, las inundaciones fueron el desastre natural más común en Latinoamérica, produciendo la mayor cantidad de personas muertas. Colombia y Brasil resultaron los países más afectados, con mayor número de muertos y población afectada. En este sentido, Argentina mostró un bajo porcentaje de muertos y afectos en relación al resto de la región.

A pesar de ello, Argentina junto a Brasil, fueron los países más perjudicados económicamente en el periodo 1900-2011. En el caso argentino, la mayor parte de la pérdida constituyó posiblemente pérdidas relacionadas con la agricultura.

A nivel local, la catástrofe que mas muertos ocasionó fue el terremoto de San Juan de 1944. Si bien se observa una disminución en el número de eventos de inundación para Argentina durante el periodo 2000-2009, las inundaciones resultaron, al igual que en toda la región, también ser el desastre más común, con el mayor daño económico y la mayor cantidad de personas afectadas.

Las inundaciones generales e inespecíficas causaron la mayor cantidad de muertos, debido a su mayor frecuencia de eventos, en tanto que las rápidas mostraron un impacto más grande en cuanto a la mortalidad por evento.

La tendencia en general marca una disminución en el número de eventos y número de afectados, en tanto que en la última década no se observa una disminución en el daño económico ocasionado.



Capítulo 2

Análisis de la relación entre brotes epidémicos y características de las inundaciones

2.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo, describir la ocurrencia de epidemias (o no ocurrencia) en relación a características ambientales propias de las inundaciones. Dentro de estas características podemos encontrar las causas que la originan, su magnitud y duración, número de personas afectadas y víctimas.

Se buscará posibles patrones de ocurrencia de diferentes enfermedades según modo de transmisión, no vectorial (transmitidas por agua y aire) y vectoriales (transmitidas por insectos y roedores). Por otra parte se consideraran también las mordeduras, como potenciales transmisores de rabia.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Información de eventos de inundación

Se analizaron 50 eventos de inundación ocurridos en Argentina durante los años 2005 a 2007. La información de los eventos de inundación ocurridos en la república argentina entre el periodo 2005 a 2010 fueron extraídos de la base de datos EM-DAT (ver descripción apartado anterior) y DesInventar (<http://www.desinventar.org>).

DesInventar maneja un conjunto de variables de los efectos generados comúnmente en un desastre, tales como en personas, viviendas, infraestructura vital y sectores económicos. Los efectos del desastre se han clasificado en cuatro grupos:

- a) Relacionados con las personas
- b) Relacionados con la vivienda
- c) Relacionados con la infraestructura
- d) Pérdidas económicas.

DesInventar define a Inundación como el anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura. La información utilizada para el presente análisis discrimina:

1. Muertos
2. Desaparecidos
3. Heridos, enfermos
4. Afectados
5. Evacuados
6. Viviendas afectadas
7. Duración
8. Magnitud (índice IDL, ver anexo)
9. Damnificados
10. Viviendas destruidas

DesInventar también incluye en su base de datos los siguientes descriptivos, los cuales no fueron tomados en cuenta durante el presente estudio por encontrarse incompletos: Valor pérdidas \$, Vías afectadas (m), Otras pérdidas, Valor pérdidas US\$, Cultivos y bosques (Ha), Observaciones de efectos, Ganado, Centros de educación, Reubicados, Centros hospitalarios, Transporte, Comunicaciones, Instalaciones de socorro, Agropecuario, Acueducto, Alcantarillado, Educación, Energía, industrias, Salud, Otros

Dicha información también discriminará:

1. Fecha del evento
2. Subtipo de desastre
3. País
4. Región

5. Causa de inundación (discriminando dos tipos de inundaciones, causadas por lluvias fuertes y por lluvias y desborde de ríos). Esta discriminación se usará para evaluar eventos diferenciales entre uno u otro tipo de causa.

2.2.2 Información epidemiológica

Los brotes epidémicos fueron identificados de la base de datos del Ministerio de Salud de la Nación, mediante el uso de corredores epidemiológicos, generados por el programa GeCO, para el periodo 2005-2011.

Este software utiliza los datos cargados en el SNVS (Sistema Nacional de Vigilancia Sanitaria), los cuales son exportados para su uso “off-line” (sin estar conectado a Internet), permitiendo una mayor versatilidad y efectividad del sistema. De esta forma promueve una mejora del proceso de vigilancia en salud. Utiliza los casos notificados en el SNVS por un establecimiento “X” de un municipio “XX” pudiendo visualizarse instantáneamente de manera On-line en el SNVS. Es decir, que la región y la provincia a donde pertenece dicho departamento pueden ver en el SNVS On line todos los casos notificados en el mismo momento que fueron cargados.

Pueden seleccionarse la provincia, el nodo, el departamento, la localidad o el establecimiento para realizar una exportación más específica. Esto dependerá del nivel de usuario que sea y del alcance de visualización con el que cuente. Además, tiene la opción de exportar todos los casos o solo los casos aprobados por el nivel provincial. Así mismo deberá explicitar el período de tiempo (semanas y años) de los datos que se quieren exportar.

El generador de consultas (GeCO) tiene diferentes secciones que permiten realizar diferentes análisis, tales como Razones e Índices, Casos y Tasas y Corredores, entre otras. El módulo “Casos y Tasas” permite obtener los casos y/o tasas semanales o acumuladas según provincia, región, departamentos, localidad o establecimiento. En la pantalla de “Casos y Tasas” se pueden visualizar diferentes componentes:

Organización Reporte: al desplegarse este componente se puede seleccionar la zona de análisis. En el uso común del GeCO se utiliza por defecto la Organización Geográfica.

Área de Análisis: Desde dónde parte el análisis de los datos. Puede ser desde todo el país, desde el nivel provincial, departamental, localidad o por determinado establecimiento. En el presente estudio se seleccionó hasta el nivel de localidad

Nivel de detalle: Una vez determinado el nivel de análisis, se puede seleccionar con qué nivel de detalle será realizada la consulta (País, Región País o Provincia). En el presente estudio se seleccionó hasta el nivel de localidad.

Calcular subtotales por: región país – área sanitaria

Calcular total de: país – provincia

Reporte: mapa (incluye códigos para mapear casos) – Tabular

Calcular: casos – casos y tasas

Agregación de casos: acumulados / semanales / cuatrimestrales

Hasta la semana (o entre la semana): permitirá seleccionar la/s semanas de interés

Año: permitirá seleccionar el año o los años para el análisis

Seleccionar Patologías: Este componente permite seleccionar las patologías de interés. A su vez, la consulta se puede especificar por:

- *Categorías:* incluye las categorías de grupos de patologías (ejemplo: Emergentes y Reemergentes, respiratorias, De transmisión alimentaria, etc.) que uno desee crear.
- *Listas personalizadas:* incluye las categorías de patologías que uno desee crear a partir de una lista personalizada.
- *Todas las patologías:* incluye el total de patologías
- *Tipo de Notificación:*
 - Patologías Nacionales: incluye todas las patologías nacionales

- Patologías Provinciales: incluye todas las patologías provinciales
- Patologías Derivadas: incluye todas las patologías derivadas (creadas a partir de la suma de dos o más eventos -por ejemplo Hepatitis A y sin especificar- o de la combinación de grupos de edad -por ejemplo, “diarreas en menores de 5 años” incluye a los grupos de menos de un año, un año y 2 a 4 años-.
- Todas las patologías: incluye todas las patologías nacionales, provinciales y derivadas.

Edades:

- Solo totales: incluye las patologías sin discriminar por edad
- Grupo Etario: incluye patologías discriminadas por grupo etáreo

Todas: incluye las patologías tanto nacionales, provinciales y derivadas por grupo etáreo. En el presente estudio se seleccionaron todos los casos, sin distinción de grupo etario.

Guardar lista personalizada: Permite seleccionar un listado de patologías y luego guardarlo a partir de un nombre para luego poder hacer un análisis de ese grupo de patologías seleccionadas.

Patologías disponibles para incluir en la selección: Al cliquear las patologías a seleccionar y luego la flechita estas pasaran a visualizarse en el recuadro derecho.

Entre otras funciones, el programa GeCO 2C, permite realizar:

Índice Epidémico: permite ir rápidamente a la Sección “índice epidémico” seleccionando automáticamente las patologías previamente elegidas.

- Corredores y Actividad: permite ir rápidamente a la Sección “corredores” seleccionando automáticamente las patologías previamente elegidas.

- Imprimir informe: permite imprimir un reporte de aquellas patologías que están en la vista o solo las seleccionadas (ver ítem “seleccionados”).

- Exportar a Excel: Exporta a un Excel toda la vista o solo las patologías seleccionadas (ver ítem “seleccionados”).

- Seleccionados: En caso de estar tildada esta opción, se exportará un archivo Excel o se imprimirá el informe (ver detalle de opciones anteriores) exclusivamente con aquellas patologías que estén elegidas en la vista.

- Guardar evaluación: Permite guardar la evaluación realizada. Tener en cuenta que, de no ser así, la última que se ejecuta elimina la anterior.

Una vez seleccionadas las patologías (en una primera instancia es recomendable evaluar todos los eventos sin sus grupos de edad, luego, de aquellos elevados en caso de necesitarlo, se puede optar por seleccionar los grupos de edad), se hace clic en “aceptar”, la consulta comenzará a correr. Una vez finalizada, se visualizará la ventana con las patologías que se encuentran elevadas.

La primera vista es, por defecto, los casos acumulados hasta la semana que se solicitó la evaluación.

La información fue generada a partir de los boletines epidemiológicos suministrados por las diferentes dependencias en forma semanal, por lo que el número de casos están registrados por semana epidemiológica. Las enfermedades relevadas sobre las que se buscó relaciones con variables ambientales se encuentran enumeradas en la tabla 2.1.

Para el registro del número de casos resultantes del brote se tomo como ventana temporal de adquisición de datos el tiempo correspondiente al tiempo de incubación de cada una de las enfermedades relevadas, sumándose todos los casos registrados para cada enfermedad en ese periodo. Para el caso tiempos de 3 semanas, corresponde a una semana previa al inicio de la inundación, una durante y otra posterior al inicio de la inundación. Por otra parte, un tiempo de 2 meses se aplicó para enfermedades de transmisión vectorial, considerando los ciclos biológicos de las poblaciones de vectores.

ENFERMEDAD	PROBABLES FUENTES DE CONTAMINACION. DETERMINANTES DE RIESGO / FACTORES DE RIESGO	Tiempo de registro de casos
Diarrea No específica	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación agua/alimentos. Hacinamiento. Colapso de sistemas de agua y desagüe. 	3 semanas
Intoxicación por alimentos (enfermedades Toxoalimentarias)	<ul style="list-style-type: none"> Alimentación en masa (olla común) y medios de refrigeración/cocción inadecuados. Distribución de alimentos donados sin control bromatológico. 	3 semanas
Hepatitis Vírica A	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación Agua/alimentos. Saneamiento inadecuado. 	3 semanas
Hepatitis Vírica B	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de equipos quirúrgicos. Insuficiente material de curación e inyectable. Transfusión sanguínea sin tamizaje previo. 	3 semanas
Leptospirosis	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación agua/alimentos. Agua estancada. Remoción de escombros. 	2 meses
Hantavirus	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación agua/alimentos. Agua estancada. Remoción de escombros. 	2 meses
Malaria	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de criaderos de mosquitos. Incremento de la temperatura. 	2 meses
Dengue	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de criadero de mosquitos. Acumulo de inservibles. Incremento de temperatura. Almacenaje inadecuado de agua. 	2 meses
Mordeduras de perro (indicador de potencial transmisión de rabia)	<ul style="list-style-type: none"> Presencia de perros vagabundos. Bajas coberturas de vacunación antirrábica canina. 	3 semanas
Tuberculosis	<ul style="list-style-type: none"> Hacinamiento. Interrupción de programas de control. 	2 meses
Parasitosis intestinales	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de agua potable 	3 semanas
Aracnoidismo & alacranismo	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de picaduras por alacranes y arañas, debido al aumento en la población de cucarachas y/o disrupción de hábitat 	3 semanas
Toxoplasmosis	<ul style="list-style-type: none"> Alimentos contaminados 	3 semanas
Parotiditis	<ul style="list-style-type: none"> Acinamiento en refugios 	2 meses
Ofidismo	<ul style="list-style-type: none"> Disrupción de hábitat 	3 semanas

Tabla 2.1. Enfermedades epidémicas analizadas, ventana de análisis y probable causa de incremento debido a inundaciones.

Se registraron el número y tipo de enfermedades presentes en la emergencia y el número de casos de cada una. Las epidemias o brotes pueden ser definidos como un exceso en el número de casos de un problema de salud dado, en una población, un período y un lugar en particular. Sin embargo, determinar lo que constituye un exceso implica conocer lo que es normal o de esperar. La elaboración de canales o corredores endémicos permite definir los valores de casos esperados y de esta forma evidenciar de forma gráfica la aparición de un número mayor de casos (Bortman, 1999).

El programa GeCo C2, utiliza la mediana de los últimos 5 años (banda central), y a partir de esta, se obtienen los desvíos estándar para crear la banda superior e inferior, creando así 4 zonas, Éxito, Seguridad, Alerta y Brote. Dichas zonas se usan para evaluar si los casos observados en determinado período de tiempo (semanal, cuatrisesemanal o en forma semanal pero acumulada) se corresponden con una situación de brote, de alerta, de seguridad o éxito.

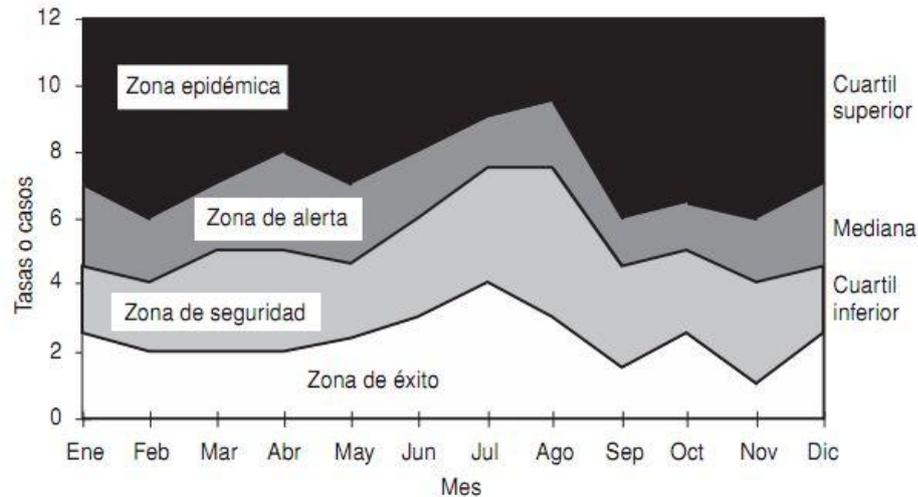


Figura 2.1. Esquema con las cuatro zonas de los corredores endémicos generadas por el GeCo C2.

Los registros de casos por enfermedad fueron por convención semanales (semana epidemiológica). Debido que la información disponible en la base de datos no presentó casos más allá del año 2005, en el caso de las inundaciones registradas durante este periodo, se consideraron como brotes epidémicos aquellos registros cuyo comportamiento mostraba incrementos anómalos, con picos de número de casos sobresalientes. También se describieron los porcentajes en los que se presentaban las diferentes enfermedades en forma de epidemia según el tipo de inundación.

**Corredor Endémico Semanal de 2006
Parasitosis Intestinales. TARTAGAL
Históricos de 5 años: 2001 a 2005**

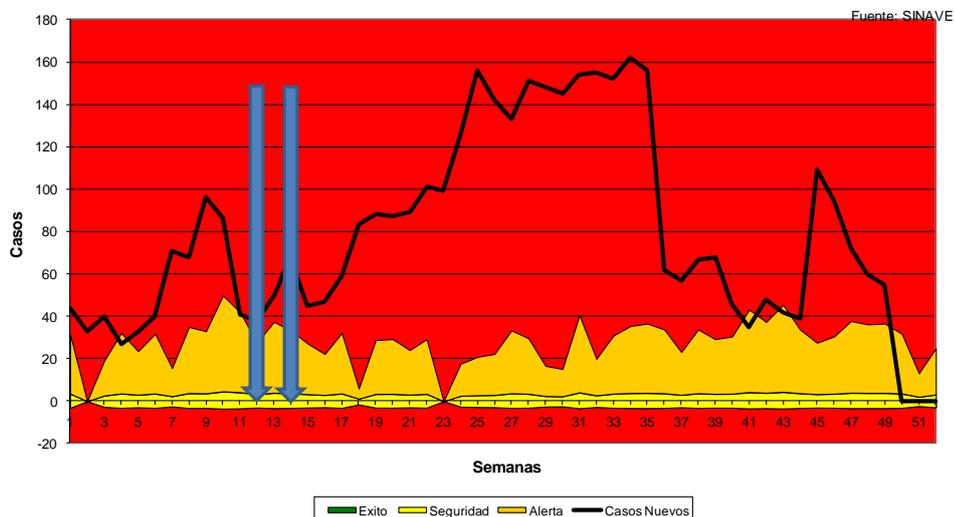


Figura 2.2. Ejemplo de corredor endémico para parasitosis intestinales, generado por el programa GeCo2, para la localidad de Tartagal en el año 2006. Las flechas indican fechas de inicio de inundaciones y la línea negra los casos registrados en dicho año por semana epidemiológica.

Se midió el total de inundaciones por causa de inundación, el número de inundaciones con epidemias y el número total de epidemias registradas por causa de inundación. Finalmente se vio la relación entre el número total de epidemias y su cociente con el número de eventos de inundación donde se registró al menos una epidemia.

2.2.3 Información ambiental

La caracterización ambiental de las inundaciones fue realizada mediante el uso de variables meteorológicas (temperatura y precipitaciones) y de estado de la vegetación (NDVI). Los datos de precipitaciones, temperaturas (medias, máximas y mínimas) fueron provistas por estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional. Dichas variables son resumidas en datos semanales, como promedios semanales (temperatura media, máxima y mínima y precipitación promedio semanal) y acumulación semanal para las precipitaciones.

La información del índice NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) fue obtenida de productos elaborados por el INPE-CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Brasil). Dicho índice es usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación (Gates, 1980). El producto de NDVI de INPE-CPTEC es elaborado desde datos del satélite NOAA-18, empleando los canales 1 y 2 del instrumento AVHRR, con una resolución espacial del pixel 0.009° tanto en Dimensión Vertical (y) como Horizontal (x). La resolución temporal es quincenal. La información para cada localidad donde se registró el evento de inundación fue obtenida usando una ventana de 50 píxeles (7x7 píxeles). Los datos relevados fueron promediados obteniéndose la variable NDVIM (NDVI medio).

2.2.4 Análisis estadístico

Se utilizaron tablas de contingencia test de chi cuadrado para analizar la dependencia entre la ocurrencia de brotes epidémicos y eventos de inundación. Se tomó como valor límite para la significancia un $p < 0,05$, considerándose como marginalmente significativos valores de $p < 0,1$. Por independencia estadística, se entiende que la co-ocurrencia de una inundación, y una epidemia suceden por azar, y no por una asociación causal entre ellas.

Se evaluaron las relaciones generales entre los descriptivos de las inundaciones y con el número total de brotes epidémicos por evento de inundación, mediante correlaciones. Debido a la falta de normalidad de los datos utilizados se aplicó el r de Spearman.

Por otra parte se usó el test de Kolmogórov-Smirnov para evaluar diferencias en el número de brotes epidémicos, número de enfermos entre eventos de inundación causados por lluvias fuertes y desbordes de ríos y lluvias solamente. Mediante tablas de contingencia se evaluó la dependencia en la incidencia de diferentes enfermedades según modo de transmisión, vectorial y no vectorial.

2.3 Resultados

2.3.1 Ocurrencia de epidemias ante inundaciones

El análisis de los 50 eventos de inundación, con y sin epidemias, mediante una tabla de contingencia mostró, con una confianza cercana al 90%, la existencia de relaciones entre los tipos de causa de inundación y la ocurrencia de epidemias (Fisher, $p = 0,177$), mostrando cierta dependencia en la ocurrencia de epidemias con respecto a las inundaciones, aunque marginalmente significativa. Asimismo, las inundaciones debidas a lluvias y desbordamientos mostraron un 71,1% de ocurrencia de epidemias.

2.3.2 Frecuencia de brotes epidémicos por causa de inundación

El análisis de los eventos de inundación durante el período de estudio mostró que la mayoría de los casos brotes epidémicos se registraron asociados a lluvias y desborde de ríos. El cociente entre el número de brotes epidémicos por inundación con epidemia, mostró a las inundaciones

provocadas por lluvias y desbordamientos como las más afectadas por los brotes, con el mayor cociente epidemia/eventos con epidemia (Tabla 2.2).

	Lluvias	Lluvias y desbordamientos
Total eventos inundación	19	33
Eventos con epidemia	11	27
Número total de epidemias	26	86
Epidemias/eventos con epidemias	2,364	3,185

Tabla 2.2. Número de eventos de inundación, eventos de inundación, número total de brotes epidémicos y relación de epidemias por evento de inundación con epidemia.

Por otra parte, la mayor frecuencia de episodios epidémicos se observó para los eventos de inundaciones provocadas por lluvias y desbordamientos, observándose en un 80% de los casos de inundaciones de este tipo, al menos un brote epidémico (Figura 2.3).

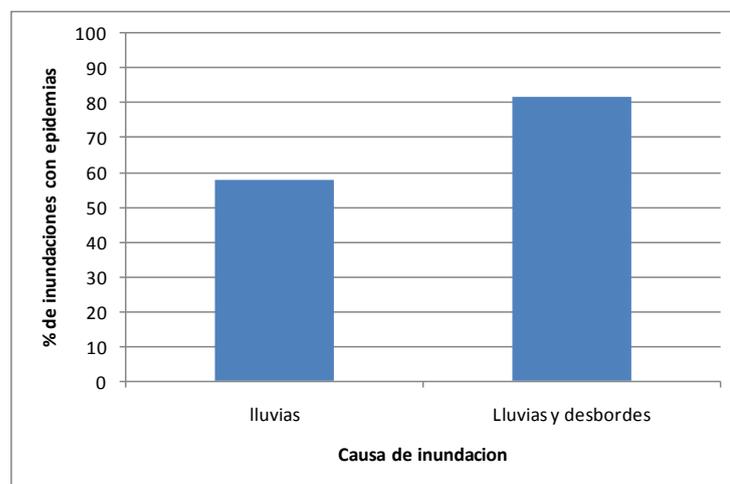


Figura 2.3. Porcentaje de eventos de inundación con brotes epidémicos por causa de inundación

El análisis de chi-cuadrado indica que existiría una dependencia en la cantidad de eventos con epidemias y el tipo de inundación (Chi-cuadrado de Pearson, 3,508, Fisher $p=0,103$). Se observa que el 81,8% de las epidemias se registran durante los eventos de inundaciones debidas a lluvias y desbordamientos. El análisis de la cantidad de eventos que mostraron epidemia por causa de inundación, muestra que fueron más frecuentes en las lluvias y desbordamientos (Tabla 2.3).

			epidemia		Total
			no	si	
Tipo de causa	Lluvias	Recuento	8	11	19
		Frecuencia esperada	5,1	13,9	19,0
		% dentro de Tipo de causa	42,1%	57,9%	100,0%
		% dentro de epidemia	57,1%	28,9%	36,5%
		% del total	15,4%	21,2%	36,5%
	Lluvias y desbordamientos	Recuento	6	27	33
		Frecuencia esperada	8,9	24,1	33,0
		% dentro de Tipo de causa	18,2%	81,8%	100,0%
		% dentro de epidemia	42,9%	71,1%	63,5%
		% del total	11,5%	51,9%	63,5%

Total	Recuento	14	38	52
	Frecuencia esperada	14,0	38,0	52,0
	% dentro de Tipo de causa	26,9%	73,1%	100,0%
	% dentro de epidemia	100,0%	100,0%	100,0%
	% del total	26,9%	73,1%	100,0%

Tabla 2.3. Tabla de contingencia Tipo de causa vs ocurrencia de epidemia

2.3.3 Relación entre descriptivos de inundación y brotes epidémicos

Basados en los datos que se utilizan para describir cada inundación según la red DesInventar, se registraron las siguientes asociaciones.

2.3.4.1 Análisis epidémico de eventos de inundación en general

Correlación entre epidemias y descriptivos de inundaciones

Se observaron correlaciones significativas positivas de la magnitud del evento de inundación con la duración ($r=0,745$; $p: 0,0001$ $p<0,05$) y el número de evacuados ($r=0,522$; $p: 0,003$, $p<0,05$). El número total de brotes epidémicos mostro correlación positiva también con el número de casas afectadas ($r=0,640$; $p: 0,025$).

Por otra parte, se observo una correlación positiva entre el número de brotes epidémicos y el número de enfermos totales (r Sperman= $0,743$; $p: 0,0001$). Asimismo, el número de hogares destruidos tuvo una baja correlación positiva con el número total de enfermos (r Sperman= $0,349$, $p=0,037$) y el número total de brotes epidémicos ($r=0,379$, $p=0,022$).

Durante la mayoría de los eventos de inundación donde se registraron epidemias, no se registraron más de 400 evacuados. El numero de picos epidémicos por evento de inundación (sin distinguir causa de inundación), no mostro relación con la cantidad de evacuados (Figura 3.2).

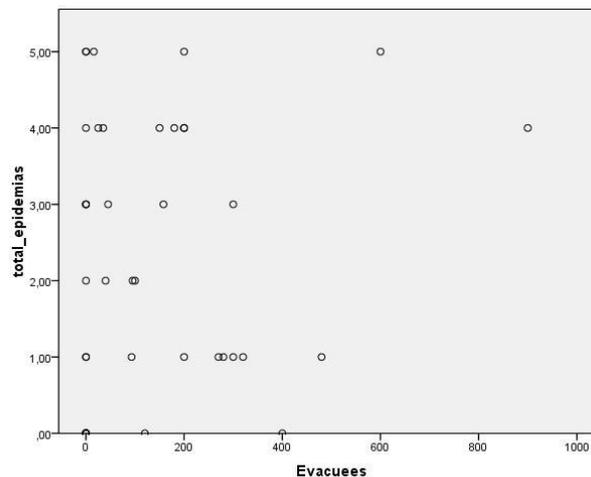


Figura 2.4. Número de brotes epidémicos de enfermedades diferentes asociados a cada inundación, en función del número de evacuados

Por otra parte, no se observó una relación entre la magnitud del evento, medida mediante el índice IDL y el número total de epidemias para cada evento y tipo de causa de inundación (Figura 2.5). En ambos tipos de eventos se observó la ocurrencia de eventos de inundación sin ningún pico epidémico.

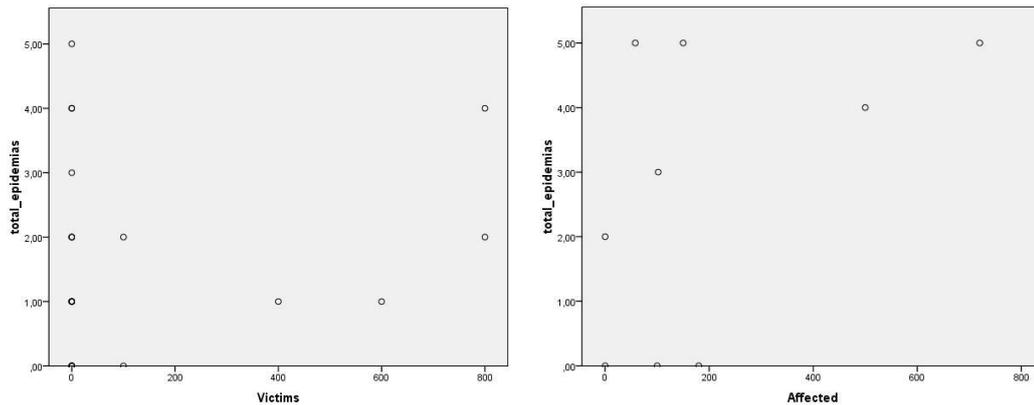


Figura 2.7. Numero de brotes epidémicos en función de: a) del número de víctimas y b) afectados (para todo tipo de evento de inundación).

2.3.4 Análisis epidémico de eventos de inundación por causa de inundación

2.3.4.1 Brotes epidémicos y número de enfermos, según tipo de inundación

No se observaron diferencias significativas en el número total de brotes y número de enfermos por epidemia, por causa de inundación (para todos los eventos de inundación con epidemias, test de Kolmogorov Smirnov, $p < 0.01$) Tampoco se observaron diferencias significativas para duración, magnitud número de evacuados, afectados y víctimas según tipo de causa de inundación (para todos los eventos de inundación con epidemias, test de Kolmogorov Smirnov, $p > 0.01$).

Por otra parte se analizaron la relación entre el numero de brotes epidémicos y la cantidad de víctimas, afectados, duración y magnitud de la inundación, para cada tipo de causa de inundación por separado

2.3.4.1.1 Inundaciones debidas a lluvias

No se observó un patrón claro entre el número de brotes epidémicos y la magnitud, existiendo casos de magnitud alta sin ningún brote. Los eventos de inundación debido a lluvias no registraron magnitudes superiores a 17, aunque durante estos eventos se registraron el máximo número de brotes epidemicos. Tampoco mostraron duraciones mayores a 30 días, identificándose dos grupos, uno de menos 10 días y entre 16 y 20 días. La mayoría de los eventos de inundación por lluvias no registraron más de 4 picos epidemicos, con la excepción de un evento con 11 brotes. Por otra parte, se observo que en su mayoría, los eventos de inundación con casos de epidemia tuvieron duraciones menores a 10 días (figura 2.8).

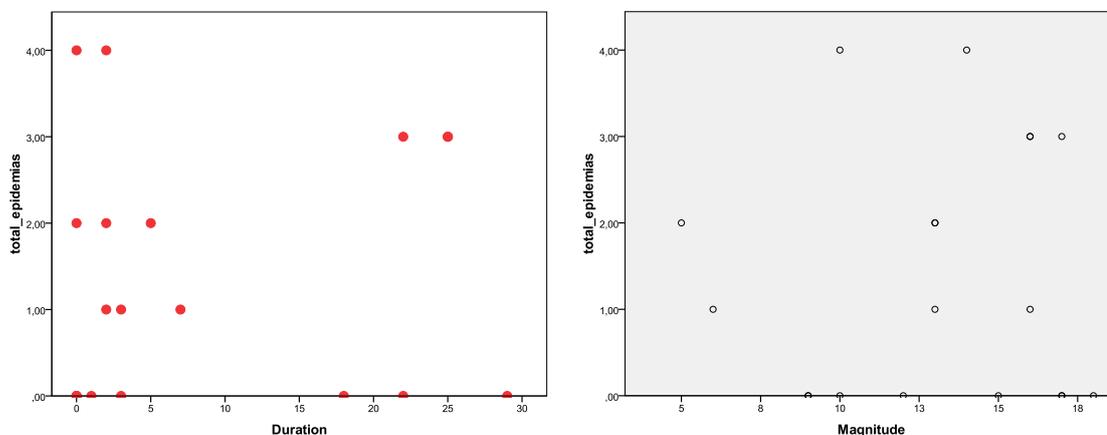


Figura 2.8. Números de picos epidémicos en función de la duración y magnitud de eventos de inundación debido a lluvias.

El número de brotes epidémicos en función de los evacuados, muestra una relación inversa, observándose en general que con el aumento del número de evacuados, hay una disminución en el número de brotes. No se observaron brotes epidémicos para los eventos en los que se había notificado en número de afectados (figura 2.9)

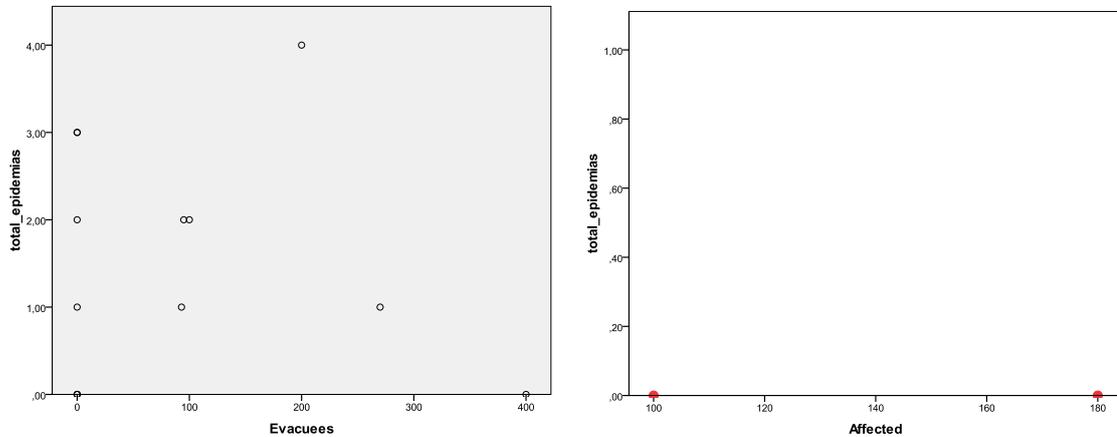


Figura 2.9. Numero de brotes epidémicos en función del número de evacuados y afectados para eventos de inundación por lluvias.

Variaciones en el número de víctimas no se vieron reflejadas en aumentos en el número de brotes epidémicos (Figura 2.10).

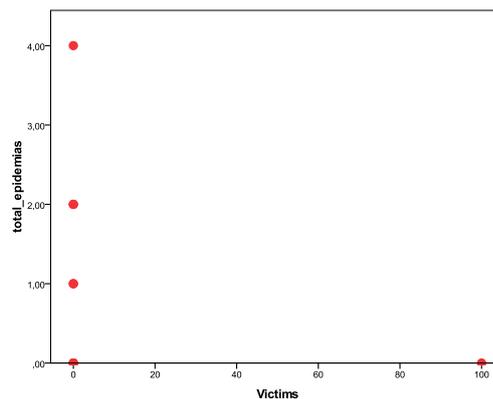


Figura 2.10. Número de brotes epidémicos en función del número de víctimas debidas a eventos de inundación por lluvias.

2.3.4.2 Inundaciones por lluvias y desbordes

La mayor parte de los eventos debidos a lluvias y desbordamientos tuvieron valores de magnitud entre los 10 y 17, con un valor extremo de 20. El número máximo de epidemias que se registró para estos tipos de eventos de inundación fue de 7. No se observó una relación clara entre la magnitud y duración del evento de inundación con el número de brotes epidémicos. Por otra parte, se observó que en su mayoría, los eventos de inundación con casos de epidemia tuvieron duraciones menores a 15 días (Figura 2.11).

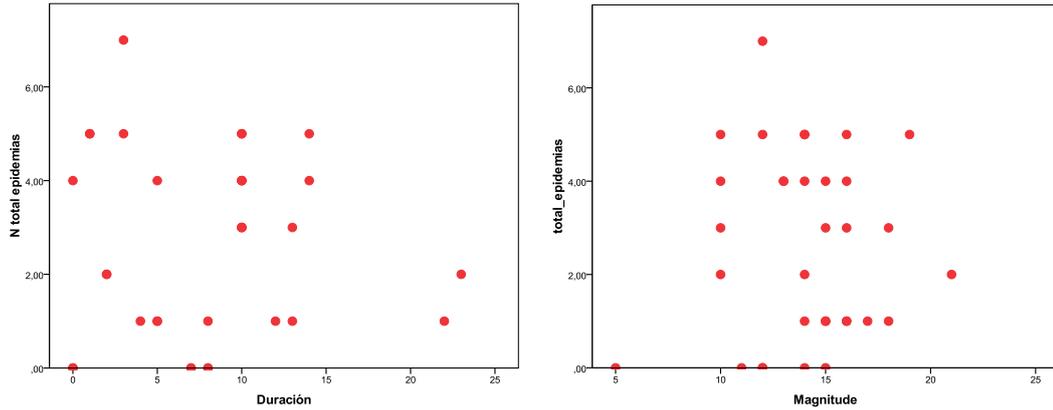


Figura 2.11. Números de picos epidémicos en función de la duración y magnitud de eventos de inundación debido a lluvias.

El número de víctimas y el número de evacuados no tuvo relación con el total de epidemias por evento de inundación (figura 2.12).

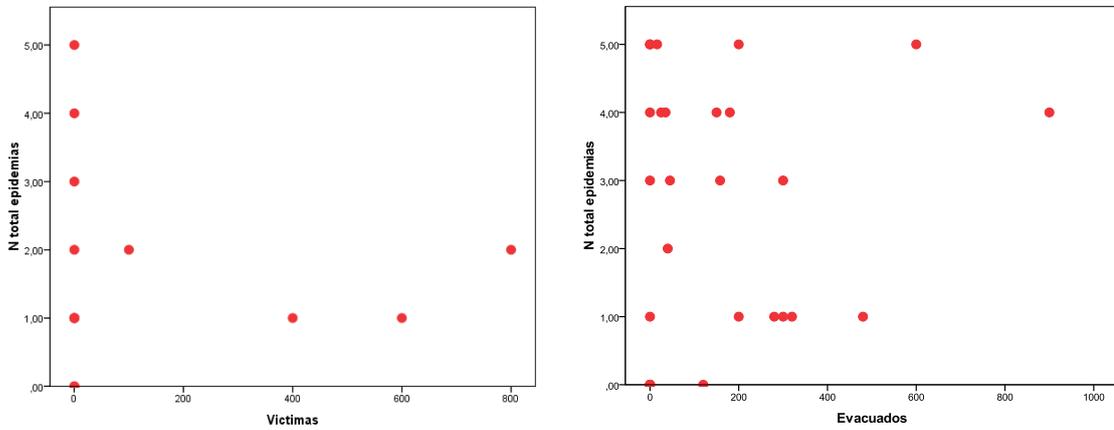


Figura 2.12. Numero de brotes epidémicos en función del número de evacuados y víctimas para eventos de inundación por lluvias.

Por otra parte, el número de brotes epidémicos aumento a mayor número de afectados (Figura 2.13).

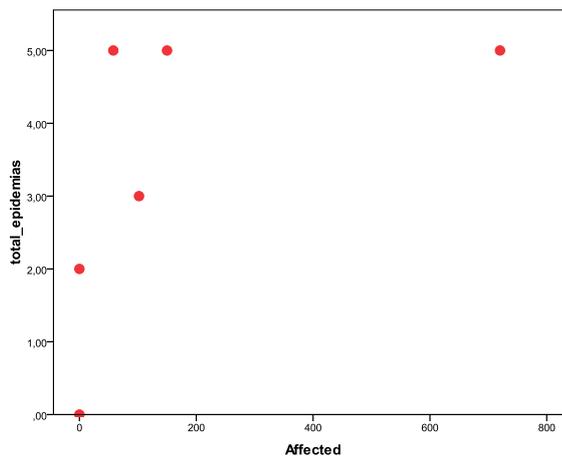


Figura 2.13. Número de brotes epidémicos en función del número de afectados debidos a eventos de inundación por lluvias.

2.3.5 Número de brotes epidémicos y número de enfermos por epidemia según causa de inundación y enfermedad

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de las epidemias y los mecanismos de transmisión más comunes por causa de inundación, se evaluó la diferencia en el número de picos epidémicos y número de enfermos para cada una de las enfermedades relevadas, comparándose por causa de inundación mediante un test de Kolmogorov-Smirnov. Las enfermedades se agruparon en dos grandes grupos, de transmisión no vectorial (transmitidas por agua y aire) y de transmisión vectorial (transmitidas por insectos y roedores).

2.3.5.1 Enfermedades no vectoriales

El número de brotes epidémicos correspondiente a enfermedades transmitidas por agua, mostro diferencias significativas entre las causas de inundación (test de Kolmogorov-Smirnov, $p = 0,039$). Por otra parte, el número de brotes epidémicos de enfermedades transmitidas por aire no mostro diferencias significativas entre las causas de inundación.

Sólo se observaron diferencias significativas para el número de epidemias entre tipos de inundación para las parasitosis intestinales (11 brotes) entre ambos tipos de causas de inundación ($p = 0,004$), observándose la totalidad de los brotes epidémicos dentro de las inundaciones causadas por lluvias y desbordamientos. En cuanto a las restantes enfermedades, no se observaron diferencias significativas entre inundaciones para el número de epidemias por evento. Esto ocurrió posiblemente debido al bajo número de eventos registrados para estas enfermedades.

Dentro del grupo de enfermedades transmitidas por aguas contaminadas, las diarreas y parasitosis intestinales registraron la mayor frecuencia de aparición de picos epidémicos durante los eventos de inundación provocados por lluvias y desbordamiento de ríos (Figura 2.14). Las parotiditis, enfermedades toxoalimentarias y encefalitis también registraron una leve diferencia a favor de este tipo de eventos.

Los brotes de Hepatitis B y tuberculosis se registraron para ambas causas de inundación, pero con mayor incidencia para lluvias. Los brotes epidémicos de Hepatitis A y toxoplasmosis solo se registraron durante eventos de inundación debidos a lluvias y desbordes de ríos, mientras que los de hepatitis C solo se observaron durante eventos provocados por lluvias (figura 2.14).

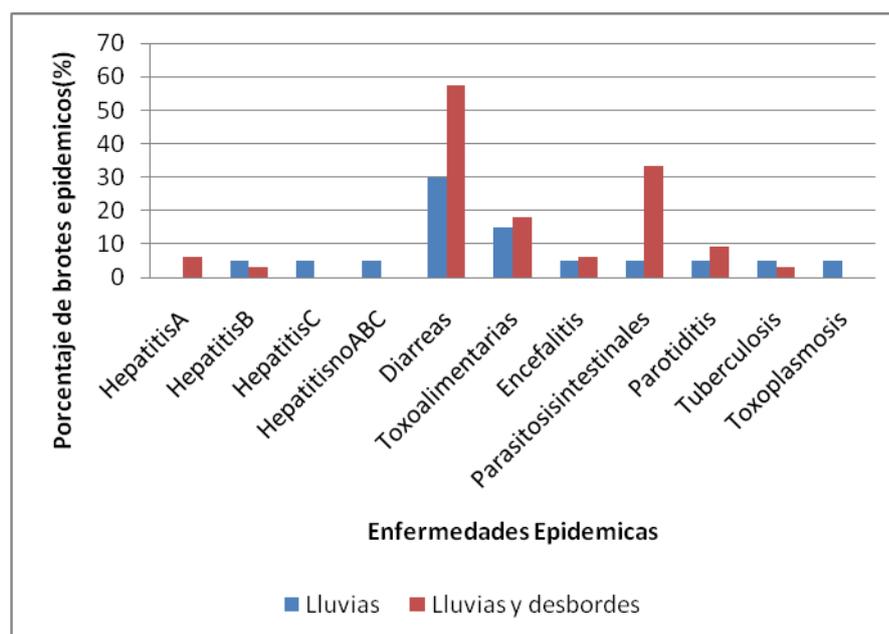


Figura 2.14 .Enfermedades transmitidas por contaminación de aguas.(el porcentaje total suma 100 entre todas las barra rojas, y entre todas la azules).

Los eventos de lluvias y desbordes presentan una gran frecuencia de un tipo de enfermedades (diarreas y gastroenteritis) en relación a otras. Mientras que en las lluvias la ocurrencia de diferentes enfermedades es más homogénea.

2.3.5.2 Enfermedades transmitidas por vectores

El número de brotes epidémicos de enfermedades transmitidas por vectores en general, no mostro diferencias significativas entre las causas de inundación según el test de Kolmogorov-Smirnov. El análisis de las enfermedades en particular, mostró diferencias marginalmente significativas entre ambas causas de inundación, para leptospirosis ($p=0,120$) y alacranismo ($p=0,079$), ambas con la mayoría de brotes ocurridos durante las inundaciones ocasionadas por lluvias fuertes.

Por otra parte, se observaron diferencias significativas en el número de epidemias de mordedura entre ambos tipos de causas de inundación ($p=,051$), con la mayoría de los casos ocurridos (85,7%) durante eventos de inundación causados por lluvias y desbordes.

Los brotes de leptospirosis y psitacosis solo se registraron durante eventos de inundación debido a lluvias, con una incidencia menor al 10%. Por otra parte, la totalidad de los picos de hantavirus y malaria se observaron durante lluvias y desbordes. En cuanto a los casos de dengue confirmado mostraron valores similares de incidencia en ambos tipos de inundaciones.

La mayor incidencia de mordeduras, relacionadas a contagio de rabia, fue mayor durante las inundaciones debidas a lluvias y desborde. Los picos epidémicos debidos a picaduras de alacranes mostró mayor incidencia en casos de inundación provocadas solo por lluvias. Por otra parte, las picaduras por araña y ofidios mostraron una ligera diferencia en la proporción de eventos a favor de inundaciones por lluvias y desbordes (figura 2.15).

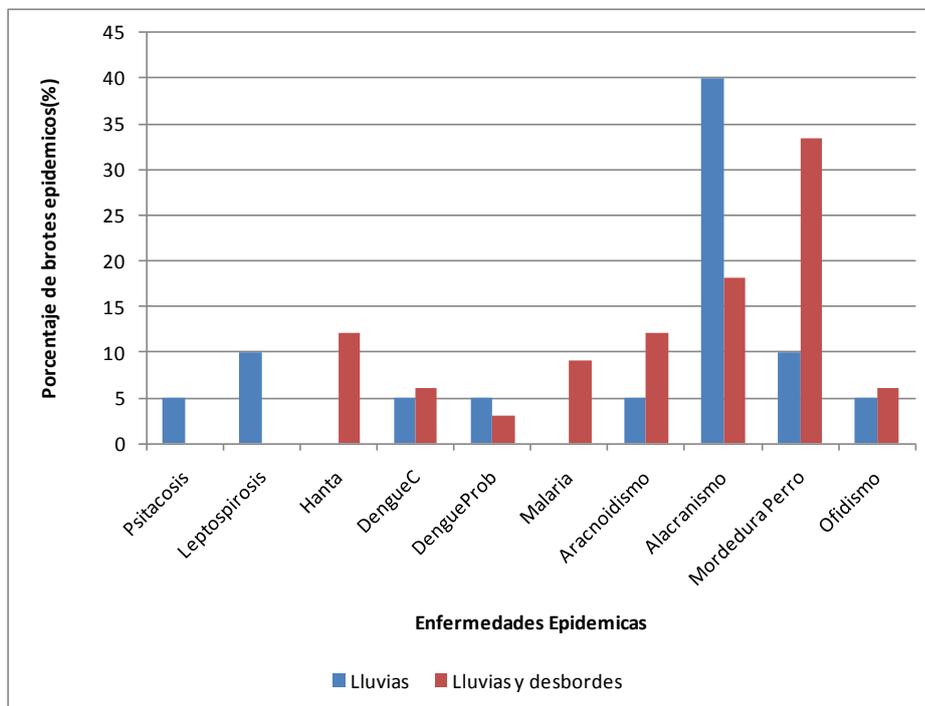


Figura 2.15. Porcentaje de brotes epidémicos por tipo de causa de inundación.

2.4 Conclusiones

El registro de inundaciones del período en estudio, muestra una dependencia de la ocurrencia de epidemias con respecto a la ocurrencia de eventos de inundación con una mayor incidencia de epidemias para eventos de inundación provocadas por lluvias y desborde de ríos.

Para los eventos provocados por lluvias y desborde de ríos, se observó que el porcentaje de inundaciones donde se registró al menos un brote epidémico y la relación de brotes epidémicos con la totalidad de inundaciones afectadas fueron superiores a las inundaciones provocadas solo por lluvias.

El número de brotes epidémicos registrados durante inundaciones afectadas por epidemias, se mostró independiente del origen de la inundación, sin observarse diferencias según el tipo de mecanismo de transmisión de la enfermedad, ya sea agua, aire y vectores.

Aunque el número de picos epidémicos mostró un aumento con el número de personas afectadas por los eventos de inundación provocados por lluvias y desbordes, en general no se encontraron relaciones inequívocas entre el número de brotes epidémicos observados por evento de inundación, la magnitud y duración de la inundación.

El número de víctimas a consecuencia de la inundación no tuvo relación con el número de brotes por evento en ambos tipos de causas de inundación. Esto, posiblemente fue debido a que la mayor parte de las víctimas durante un evento de inundación, se relacionan más a accidentes que provocan heridas, contusiones o golpes por movimiento de objetos en el agua, caída de paredes u ahogamiento. Por esta razón, el número de víctimas, muertos o no, no se espera tenga influencia directa en la ocurrencia de epidemias.

Por otra parte, el número de evacuados para las inundaciones provocadas por lluvias mostró una disminución del número total de epidemias con respecto al total de evacuados para cada evento. Esto se contrapone a lo comúnmente esperado, donde el mayor número de evacuados, lleva a la generación de núcleos poblacionales precarios donde las condiciones sanitarias son subóptimas y el potencial de contagio e infección entre individuos aumenta debido a la sobrepoblación. Por otra parte, debido a la falta de información sobre las condiciones posteriores a la evacuación, no es posible hacer afirmaciones válidas. Cabe la posibilidad que la evacuación no resultase en campo de refugiados, y que alejase a los pobladores de condiciones ambientales desfavorables, manteniendo el sistema de salud condiciones sanitarias básicas, evitando el contagio de enfermedades. Cabe considerar también el bajo número de eventos con información para el análisis, por lo que la relación observada no es inequívoca y sujeta a observación y crítica.

Las condiciones necesarias para la ocurrencia de un brote epidémico no solo depende de la magnitud y la duración del evento de inundación, sino que intervendrían otros factores socioeconómicos, sanitarios y ambientales en la ocurrencia de epidemias.

Las inundaciones son la causa más común de desastre natural y se estima que representan el 40% de todos los desastres naturales (French, *et al.*, 1989). Enfermedades transmitidas por el agua (fiebre tifoidea, cólera, leptospirosis y hepatitis A) y las enfermedades transmitidas por vectores (malaria, fiebre amarilla, fiebre del Nilo Occidental, el dengue y la fiebre hemorrágica del dengue) son las enfermedades transmisibles que pueden ser transmitidos durante las inundaciones (WHO, pagina web). Hay un mayor riesgo de infección cuando una persona tiene contacto directo con agua contaminada. A menudo, estas personas presentan diarreas, dermatitis, conjuntivitis, o una herida, el oído o infecciones de la garganta. Dependiendo el tipo, las infecciones pueden aparecer inmediatamente o durante la fase de limpieza del desastre.

La baja frecuencia de epidemias de la mayoría de las enfermedades no permitió la aplicación de la tabla de contingencia para ver diferencias entre la ocurrencia de epidemias por tipo de inundación. Solo el alacranismo, las parasitosis intestinales y las diarreas cumplieron con el número mínimo de 5 casos por casillero. El alacranismo y las parasitosis mostraron diferencias significativas entre causas de inundación, en tanto que las diarreas no mostraron diferencias. Las diarreas, enfermedades toxoalimentarias y parasitosis intestinales fueron las que mostraron el mayor porcentaje de ocurrencia en eventos de inundación, con marcada diferencia en las inundaciones debidas a lluvias y desbordes. El resto de las enfermedades transmitidas por agua mostraron una baja frecuencia de brotes epidémicos en general, sin superar el 10% de los eventos de inundación observados. Eventos de inundación de este tipo están ligados a contaminación de aguas y alimentos por inundación de plantas potabilizadoras de agua, pozos, letrinas y cultivos hortícolas,

comúnmente observados durante inundaciones grandes como las ocasionadas por el desborde de ríos.

Como se menciona en el marco teórico, las enfermedades diarreicas son una causa importante de mortalidad y morbilidad en la niñez en los países en desarrollo, con picos estacionales asociados con lluvias e inundaciones. Siddique *et al.* (1991) cuantificó los impactos de las inundaciones de 1988 en Bangladesh, encontrando que la diarrea fue el problema más común (35%) entre los 46.740 pacientes tratados. De la misma forma, Kunii *et al.* (2002) encontró, que los principales problemas de salud fueron la fiebre (43%), diarreas (27%) y las infecciones respiratorias (14%).

Las enfermedades mediadas por vectores, mostraron una baja frecuencia por evento de inundación, mostrándose como más frecuentes las picaduras por alacranes y las mordeduras. La mayor frecuencia de dichas “patologías” podría ser consecuencia de un aumento en la frecuencia de contacto entre los pobladores y dichos artrópodos. En el caso de estos artrópodos podría deberse también a un aumento en la población de presas, por ejemplo cucarachas. Se ha observado una mayor incidencia de picaduras de artrópodos y otros animales tras los ciclones tropicales ((MMWR, 1986, 1996 & 2000; PHO, 1998). Los factores que pudieron contribuir en estos casos serían: 1) aumento de la exposición del medio ambiente debido a la evacuación forzosa o la destrucción de viviendas, 2) la transformación de los hábitats naturales por la tormenta o después de los esfuerzos de limpieza en marcha, y 3) la suspensión temporal de las medidas de control de vectores en el período inmediatamente posterior a la tormenta. Por otro lado, se ha observado una mayor incidencia de picaduras de artrópodos y otros animales tras los ciclones tropicales (MMWR, 1986, 1996 & 2000; PHO, 1998). Por ejemplo, un aumento significativo de las picaduras de abeja se observó tras el huracán Gloria (1985) (MMWR, 1986). Las picaduras de insectos representó el 21% de todas las visitas relacionadas con urgencias en Carolina del Sur después del huracán Hugo (Brewer *et al.*, 1994). La proporción de visitas a las salas de emergencia para las picaduras de insectos aumentó significativamente después de que ambos huracán Opal (1995) (MMWR, 1996) y el huracán Floyd (1999) (MMWR, 2000). En el mismo estudio, se produjo un aumento de las mordeduras de perro hasta una semana después del impacto (MMWR, 2000).

Con respecto al virus de la Hepatitis A y E (VHA y VHE) se transmite principalmente a través de la vía fecal-oral (Chin, 2000). El origen común de los brotes para VHE y VHA incluyen aguas contaminadas y así como consumo de alimentos contaminados. Piper-Jenks *et al.* (2000) sugieren que muchos de los grandes brotes de VHE se han producido después de lluvias fuertes e inundaciones. También ha habido informes de brotes relacionados con las inundaciones de VHA y VHE en Sudán (McCarthy *et al.*, 1994), EE.UU. (Mackowiak *et al.*, 1976), y Vietnam (Corwin *et al.*, 1999; Hau *et al.*, 1999.). Para Hau *et al.* (1999) las inundaciones periódicas del río Mekong y sus afluentes, probablemente contribuyen a la contaminación de las fuentes de agua con desechos humanos y/o animales y materiales, aumentando el riesgo de exposición, señalando que inundaciones regulares favorecerían la epidemia y potencial de propagación del VHE (Hau *et al.*, 1999).

Bayard *et al.* (2000), observaron picos epidémicos en Panamá durante 1999, produciéndose los casos casi al mismo tiempo que un aumento en los roedores peri-domésticos, asociado con aumento de las precipitaciones e inundaciones en las zonas circundantes. Similar caso se observó para las inundaciones de Santa Fe durante 2007, resultando en brotes epidémicos de leptospirosis (Corallo *et al.*, 2010).



Capítulo 3

Dinámica temporal de las epidemias en relación a eventos de inundación

3.1 Introducción

La relación entre el clima, el comportamiento humano y las enfermedades infecciosas es complejo, haciendo difícil desenmarañar los diferentes mecanismos causales (Epstein *et al.*, 1998; Patz, 2001; Hales *et al.*, 2002; Kovats *et al.*, 2001), por lo que existe interés en el rol que cumpliría la variabilidad climática como factor determinante en la dinámica de las enfermedades (Rodo *et al.*, 2002, Koelle & Pascual, 2004; Pascual, *et al.*, 2002; Tourre *et al.*, 2008).

El clima y el medio ambiente afectan a la variabilidad de las tasas de incidencia de enfermedades transmitidas por vectores, y posiblemente este asociado con brotes epidémicos. Las variaciones climáticas y fenómenos meteorológicos extremos pueden tener un profundo impacto en las enfermedades infecciosas. Los agentes infecciosos (por ejemplo, como los protozoarios, bacterias y virus) y sus organismos vectores asociados (tales como mosquitos, garrapatas y mosquitos) carecen de mecanismos de termorregulación, siendo sus tasas de reproducción y supervivencia fuertemente afectadas por las fluctuaciones en temperatura. Se ha registrado correlaciones entre las tasas de enfermedad y variaciones climáticas durante semanas, meses o años y asociaciones geográficas estrechas entre las variables clave del clima y la distribución de vectores de importantes enfermedades (Patz *et al.*, 2005).

Sudamérica es uno de los continentes más afectados por los cambios en la circulación general (Minetti & Sierra, 1989) y eventos climáticos mundiales como el efecto del El Niño o ENSO. El ENSO es el ciclo climático que más contribuye a la variabilidad climática y a la probabilidad de ocurrencia de fenómenos climáticos extremos tales como lluvias fuertes, sequías y tormentas, los cuales muchas veces resultan en desastres naturales.

La transmisión de enfermedades transmitidas por vectores ocurre típicamente con patrones estacionales, mostrando variación interanual, que puede ser afectada parcialmente por factores meteorológicos. La habilidad de predecir temporadas de transmisión alta o baja podría ayudar a coordinar el tiempo y la localidad en las que es necesario intervenciones en la salud pública. De la misma manera, la posibilidad de caracterizar los brotes epidémicos de enfermedades, en condiciones posteriores a los desastres como inundaciones, permitiría planificar acciones sanitarias para evitarlas o mitigarlas.

Enfermedades transmitidas por agua, tales como las diarreas infantiles, también son influenciadas por el Niño, como se observó durante 1997–98 en Perú. Durante un verano atípico, la temperatura ambiente en Lima se incrementó en más de 5,8 °C sobre la normal, incrementándose en más del doble el número de admisiones diarias de casos de diarrea en comparación con las tendencias previstas (Checkley *et al.*, 2000).

El síndrome pulmonar por hantavirus puede predecirse sobre la base de los eventos ENSO, asociados a las fuertes lluvias, las que provocan un aumento en la población de roedores que precedió a los casos humanos de la enfermedad (Glass *et al.* 2000). Cambios en las precipitaciones se vinculan con cambios en la vegetación, alterando el mantenimiento y transmisión del virus dentro de poblaciones de roedores, resultando cambios en el riesgo de transmisión a humanos.

Por otro lado, la dinámica de los ecosistemas regionales está directamente afectada por el intercambio de agua (precipitaciones) y energía (temperatura) a través de la interface suelo-vegetación-atmósfera (Van den Hurk *et al.* 2003). En virtud de esto, indicadores del estado de la vegetación como el índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI), pueden ser utilizados como un buen indicador para la evaluación regional, la variabilidad climática local y de los vínculos con la variabilidad de los ecosistemas regionales y ecotonos locales. Por dicha razón, este factor es considerado una variable valiosa en la predicción de determinadas enfermedades vectoriales, como el dengue (Tourre *et al.*, 2008).

3.2 Materiales y métodos

Correlaciones cruzadas

Con el fin de observar las potenciales variables ambientales asociadas a la dinámica de casos de las diferentes enfermedades registradas durante las inundaciones, se seleccionaron por enfermedad, años en localidades donde se registraron eventos de inundación con brotes epidémicos. Las series de tiempo se construyeron de manera semanal, completando 52 semanas.

Las variables correlacionadas fueron, el número de casos, promedio semanal de lluvia y temperaturas (máxima, media y mínima promedio semanal), y lluvia acumulada semanal.

Las correlaciones cruzadas implican analizar los datos entre las dos variables, una de casos de cada enfermedad y la otra ambiental, y luego desplazar en el tiempo una respecto de la otra, por ejemplo número de casos en t , vs. temperatura en $t-1$, en $t-2$, etc., recordando que cada unidad de desfase es una semana. Este desfase de tiempo entre una variable y los casos, podría estar relacionado con los tiempos de incubación o de cría del vector transmisor de una determinada enfermedad.

Dentro de los eventos de inundación fueron considerados aquellos de las provincias de Córdoba (Córdoba capital), Santa Fe (Santa Fe capital), Salta (Orán, Aguaray y Embarcación, Salvador Mazza y Pichanal y Tartagal), Santiago del Estero (Santiago del Estero) y Tucumán (San Miguel de Tucumán). Las enfermedades relevadas fueron agrupadas en vectoriales y no vectoriales. Dentro de las no vectoriales se observaron diarreas, enfermedades toxoalimentarias, parasitosis intestinales, tuberculosis y parotiditis. Las vectoriales incluyeron malaria, dengue, leishmaniasis, hantaviriosis y leptospirosis.

Caracterización ambiental postinundación

Con el fin de observar el ambiente característico para cada enfermedad, se registraron en una ventana temporal de 10 semanas, las siguientes variables:

- T_{max} promedio= máximo valor de temperaturas máximas registradas diariamente, promediadas semanalmente, promediada para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.
- T_{min} promedio=temperatura mínima registrada diariamente, promediada semanalmente, promediada para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.
- T_{media} promedio=temperatura media registrada diariamente promediada semanalmente, promediada para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.
- PPP=precipitaciones promedio semanales, promediadas para 10 semanas.
- PAP=precipitaciones acumuladas semanalmente, promediadas para 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.
- PAMax= mayor valor de las precipitaciones (en mm) acumuladas semanalmente durante las 10 semanas. PATotal=precipitaciones acumuladas para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.
- PATotal= suma total de precipitaciones (en mm) registradas para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación.

3.3 Resultados

3.3.1. Enfermedades de transmisión no vectorial

3.3.1.1 Diarreas

Se observó la dinámica de casos semanales de diarrea y las precipitaciones semanales promedio para eventos de inundación en las localidades de Santa Fe (2007), Tucumán (2007) y Orán (2006) y Córdoba (2006) (Figura 3.1).

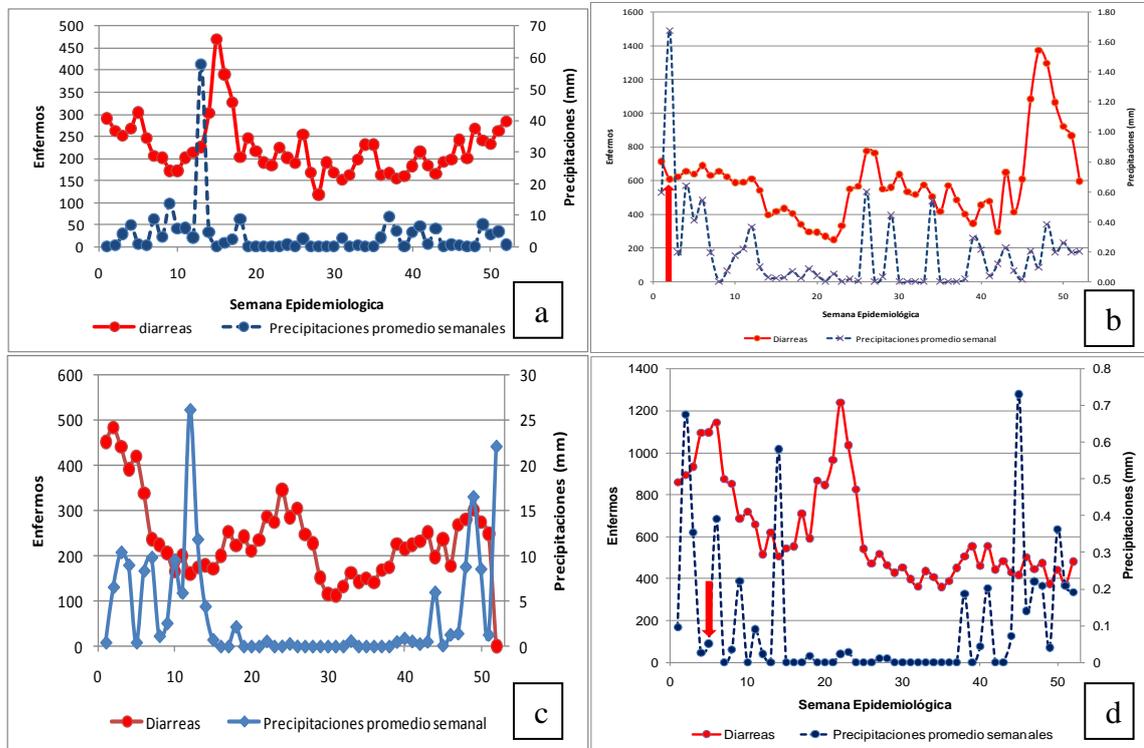
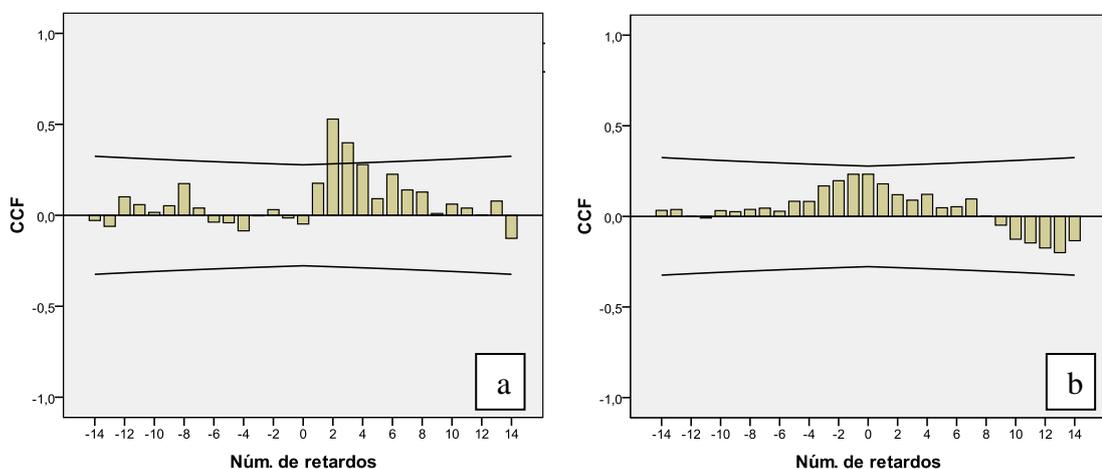


Figura 3.1. Registro de casos de diarreas y precipitaciones promedio semanales para a) Santa Fe (2007), b) Tucumán (2007) , c) Orán (2006) y d) Córdoba (2006).

El análisis de los factores ambientales durante la inundación producida en Santa Fe durante el año 2007, mostró una correlación cruzada significativa de las lluvias semanales promedio con los casos de diarreas registrados semanalmente, con una demora de 2 a 3 semanas. Por otra parte, para el evento de Orán, se registró un incremento en el número de casos luego del inicio de la inundación (coincidente con el mayor registro de precipitaciones promedios semanales para la localidad) (Fig. 3.2), con un retraso de 1 semana (marginamente significativo). Asimismo, no se registraron incrementos en los casos de diarreas asociados a la inundación para el evento de Tucumán. Tucumán y Córdoba presentaron retrasos similares, entre 7 y 8 semanas (Figura 3.2).



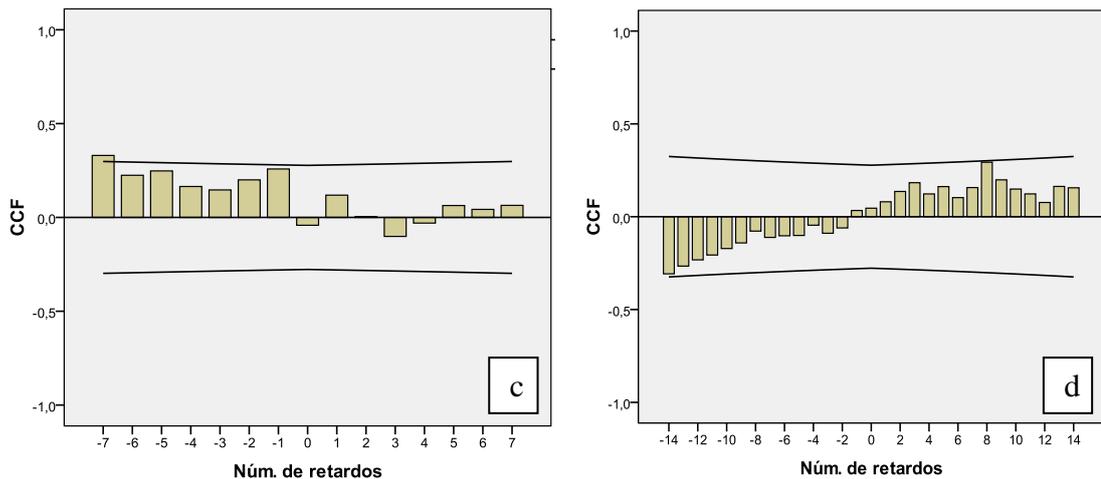


Figura 3.2. Coeficiente de correlación cruzada para precipitaciones promedio semanales y casos de diarreas, por número de semanas de retraso, para las localidades de a) Santa Fe(2007) b) S.M. de Tucuman (2007) , c) Oran (2006) y d) Cordoba (2006) , de izquierda a derecha.

Caracterización ambiental postinundación

En virtud de las diferencias observadas en los factores climáticos, los eventos de inundación en los que se registraron brotes epidémicos de diarreas, se pueden dividir primariamente en dos grupos. El primer grupo está caracterizado por intensas lluvias máximas acumulada semanales entre 180 y 400 mm, y lluvias acumuladas totales superiores a los 300 mm. Este grupo presenta temperaturas medias, máximas y mínimas inferiores al segundo grupo, el cual por otra parte presenta precipitaciones muy inferiores, tanto totales como máximas y acumuladas semanales.

En general se observaron valores de NDVIM superiores a 0.4, indicando vegetación sana a vigorosa.

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2006	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.687	183.400	317.800
Santa Fe 2007	22.714	14.909	19.116	8.392	57.860	0.462	405.000	578.600
San Miguel de Tucumán 2007	30.081	19.802	24.941	0.413	2.893	0.295	11.730	28.930
Córdoba 2006	36.700	20.463	28.582	0.139	0.782	0.664	2.184	7.819

Tabla 3.1. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.1.2 Tuberculosis

Se observaron los registros de lluvias y casos de tuberculosis para tres eventos de inundación, Orán (2008), Santiago del Estero (2007) y Córdoba (2006). Por otra parte se estimaron los coeficientes de correlación cruzada significativos entre las precipitaciones promedio semanales y los casos de tuberculosis. Orán registró coeficientes significativos para un retardo de 2 semanas. Esto coincide con su tiempo de incubación, el cual varía en un periodo de 2 a 10 semanas. Por otra parte, en Santiago del Estero no se obtuvo estimaciones significativas de los coeficientes de correlación cruzada. En ambos eventos, el patrón de casos mostró similar dinámica, sin observarse una dependencia con respecto a incrementos en las precipitaciones (Figura 3.3).

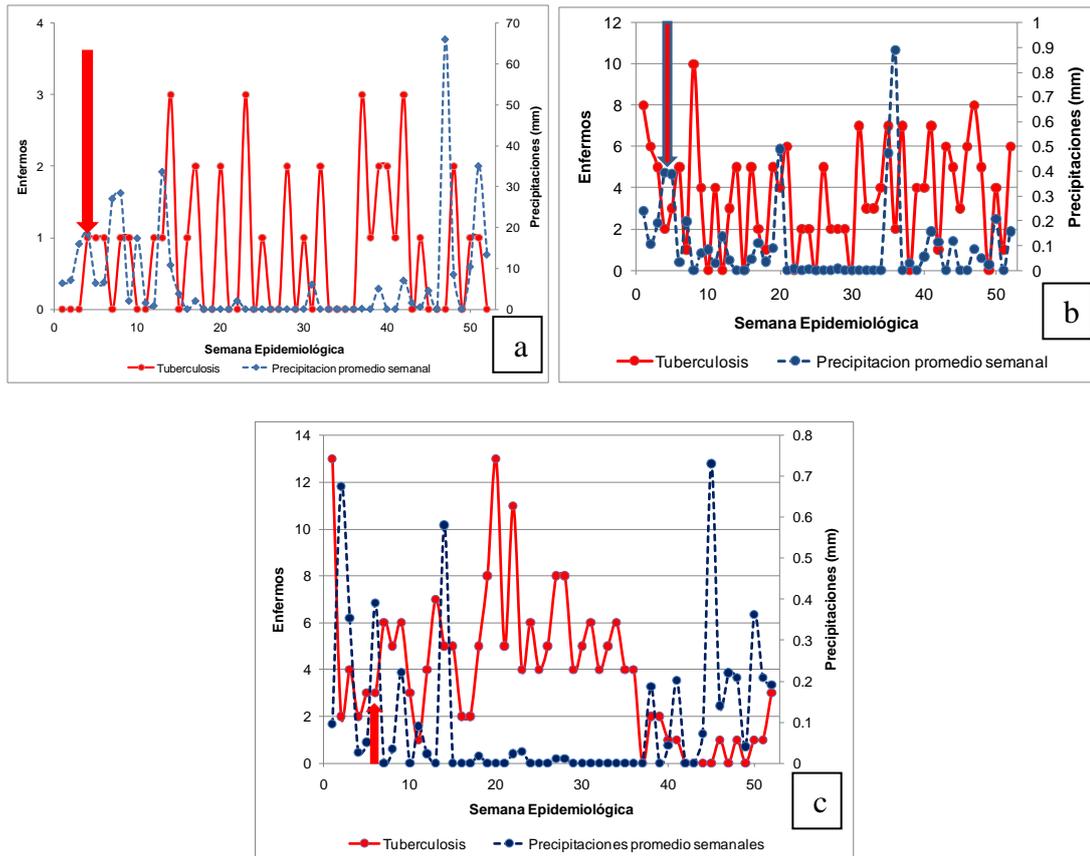


Figura 3.3. Registro semanal de casos de tuberculosis y precipitaciones promedio semanal para a) Orán (2008), b) Santiago del Estero (2007) y c) Córdoba (2006) (la flecha indica inicio de evento de inundación).

Las correlaciones cruzadas mostraron coeficientes significativos para demoras de 2 semanas para el evento de Orán, mientras que para Córdoba (2006), fue de 2 a 4 semanas. No se observó ninguno para Santiago del Estero (Figura 4.4). El registro relativamente constante a lo largo del año en ambas localidades, indicaría una independencia de la transmisión de la enfermedad con respecto a modificaciones climáticas o eventos inusuales de lluvias.

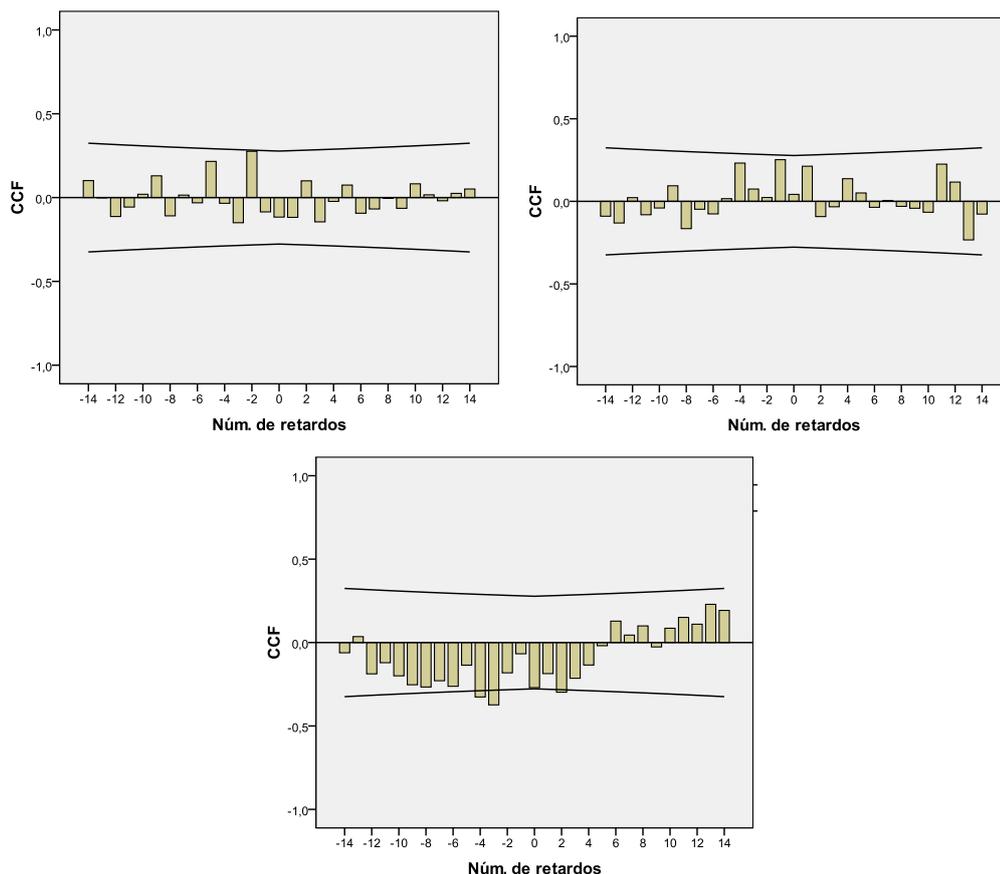


Figura 3.4. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de tuberculosis, por periodo de retraso, para Oran (2008), Santiago del Estero (2007) y Córdoba (2006).

Caracterización ambiental postinundación

El análisis de la temperatura promedio semanal mínima mostró un patrón similar entre localidades en las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación, con temperaturas cercanas a los 20 °C. Por otra parte, las temperaturas máximas y medias mostraron mayor variabilidad, variando hasta 8 °C y 4 °C entre localidades, respectivamente. Asimismo, las lluvias fueron similares para los eventos ocurridos en Santiago del Estero y Córdoba con precipitaciones totales, máximas semanales acumuladas y promedio y acumuladas semanales. Esto mostró diferencias contrastantes con el evento de Orán, con más de 600 mm. Se puede observar que en las inundaciones donde se registraron mayores temperaturas en general, las precipitaciones resultaron menores.

Los valores de NDVIM estuvieron entre 0.4 y 0.6, indicando condiciones de vegetación sana a vigorosa (Tabla 3.2).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
Santiago 2007	32.431	20.159	26.295	0.149	1.043	0.414	2.760	10.430
Córdoba 2006	36.700	20.463	28.582	0.139	0.782	0.664	2.184	7.819

Tabla 3.2. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.1.3 Parasitosis intestinales

Se analizaron seis eventos de inundación en los que se registraron brotes epidémicos de parasitosis intestinales generales, Orán (2006) y Orán (2008), Aguaray (2006) y Embarcación (2006), Salvador Mazza (2006) y Pichanal.

En 4 de los 6 eventos, Orán (2006) y Orán (2008), Embarcación (2006) y Salvador Mazza (2006), se observó un crecimiento en la cantidad de casos de parasitosis intestinales luego del registro de precipitaciones estivales, coincidente con el inicio de la inundación (Figura 3.5).

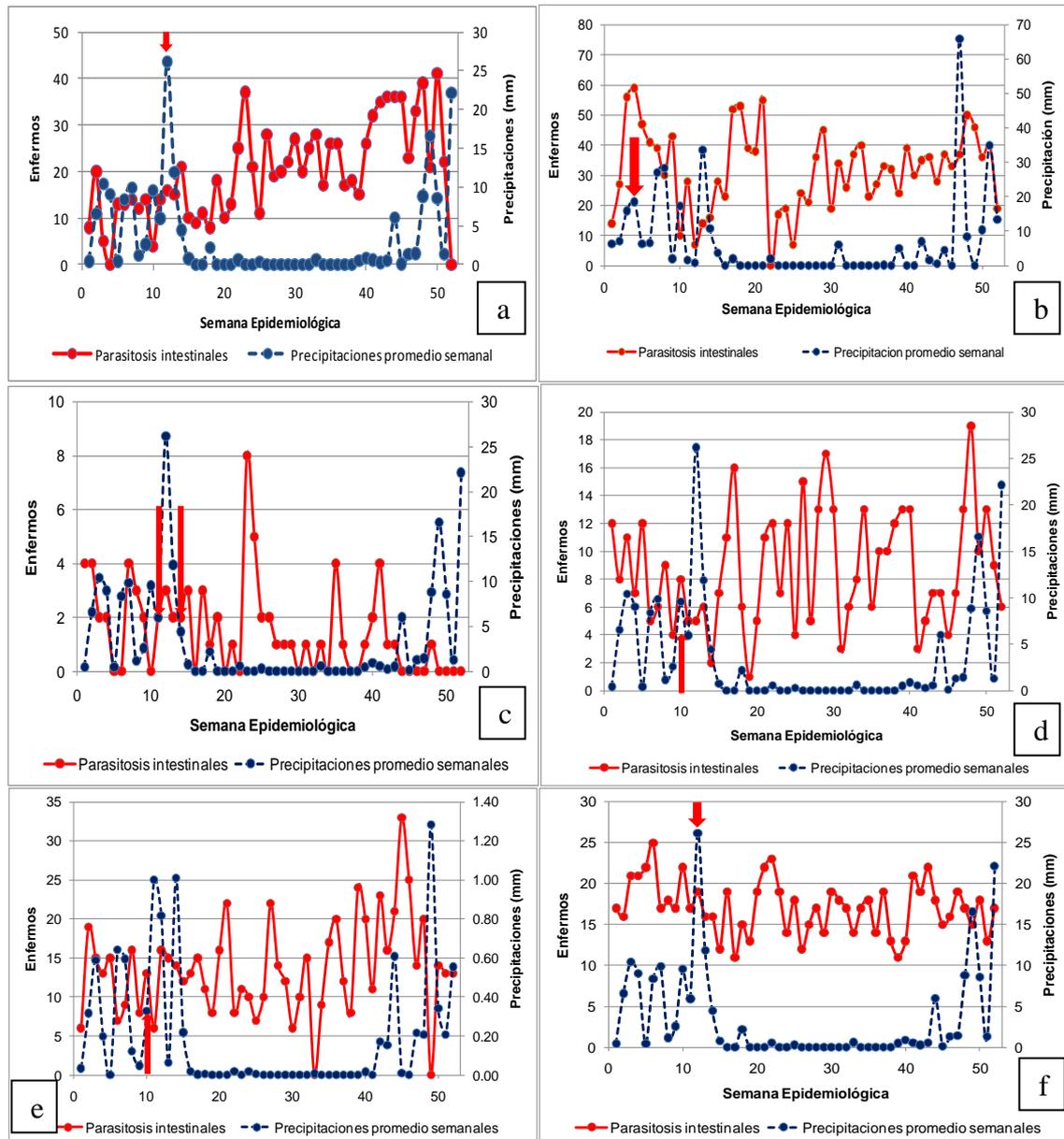


Figura 3.5. Registro semanal de casos de parasitosis intestinales y precipitaciones promedio semanal para a) Orán (2006) y b) Orán (2008), c) Aguaray (2006) y d) Embarcación (2006), e) Salvador Mazza (2006) y f) Pichanal (de izquierda a derecha, la flecha indica inicio de evento de inundación).

Las correlaciones cruzadas mostraron resultados diferentes entre eventos. Durante el evento de Orán (2006) se observaron coeficientes de correlación significativos para retrasos entre 3 y 6 semanas. En forma similar, los coeficientes de los eventos de Embarcación (7 semanas, marginalmente significativo), Salvador Mazza (4 semanas) y Pichanal (6-7 semanas) mostraron valores cercanos. No se observaron coeficientes significativos para Orán (2008). Aguaray (2006) presentó el máximo coeficiente para retrasos de 11 semanas (Figura 3.6).

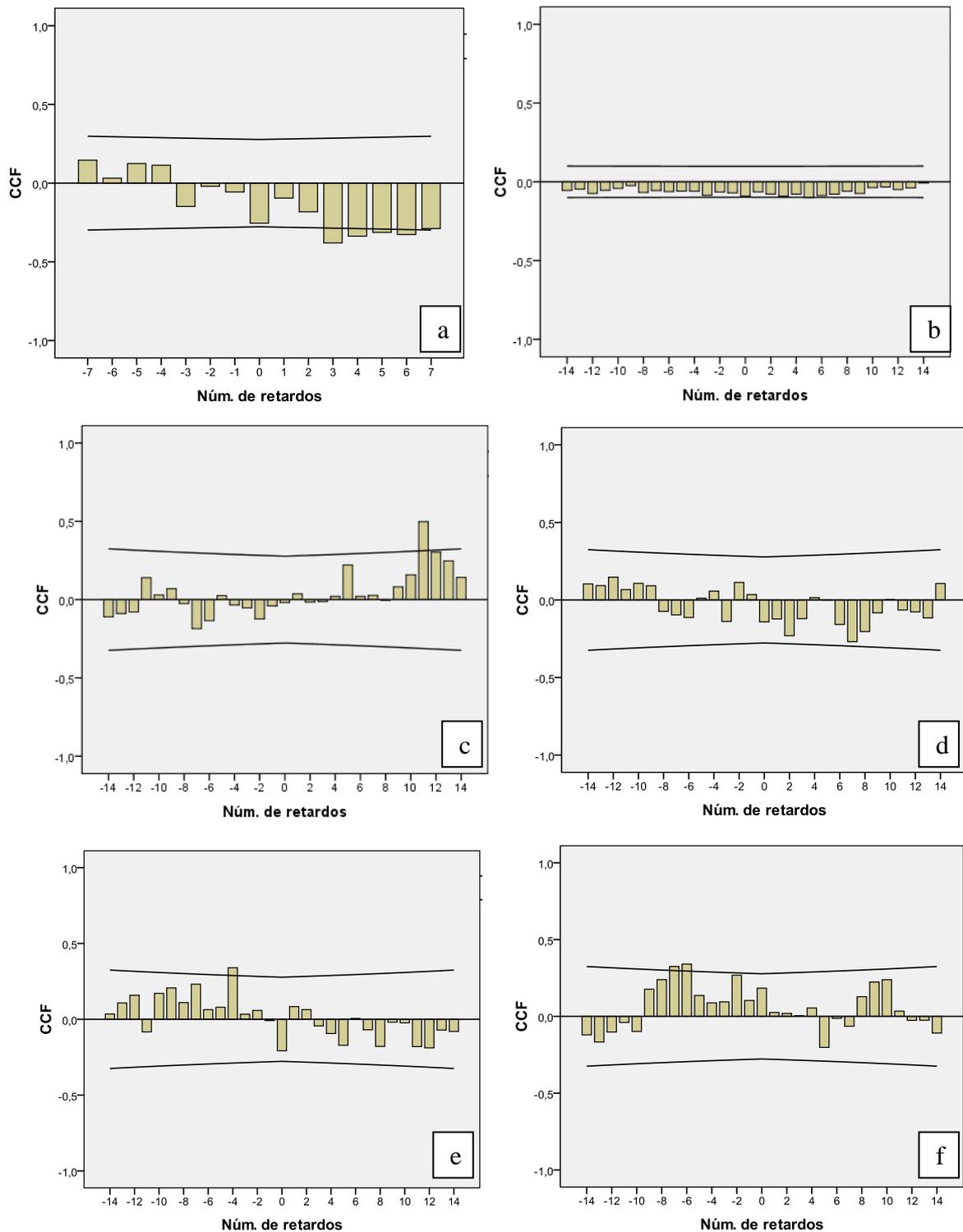


Figura 3.6. Coeficiente de correlación cruzada para precipitaciones acumuladas semanales y casos de parasitosis intestinales, por numero de semanas de retraso, para los eventos de a) Orán (2006), b) Orán (2008), c) Aguaray (2006) y d) Embarcación (2006), e) Salvador Mazza (2006) y f) Pichanal (2006) (de izquierda a derecha).

Caracterización ambiental postinundación

El análisis de las variables ambientales entre localidades y eventos, mostraron variabilidad en las temperaturas, con rango de 25°C a 28 °C para las máximas, 14°C a 20°C mínimas y temperaturas promedio para las 10 semanas entre 20°C y 24 °C. Las lluvias totales en su mayoría superaron los 300 milímetros y se registraron en picos máximos de acumulación semanal similares entre eventos. Se registraron valores de NDVIM superiores a 0.6, observándose un ambiente de

vegetación vigorosa en las condiciones ambientales posteriores al inicio de la inundación en todos los eventos de inundación en que se registraron epidemias de parasitosis intestinales (Tabla 3.3).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán (2008)	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
Orán (2006)	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.687	183.400	317.800
Pichanal (2006)	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.655	183.400	317.800
Salvador Mazza (2006)	23.840	14.083	18.961	0.213	1.494	0.768	7.080	14.940
Embarcación (2006)	25.681	17.350	21.522	5.133	35.930	0.642	183.400	359.300
Aguaray (2006)	25.681	17.350	21.522	5.133	35.930	0.788	183.400	359.300

Tabla 3.3. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.1.4 Parotiditis

Se registró para solo un evento de inundación, Orán (2006), un brote epidémico de parotiditis. Se observó un crecimiento en la cantidad de casos de parotiditis luego del registro de un pico de precipitaciones (Figura 3.7).

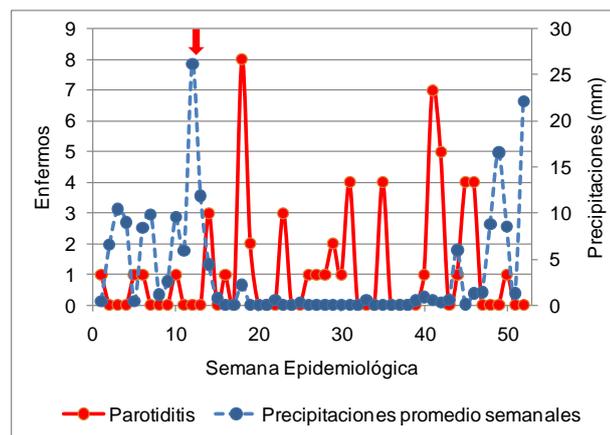


Figura 3.7. Registro semanal de casos de parotiditis y precipitaciones promedio semanal para Orán (2006)

El análisis de correlación cruzada registró un retraso de una semana entre los casos de parotiditis y las precipitaciones promedio semanales (Figura 3.8).

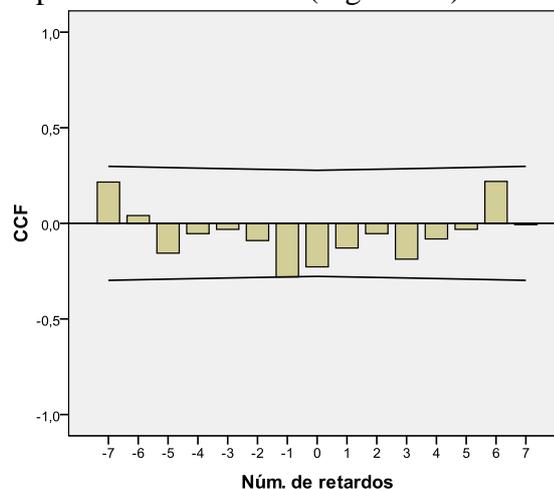


Figura 3.8. Coeficiente de correlación cruzada para precipitaciones acumuladas semanales y casos de parotiditis, por número de semanas de retraso, para los eventos de Orán (2006).

Caracterización ambiental postinundación

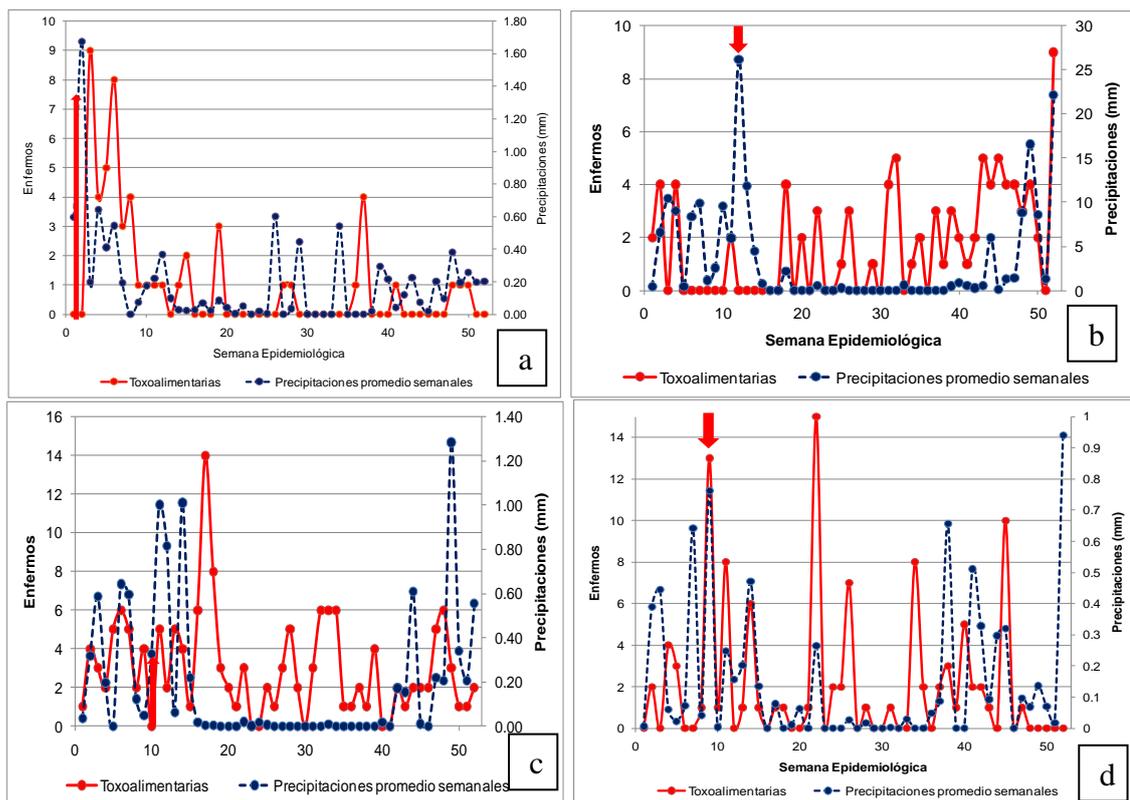
El único brote de parotiditis registrado mostró condiciones de temperatura con poca amplitud térmica (tan solo 4 °C grados), con mínimas sobre 16 °C promedio. Las lluvias superaron los 300 milímetros, con precipitaciones acumuladas máximas semanales de 183 milímetros (Tabla 3.4).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2006	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.687	183.400	317.800

Tabla 3.4. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.1.5 Toxoalimentarias

Se analizaron cuatro eventos de inundación, Tucumán (2007), Pichanal (2006), S. Mazza (2006), Resistencia (2007) y Córdoba (2006), registrándose el número de casos de enfermedades toxoalimentarias y precipitaciones promedio semanales para todo el año. En todos los eventos, el inicio de las inundaciones coinciden con el inicio de las máximas precipitaciones anuales, observándose posteriormente picos de enfermos por enfermedades toxoalimentarias (Figura 3.9).



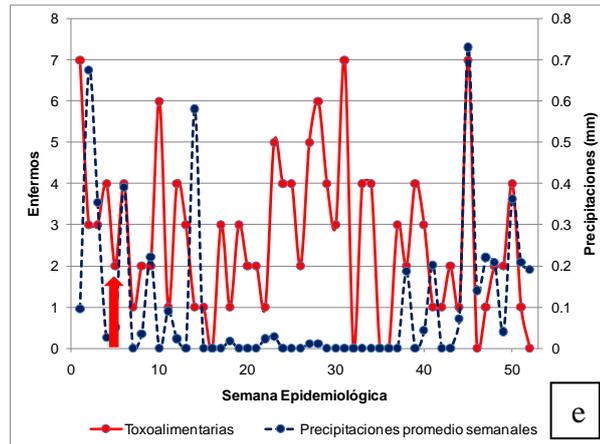


Figura 3.9. Registro de casos de enfermedades toxoalimentarias y precipitaciones promedio semanales para todo el año en la localidad de a) Tucumán (2007), b) Pichanal (2006), c) S.Mazza (2006) , d) Resistencia (2007) y e) Córdoba (2006).

Los coeficientes de correlación cruzada entre la precipitación promedio semanal y los casos de enfermedades toxoalimentarias, variaron entre eventos, registrándose coeficientes significativos para Tucumán (1-4 semanas retraso), S. Mazza (3-6) y Resistencia (0-2). Los eventos de Pichanal (2006) y Córdoba (2006) no registraron coeficientes de correlación significativos (Figura 3.10).

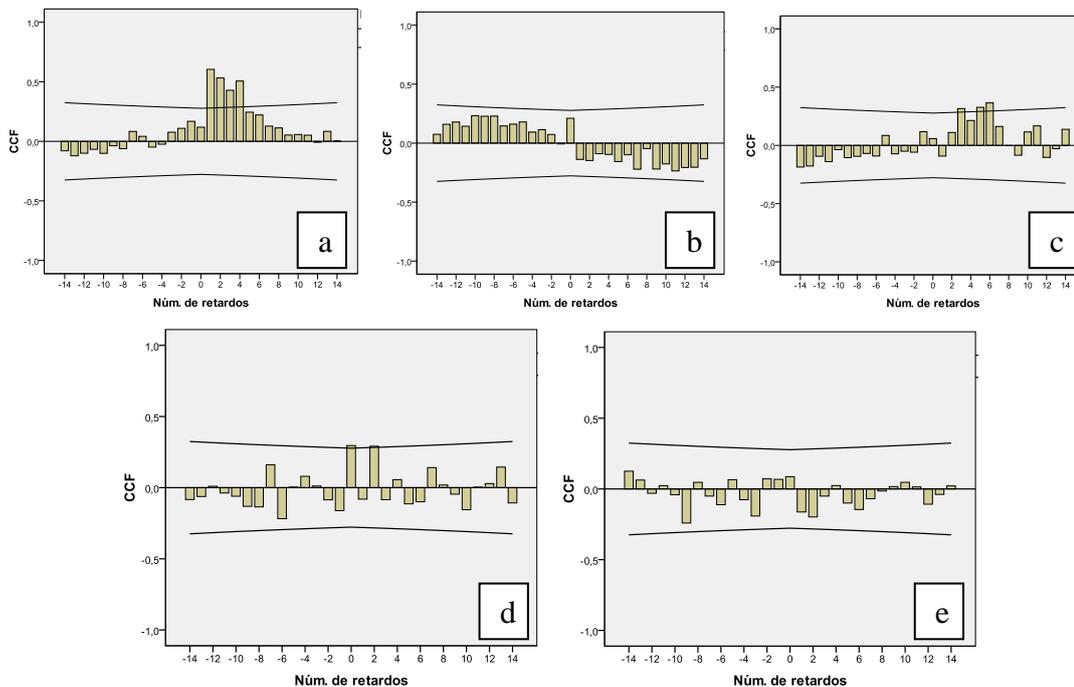


Figura 3.10. Coeficiente de correlacion cruzada para precipitaciones acumuladas semanales y casos de enfermedades toxoalimentarias, por numero de semanas de retraso, para los eventos de a)Tucumán (2007), b) Pichanal(2006), c) S.Mazza (2006) , d) Resistencia (2007) y e) Cordoba(2006).

Caracterización ambiental postinundación

Las variables ambientales consideradas en la caracterización mostraron una gran variabilidad en cuanto a los valores registrados, tanto para las temperaturas como las precipitaciones entre localidades y eventos de inundación.

En general se observa inundaciones caracterizadas por bajas precipitaciones y temperaturas mínimas superiores a los 16 °C (a excepción de Salvador Mazza), temperaturas promedios entre 18 °C y 28 °C y máximas entre 24 °C y 36 °C. Pichanal mostró la mayor precipitación acumulada semanal con más de 180 mm (Tabla 3.5).

La comparación de las precipitaciones acumuladas semanales promedios para las 10 semanas con la máxima precipitación acumulada semanal, denota en todas las inundaciones un incremento apreciable en la cantidad de lluvia caída. Los valores de NDVIM mostraron variabilidad entre eventos, pero en general se registraron índices superiores a 0.60, a excepción de San Miguel de Tucumán (Tabla 3.5).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Pichanal (2006)	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.655	183.400	317.800
Salvador Mazza (2006)	23.840	14.083	18.961	0.213	1.494	0.768	7.080	14.940
S.M. de Tucumán (2007)	30.081	19.802	24.941	0.413	2.893	0.295	11.730	28.930
Córdoba (2006)	36.700	20.463	28.582	0.139	0.782	0.664	2.184	7.819
Resistencia (2007)	32.823	20.910	26.866	0.262	1.837	0.617	5.340	18.365

Tabla 3.5. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2 Enfermedades de transmisión vectorial

3.3.2.1. Dengue

El análisis del registro de los casos de dengue con respecto a la lluvia semanal promedio, se llevó a cabo para los eventos de inundación en Tartagal (2009), Orán (2008) y Corrientes (2007).

En los tres eventos se observó el incremento de casos posterior a las lluvias y el inicio de la inundación (Figura 3.11).

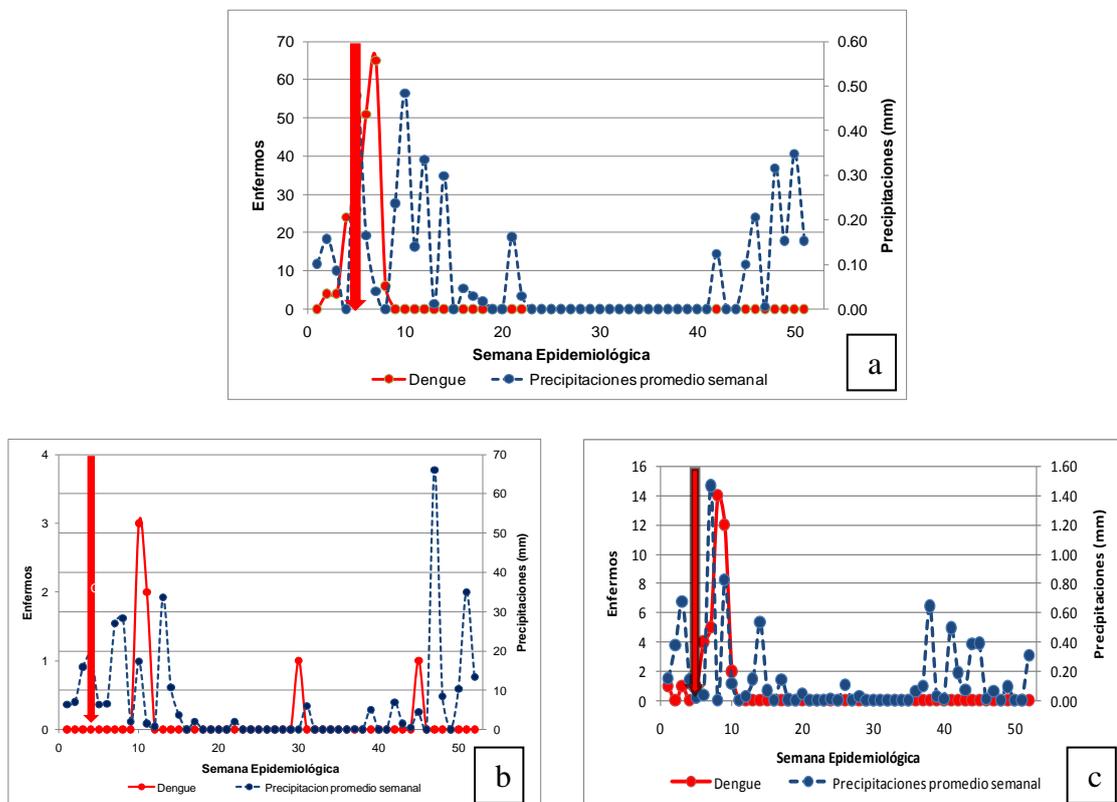


Figura 3.11. Registro semanal de precipitaciones promedio semanales y casos de dengue clásico para la localidad de a) Tartagal (2009), b) Orán (2008) y c) Corrientes (2007).

Los análisis de correlación cruzada entre casos de dengue y precipitaciones promedio semanales, mostraron diferencias entre localidades, donde los picos de enfermos se encuentran cercanos en el tiempo con los picos de precipitaciones. Las localidades de Tartagal y Orán presentaron los mayores coeficientes a retardos entre 4 a 6 semanas en Tartagal, 6 y 10 en Orán, mientras que Corrientes presentó un retardo significativo a 2 semanas (Figura 3.12).

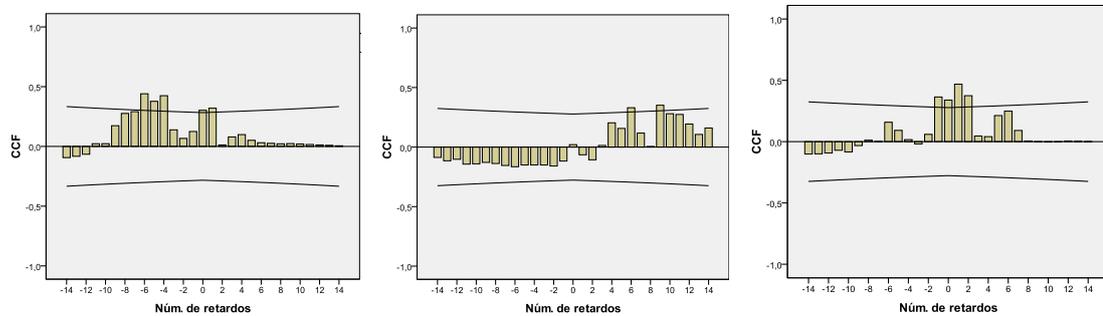


Figura 3.12. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de dengue clásico, por periodo de retraso, para Tartagal (2009), Orán (2008) y Corrientes (2007) (de izquierda a derecha).

Caracterización ambiental postinundación

Las epidemias de dengue se registraron en tres eventos de inundación con similares características ambientales, temperaturas máximas entre 28 y 32 °C, mínimas sobre los 17°C y medias entre 22°C y 26°C. En cuanto a las precipitaciones, uno de los eventos mostró precipitaciones muy altas, superiores a los 600 mm para el total de los 10 días, mientras que las restantes no superaron los 23 mm. Aun así, la relación entre las precipitaciones promedio semanales y la máxima semanal registrada, muestra la existencia de un aumento significativo en la lluvia caída en cada una de las localidades. El NDIM para las diez semanas posteriores al inicio de las inundaciones mostró valores medios, entre 0.4 y 0.6, para los tres eventos donde se registraron epidemias de dengue (Tabla 3.6).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
Corrientes 2007	32.186	21.606	26.896	0.319	2.232	0.418	10.270	22.320
Tartagal 2009	28.234	17.518	22.876	0.090	0.629	0.439	2.350	6.290

Tabla 3.6. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2.2. Malaria

El análisis del registro de los casos de malaria con respecto a la lluvia semanal promedio para los eventos de inundación en las localidad de Tartagal (2006), Tartagal (2009), Orán (2008) y Aguaray (2006), y Salvador Mazza (2006) mostrando la aparición de casos de malaria posteriores a los picos de lluvia.

Los eventos de inundación fueron coincidentes con aumento en las precipitaciones para la localidad de Tartagal en ambos años, mientras que el inicio de la inundación de Orán se encuentra anterior a los registros de lluvias. Este patrón quizás deba su origen a que la inundación en Orán fue provocada por desborde del río Pilcomayo, mientras que en el resto de los eventos fueron provocados por fuertes lluvias (Figura 3.13).

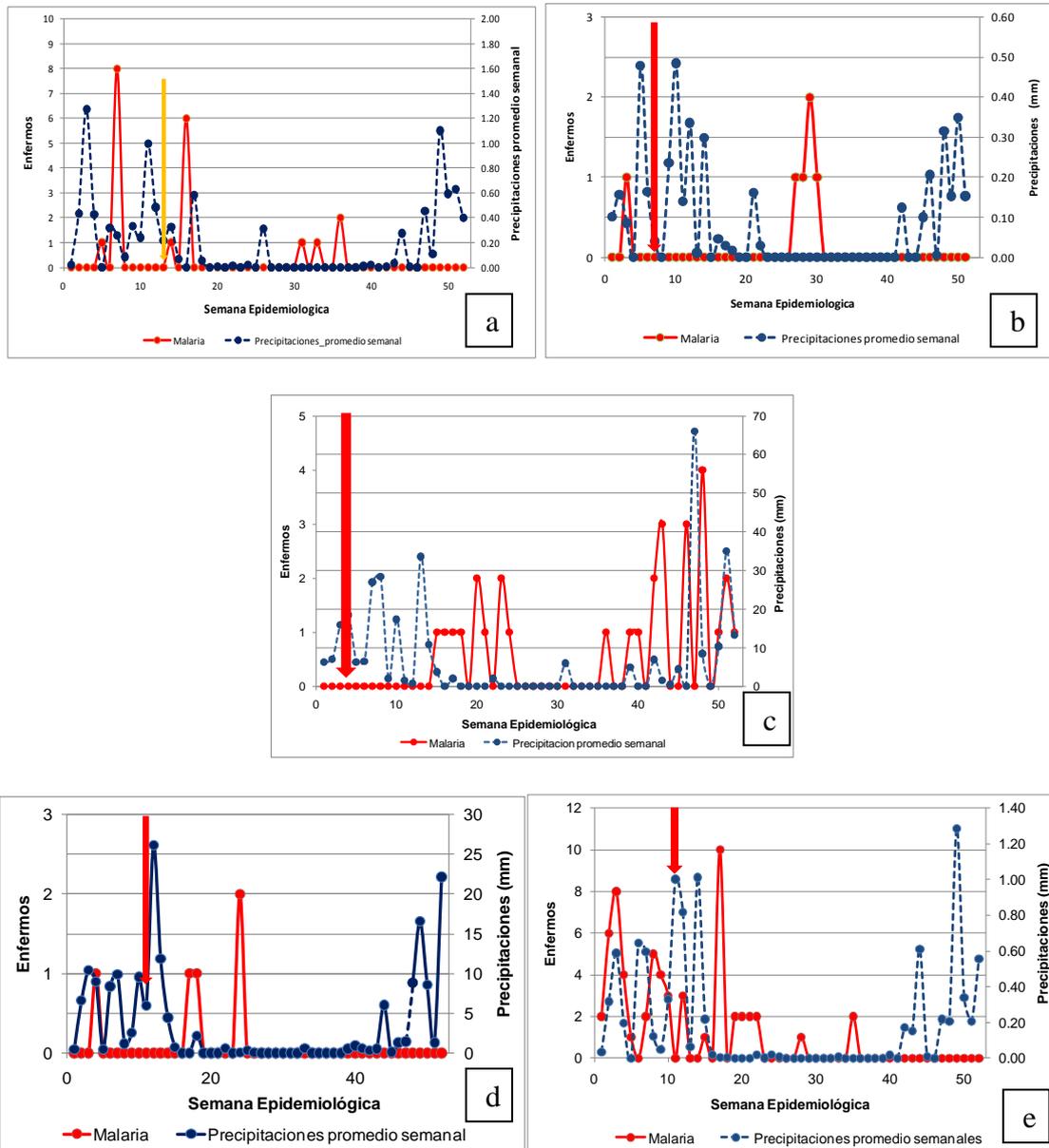


Figura 3.13. Registro semanal de precipitaciones promedio semanales y casos de malaria semanales para a) Tartagal 2006, b) Tartagal 2009, c) Oran 2008, d) Aguaray (2006) y e) Salvador Mazza (de izquierda a derecha).

El análisis de las correlaciones cruzadas registró coeficientes significativos para retrasos entre los casos de malaria y las lluvias promedio semanales de 4 a 5 semanas para el evento de Tartagal (2006), similar a lo observado en Orán (2008) y Salvador Mazza, para los cuales el retraso fue de 6 semanas (Fig. 3.14). Por otra parte, no se observaron correlaciones significativas para ningún retraso para el evento de Tartagal durante el 2009 y Aguaray mostró un coeficiente significativo para 12 meses de retraso.

A pesar de no superar el límite de confianza, Aguaray registró valores cercanos al mismo para retardos de 5 a 6 meses, en forma similar a lo descrito para la mayoría de las localidades (Figura 3.14).

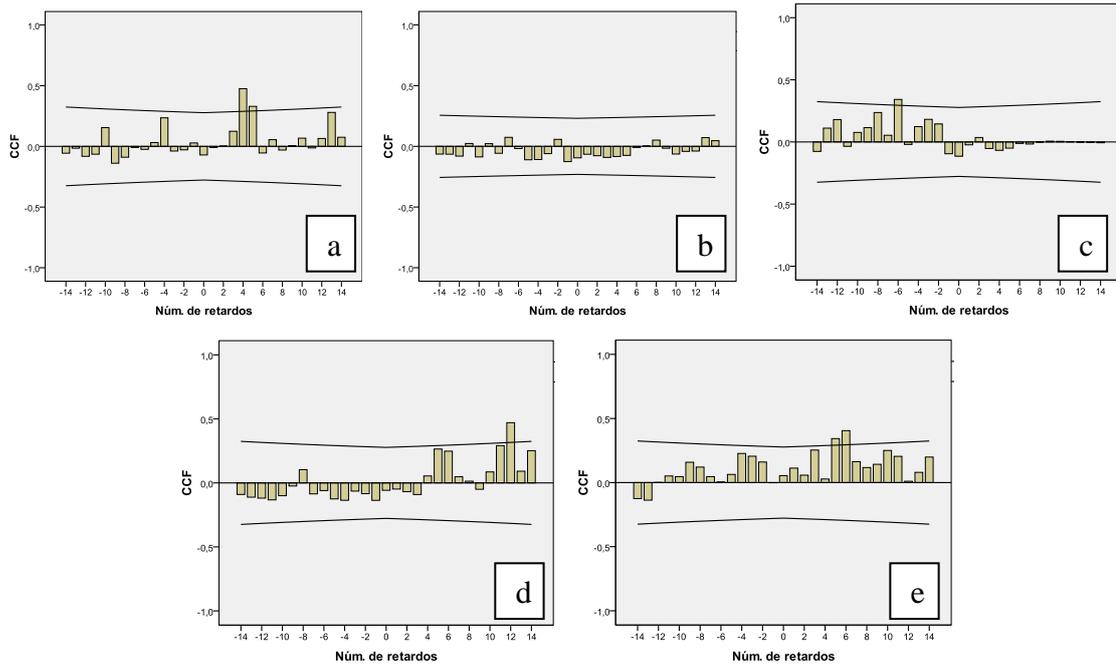


Figura 3.14. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de malaria, por periodo de retraso, para a) Tartagal (2006), b) Tartagal (2009), c) Orán (2008), d) Aguaray (2006) y e) Salvador Mazza (2006) (de izquierda a derecha)

Análisis de variables post inundación

Las temperaturas registradas en el período de 10 semanas posteriores al inicio de cada inundación donde se registró una epidemia de malaria mostraron temperaturas mínimas entre los 14°C y los 20 °C, mientras que las temperaturas medias semanales superaron los 18 °C. Las lluvias no presentaron un patrón claro entre eventos, registrándose eventos con más de 600 mm y otros de menos de 10 mm. El promedio de precipitaciones semanales mostraron valores entre 0,1 y 14 mm.

Los valores de NDVIM mostraron valores altos, reflejando condiciones de vegetación sana, para la mayoría de los eventos (Tabla 3.7).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
S. Mazza	23.840	14.083	18.961	0.213	1.494	0.768	7.080	14.940
Aguaray	25.681	17.350	21.522	5.133	35.930	0.788	183.400	359.300
Tartagal 2006	25.287	15.180	20.234	0.174	1.220	0.772	4.090	12.200
Tartagal 2009	28.234	17.518	22.876	0.090	0.629	0.439	2.350	6.290

Tabla 3.7. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2.3. Hantaviriosis

Se analizó la dinámica de la hantaviriosis en dos eventos Orán 2006 y 2008. En ambos eventos se observó el incremento en el número de casos, luego de incrementos en las precipitaciones (Figura 3.15)

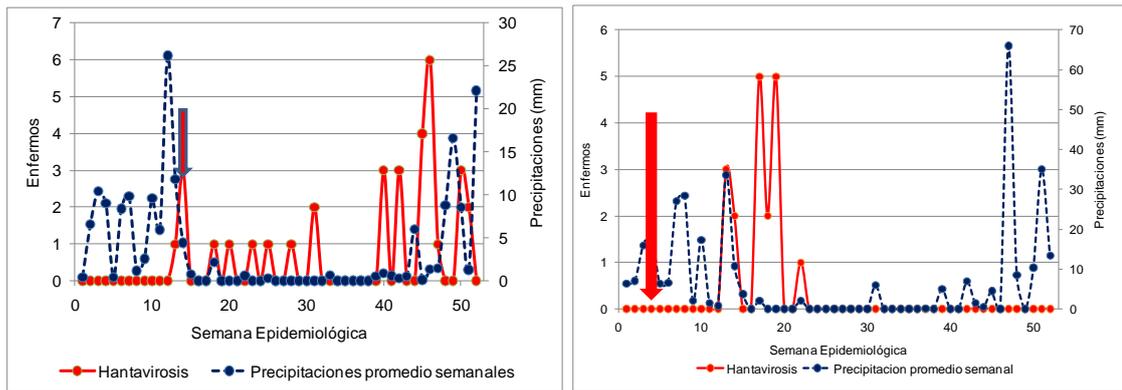


Figura 3.15. Registro semanal de precipitaciones promedio semanales y casos de hantavirus semanales para Orán 2006 y Orán 2008(de izquierda a derecha).

No se observaron correlaciones cruzadas significativas para los casos de hantavirus con respecto a las precipitaciones semanales promedio semanales para el evento de Orán 2006, mientras que para Orán 2008, resultó significativo un retraso de 1 semana (Figura 3.16).

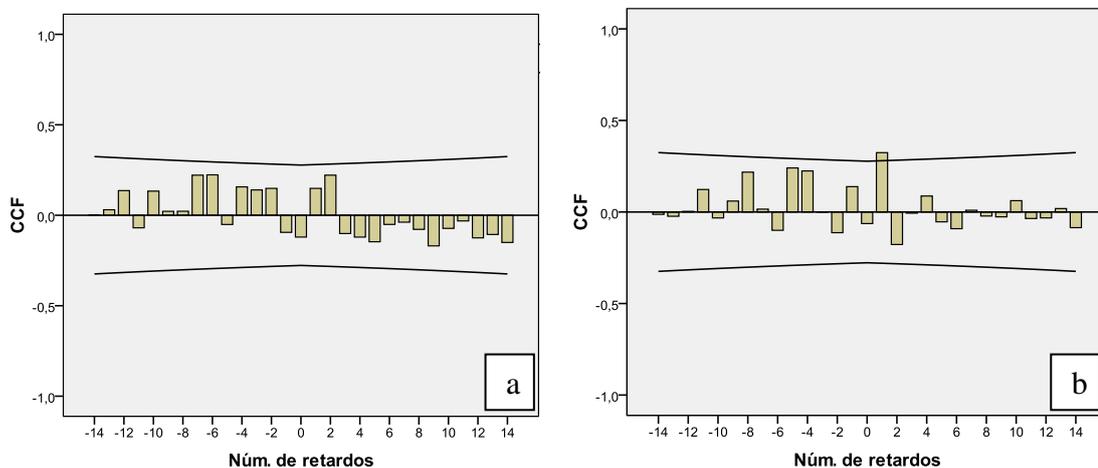


Figura 3.16. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de hantavirus, por periodo de retraso, para a) Orán (2006), b) Orán (2008) (de izquierda a derecha)

Análisis de variables post inundación

Las variables ambientales observadas en los dos eventos de inundación donde se registraron epidemias de hantavirus mostraron valores de temperaturas máximas entre 24°C y 28°C, mínimas entre 20°C y 16°C y medias entre 24°C y 20°C. Las precipitaciones máxima promedio mostraron valores similares entre eventos, mientras que las precipitación totales se mostraron superiores para Orán durante el 2008, indicando que aún cuando las precipitaciones extremas resultaron similares, la acumulación final de lluvias resultó mayor en esta última inundación. Los valores de NDVIM mostraron valores altos, reflejando condiciones de vegetación sana, para la mayoría de los eventos (Tabla 3.8).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
Orán 2006	24.897	16.193	20.548	4.540	31.780	0.687	183.400	317.800

Tabla 3.8. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2.4. Leishmaniasis cutánea

Se analizó la dinámica de la leishmaniasis cutánea en dos eventos S.M. de Tucumán 2007 y Orán 2008. En ambos eventos se observó el incremento en el número de casos, luego de incrementos en las precipitaciones (Figura 4.17).

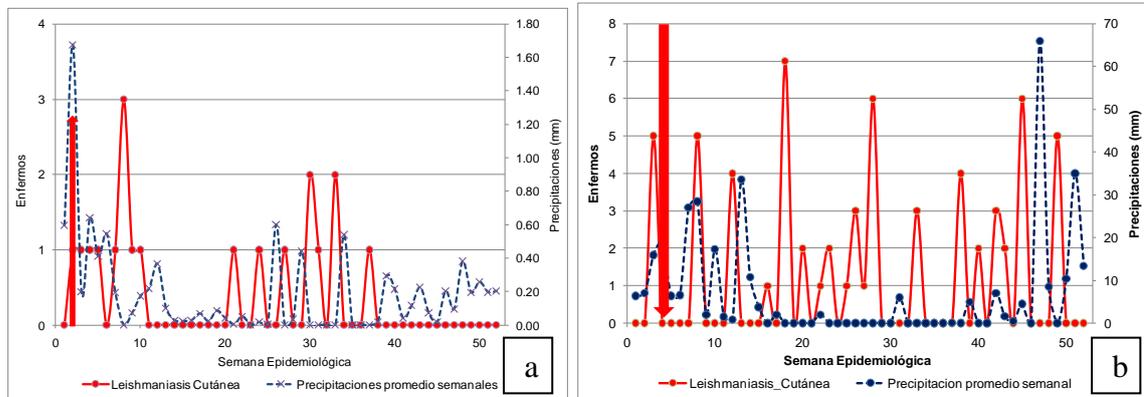


Figura 3.17. Registro de casos de leishmaniasis cutánea y precipitaciones promedio semanales para todo el año en la localidad de a) Tucumán 2007 y b) Orán 2008.

Los análisis de correlación cruzada mostraron coeficientes significativos para retrasos de 10 semanas y 2 a 4 semanas, para Tucumán (2007) y Orán (2008) respectivamente (Figura 3.18).

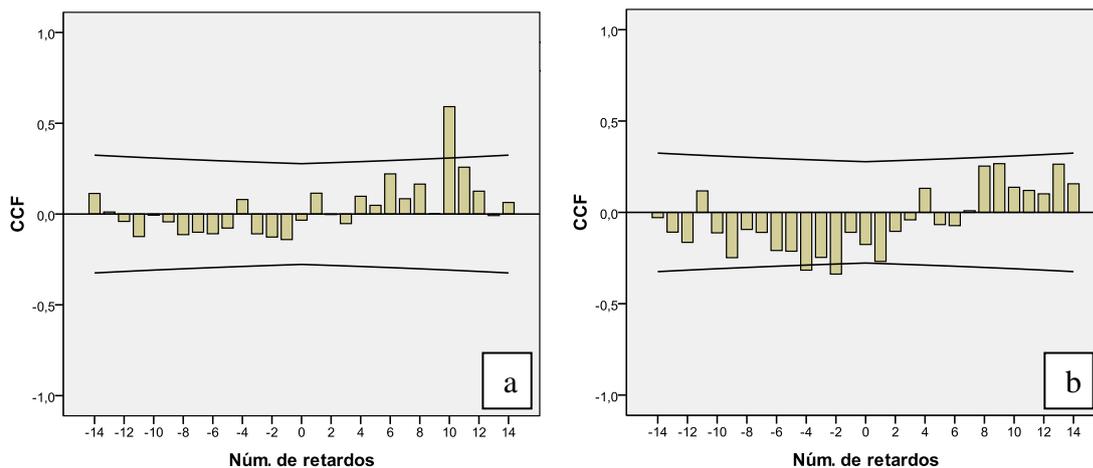


Figura 3.18. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de leishmaniasis, por periodo de retraso, para a) S.M. de Tucumán (2007), b) Orán (2008) (de izquierda a derecha).

Análisis de variables post inundación

Ambas localidades mostraron similares valores en cuanto a temperaturas, mientras que mostraron diferencias marcadas en los patrones de precipitación y vegetación (Tabla 3.9). Esto sugiere que las precipitaciones no serían un factor limitante para el registro de casos de leishmaniasis, mientras que la temperatura podría jugar un rol importante en la dinámica del vector y el número de casos. Esto se contrapone a lo observado por Salomón *et al.* (2004), quienes vieron un patrón de bimodal en la abundancia de los flebótomos, coincidente con el número de casos y las mayores precipitaciones. Sin embargo, estos autores también sugieren que la dinámica de los vectores estarían relacionados con el ambiente peridoméstico de áreas deforestadas (Tabla 3.9).

	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVIM	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
S.M. de Tucumán 2007	30.081	19.802	24.941	0.413	2.893	0.295	11.730	28.930

Tabla 3.9. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2.5. Leptospirosis

Para el análisis de los factores ambientales relacionados temporalmente con los picos de leptospirosis, se analizaron dos eventos de inundación, Santa Fe (2007) y Oran (2008), ambas originadas por fuertes lluvias y desborde de ríos. El inicio de las inundaciones, en ambos eventos, están ligados a picos de lluvias estivales y preceden a picos de casos de leptospirosis (Figura 3.19).

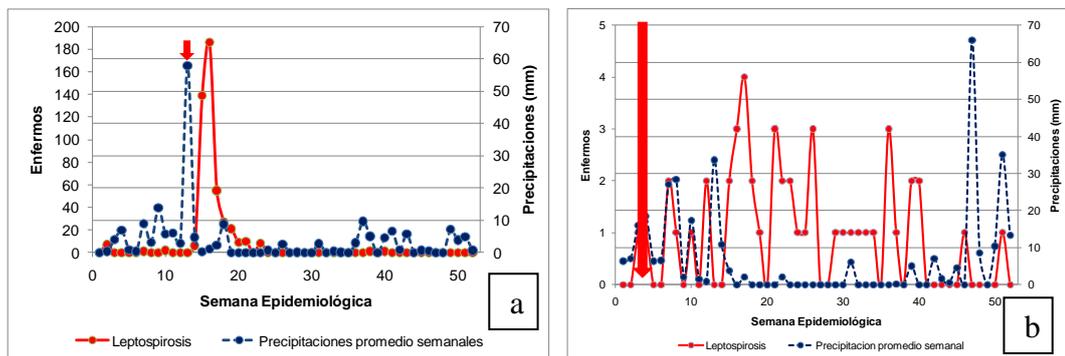


Figura 3.19. Registro de casos de leptospirosis y precipitaciones promedio semanales para todo el año en las localidades de a) Santa Fe (2007) y b) Orán (2008).

El análisis de correlación cruzada muestra coeficientes significativos para retrasos de 2 semanas para Santa Fe y de 3 semanas para Orán (Figura 3.20).

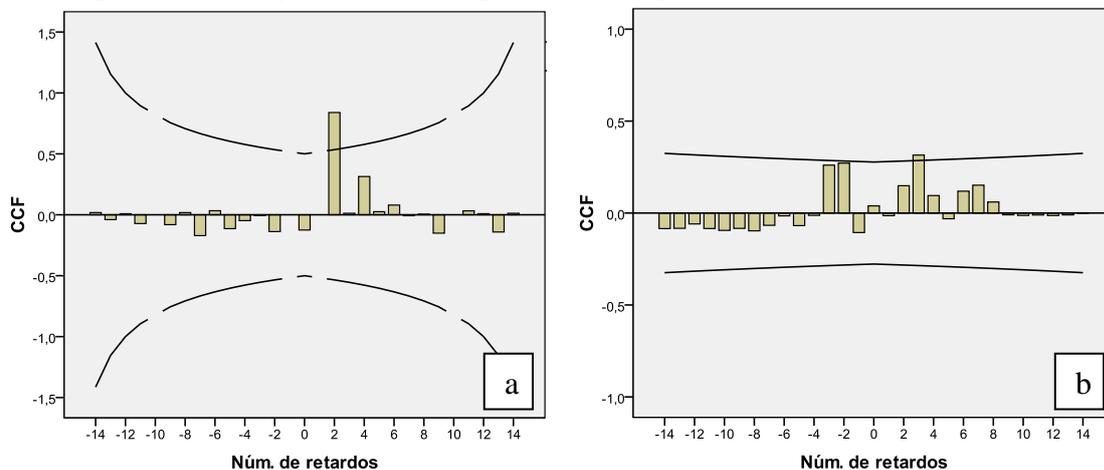


Figura 3.20. Correlaciones cruzadas para precipitaciones promedio semanales y casos semanales de leptospirosis, por período de retraso, para a) Santa Fe (2007) y b) Orán (2008).

Análisis de variables post inundación

El análisis de las variables ambientales observadas durante las siguientes 10 semanas mostró características similares en el ambiente postemergencia para las localidades donde se observaron brotes de leptospirosis. Las precipitaciones promedio y acumuladas semanales mostraron valores similares, en tanto que las precipitaciones máximas resultaron diferentes entre localidades. Esto podría tener directa relación con el origen de las inundaciones, debido a que la inundación de Santa

Fe se debió principalmente a la caída de fuertes lluvias en poco tiempo, mientras que las inundaciones de Orán se debieron en su mayoría a desborde de ríos.

En ambas localidades se observaron valores de NDVIM medianos a altos, registrándose índices menores en Santa Fe debido posiblemente a la mayor área urbanizada. Todas las temperaturas resultaron superiores en Orán.

Inundación	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	NDVI M	PAMax	PATotal
Orán 2008	28.880	20.190	24.535	14.201	64.880	0.622	168.000	648.800
Santa fe 2007	22.714	14.909	19.116	8.392	57.860	0.462	405.000	578.600

Tabla 3.10. Variables ambientales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3. Caracterización ambiental postinundación por variable ambiental

3.3.1. Temperatura máxima, mínimas y media promedio semanal

El mayor número de epidemias se observa en el rango de temperaturas máximas entre 23°C y 28 °C y mínimas entre los 16 y 20 °C. Con temperaturas máximas superiores a 32°C grados solo se observaron enfermedades transmitidas por agua en forma no vectorial como enfermedades toxoalimentarias y diarreas. Las diarreas se observaron en todas las temperaturas máximas. La mayor parte de las enfermedades transmitidas por vectores se observaron entre los 23°C y 28 °C de máxima semanal. La malaria se observa con temperaturas máximas entre 21°C y 28 °C, mientras que el dengue y las hantaviriosis entre 23°C y 28°C.

Temperatura máxima	Epidemia	N epidemias	No vectoriales	Vectoriales
>21 a <23	Malaria Leptospirosis Diarreas	3	1	2
>23 a =<28	Parasitosis Toxoalimentarias Parotiditis Dengue Malaria Hantaviriosis Leishmaniasis Leptospirosis Diarreas	9	4	5
>28 a <32	Toxoalimentarias Dengue Leishmaniasis Diarreas	4	2	2
>32	Toxoalimentarias Diarreas	2	2	0

Tabla 3.11. Epidemias por enfermedad según rango de temperatura máxima promedio observado durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

Las epidemias de dengue se registraron solo a temperaturas mínimas superiores a 16°C. Las parasitosis intestinales se observaron en un rango de temperaturas mínimas promedio semanales entre 14°C a 20 °C. Las enfermedades transmitidas por mosquitos necesitaron al menos 14°C para su transmisión, registrándose la mayoría entre los 16°C y 20 °C (Tabla 3.12).

Temperatura mínima	Epidemias	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
>14 a <16	Parasitosis Toxoalimentarias Parotiditis Malaria Hantavirus Diarreas	6	4	2
>16 a <20	Parasitosis Diarreas Toxoalimentarias Dengue Malaria Hantavirus Leishmaniasis Leptospirosis	8	3	5
>20	Dengue	1	0	1

Tabla 3.12. Epidemias por enfermedad según rango de Temperatura mínima promedio observado durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

La mayoría de las enfermedades se registraron en un rango de temperaturas medias promedio para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación, entre 17°C y 24 °C (Tabla 3.13).

Temperatura media	Epidemias	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
>17 a <20	Parasitosis Diarreas Parotiditis Malaria Hantavirus Leptospirosis	6	3	3
>20 a <24	Parasitosis Diarreas Dengue Malaria Hantavirus Leishmaniasis Leptospirosis	7	2	5
>24	Toxoalimentarias Dengue Leishmaniasis Diarreas	4	2	2

Tabla 3.13 Epidemias por enfermedad según rango de Temperatura media promedio observado durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.2. Precipitaciones promedio semanales

En relación a las precipitaciones promedio semanales (PPP) para las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación, se observó que la mayoría de las enfermedades registraron epidemias en un rango entre 0,2 y 14 mm semanales promedio. Toxoplasmosis y parotiditis se registraron únicamente entre 0,1 y 4,5 mm semanales promedio, mientras que leishmaniasis, hantavirus y leptospirosis solo ocurrieron con precipitaciones mayores a los 4,5 mm, con máximas de 14 mm aproximadamente. Se observó un predominio de las enfermedades de transmisión no vectorial en el rango de hasta 4,5 mm, mientras que a precipitaciones promedio semanales mayores, hay una mayoría de epidemias de enfermedades de transmisión vectorial (Tabla 3.14).

Promedio de Precipitaciones semanales (PPP)	Epidemias	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
>0,1 mm a <4,5 mm	Diarrea Parasitosis Toxoalimentarias Parotiditis Tuberculosis Dengue Malaria	7	5	2
>4,5 a <14,5 mm	Diarreas Parasitosis Tuberculosis Leishmaniasis Hantaviriosis Leptospirosis Dengue Malaria	8	3	5

Tabla 3.14. Epidemias por enfermedad según rango de promedio de precipitaciones semanales observado durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.3. Precipitaciones acumuladas totales

En cuanto las precipitaciones acumuladas totales, se observó un predominio de las enfermedades de transmisión no vectorial hasta los 580 mm de lluvia acumulada, luego del cual se observan la aparición de la mayoría de las enfermedades vectoriales (malaria, dengue, leishmaniasis y leptospirosis (Tabla 3.15)).

Precipitaciones acumuladas totales	Epidemias	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
>30 mm	Toxoalimentarias Dengue Leishmaniasis Diarrea	4	2	2
>30 mm a <180 mm	Hantaviriosis	1	0	1
>180 a <360	Parasitosis Toxoalimentarias Parotiditis Malaria Diarreas	5	4	1
>360 a <580	Parasitosis Leptospirosis Diarreas	3	2	1
>580 a <650	Parasitosis Dengue Malaria Leishmaniasis Leptospirosis	5	1	4

Tabla 3.15. Epidemias por enfermedad según rango de precipitaciones totales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.4. Precipitación máxima semanal

Las precipitaciones máximas acumuladas semanales mostraron que a precipitaciones máximas semanales mayores a 180 mm existió un predominio de las enfermedades transmitidas por vectores, tales como malaria y leptospirosis. Dengue se observó entre 10 y 170 mm. Entre los 170 y

180 mm predominaron las enfermedades no vectoriales (parasitosis, diarreas y toxoalimentarias (Tabla 3.16)).

Precipitación máxima semanal	Epidemias	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
<10	Parasitosis Diarreas Dengue Malaria	4	2	2
>10 a <30	Leishmaniasis	1		1
>30 <170	Parasitosis Dengue Hantavirus Leptospirosis	4	2	2
>170 a <180	Parasitosis Diarreas Toxoalimentarias Hantavirus	4	3	1
>180 a <360	Malaria	1		1
>360 a <410	Diarreas Leptospirosis	2	1	1
>410 a <650	Malaria Leishmaniasis	2		2

Tabla 3.16. Epidemias por enfermedad según rango de precipitaciones máximas semanales observadas durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.5. NDVIM promedio

El análisis de los valores de NDVIM promedio para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación no mostro diferencias en la cantidad de epidemias provocadas por vectores y las no vectoriales a ningún valor del índice. Las enfermedades toxoalimentarias y diarreas se observaron a todos los valores de NDVIM. Asimismo, las parasitosis intestinales se registraron hantavirus y malaria entre 0.5 y 0.7. Las enfermedades vectoriales, tales como leptospirosis y dengue, se registraron a valores de menos 0.3. Por otra parte las epidemias de hantavirus y malaria se dieron en un rango de 0.5 y 0.7 (Tabla 3.17).

NDVIM promedio	Epidemia	N Epidemias	No vectoriales	Vectoriales
0 a 0.3	Toxoalimentarias Diarreas Leishmaniasis	3	2	1
0.3 a 0.5	Toxoalimentarias Diarreas Tuberculosis Dengue Leishmaniasis Leptospirosis	6	3	3
0.5 a 0.6	Diarreas Toxoalimentarias Parasitosis Dengue Malaria Hantavirus Leishmaniasis Leptospirosis Tuberculosis	9	4	5
0.6 a 0.7	Parasitosis Toxoalimentarias Parotiditis Diarreas Malaria Hantavirus	6	4	2

Tabla 3.17. Epidemias por enfermedad según rango de NDVIM promedio observado durante las 10 semanas posteriores al inicio del evento de inundación.

3.3.6. Número máximo de epidemias según rango de variables ambientales

Los mayores números de epidemias se registraron en condiciones de temperaturas altas sostenidas, condiciones de vegetación vigorosa, altos valores de lluvias acumuladas y picos de lluvias entre 10 y 180 mm. Con variaciones térmicas promedio para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación entre 16 °C de mínima y 28°C de máxima, medias entre 20 y 24°C, precipitaciones acumuladas totales superiores a 180 mm, vegetación vigorosa con NDVIM entre 0.5 y 0.6 (Tabla 3.18).

Factor	Rango	Numero de epidemias
T max	>23 a <28	9
T min	>16 a <20	8
T media	>20 a <24	7
Precipitaciones totales	>180 a <360	5
	>580 a <650	5
Precipitación máxima semanal	10 a 180	Mayoría
NDVIM	0.5 a 0.6	9

Tabla 3.18. Número máximo de epidemias observado por variable ambiental según su rango de variación

3.4 Conclusiones

En general los picos epidémicos mostraron retrasos de 6 semanas, en su mayoría, con respecto a las precipitaciones promedio semanales.

Las diarreas presentaron retrasos disímiles entre eventos, identificándose dos grupos, con retrasos de hasta 3 semanas (Santa Fe (2007) y Oran (2006)) y entre 8 y 7 semanas (Córdoba (2006) y S.M. de Tucumán (2007)).

La tuberculosis mostro su brote epidémico luego de 1 a 4 semanas. Esto coincidente con el tiempo de incubación, de 1 a 6 meses (PAHO, 2011, http://www.paho.org/english/ad/fch/im/isis/epi_mod/spanish/1/tub_descripcion_epidemiologica.asp). En el caso de las parasitosis intestinales, se observaron también 2 grupos, de 3 a 6 semanas y otro de 6 a 11 semanas.

Por otra parte, las parotiditis mostraron un retraso de 1 semana con respecto a las precipitaciones promedio semanales, mientras que para las enfermedades toxoalimentarias fue de 1 a 6 semanas.

Períodos de más de 6 semanas probablemente no estén relacionados con los picos de precipitaciones relacionados con los eventos de inundación. De esta forma, podría establecerse que la mayoría de las enfermedades no vectoriales tienen periodo de aparición posterior a los eventos de lluvias extremas e inundación, de hasta 6 semanas.

En cuanto a las enfermedades vectoriales, el paludismo y la leptospirosis fueron las que mostraron mayor coincidencia con los eventos de inundación, con un retraso de 4 a 6 semanas y 2 a 3 semanas respectivamente. Para las hantaviriosis solo se observo un retraso significativo para un evento, de 1 semana.

Leishmaniasis y dengue mostraron variabilidad entre eventos, registrándose dos grupos, uno de 2 a 6 semanas y otro de 6 a 10 semanas. Dicho patrón se podría deber posiblemente a ciclos diferentes de la enfermedad, pudiendo estar el primero, vinculado a los incrementos en las precipitaciones causantes de las inundaciones, mientras el segundo respondería a variaciones ambientales estacionales, con precipitaciones mas tardías.

El análisis de las condiciones ambientales luego del inicio de las inundaciones marca en general áreas con vegetación vigorosa, reflejada en valores de NDVIM altos a medios, temperaturas mínimas sobre los 14 °C, máximas menores a 36 °C y medias cercanas a los 24 °C.

Asimismo se observa valores de precipitación diferentes entre localidades, pero en la mayoría de los casos el máximo valor de las precipitaciones acumuladas en una semana refleja periodos de fuertes precipitaciones para cada localidad. En el caso del promedio de precipitaciones semanales para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación, se observa un predominio de

las enfermedades de transmisión vectorial, a valores mayores a los 4,5 mm semanales. Este escenario muestra condiciones aptas para la proliferación de vectores como mosquitos vectores de dengue y malaria o flebótomos transmisores de leishmaniasis, los cuales presentan asociación con ambientes periselváticos.

Por otra parte, la caída de importantes precipitaciones en las localidades inundadas donde se observaron epidemias de leptospirosis, posiblemente dio lugar a la disrupción del hábitat de los roedores y su consecuente desplazamiento hacia áreas más seguras. La infección por *Leptospiras* 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 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. Dichas áreas son las más frecuentemente afectadas durante episodios de inundaciones. Además, todos estos factores se ven agravados en condiciones climáticas adversas. 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°C 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.

Las condiciones observadas en el presente estudio presentan un escenario propicio para la proliferación leptospiras y la modificación del comportamiento de las poblaciones de roedores. El período de incubación de 1 a 2 semanas coincide con los valores de correlación cruzada de los casos con las precipitaciones promedio semanales.

El paludismo será tratado en profundidad en el capítulo 5.



Capítulo 4

Análisis de variables ambientales mediante modelos de regresión

4.1 Introducción

El presente capítulo tiene por objetivo la evaluación de la influencia de las variables ambientales, precipitaciones, temperatura y vegetación, con respecto al registro de casos de enfermedades durante eventos de inundación.

Mediante modelos de regresión se estimaron los parámetros de los modelos que explicaron mejor la relación de los factores ambientales con el patrón de registros de casos.

La evaluación de las variables ambientales como variables proximales aportaría elementos a la hora de elegir los productos necesarios del sistema GeoNet Cast, entre otras utilidades.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Variables ambientales

Las variables meteorológicas fueron obtenidas de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional, mientras que los valores de NDVI para cada localidad donde se registro el evento, fueron obtenidos del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, Brasil). La información epidemiológica fue suministrada por el Ministerio de Salud de la Nación para el periodo 2005-2010

4.2.2 Información epidemiológica

Se utilizaron información de casos de enfermos por semana epidemiológica, de todo el año, para las enfermedades con mayor número de eventos epidémicos, provistas por el ministerio de Salud de la Nación, tal como se indica en apartados anteriores.

4.2.3 Ajuste de modelos

Para el análisis de la influencia de los factores ambientales sobre el patrón de registro de casos por enfermedad, se utilizó una regresión mediante modelos no lineales generalizados mixtos, modelo loglineal Poisson (respuesta Poisson con enlace Log) (Glimmix, SAS) Se observó la relación del número de casos por enfermedad, el valor de las precipitaciones promedio y acumulada por semana, el NDVI, la temperatura mínima, máxima y media promedio semanal.

Estos modelos tienen en cuenta la no independencia y/o heteroscedasticidad de la variable respuesta. El procedimiento GLIMMIX permite especificar el modelo lineal generalizado mixto y hacer inferencia sobre los modelos generados. Los *modelos mixtos* son una generalización del modelo lineal de regresión clásico, contemplando la posible existencia de observaciones correlacionadas o con variabilidad heterogénea, vinculada a la presencia de factores aleatorios. La nomenclatura *modelos mixtos* se refiere precisamente al hecho de que el análisis debe lidiar con efectos fijos y aleatorios simultáneamente. Esta situación ocurre por ejemplo en estudios con medidas repetidas en los mismos sujetos o poblaciones, o cuando hay niveles experimentales anidados generando subréplicas. El modelo mixto proporciona un entorno óptimo para responder a las cuestiones de un estudio con diseño experimental complejo, novelizando simultáneamente el valor esperado de la respuesta y su variabilidad.

Debido a la falta de independencia de los casos por semana, es necesario considerar este efecto en el análisis, aleatorizando las muestras. Para el ajuste de los modelos mediante GLIMMIX, es necesario considerar todos los datos que presentan una dependencia temporal como un subconjunto, a modo de clúster. Las variables de conteo o recuento se definen como el número de sucesos o eventos que ocurren en una misma unidad de observación en un intervalo espacial o temporal

definido. En este caso se asume como un conteo, el número de casos de una determinada enfermedad, por semana a lo largo del año.

En los conteos o recuentos el valor 0 es bastante habitual. A partir de esta definición propuesta por Lindsey (1995b), se derivan dos características principales de una variable de recuento, lo cual la diferencia de una variable cuantitativa continua, estas son su naturaleza discreta y no negativa.

El Modelo de Regresión Poisson (MRP) es el modelo de referencia en estudios de variables de recuento (Cameron y Trivedi, 1998; Winkelmann, 2000). Es un modelo que resulta especialmente adecuado para modelar valores enteros no negativos, especialmente cuando la frecuencia de ocurrencia es baja.

A diferencia del modelo de regresión clásico, la variable respuesta en el modelo de regresión de Poisson es discreta, con valores enteros positivos y se comporta como una distribución de probabilidades Poisson.

La distribución Poisson es la distribución que corresponde a datos de conteo en la misma forma en que la Distribución Normal lo es para los datos continuos. En la distribución Poisson se tiene un único parámetro que es la media m , el cual debe ser siempre positivo. De esta manera, este único parámetro determina la distribución en su totalidad.

Se asume una distribución de Poisson cuando el tamaño de muestra n es aleatorio, lo cual lleva a considerar que para todas las celdas de una tabla de contingencia, los conteos de cada celda ($1, 2, \dots, i \text{ ni} = l$) son variables aleatorias independientes con distribución de Poisson. Es decir, ningún total es fijado previamente al estudio como sí ocurre en el caso de una distribución multinomial.

En todos los casos de una regresión de Poisson los valores de la variable son discretos, digamos 0, 1, 2, ... sin un límite superior; sesgados hacia la izquierda e intrínsecamente heterocedásticos, es decir con una varianza que se incrementa paralelamente con la media. De esta manera, el modelo de regresión de Poisson tiene un importante papel en el análisis de datos de conteos y sus principales características son:

- a) proporciona una descripción satisfactoria de datos cuya varianza es proporcional a su media,
- b) es deducido teóricamente de principios elementales sin muchas restricciones y
- c) los eventos o conteos ocurren independientemente y aleatoriamente en el tiempo, con una tasa de ocurrencia constante, el modelo determina el número de eventos dentro de un intervalo especificado.

Dada la naturaleza categorizada de la respuesta, se usara modelos lineales generalizados, con distribución Poisson.

Modelos Lineales Generalizados

Los modelos lineales Generalizados (GLIM) representan un extensión del modelo lineal general donde se permiten distribuciones de la variable respuesta no-normales (como los conteos) y funciones no-lineales para modelar la esperanza. Permiten trabajar con variables cuya distribución forme parte de la familia exponencial (e.g., Poisson, Binomial, etc.).

En estos análisis, la medida de variabilidad utilizada que cumple con la propiedad de poseer máxima verosimilitud, es la denominada Devianza (McCullagh & Nelder 1989). Cuando la distribución es normal, la Varianza es la medida que, además de la propiedad de los mínimos cuadrados, posee máxima verosimilitud ya que el ANOVA y los ML en general son un caso particular de los MLG. Estos últimos se definen como:

$$h_i = m + a_i$$

Donde: h_i se denomina predictor lineal, m es la media poblacional y a_i es el efecto del i ésimo tratamiento.

El predictor lineal se construye de diferente forma según cuál sea la distribución de la variable en estudio. En la distribución Poisson la función de enlace (relación entre el predictor lineal y la media de cada tratamiento)

$$\text{es: } h_i = \ln m_i$$

Los modelos descriptos anteriormente solo permiten el análisis de efectos fijos. La incorporación de uno o más factores con efectos aleatorios transforma a estos modelos en ML Mixtos (Piepho & Ogutu 2002) y MLG Mixtos (Littel et al. 1996).

La independencia entre las unidades de observación implica que la covarianza o correlación entre ellas deba ser cero. Presuponer esto es erróneo, sobre todo si las características del diseño del experimento indican que es posible que haya dependencia entre los datos. Trabajar con una matriz que contemple la correlación entre los datos dependientes y no la suponga cero, permite desligarse del supuesto de independencia. En el presente caso, los datos de casos por enfermedad tienen una dependencia espacial y temporal, de una semana a la próxima. Por otra parte, en los MLG, la homogeneidad de varianzas no es un supuesto ya que éstas pueden ser estimadas para cada uno de los tratamientos (Littel et al. 1996).

El Modelo de Regresión Poisson

Dentro de los GLIM típicos encontramos el modelo **loglineal Poisson** (respuesta Poisson con enlace Log). El Modelo de Regresión Poisson (MRP) se deriva a partir de la función de enlace de los MLG, donde se parametriza la relación entre la media, m , y las variables predictoras. La idea básica para este modelo es que la información de las variables predictoras (X) están relacionadas a la razón o susceptibilidad de la respuesta al incremento o decrecimiento en los conteos (Y).

Los tres componentes de un GLIM y del Modelo de Regresión Poisson son:

- *Componente aleatoria*, consiste de un conjunto de observaciones independientes desde una distribución que pertenece a la familia exponencial. La componente aleatoria identifica la respuesta Y & selecciona una distribución de probabilidades para Y . Los casos de variables aleatorias discretas más usadas con datos categorizados son Binomial y Poisson.
- *Componente sistemática*, relaciona el vector de variables aleatorias con un conjunto de variables explicativas a través de un modelo lineal. La componente sistemática es el lado derecho del modelo y especifica las variables explicativas seleccionadas. Es una combinación lineal de las X 's, pueden existir términos cuadráticos y/o de interacción. Es conocido como “predictor lineal”.
- *La función de enlace*, liga las componentes aleatorias y sistemática (describe la relación entre la esperanza de la respuesta y el predictor lineal). Es posible modelar la media directamente (enlace identidad) o una función g monótona de la media (log, sqrt, reciproca, logia, probit, etc.). Cuando especificamos la función de enlace, digamos g , decimos que los efectos sistemáticos son aditivos en la escala dada por g . Para que g sea una función de enlace deber ser continua, tener segunda derivada y representar una transformación monótona.

Puesto que el parámetro canónico de la distribución de Poisson es $q = \log m$, la función de enlace canónico para la distribución de Poisson es $h=q = \log m$, donde m representa el valor medio de la distribución de Poisson. Usando este enlace, las (funciones de) covariables tienen un efecto multiplicativo en lugar de aditivo sobre la media. Se podrían usar otras funciones enlace alternativas cuando falla el enlace canónico, Enlace Identidad: $g(m) = m$ y Enlace Raíz Cuadrada.

A veces se especifica explícitamente un cuarto componente conocido como la función de varianza, que es una función que relaciona la varianza a la media. Esta es proporcional a la varianza con una constante de proporcionalidad dada por la inversa del parámetro de dispersión.

- Los elementos básicos para plantear un modelo de regresión Poisson son:
- Una variable respuesta Y basada en conteos, para la que se asume una distribución Poisson y un conjunto de variables explicativas $1, \dots, p$ X X , que determinan las condiciones específicas para la observación.
 - Un modelo log lineal Poisson corresponde a un GLIM donde se asume la distribución Poisson para la componente aleatoria y la función log como enlace, e.g.:
 - $\ln(\mu) = \alpha + \beta x$

- Es importante notar que las variables explicativas son modeladas según su impacto multiplicativo sobre la respuesta promedio.
- $\mu = e^{\alpha + \beta x} = e^{\alpha} e^{\beta x} = e^{\alpha} (e^{\beta})^x$
- Un incremento de X en una unidad impacta multiplicativamente sobre la esperanza $\exp(\beta)$ veces:
- $\mu(x + 1) = e^{\beta} \mu(x)$
- El uso de la función exponencial asegura que el lado derecho de la ecuación siempre será positivo, así como la respuesta esperada ($E(Y) = \mu$) en el lado izquierdo.

4.2.4 Procedimientos de Estimación

Para modelos Poisson el parámetro de dispersión se fija en 1 y los modelos GLIM se ajustan resolviendo ecuaciones de verosimilitud para obtener las estimaciones máximo verosímil de los coeficientes del predictor lineal (las soluciones se encuentran por un proceso iterativo). Si existe sobredispersión, resultado de la heterogeneidad que existe entre sujetos (los sujetos dentro de cada combinación de niveles de covariables difieren mucho) se podría usar una versión del modelo que contenga efectos aleatorios (e.g., regresión Poisson con efectos aleatorios, regresión logística con efectos aleatorios).

4.2.5 Selección de Modelos

Los modelos fueron seleccionados usando el criterio de selección multimodelo, basado en el criterio de información de Akaike, para muestras pequeñas (AICc) (Burnham & Anderson, 2002). Una vez que cada modelo fue ajustado a los datos, y los AICc computados, se calculo la diferencia entre cada modelo, eligiéndose el mejor modelo, es decir el que tuviera menor AICc (Eqn I)

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}$$

La verosimilitud de un modelo, g_i , dado un conjunto de datos y es calculada como

$$L(g_i | y) = \exp(-1/2\Delta_i)$$

Los valores de verosimilitud de los modelos fueron normalizados, de manera que su suma fuera 1 (Eqn IV),

$$W_i = \frac{\exp(-1/2\Delta_i)}{\sum_{j=1}^R \exp(-1/2\Delta_j)}$$

Este valor, llamado peso de Akaike, provee el peso relativo de evidencia para cada modelo. Los pesos de Akaike pueden ser interpretados como la probabilidad de que el modelo i sea el mejor modelo dado un set de datos observados, dado un set de modelos candidatos. Estos pesos son aditivos y pueden ser sumados con el objetivo de obtener un set de modelos confiables, con la probabilidad de que el mejor modelo aproximado este en este conjunto. También provén una forma de estimar la importancia relativa de una variable predictiva, llamándose *Importance Weight*. Esta medida puede ser calculada como la suma de los pesos de Akaike sobre todos modelos en los que aparece la variable de interés (Burnham & Anderson, 2002).

4.3 Resultados

4.3.1 Modelos ajustados por enfermedad

4.3.1.1 Dengue

El análisis de Regresión Poisson del registro de los casos de dengue con respecto a las variables ambientales descriptas, se llevo a cabo para los eventos de inundación en Tartagal (2009), Oran (2008) y Corrientes (2007).

Selección de modelos

Según el modelo seleccionado mediante el criterio de la información, usando el ranking de AICc, incluyo la temperatura media, mínima y máxima promedios semanales, así como las precipitaciones promedio y acumuladas. El NDVI medio no resulto significativo. El coeficiente de evidencia mostró una diferencia marcada entre el mejor modelo (modelo 1) y los restantes modelos.

N	Modelo	Variables significativas	AICc
1	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS+TMS*PPS	TMS+PPS+PAS+TMiS+TMaS+TMS*PPS	54.24
2	TMS+PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PPS+TMiS+TMaS	163.48
3	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PPS+PAS+TMiS+TMaS	167.1
4	TMS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+TMiS+TMaS	179.40
5	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	TMS+PPS+TMiS	233.29
6	TMiS+ NDVIM	TMiS	283.29
7	TMS+ NDVIM	TMS	319.46
8	TMS+PPS+PAS+NDVIM	TMS	321.32
9	TMaS+ NDVIM	TMaS	364.98
10	PPA+ NDVIM	PPA	384.9
11	PPS+ NDVIM	PPS	397.73
12	NDVIM	no significativa	403.3
13	TMS+PPS+PAS	TMS+PAS	1122.1
14	TMiS	TMiS	1152.7
15	TMS	TMS	1158.8
16	TMaS	TMaS	1235.7
17	PAS	PAS	1321.8
18	PPS+PAS	PAS	1322.7
19	PPS	no significativa	1384.4
20	TMS + PPS	TMS	

Tabla 4.1. Ranking de modelos en función del AICc y variables significativas incluidas en cada modelo analizado.

Los parámetros del modelo seleccionado, modelo 1 (tabla), mostraron un efecto positivo por parte de las precipitaciones, tanto promedio como acumuladas semanales, así como el NDVIM, sobre el número de casos de dengue. Esto podría estar vinculado directamente con la disponibilidad de agua en depósitos luego de las lluvias, donde se puedan criar larvas de mosquitos. El aumento en los valores de NDVIM son indicadores del buen estado de salud de la vegetación, consecuencia de mayor humedad debida a precipitaciones.

El modelo mostró contradicciones en cuanto a las temperaturas, registrándose un valor positivo para los estimadores de la temperatura media semanal, mientras que las temperaturas máximas y mínimas mostraron efectos negativos sobre el número de casos (Tabla 4.2). El efecto de las temperaturas máximas podría deberse al efecto indirecto de la temperatura sobre la evaporación de sitios de cría o resultar en temperaturas sobre el umbral de desarrollo termodependiente superior, afectando en el desarrollo y número de larvas de mosquitos. Esto podría traer como consecuencia una disminución en el número de potenciales vectores y casos de enfermos. Por otra parte, cabe destacar que el registro de enfermos de dengue tiene una dinámica particular en cuanto a las notificaciones y el origen de los casos, resultando ser en muchas ocasiones, casos importados de localidades vecinas. Además, en algunas ocasiones, los modelos multivariados muestran cambios en los signos de los coeficientes, que están más ligados a la ponderación de los mismos en el modelo final, que a la relación directa entre variables independiente y respuesta, (si estas se trabajaran de manera univariada el signo del coeficiente, pudiera ser distinto).

Parámetros Estimados					
Efecto	Estimador	Error Standard	DF	Valor t	Pr > t
Intercepción	-175.01	26.6987	8	-6.55	0.0002
Temperatura media semanal	7676.86	0.6907	8	11115.3	<.0001
Precipitaciones promedio semanales	431.98	0.05173	8	8350.50	<.0001
Precipitaciones acumuladas semanales	0.7919	0.01205	8	65.70	<.0001
NDVI Media	8.6973	6.5093	8	1.34	0.2183
Temperatura mínima semanal	-3831.94	0.3832	8	-9998.8	<.0001
Temperatura máxima semanal	-3837.13	0	8	-Infin	<.0001
Temperatura media semanal *Precipitación promedio semanal	-18.7911	0	8	-Infin	<.0001

Tabla 4.2. Estimadores estadísticos del modelo seleccionado para los casos semanales de dengue

El análisis de regresión de los valores de casos observados y los estimados por el modelo arrojó ajustes significativos con un $r=0.899$ (Tabla 4.3).

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	.899 ^a	.809	.795	7.68848

Tabla 4.3. Regresión de valores predichos por el modelo seleccionado vs. valores de casos semanales observados de dengue

Peso de variables

El análisis del peso de las variables no mostró diferencias entre la mayoría de las variables. Solo el NDVIM no tuvo relevancia a la hora de explicar la aparición de casos de dengue.

Factores	Peso de importancia
TMS	1

PPS	1
PAS	1
TMiS	1
TMaS	1
NDVIM	0

Tabla 4.4. Peso relativo de las variables intervinientes en los modelos ajustados para los casos de dengue semanales.

4.3.1.2 Diarreas

Para el caso de las diarreas, resultaron significativas las temperaturas promedio semanal (máxima, mínima y media), así como el NDVI quincenal.

4.2.2. Selección de modelos

Asimismo, el ranking de modelos, mostró pequeñas diferencias entre los valores de AICC para los tres primeros modelos. El modelo más simple, cercano al mejor, utiliza precipitaciones acumuladas semanales y NDVIM como variables significativas (Tabla 4.5).

N	Modelo	Variables significativas	AICc
1	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS+TMS*PPS	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMS*PPS	2196.79
2	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	TMS+PAS+NDVIM+TMiS	2201.53
3	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PAS+NDVIM+TMiS	2203.14
4	TMS+PPS+PAS+NDVIM	PPS+PAS+NDVIM	2339.48
5	PPA+ NDVIM	PPA+ NDVIM	2344.26
6	PPS+NDVIM	PPS+NDVIM	2629.72
7	NDVIM	NDVIM	2631.71
8	TMiS+ NDVIM	NDVIM	2633.27
9	TMaS+NDVIM	NDVIM	2633.71
10	TMS+ NDVIM	NDVIM	2633.84
11	TMS+PPS+PAS	TMS+PPS+PAS	70196.33
12	TMiS	TMiS	71528.29
15	TMaS	TMaS	73483.49
16	TMS	TMS	74044.51
17	PPS+PAS	PPS+PAS	77146.85
18	PPS	PPS	78831.51
19	PAS	PAS	81067.27

Tabla 4.5. Ranking de modelos en función del AICc y variables significativas incluidas en cada modelo analizado.

En modelo seleccionado, N1, se observaron relaciones inversas del número de casos de diarrea con respecto a la temperatura media semanal, las precipitaciones promedio y acumuladas semanales además del NDVIM. Por otra parte, aunque el modelo mostro un ajuste pobre, se observaron relaciones significativas positivas con respecto a las temperaturas mínimas promedio semanales, máxima promedio semanal y media promedio semanal con interacción con precipitaciones promedio semanal (Tablas 4.6 y 4.7).

Parámetros Estimados					
Efecto	Estimador	Error Standard	DF	Valor t	Pr > t
Intercepción	7.4646	0.07296	37	102.31	<.0001
T_media_semanal	-0.09650	0.01468	37	-6.57	<.0001
Precipitaciones promedio semanal	-0.08864	0.02861	37	-3.10	0.0037
Precipitaciones acumulada semanal	-0.00296	0.000154	37	-19.16	<.0001
NDVI_Media	-2.5164	0.06867	37	-36.65	<.0001
T_min_semanal	0.08931	0.009613	37	9.29	<.0001
T_max_semanal	0.005712	0.006226	37	0.92	0.3648
T_media_s*Precipitación promedio semanal	0.004141	0.001363	37	3.04	0.0043

Tabla 4.6. Estimadores estadísticos del modelo seleccionado.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0.709	0.503	0.492	64.651

Tabla 4.7. Regresión de valores predichos por el modelo seleccionado vs valores semanales de casos observados de diarrea.

Peso de variables

El análisis del peso de las variables no mostró diferencias entre la mayoría de las variables. Solo el NDVIM no tuvo relevancia a la hora de explicar la aparición de casos de diarreas (Tabla 4.8).

Factores	Peso de importancia
TMS	1
PPS	1
TMiS	1
TMaS	1
PAS	0.918
NDVIM	0

Tabla 4.8. Peso relativo de las variables intervinientes en los modelos ajustados para los casos de diarrea semanales.

4.3.1.3 Leptospirosis

El análisis de regresión mostró que todas las variables consideradas sirvieron para explicar significativamente la variabilidad observada en los datos, participando en al menos un modelo.

Selección de modelos

El modelo seleccionado incluyó todas las variables, pero solo resultaron significativas la temperatura promedio semanal y las precipitaciones promedio semanales.

El modelo más parsimonioso, en cuanto a número de variables incluidas, fue el compuesto por precipitaciones promedio semanales y NDVIM, pero con valores de AICc muy lejanos al mejor modelo (680 contra 50,41 del modelo 1) (Tabla 4.9).

El análisis de los estimadores del mejor modelo, modelo 1, muestran una relación positiva de los casos de leptospirosis con respecto a las temperaturas promedio semanales, las precipitaciones acumuladas semanales y la temperatura mínima promedio semanal (Tablas 4.9 y 4.10).

N	Modelo	Variables significativas	AICc
1	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS+TMS*PPS	TMS*PPS	50.41
2	TMS+PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	65.80
3	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	70.57
4	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	181.68
5	TMS+PPS+PAS+NDVIM	TMS+PPS+PAS+NDVIM	680
6	TMS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	PAS+NDVIM+TMaS	748.52
7	PPS+NDVIM	PPS+NDVIM	797.59
8	PPS+ NDVIM	PPS+ NDVIM	797.59
9	TMaS+ NDVIM	TMaS+ NDVIM	890.78
10	PPA+ NDVIM	PPA+ NDVIM	898.26
11	TMS+ NDVIM	NDVIM	902.86
12	TMiS+ NDVIM	TMiS+ NDVIM	932.75
13	NDVIM	NDVIM	932.81
14	TMS+PPS+PAS	TMS+PPS+PAS	2456.15
15	PPS+PAS	PPS+PAS	2476.21
16	PAS	PAS	2621.9
17	PPS	PPS	2785.34
18	TMiS	TMiS	2793.47
19	TMaS	TMaS	2798.4
20	TMS	no significativa	2823.4

Tabla 4.9. Ranking de modelos en función del AICc y variables significativas incluidas en cada modelo analizado.

Parámetros Estimados					
Efecto	Estimador	Error Standard	DF	Valor t	Pr > t
Intercepción	41.4147	470.86	12	0.09	0.9314
Temperatura media promedio semanal	8.9632	73.9682	12	0.12	0.9056
Precipitaciones promedio semanales	-0.3885	79.7211	12	-0.00	0.9962
Precipitaciones acumuladas semanales	0.2169	2.7741	12	0.08	0.9390
NDVI_Media	-34.6714	369.07	12	-0.09	0.9267
T_mínima promedio semanal	0.4175	61.5109	12	0.01	0.9947
T_max_promedio semanal	-9.7462	33.8750	12	-0.29	0.7785
Temperatura media promedio semanal *Precipitaciones promedio semanales	-1.3485	0	12	-Infin	<.0001

Tabla 4.10. Estimadores estadísticos del modelo seleccionado.

El análisis de regresión de los valores de casos observados y los estimados por el modelo arroja ajustes significativos con un $r=0.862$ (Tabla 4.11).

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0,862	0.742	0.727	0.06135

Tabla 4.11. Regresión de valores predichos por el modelo seleccionado vs. valores semanales de casos observados de leptospirosis

Peso de variables

El análisis del peso de las variables involucradas en los modelos evaluados, mostró a las precipitaciones promedio semanales y la temperatura media semanal como las más importantes para explicar la variabilidad del registro de casos semanales de leptospirosis (Tabla 4.12).

Parámetros	Peso de importancia
PPS	1
TMS	0.999
NDVIM	0.0005
TMiS	0.00049676
TMaS	0.00049676
PAS	3.1251E-29

Tabla 4.12. Ranking de variables según su peso de importancia (w_i) para los modelos ajustados a los casos de leptospirosis.

4.3.1.4. Malaria

El análisis de Regresión Poisson del registro de los casos de malaria con respecto a las variables ambientales descriptas, se llevo a cabo para los eventos de inundación en Tartagal 2006, Tartagal 2009, Orán 2008, Aguaray (2006) y Salvador Mazza (2006).

Selección de modelos

El modelo ajustado para los casos de malaria, mostró un modelo compuesto por TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS, siendo significativo solamente las precipitaciones acumuladas promedio. El NDVIM no resulto significativo en ninguno de los modelos analizados.

El modelo con menor número de variables, más cercano al mejor, estuvo compuesto por las precipitaciones promedio, aunque sus valores de AICc no mostraron una diferencia grande con respecto al mejor modelo ($\Delta ic = 11.28$). Los parámetros observados para el modelo seleccionado, modelo 1, mostraron un efecto negativo de la mayoría de los factores considerados, pero solo las precipitaciones acumuladas resultaron significativas (Tablas 4.13 a 4.15).

N	Modelo	Variables significativas	AICC
1	TMS+ NDVIM	no significativa	17.21
2	TMiS+ NDVIM	no significativa	18.7
3	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	PAS	19.77
4	TMS+PPS+PAS+NDVIM	PPS+PAS	21.66
5	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	PPS+TMaS	22.73
6	TMaS+ NDVIM	no significativa	24.79
7	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS+TMS*PPS	TMaS+TMS*PPS	25.88
8	PAS+ NDVIM	PAS	28.49

9	PPS+NDVIM	PPS	29.38
10	PPS+ NDVIM	PPS	29.38
11	NDVIM	no significativa	31.95
12	TMS+PPS+PAS	TMS	486.95
13	TMS	TMS	489.15
14	TMaS	TMaS	494.78
15	TMiS	TMiS	496.74
16	PPS+PAS	PAS	549.19
17	PAS	PAS	549.3
18	PPS	PPS	558.02

Tabla 4.13. Ranking de modelos en función del AICc y variables significativas incluidas en cada modelo analizado.

Parámetros Estimados					
Efecto	Estimador	Standard Error	DF	Valor t	Pr > t
Intercepción	6.7915	186.98	34	0.04	0.971
Temperatura media semanal	-0.2743	24.1305	34	-0.01	0.991
Precipitaciones promedio semanal	-30.0234	384.03	34	-0.08	0.938
Precipitaciones acumulada semanal	-10.0854	0	34	-Infin	<.0001
NDVI_Media	68.8266	370.92	34	0.19	0.854
Temperatura minima semanal	-6.2736	54.3809	34	-0.12	0.9089

Tabla 4.14. Estimadores estadísticos del modelo seleccionado.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	1,000	1.000	1.000	.00032

Tabla 4.15. Regresión de valores predichos por el modelo seleccionado vs. valores semanales de casos observados de malaria.

Peso de variables

El análisis del peso de las variables involucradas en los modelos evaluados, mostró a las precipitaciones promedio semanales y las precipitaciones acumuladas promedio como los factores más importantes para explicar la variabilidad del registro de casos semanales de malaria (Tabla 4.16).

Factor	Peso de importancia
PPS	0.198
PAS	0.089
TMS	0.00665
TMaS	0.00665
TMiS	3.778E-105
NDVIM	0

Tabla 4.16. Ranking de variables según su peso de importancia (w_i) para los modelos ajustados a los casos de malaria.

4.3.1.5. Parasitosis intestinales

El análisis de regresión Poisson del registro de los casos de malaria con respecto a las variables ambientales descriptas, se llevo a cabo para los eventos de inundación en Oran (2006) y Oran (2008), Aguaray (2006) y Embarcación (2006), Salvador Mazza (2006) y Pichanal (2006).

Selección de modelos

Se observo un efecto significativo de la precipitación promedio semanal, la precipitación acumulada, el NDVIM y la temperatura mínima y máxima promedio semanal sobre el número de casos registrados. El modelo seleccionado según el mínimo AICc estuvo compuesto por todas las variables ambientales consideradas. El modelo más parsimonioso en cuanto a número de variables y con mejor ajuste fue el séptimo (AICc=737), compuesto por temperaturas medias semanales y NDVIM (Tabla 4.17).

En el modelo seleccionado si bien se observa relaciones significativas para todos los factores, solo se mostraron un efecto positivo con respecto al número de casos registrados semanalmente, las temperaturas máximas y mínimas promedio semanales (Tabla 4.18).

N	MODELO	Variables significativas	AICc
1	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	554.72
2	TMS+PPS+PAS+NDVIM	TMS+PPS+PAS+NDVIM	557.86
3	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS+TMS*PPS	TMS+PAS+TMiS+TMaS+NDVIM	558.12
4	TMS+PPS+PAS+NDVIM+TMiS	TMS+PPS+PAS+NDVIM	559.76
5	TMS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PAS+NDVIM+TMiS+TMaS	566.37
6	TMS+PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	TMS+PPS+NDVIM+TMiS+TMaS	636.37
7	TMS+ NDVIM	TMS+ NDVIM	737
8	PPA+ NDVIM	PPA+ NDVIM	788.91
9	TMaS+ NDVIM	TMaS+ NDVIM	790.72
10	PPS+ NDVIM	PPS+ NDVIM	958.21
11	TMiS+ NDVIM	TMiS	992.33
12	NDVIM	NDVIM	1069.57
13	TMS+PPS+PAS	TMS+PPS+PAS	8868.02
14	TMiS	TMiS	8985.48
15	TMaS	TMaS	9091.18
16	TMS	TMS	9116.46
17	PPS	PPS	9460.27
18	PPS+PAS	PPS	9462.01
19	PAS	PAS	9586.46
20	TMS + PPS	TMS	

Tabla 4.17. Ranking de modelos en función del AICc y variables significativas incluidas en cada modelo analizado.

Parámetros Estimados					
Efecto	Estimador	Error Estandard	DF	Valor t	Pr > t
Intercepción	7.3183	0.2432	21	30.09	<.0001
Temperatura media semanal	-93.3305	31.5467	21	-2.96	0.0075
Precipitaciones promedio semanal	-0.02526	0.006766	21	-3.73	0.0012
Precipitaciones acumuladas semanal	-0.00858	0.001066	21	-8.05	<.0001
NDVI Media quincenal	-1.5880	0.2346	21	-6.77	<.0001
Temperatura mínima semanal	46.6476	15.7771	21	2.96	0.0075
Temperatura máxima semanal	46.6064	15.7689	21	2.96	0.0075

Tabla 4.18. Estimadores estadísticos del modelo seleccionado.

El modelo seleccionado mostró un ajuste pobre con respecto a los datos observados (Tabla 4.19).

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	,745	.555	.538	31.71101

Tabla 4.19. Regresión de valores predichos por el modelo seleccionado vs. valores semanales de casos observados de parasitosis intestinales.

Peso de variables

El análisis del peso de las variables involucradas en los modelos evaluados, mostró al NDVIM y las precipitaciones acumuladas promedio semanal como los factores más importantes para explicar la variabilidad del registro de casos semanales de parasitosis intestinales (Tabla 4.20), aunque sin diferencias marcadas con el resto de las variables evaluadas.

Factores	Peso de importancia
NDVIM	1
PAS	1
TMS	0.983
PPS	0.874
TMiS	0.863
TMaS	0.804

Tabla 4.20. Ranking de variables según su peso de importancia (wi) para los modelos ajustados a los casos de parasitosis intestinales.

4.4 Conclusiones

El análisis de las variables ambientales mediante regresión mostró un efecto conjunto de los factores ambientales en la dinámica de los casos en la mayoría de las enfermedades analizadas. Si bien todas tuvieron efectos significativos, las lluvias registradas en forma semanal (tanto acumuladas como promedio) y las temperaturas medias semanales mostraron mayor peso explicativo para el conjunto de las enfermedades analizadas.

En el caso de la malaria y la leptospirosis, las precipitaciones promedio semanales mostraron mayor peso.

Para las parasitosis, el NDVIM registrado en forma quincenal, mostró un efecto inverso significativo, así como las precipitaciones en general. Una explicación a dicho patrón podría ser que los pobladores recurren a aguas de pozo durante épocas de precipitaciones bajas.



Los modelos ajustados y seleccionados son modelos estadísticos, cuyo poder predictivo está limitado por el set de datos con el cual fueron ajustados. En el presente caso no se pretende que los modelos sirvan para la toma de decisiones, sino más bien como una evaluación de las variables relevantes en la emergencia sanitaria postinundación. Dichas variables podrían ser consideradas en la formulación de modelos predictivos mecanísticos con mayor poder de inferencia para otros casos de emergencias por inundación.



Capítulo 5

Ejemplo de tratamiento espacial de datos en ciudades con brotes recurrentes.

Enfermedad: Malaria

Tipos de cobertura y cuerpos de agua sobre la incidencia en una región subtropical

5.1 Introducción

Los resultados anteriores mostraron la importancia de las variables bioclimáticas en el establecimiento de las epidemias luego de eventos de inundación. Variables como las precipitaciones y temperaturas podrían afectar la dinámica de casos de diferentes enfermedades epidémicas, en tanto que el estado de la vegetación sería un potencial indicador de condiciones propicias para la generación de picos epidémicos.

No obstante existen factores ambientales a nivel espacial que influyen en la distribución e incidencia de las enfermedades, particularmente en el caso de enfermedades transmitidas por vectores, como malaria o dengue.

El presente capítulo pretende analizar, variables ambientales relevantes a la biología del vector del paludismo, a modo de caso de estudio, y el efecto de su distribución espacial en un evento epidémico de malaria registrado en la ciudad de Puerto Iguazú durante 2007. Las metodologías desarrolladas a lo largo del presente capítulo son producto del aprendizaje del alumno a lo largo del cursado de la maestría y pretenden ser una guía útil para la confección de mapas de riesgo o distribución potenciales de vectores, mediante el uso de imágenes ópticas y de radar de apertura sintética (SAR).

La malaria es una de las enfermedades transmitidas por vectores más importantes en Sudamérica. En Argentina, su distribución histórica viene desde tiempos coloniales, encontrándose en el centro y norte del país, desde los valles andinos desde la frontera con Bolivia a la provincia de San Luis. Durante los últimos treinta años, esta área endémica fue fragmentándose en núcleos aislados. Estos núcleos son originados predominantemente por casos importados desde las fronteras de Bolivia, Paraguay y Brasil y otros de casos autóctonos en áreas aisladas, ambos asociados con inmigración y uso de la tierra (Curto *et al.*, 2003). A diferencia de la región del NOA, donde la malaria presenta características endémicas, el comportamiento de esta enfermedad en el NEA (noreste argentino) es del tipo epidémico, con brotes esporádicos en momentos de la historia reciente (Ministerio de Salud de la Nación, 2007).

La selva paranaense, que se encuentra entre Argentina, Brasil y Paraguay, es uno de los bosques con mayor biodiversidad en el país y en el continente, luego de la selva amazónica. Actualmente retiene aproximadamente el 8% de las 47000000 de hectáreas del bosque original y está altamente fragmentado. La pérdida y degradación de este ambiente son debidas a la expansión sin control de la frontera agropecuaria, la sobreexplotación de los bosques, el desarrollo de infraestructura (como caminos y diques) y la caza ilegal de la fauna (Fundación Vida Silvestre, 2003).

La drástica modificación del uso de la tierra puede promover la transmisión de enfermedades transmitidas por vectores en muchas formas (Walsh *et al.*, 1993; Patz *et al.*, 2000). Los cambios en el paisaje pueden afectar significativamente el clima a nivel local, con más impacto que los cambios a largo plazo. Los cambios en las coberturas pueden afectar condiciones micro climáticas tales como la temperatura, evapotranspiración y la escorrentía superficial (Foley *et al.*, 2005; Patz *et al.*, 2005), parámetros que determinan la abundancia y supervivencia de vectores, tales como mosquitos.

Es bien conocido que las precipitaciones y los patrones de uso de suelo influyen en la disponibilidad de sitios de cría (Molyneux, 1997). La deforestación puede afectar el desarrollo larval y la supervivencia del mosquito de varias maneras, incrementando el número de hábitats artificiales de cría (Minakawa *et al.* 1999), cambiando propiedades físicas (temperatura) y químicas (pH) de los hábitats de las larvas de mosquitos (Lindblade *et al.* 2000). Estas diferencias en las características del hábitat acuático pueden tener importantes efectos sobre el desarrollo de las larvas de anofelinos y la distribución de sus hábitats. La humedad de suelo ha sido también observada como otra variable útil a la hora de modelar aspectos relacionados con el comportamiento y

epidemiología de este vector, modelando tasas de picado con el fin de predecir brotes epidémicos de malaria (Patz *et al.*, 1998)

Por otra parte, la localización de las casas en relación a los sitios de cría del vector, tales como cuerpos de agua, es otro factor relevante en la transmisión de la malaria. Es posible producir mapas de riesgo de malaria, basándose en la localización de los hogares y su cercanía a ríos y arroyos, los cuales pueden ser potenciales sitios de cría para el vector de la malaria (Van der Hoek *et al.* 2003).

El uso de imágenes obtenidas mediante sensores remotos para la caracterización de usos de la tierra y la identificación de cuerpos de agua, puede ser una herramienta importante para el monitoreo y el potencial control del número de vectores (Hay *et al.* 2000, Rogers *et al.* 2002). Intentos previos de aplicación de imágenes de sensores remotos para la predicción de la distribución de mosquitos han usado imágenes ópticas de alta resolución espacial provenientes de satélites como SPOT o LANDSAT, con resolución espacial entre 15-30 metros, para medir propiedades espectrales de la superficie y caracterizar las clases de cobertura del terreno (Rejmankova *et al.* 1995, Roberts *et al.* 1996, Beck *et al.* 1997). Las imágenes ópticas tienen restricciones y limitaciones para su uso en las regiones tropicales, donde la cobertura de nubes es alta y constante, en especial durante la temporada de lluvias. La selva paranaense tiene condiciones climáticas que no son favorables para la adquisición de imágenes ópticas, particularmente durante brotes epidémicos de malaria. Una alternativa la presentan el uso de imágenes de radar de apertura sintética (SAR), las cuales permiten identificar características de la superficie, aun bajo las nubes, tales como cuerpos de agua, vegetación o humedad de suelo (Zhou *et al.*, 2009), proveyendo una fuente de información espacial regular y confiable para las remotas regiones tropicales. El SAR es sensible a un número importante de características importantes relacionadas con la reproducción del mosquito (Kurosu *et al.* 1997, Le Toan *et al.* 1997, Liew *et al.* 1998, Okamoto & Kawashima, 1999) y puede proveer de un mapeo frecuente y de alta resolución del hábitat de los mosquitos (Diuk-Wasser *et al.*, 2006).

Los sensores SAR en general son también aptos para el mapeo de coberturas del terreno en regiones tropicales (Kasischke *et al.*, 1997; Choudhury, & Chakraborty, 2006). Asimismo los SAR demostraron mejorar la representación de la superficie terrestre en combinación con satélites ópticos (Erasmí, & Twele, 2009; Nezry *et al.*, 1993; Shimabukuru *et al.*, 2007).

Las imágenes SAR provén la oportunidad no solo de obtener información actualizada del hábitat, sino también un mapa de la dinámica de cambio del paisaje en el cual la disponibilidad del hábitat del mosquito cambia en el curso de la temporada lluviosa, explicando algunas variaciones estacionales de la abundancia del vector. El conocimiento de los efectos del tipo de uso de la tierra sobre la distribución y abundancia de los vectores de malaria y el impacto de los usos de la tierra sobre la transmisión de la malaria son muy útiles para el diseño de estrategias de intervención novedosas contra la malaria.

Los diferentes usos de la tierra pueden influir en la presencia de larvas de anofelinos en los cuerpos de agua y la distancia de estos cuerpos de agua a los asentamientos urbanos, en la incidencia de malaria. Los cuerpos de agua rodeados de selva tendrán más probabilidades de registrar la presencia de larvas anofelinas, mientras que los cuerpos de agua cerca de usos agrícolas mostrarían una probabilidad baja. Asimismo, la proximidad de poblaciones humanas con respecto de los cuerpos de agua aumentaría la probabilidad de incrementar el número de casos de malaria.

El virtud de estos antecedentes, el objetivo del presente capítulo fue presentar herramientas metodológicas útiles para la confección de mapas de riesgo y hábitat potencial de vectores de malaria en el área de Puerto Iguazú, localidad afectada por la enfermedad durante el año 2007, luego del aumento de caudal de los ríos aledaños. Para ello se determinó la distribución espacial de los tipos de cobertura de suelo, los cuerpos de agua y la distribución de la humedad de suelo, mediante el uso de imágenes radar y ópticas, estimando los potenciales hábitats de cría de anofelinos. Posteriormente se examinó la potencial relación de estos hábitats sobre la incidencia de la malaria en los asentamientos urbanos del área, generando mapas de riesgo teórico.

Las variables identificadas mediante el uso de sensores y sistemas de información geográfica fueron:

- Coberturas y cambios en las coberturas de suelo en el periodo 1999 a 2007.
- Distancia desde asentamientos urbanos a selvas
- Cambio del área de contacto selva-asentamiento urbano
- Identificación y caracterización de los cuerpos de agua en el área de estudio
- Cambios en la humedad de suelo (variable temporal)

5.2 Materiales y Métodos

5.2.1 Área de estudio

El estudio fue llevado a cabo sobre la localidad de Puerto Iguazú, provincial de Misiones (29,801 km²), al nordeste de Argentina. Dentro del rectángulo delimitado por las coordenadas: 25°35'30.78"S, 54°36'22.16"O (esquina superior izquierda) y 25°40'11.73"S, 54°30'12.01"O (esquina inferior derecha).

Esta región se caracteriza por episodios epidémicos de malaria, en particular en la localidad de Puerto Iguazú (Ministerio de Salud, 2007).

Los cambios en los patrones de uso de la tierra para el área de estudio fueron descriptos mediante el análisis temporal de imágenes Landsat 5 Thematic Mapper TM (30 × 30 m de resolución) para los años 1999 y 2007, en los path 224 y row 78.

Se utilizaron imágenes del radar de apertura sintética ALOS Palsar, para la identificación de cuerpos de agua y se fusionaron con datos ópticos para clasificación de las coberturas de suelo (detalle de imágenes en Anexo B).

5.2.2. Colecta de datos

5.2.2.1. Datos satelitales

Para la clasificación y la evaluación de los cambios de las coberturas de terreno, así como la identificación de cuerpos de agua, se utilizaron dos imágenes Landsat 5 Thematic Mapper TM (30 × 30 m de resolución) para los años 1999 y 2007, en los path. 224 y row 78.

Para la estimación de la humedad de suelo, se adquirieron un total ocho imágenes de radar en banda L, Alos Palsar. Asimismo, con el fin de obtener valores regionales de humedad de suelo y comparar con los valores estimados desde las ALOS Palsar.

Se usaron 24 imágenes obtenidas por el sensor AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) a bordo del satélite AQUA de NASA. El AMSR-E puede obtener valores de humedad de superficial de suelos, mediante la observación de microondas de baja frecuencia (6.9 GHz). La humedad superficial de suelo con una precisión de 0.06 gm/cm³ en áreas de baja vegetación (biomasa menor a 1.5 kg/m²), con una resolución espacial de 25 Km.

Dichas imágenes fueron coincidentes con las fechas de adquisición de las imágenes SAR (el días antes, durante y después de la fecha de adquisición de cada imagen ALOS Palsar).

5.2.2.2. Datos de terreno

Con el fin de observar la dinámica de los casos de malaria y su relación con datos ambientales en terreno, se obtuvieron datos epidemiológicos, hidrológicos y meteorológicos procedentes del Ministerio de Salud de la Nación, Instituto Nacional del Agua, NOAA y Servicio Meteorológico Nacional (Tabla 5.1).

Información	Período	Fuente
Datos Epidemiológicos (registro semanal de casos de malaria a nivel de localidad)	2007	CONAE-Ministerio de Salud de la Nación, Fundación Mundo Sano (Argentina)
Datos Hidrológicos (nivel de ríos)	2007	Instituto Nacional del Agua (Argentina)
Datos Meteorológicos (temperaturas, precipitaciones)	1990-2010	NOAA

Tabla 5.1. Información terrena obtenida para el área de estudio.

5.2.3 Condiciones climáticas

Debido a la importancia de los parámetros climáticos observada en los capítulos anteriores, se registraron el comportamiento de las precipitaciones y temperaturas medias para el área de estudio durante el brote epidémico de malaria. Se registraron condiciones climáticas extremas, con precipitaciones que superaron los 60 mm y variaciones apreciables en los caudales de los ríos. Las temperaturas medias variaron en general entre 25 y 30 °C (Figura 5.26).

Las condiciones ambientales observadas durante el evento de crecida de los ríos en la zona y el brote epidémico de malaria en Iguazú durante el 2007 muestran similitudes en cuanto a lo observado en los demás eventos epidémicos de malaria registrados en el capítulo 4. Las precipitaciones en general (PPP, PAP, PAMax y PATotal) se mostraron dentro del rango registrado, mientras que las temperaturas estuvieron situadas ligeramente por sobre los valores registrados en el resto de las inundaciones con brotes epidémicos de malaria (Tabla 5.5)

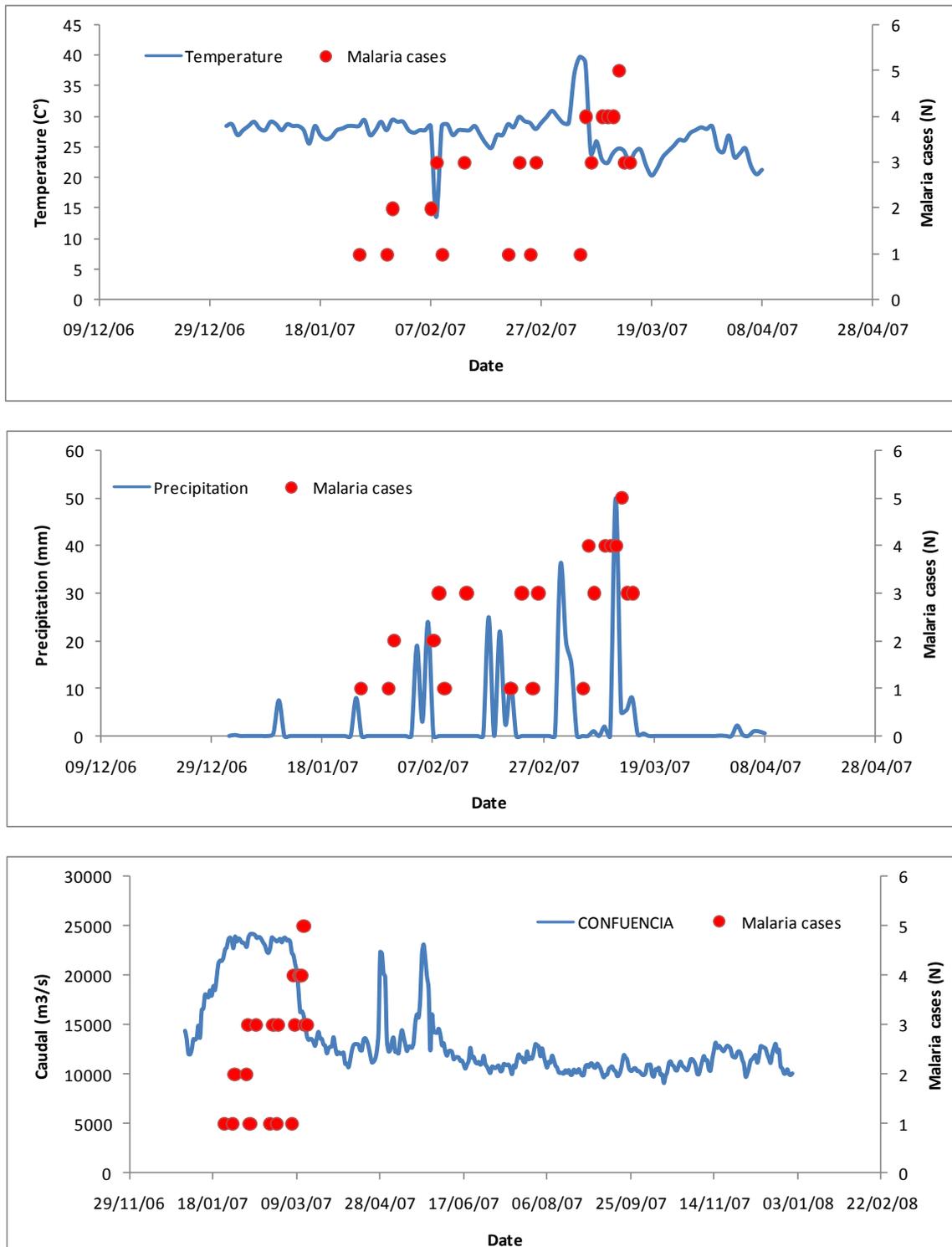


Figura 5.26. Temperatura media, precipitaciones y variación del caudal durante el brote epidémico de malaria en Puerto Iguazú durante el año 2007.

Inundación	Tmax promedio	Tmin promedio	Tmedia promedio	PPP	PAP	PAMax	PATotal
Iguazú 2007	32.029	20.576	25.209	0.207	4.400	2.200	14.490
Escenarios anteriores	23-28	14-20	17-24	0,1-14,2	0,6-65	2,3-183	6-650

Tabla 5.5. Comparación de las variables ambientales observadas durante el brote epidémico de Iguazú durante 2007 y los rangos de variación observados en las demás epidemias de malaria descritas en el Capítulo 4.

5.3 Procedimientos y resultados

5.3.1 Clasificación de tipos de cobertura y uso de suelo con imágenes ópticas

Se llevó a cabo una clasificación de los tipos de cobertura en el área de estudio, con el objetivo de identificar que tipos de usos de tierra se encontraban relacionados con los cuerpos de agua (potenciales sitios de cría de mosquitos) y asentamientos urbanos, y que cambios en estas clases podrían estar relacionados con brotes epidémicos de malaria.

Se seleccionaron dos imágenes Landsat TM 5 una para el año 1999 y otra para 2007, año del registro de la epidemia, buscándose escenas sin nubes, en el periodo Febrero-Mayo, en cada año. Las imágenes fueron obtenidas sin cargo desde los servidores de CONAE, INPE y USGS.

La información de tierra fue obtenida desde imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth. En todas las imágenes se seleccionó una subimagen correspondiente al área de interés.

Se realizó la corrección radiométrica para cada banda (bandas 1 a 7, excluida la banda 6), juntándose todas en un solo archivo mediante el procedimiento layer stacking. Los parámetros para la calibración fueron obtenidos desde el sitio web del USGS LANDSAT web site (http://landsat.usgs.gov/scienceL_7_or_L5.cpf.php).

Debido a que las imágenes fueron adquiridas en diferentes años, fue necesario corregir la georreferencia de una imagen con respecto a la otra, tomando como referencia la imagen del año 2007. Esta corrección fue hecha seleccionando puntos de control que vincularan ambas imágenes (ENVI, 2007).



Figura 5.1. Imágenes Landsat TM 5 en “color real” del área de estudio adquiridas en 1999 (izquierda) y 2007 (derecha).

Procedimiento de clasificación

Con el objetivo de identificar los tipos de usos de la tierra que pudieran estar relacionados con los casos de malaria, los tipos de cobertura fueron clasificados con una aproximación jerárquica. Primero se aplicó una clasificación ISODATA, con 30 clases y 5 iteraciones para cada imagen. La clasificación Isodata, permite identificar tipos de cobertura sin conocer con detalle la zona de estudio. Se seleccionaron regiones de interés (ROIs) para cada clase relevante, ejecutándose una clasificación supervisada basada en el algoritmo de máxima verosimilitud. La precisión de la clasificación supervisada fue evaluada, analizando las clases obtenidas con respecto a muestras consideradas como verdad de terreno. La información a campo fue obtenida de imágenes de alta resolución (Google Earth, 2010). Las clases problemáticas fueron aisladas con una

máscara y sometidas a una nueva clasificación no supervisada. Sobre la imagen remanente se seleccionaron nuevos ROIs (ejemplo Figura 5.2).

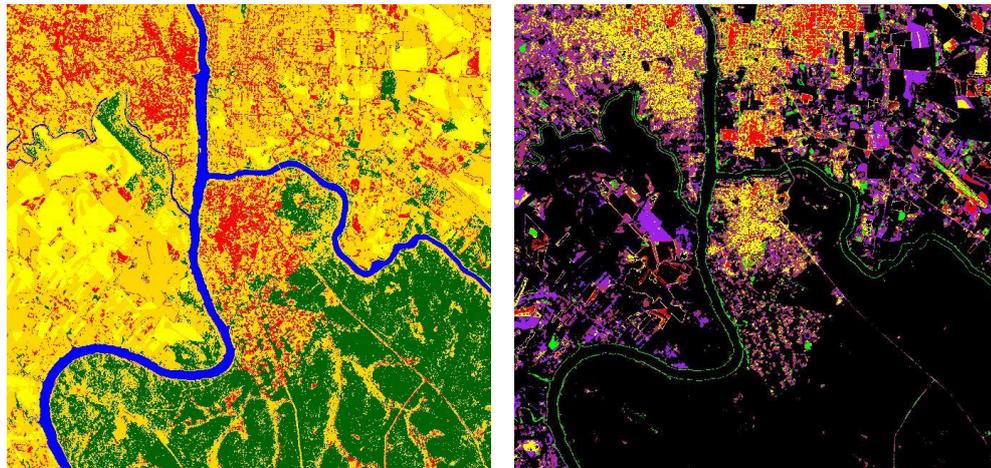


Figura 5.2. Clasificación no supervisada ISODATA para al área de estudio en 2007. Primera clasificación ISODATA clasificación (izquierda), Segunda clasificación no supervisada sobre la máscara urbana (derecha).

Finalmente, la imagen original fue clasificada en forma supervisada con todos los ROIs, obteniéndose las siguientes clases de coberturas:

1. Selva (Conservados y Degradados. Se clasifica como degradados a los bosques donde se observa un patrón mas disperso de la vegetación)
2. Usos Agrícolas
3. Suelos desnudos
4. Asentamientos Urbanos
5. Cuerpos de agua (ríos)

En el análisis de las coberturas de suelo, los bosques fueron la clase mas frecuente registrada para ambos años. Se observa la expansión de los asentamientos urbanos hacia el sur, sobre las áreas boscosas (Figura 5.3). Esta expansión es coincidente con el incremento de la actividad turística en el área de Puerto Iguazú luego del año 2000 (Ministerio de Salud de la Nación, 2007).

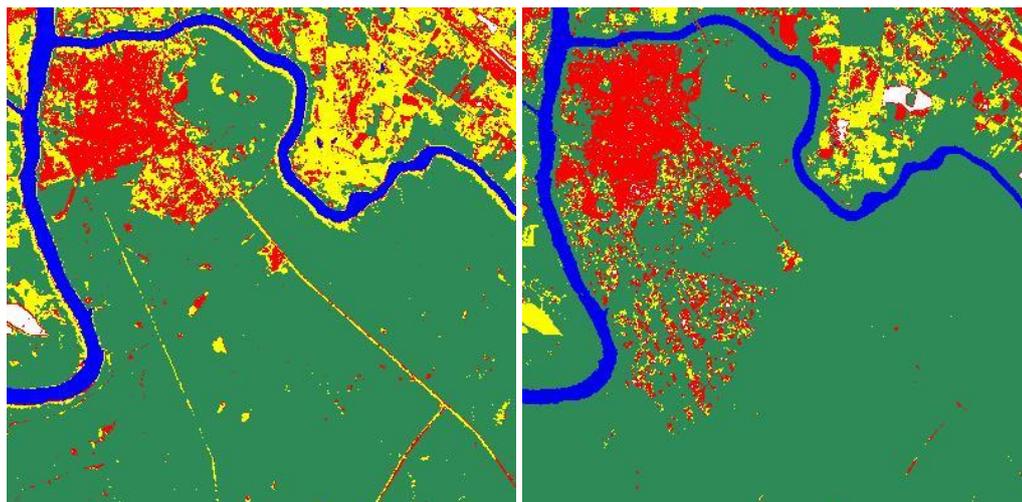


Figura 5.3. Clasificación supervisada final para el área para 1999 (izquierda) y 2007 (derecha) (rojo= asentamientos urbanos; amarillos= tierras agrícolas; blanco=suelos desnudos; verde=selva; azul=ríos).

Procedimiento seguido para la detección de cambios

Los cambios en las clases de uso de suelo entre 1999 y 2007, fueron evaluados mediante el uso de la herramienta de detección de cambios ENVI (ENVI, 2007). Esta herramienta permite evaluar cuantos pixeles cambiaron de clase durante ese período. El producto final es una imagen con las áreas bajo cambio en el período y la cuantificación de la superficie afectada para cada clase.

En el período 1999-2007, los cambios más significativos en la región se observaron para los usos agrícolas (tierras cultivadas y suelo desnudo). Esto era de esperar como consecuencia de la dinámica propia de los sistemas agrícolas, con cambios en cultivos y practicas agrícolas. (Tabla 5.2).

En el área cercana a Puerto Iguazú, donde se registraron los casos de malaria, se observan cambios evidentes en la extensión de los asentamientos urbanos como resultado de crecimiento de la ciudad de Puerto Iguazú hacia el sur (Figura 5.4) reemplazando áreas boscosas.

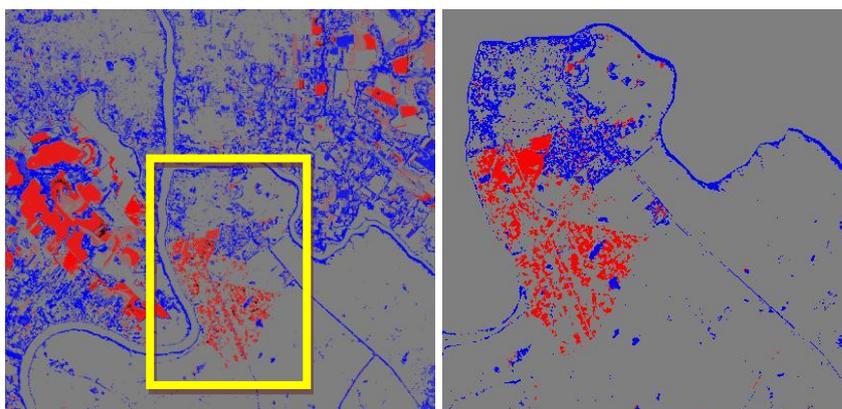


Figura 5.4. Mapa de detección de cambios para el periodo 1999-2007. Las áreas en rojo indican los niveles de cambios más grandes. En el rectángulo amarillo, el área de Puerto Iguazú, mostrada en detalle en la imagen derecha.

Los bosques registraron un reemplazo por asentamientos urbanos de aproximadamente 4% (Tabla 5.2). Parte de los asentamientos urbanos mostraron un aparente cambio hacia la cobertura de selvas, probablemente por errores en la clasificación de áreas urbanas clasificadas como bosques en la imagen de 1999. Otra explicación alternativa es el aumento del área verde por incremento del área parquizada por emprendimientos turísticos.

Porcentajes	Año 1999			
	Selva	Asentamientos Urbanos	Row Total	Clase Total
Año 2007				
No clasificada	0.00	0.00	0.00	100
Selva	95.28	26.30	95.43	100
Suelo desnudo	0.29	0.69	92.06	100
Ríos	0.00	0.07	6.60	100
Asentamientos Urbanos	4.44	72.95	86.42	100
Uso Agrícolas	0.00	0.00	0.00	0
Total Clases	100	100	0	0
Cambios por Clase	4.72	27.05	0.00	0
Diferencia entre Imágenes	2.96	29.85	0.00	0

Tabla 5.2. Porcentaje de cambio por cobertura de suelo entre 1999-2007

5.3.2 Clasificación con imágenes SAR

Fusión de Imágenes

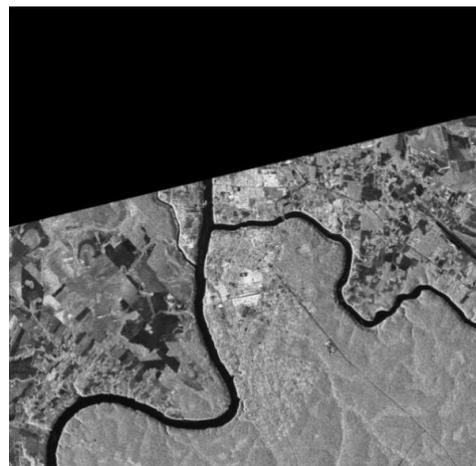
Con el objetivo de reducir el error en la clasificaciones, observados en el apartado anterior, varios autores han mencionado la sinergia entre diferentes sensores radar (Törmä *et al*, ERS-1 SAR) y las imágenes ópticas (Landsat Thematic Mapper (TM)) para la clasificación de usos de terreno.

La fusión de las imágenes integra datos espaciales y espectrales de ambas imágenes, manteniendo las características superiores de las imágenes multisensor, mejorando el conocimiento de la escena. Por lo tanto, la fusión de imágenes mejora la precisión de la clasificación y ayuda a la extracción de características y reconocimiento de la imagen. Este procedimiento mejoraría la resolución espacial de las imágenes ópticas, por lo que fue adoptado en este estudio, para mejorar la discriminación de cuerpos de agua y tipos de cobertura y uso de suelo.

Procedimiento para la fusión de imágenes

El proceso de fusión de datos combina múltiples imágenes para formar una única imagen compuesta. Es comúnmente usado para aumentar la resolución espacial de datos multiespectrales, usando imágenes pancromáticas de alta resolución o imágenes SAR de una sola banda. La fusión se realizó en ENVI, estando todas las imágenes georeferenciadas y con el mismo tamaño de pixel (efectuándose el remuestreo espacial en los casos necesarios), y en caso de no estar georeferenciada cubriendo la misma área geográfica, con el mismo tamaño de pixel, el mismo tamaño de imagen y la misma orientación. En el presente estudio las imágenes estaban georeferenciadas, pero no coincidían entre sensores, en consecuencia, las imágenes ópticas de Landsat fueron vinculadas a las imágenes ALOS PALSAR, usando puntos de control en el terreno, como indica el procedimiento de fusión en ENVI.

Debido a la baja resolución de las imágenes estas debieron ser resampleadas para tener el mismo tamaño de pixel que las imágenes de alta resolución (usando nearest-neighbor resampling). La clasificación fue llevada a cabo sobre una imagen resultado de la fusión de una ALOS PALSAR con una resolución espacial de 6 metros y una Landsat TM 5 de la misma fecha aproximadamente. El procedimiento fue aplicado solo a imágenes del 2007, debido a la disponibilidad de imágenes ALOS Palsar (Figura 5.5).



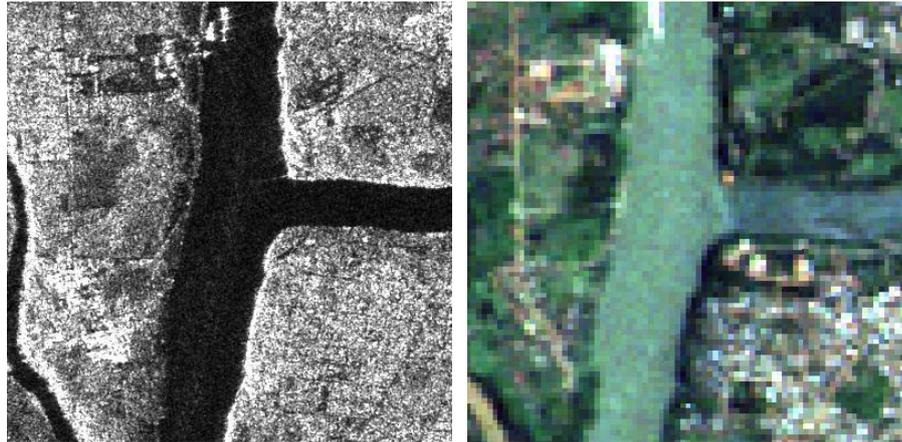


Figura 5.5. Imagen ALOS PALSAR del área de Puerto Iguazú (arriba) y detalle de una imagen ALOS PALSAR de la frontera entre Argentina, Paraguay y Brasil, sin fusión de imágenes (abajo izquierda) y con fusión de una imagen Landsat 5 TM (abajo derecha).

Luego de la georreferencia y el resamplero, la imagen fue clasificada (Fig. 5.6) de acuerdo a la metodología descrita arriba.

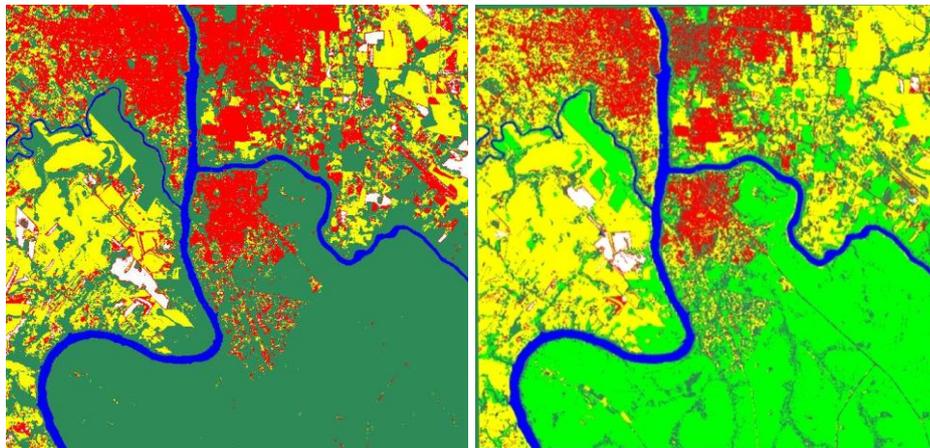


Figura 5.6. Clasificación supervisada (máximo likelihood) solo para imagen Landsat 5 TM (izquierda) y Landsat 5 TM fusionada con ALOS PALSAR (derecha).

Luego de la clasificación supervisada la imagen resultante, mostró una mejora en la identificación de usos de la tierra, incrementando la precisión (Tabla 5.3).

	Óptica (2007)	Óptica (2007) + SAR
Precisión general	94.31%	99.49%
Coefficiente Kappa	0.94	0.99

Tabla 5.3. Comparación de la precisión general y el coeficiente de Kappa para la clasificación con sensores ópticos y ópticos más SAR.

5.3.3 Análisis con Sistemas de Información Geográfica

Distancia a asentamientos urbanos

La distancia entre el bosque tropical, sitio potencial para la cría del vector y los asentamientos urbanos fue obtenida mediante la medición de la distancia euclidiana entre ambas clases, usando ArcGis (Figura 5.10).

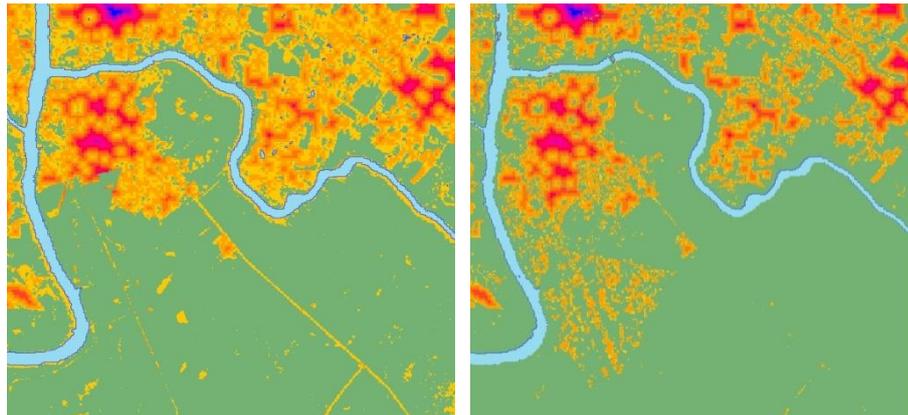


Figura 5.10. Distancia euclidiana desde la selva a asentamientos urbanos para imágenes de 1999 (izquierda) y 2007 (derecha).

Cambios en la frontera entre tipos de cobertura

Con el objetivo de evaluar los cambios en la potencial exposición de las personas al hábitat del mosquito, se registraron los cambios en la extensión de la frontera entre asentamientos urbanos y la selva.

La intersección entre ambas coberturas fue calculada usando un buffer de 50 píxeles para la clase urbana (Figura 5.11). El número de 50 píxeles fue determinado en forma arbitraria. La imagen final se compone de píxeles que cumplen esta condición. La extensión final se obtuvo multiplicando el número de píxeles por la resolución de la imagen, en este caso de 30 metros.

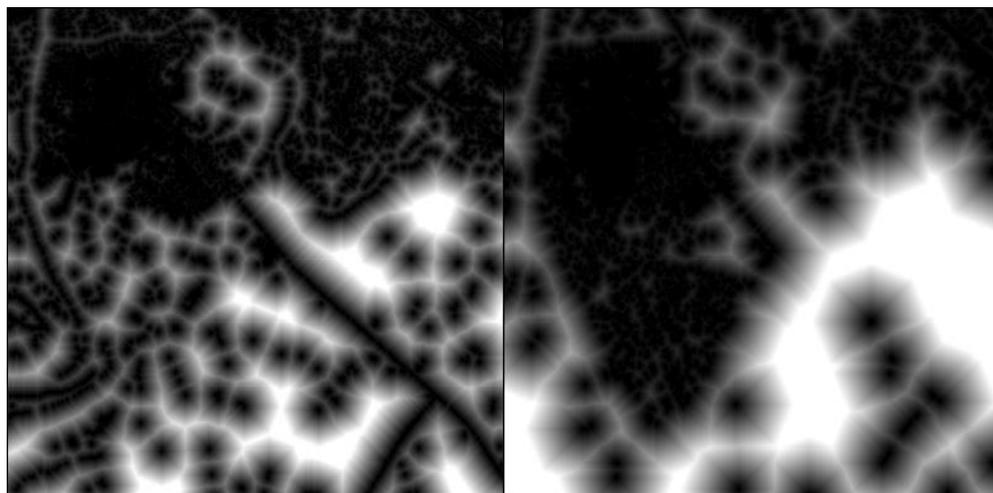


Figura 5.11. Buffer de asentamientos urbanos para las imágenes de 1999 (izquierda) y 2007 (derecha).

Las imágenes obtenidas de la aplicación del algoritmo en bandmath, mostró un cambio significativo en la extensión del borde entre la selva y el uso urbano (Figura 5.12), en coincidencia con el incremento en la extensión de la ciudad.

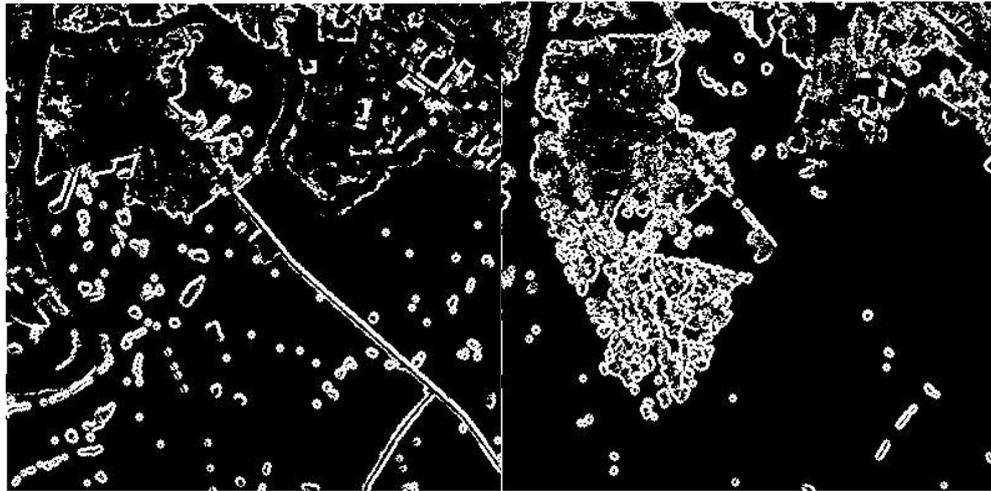


Figura 5.12. Cambio en la extensión del borde entre la ciudad y los asentamientos urbanos en el periodo 1999-2007.

El borde se incremento en aproximadamente 32%, con una extensión neta de cambio de mas de 18 kilómetros entre 1999 y 2007(Tabla 5.4).

	Año		Extension	
	1999	2007	Cambio neto del borde [Km]	% cambio
Borde [Km]	570.48	752.4	181.92	31,89

Tabla 5.4. Extensión del borde entre los asentamientos urbanos y la selva por año y porcentaje de cambio.

Clasificación de coberturas de suelo y determinación de cambios en el uso del suelo
Evaluación de la distancia selva-asentamientos urbanos-ríos

La localización de las casas en relación a los sitios de cría del vector, tales como cuerpos de agua, ríos o charcos, es otro factor relevante en la transmisión de malaria, el cual puede ser utilizado para la confección de mapas de riesgo (Van der Hoek *et al.*, 2003). Las poblaciones cercanas a los ríos o la interface selva-asentamiento urbano serán más susceptible a ser afectada en una epidemia de malaria, por tener mayor probabilidad teórica de ser infectada por el vector. Por otra parte, estas poblaciones también pueden ser afectadas por el vector dependiendo del rango de dispersión del mosquito. En el caso de *Anopheles sp.*, algunos autores estiman su distancia potencial de vuelo en aproximadamente 500 metros (Gillies, 1961)

Luego de la clasificación de las coberturas de suelo, se calculo una distancia euclidiana de 500 metros desde los cuerpos de agua (ríos), para condiciones normales (1999) y epidémicas (2007), usando ArcMap 9.1.

La comparación entre 1999 y 2007 muestra diferencias entre las áreas urbanas bajo la influencia del mosquito proveniente de los ríos entre años. La expansión de Puerto Iguazú hacia el sur, resulta para el 2007, año de la epidemia, en un incremento en la población potencialmente expuesta la vector proveniente de los ríos (Figura 5.13).

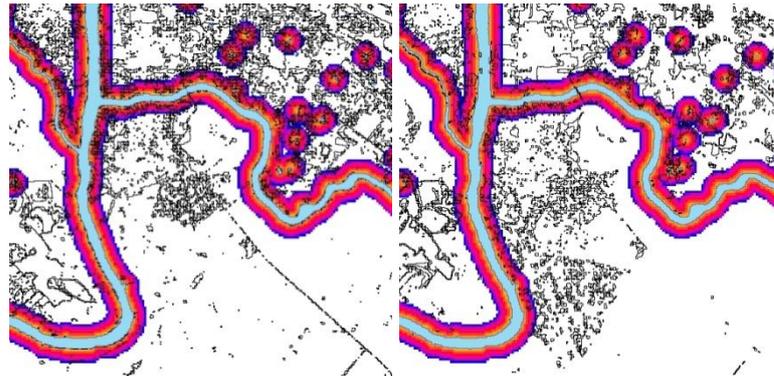


Figura 5.13. Distancia euclidiana desde ríos y su relación con asentamientos urbanos (vector de ríos obtenido de la clasificación con imágenes Landsat TM 5) para 1999 (izquierda) y 2007 (derecha). En negro las áreas clasificadas como urbanas.

En el caso de la distancia entre la selva y el asentamiento urbano, en 1999 es posible observar un área libre dentro del núcleo de la ciudad, mientras que en 2007, toda el área urbana se muestra potencialmente afectada por los mosquitos provenientes de la selva (Figura 5.14). Esto puede haberse debido que la clasificación efectuada en la imagen de 2007, registra áreas con similar respuesta a la selva, y en consecuencia el algoritmo de estimación de la distancia euclidiana registrara menores distancias dentro del núcleo del asentamiento. Si bien podría deberse a un artefacto en la clasificación, también es plausible sea respuesta a la mayor parquización observada en el área, consecuencia del aumento de proyectos turísticos en el lugar.

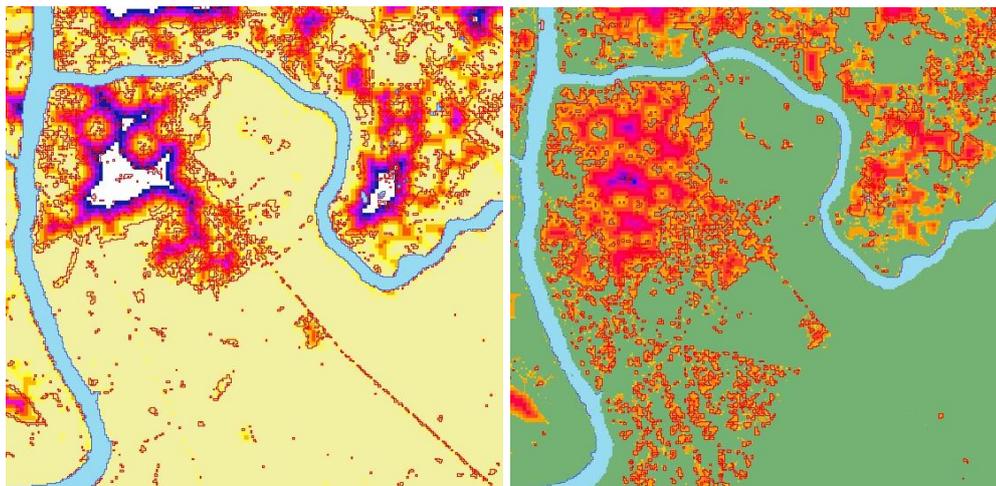


Figura 5.14. Distancia euclidiana desde la selva hacia los asentamientos urbanos en el área de estudio para 1999(izquierda) y 2007 (derecha), para un límite de 500 m. En rojo el área clasificada como asentamiento urbano.

El análisis de los resultados muestra una expansión de la ciudad y un cambio en las condiciones del hábitat del mosquito con respecto a los asentamientos urbanos, observándose un incremento en el área potencial de interacción entre humanos y el área de acción del vector.

5.3.4 Identificación de cuerpos de agua mediante SAR y modelos de elevación digital

Debido a que el agua es un factor limitante en la disponibilidad de potenciales sitios de cría para mosquitos, la identificación de cuerpos de agua es un paso crucial en la construcción de mapas de riesgo de malaria. Esta identificación puede ser realizada mediante el uso de sensores ópticos (por ej. Landsat TM) o activos (SAR). El uso de sensores ópticos tiene restricciones y limitaciones en el uso en regiones tropicales, donde la cobertura nubosa, predominante gran parte del año, y en especial en la estación lluviosa, limita la adquisición de imágenes. Alternativamente, el radar de

apertura sintética (SAR, siglas en inglés de Synthetic Aperture Radar) permite identificar cuerpos de agua, aun bajo las nubes, proveyendo información espacial regular y confiable para regiones tropicales remotas. El radar de apertura sintética también ha demostrado ser útil en la identificación de un número de características del terreno útiles en la producción de mosquitos (Kurosu *et al.* 1997, Le Toan *et al.* 1997, Liew *et al.* 1998, Okamoto & Kawashima, 1999) y tendría el potencial de proveer información para la confección de mapas de hábitats de mosquitos con alta resolución espacial y temporal (Diuk-Wasser *et al.*, 2006). En el presente capítulo, ambas aproximaciones serán utilizadas, usando sensores ópticos (Landsat TM 5) y sensor SAR (ALOS Palsar).

5.3.5 Identificación de cuerpos de agua con imágenes ópticas fusionadas a SAR

La identificación de los cuerpos de agua usando imágenes Landsat 5 TM fue realizada con la fusión de dicha imagen con una imagen SAR, ALOS Palsar (Figura 5.15), en modo FBS, con una resolución de 6 metros. Esta aproximación, permite tener la información proveniente de las imágenes ópticas (con su resolución espectral), pero con la geometría de la imagen de radar (mayor resolución espacial), siendo de uso potencial para la identificación de cuerpos de agua pequeños. Mediante el procedimiento de clasificación supervisada, basada en máxima verosimilitud, explicada en apartados anteriores, solo se pudieron identificar grandes cuerpos de agua, tales como los ríos Paraná e Iguazú.

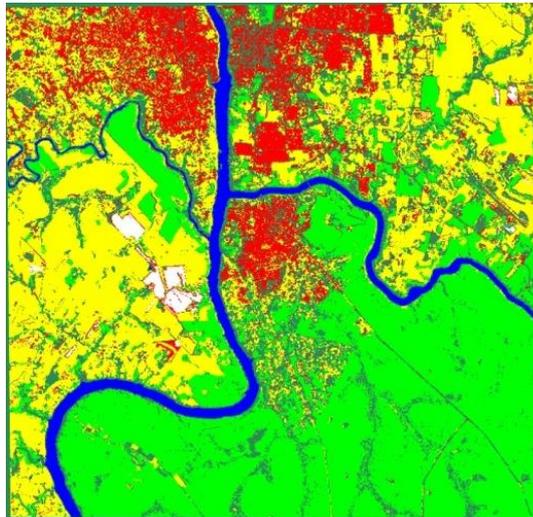


Figura 5.15. Clasificación de las coberturas de suelo e identificación de cuerpos de agua (ríos en azul) usando fusión de imágenes Landsat TM-ALOS y Palsar (amarillo=uso agrícola, rojo= asentamientos urbanos, verde=selva, blanco=suelos desnudos).

Imágenes SAR

El primer intento de clasificación de cuerpos de agua con imágenes SAR, usando umbrales para los coeficientes de retrodispersión de las imágenes ALOS (Fig. 5.16 y 5.17). Para este caso, el umbral fue establecido para valores más grandes de -30 dB y menores a -19 dB, basando este umbral en la variabilidad en dB que presentaron diferentes muestras de cuerpos de agua.

El procedimiento consistió en los siguientes pasos:

Para cada imagen se obtuvo el valor del coeficiente de retrodispersión en dB, aplicando la siguiente expresión en el módulo bandmath de ENVI:

$$\sigma^0 = 10 * \log_{10} ((\text{float}(\text{DN}))^2 - 83) \quad (\text{ESA}, 2007)$$

Donde σ^0 es el coeficiente de retrodispersión, y DN son los números digitales de las imágenes ALOS en nivel 1,5.

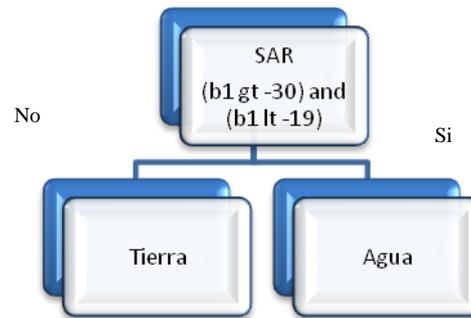


Figura 5.16. Árbol de decisión usado para la identificación de cuerpos de agua desde imágenes ALOS Palsar (el primer bloque indica el intervalo seleccionado para el umbral de los valores de retrodispersión)

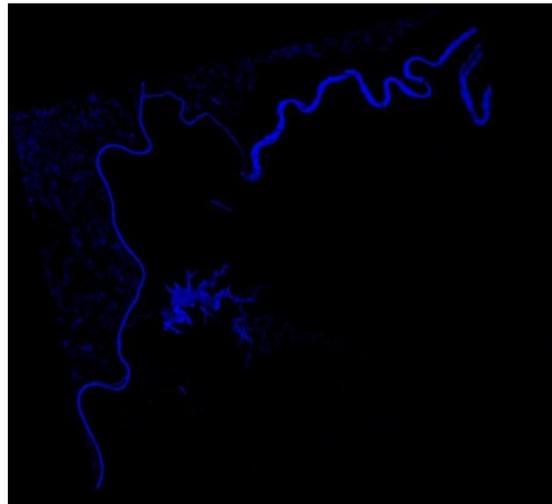


Figura 5.17. Identificación de cuerpos de agua mediante umbrales aplicados a los valores de retrodispersión obtenidos de imágenes ALOS Palsar, usando el árbol de decisión de la figura 5.16.

Aún cuando los umbrales mostraron ser útiles para la identificación de los principales cuerpos de agua, se observaron errores, ya que se confundía algunos parches de tierra con cuerpos de agua. Por esta causa, se adoptó un árbol de decisión, incorporando a los umbrales de dB, umbrales para un modelo de elevación digital (DEM) (Figura 5.18 y 5.19). La utilización de esta variable se fundamenta en la menor altura que en general presentan los cursos de agua con respecto a las elevaciones observadas para el resto de la cuenca a la que pertenecen. El DEM es un producto derivado de imágenes ASTER (ASTER GDEM) (www.conae.gov.ar), con una resolución espacial de 30 m (Figura 5.18).

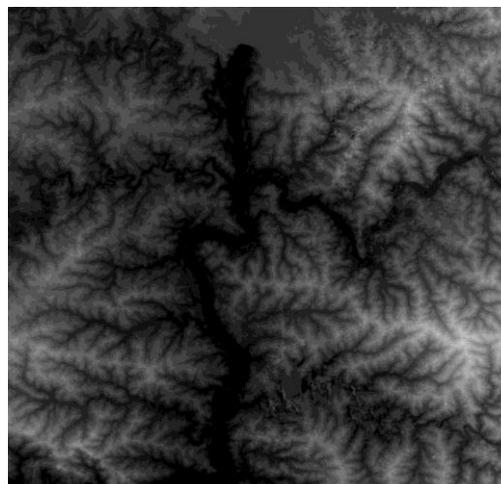


Figura 5.18. Modelo de elevación digital para el área de estudio (ASTER, resolución=30 m.), CONAE.

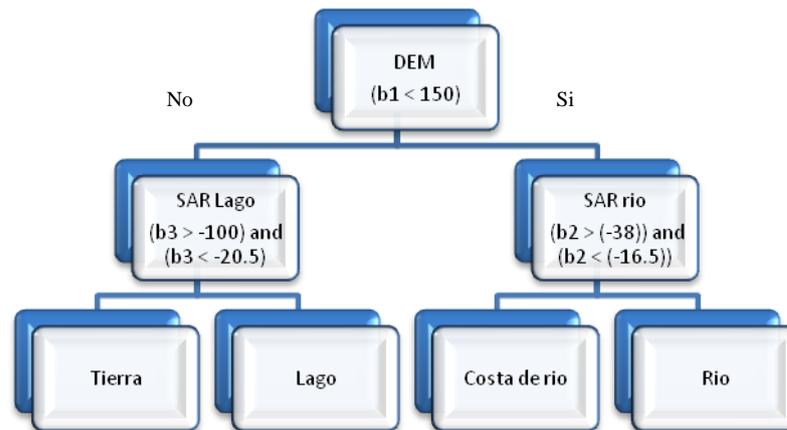


Figura 5.19. Árbol de decisión usando DEM y umbrales para los valores de retrodispersión obtenidos de imágenes ALOS Palsar (04/03/2009, FBS, CONAE)

El uso de estos árboles de decisión permitió la identificación y la clasificación de los cuerpos de agua, discriminando ríos de lagos. Aún así, se observaron errores, posiblemente debido a una respuesta similar al agua por parte de superficies terrestres (Figura 5.20).



Figura 5.20. Imagen resultado de la aplicación del árbol de decisión utilizando umbrales para el coeficiente de retrodispersión para las imágenes ALOS Palsar y DEM (04/03/2009, FBS, CONAE). Azul: ríos, gris: costa de ríos; verde: lago Urugua-i y tierra clasificada como lago y ríos sin la utilización de imágenes ALOS Palsar.

Ehsani *et al* (2009) implementaron el uso de análisis morfométricos de primero y segundo orden derivados de modelos de elevación digital junto con clasificaciones de cobertura obtenidas de imágenes Landsat TM, para el reconocimiento de geoformas, tales como pendientes, curvatura de sección cruzada, o curvatura máxima y mínima, dando lugar a la descripción de formas del paisaje como crestas, canales, mesetas y líneas de crestas. Sadaat *et al* (2008) aplicaron en un estudio similar, el uso de imágenes ASTER y características del DEM para la clasificación de formas del paisaje, usando árboles de decisión. Basándose en estos antecedentes, se adoptó para el presente estudio, un enfoque similar, apoyando la clasificación realizada sobre imágenes ALOS PALSAR para cuerpos de agua con características derivadas del DEM, específicamente la convexidad de sección cruzada, usando árboles de decisión. Esta aproximación está basada en la diferencia observada en altura y curvatura para los terrenos entre tierra, lagos y ríos (Figura 5.21).

Como resultado se observó una clasificación más precisa al utilizar algunas características derivadas del DEM. La convexidad de sección cruzada mostró el mejor resultado en la clasificación de ríos y lagos.

Las imágenes finales presentaron una clasificación donde ambas imágenes, SAR y DEM, estuvieron disponibles (Figura 5.22). Se observó la precisión de la clasificación contraponiéndola con lo observado en las imágenes LANDSAT.

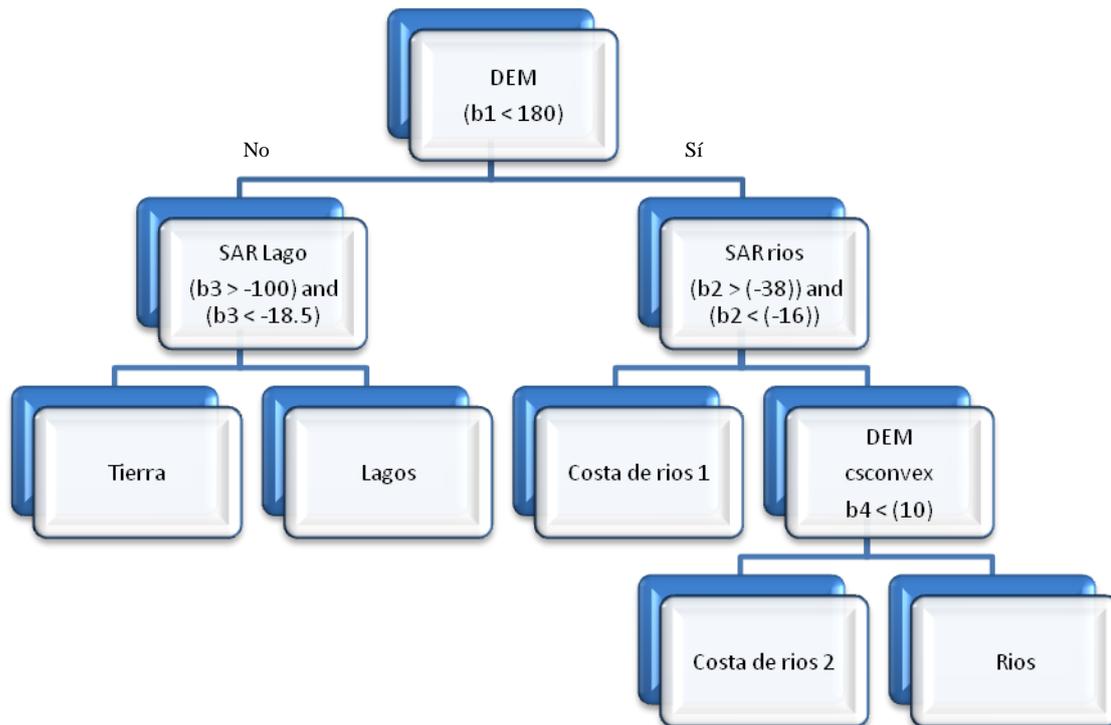


Figura 5.21. Árbol de decisión basado en la aplicación de características del terreno derivadas de modelos de elevación digital (DEM, altitud y convexidad de sección cruzada) y umbrales de retrodispersión aplicados a imágenes ALOS Palsar (04/03/2009, FBS, CONAE) (los umbrales se indican dentro de cada caja).

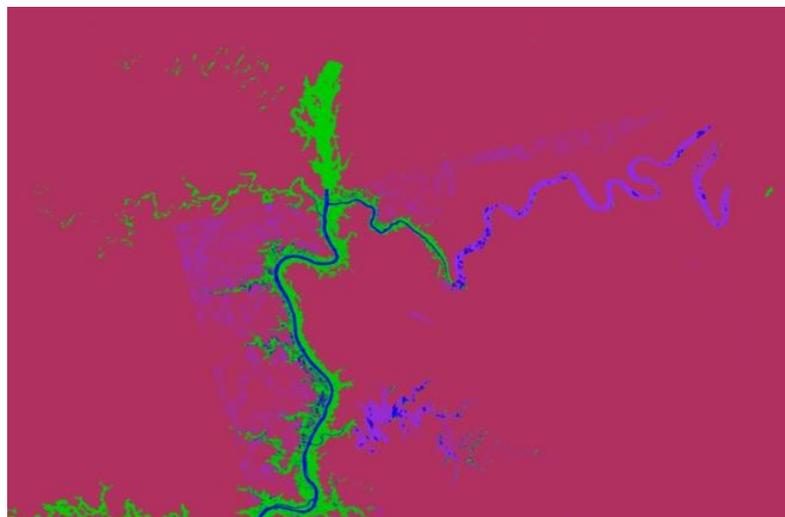


Figura 5.22. Resultado de la aplicación del árbol de decisión basado en la aplicación de características del terreno derivadas de modelos de elevación digital (DEM, altitud y convexidad de sección cruzada) y umbrales de retrodispersión aplicados a imágenes ALOS Palsar (04/03/2009, FBS, CONAE) (azul=ríos, verde= costa de ríos, violeta: cuerpos de agua identificados sin datos de retrodispersión de ALOS Palsar).

Aunque, los árboles de decisiones fueron aplicados en un principio sobre imágenes ALOS Palsar en modo FBS (resolución espacial de 6.5 m), según el procedimiento descrito, se ejecuto el árbol de decisión final sobre una imagen ALOS Palsar en modo WB1 (100 metros de resolución), con el fin de evaluar su desempeño con resoluciones espaciales menores (Figura 5.23). Esto se justifica por la menor disponibilidad de imágenes en FBS para el área en cuestión y la utilidad que

representaría contar con serie temporales mas completas de mapas de cuerpos de agua obtenidos de imágenes en WB1.

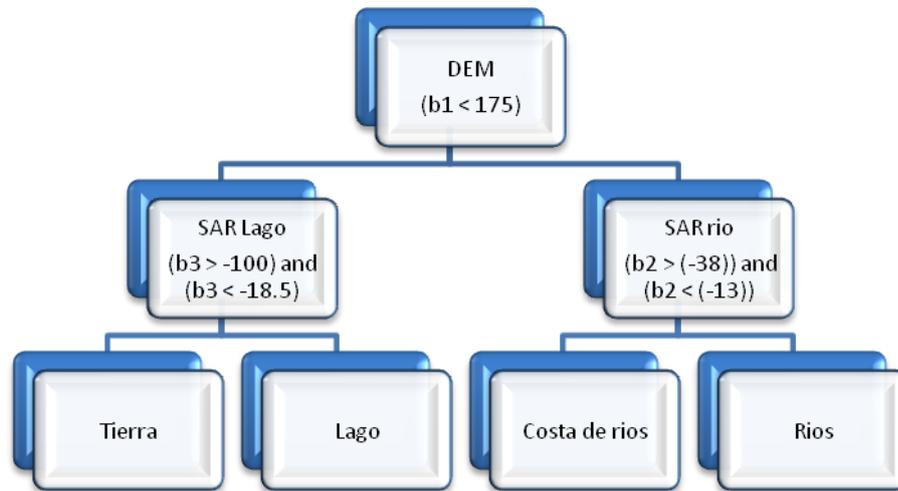


Figura 5.23. Árbol de decisión para detección de cuerpos de agua usando DEM e imágenes ALOS Palsar (05/01/2009 y 28/09/2009), modo WB, CONAE).

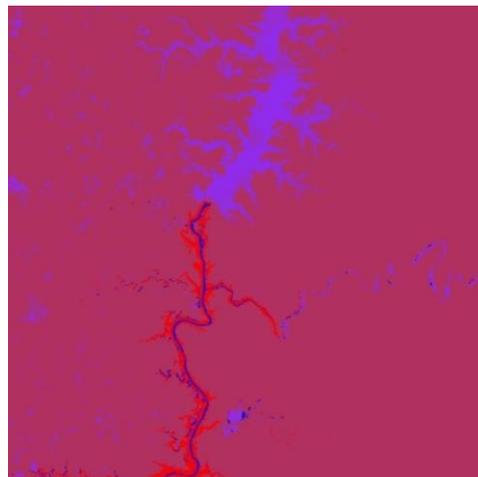


Figura 5.24. Imagen resultante de la aplicación del árbol de decisión para la detección de cuerpos de agua usando DEM e imágenes ALOS Palsar (05/01/2009, modo WB1, CONAE) (azul: río, rojo: costa del río, violeta: cuerpo de agua identificado sin datos de la imagen ALOS Palsar)

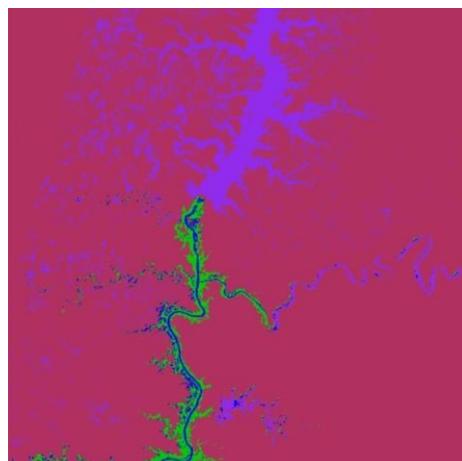


Figura 5.25. Clasificación de los cuerpos de agua mediante árboles de decisión, usando características del modelo de elevación digital (convexidad seccional alta y cruzada) más imagen ALOS Palsar, WB1, CONAE. (Azul: río, rojo: costa de río, violeta: cuerpos de agua identificados sin el uso de información de imágenes ALOS)

5.3.6 Estimación de humedad de suelo mediante imágenes ALOS Palsar

Caracterización de imágenes SAR

Otro parámetro importante en la distribución del vector es el contenido de húmeda del suelo. La presencia de altos valores de humedad de suelo es de una importancia fundamental a la hora de entender la distribución de pequeños depósitos de agua en una determinada área. Para la estimación de la humedad de suelo, se aplicó el algoritmo desarrollado por Notarnicola *et al* (2006, 2007), aplicándose a imágenes ALOS Palsar de banda L. La elección de este satélite y esta longitud de onda esta en relación al poder de penetración e interacción con la humedad del suelo por parte de las microondas en ese longitud de onda. Los coeficientes de retrodispersión fueron calculados para cada imagen, aplicando la siguiente expresión en el bandmath de ENVI:

$$BC=10*\log_{10}((float(DN))^2)-83 \text{ (ESA, 2007)}$$

Donde BC es el coeficiente de retrodispersión, y DN la información proveniente de la imagen ALOS Palsar procesada a nivel 1,5.

El primer paso en el análisis fue evaluar la sensibilidad de los valores de retrodispersión por tipo de uso de la tierra y periodo del año. Con este propósito un total de 11 imágenes fueron analizadas para el área de estudio, adquiridas entre el 27/02/2007 y 08/01/2010. Para cada clase se seleccionaron por imagen, regiones de interés (ROIs) de aproximadamente 12 píxeles, minimizando la variabilidad de las muestras (desviación estándar). El número de ROIs por tipo de cobertura fue variable. Con el objetivo de observar la variación temporal de cada uso de tierra, se calcularon los valores medios por tipo de cobertura, observándose su relación con las lluvias diarias registradas en Puerto Iguazú.

Los resultados del coeficiente de retrodispersión mostraron variaciones entre tipos de coberturas y a entre los diferentes tiempos de adquisición de las imágenes. Las tierras agrícolas registraron la varianza más alta en los valores de retrodispersión para todas las fechas, mientras que los bosques registraron menor dispersión de estos valores en general. Para las tierras agrícolas, (Figura 5.27), la dispersión de los valores de σ^0 , aparentemente estaría relacionada con picos de precipitaciones registradas en el área de estudio. De la misma forma, los suelos desnudos (Figura 5.28) registraron una mayor variabilidad en σ^0 durante los periodos lluviosos. En el caso de los bosques no se observó una tendencia clara en relación a las precipitaciones (Figura 5.29).

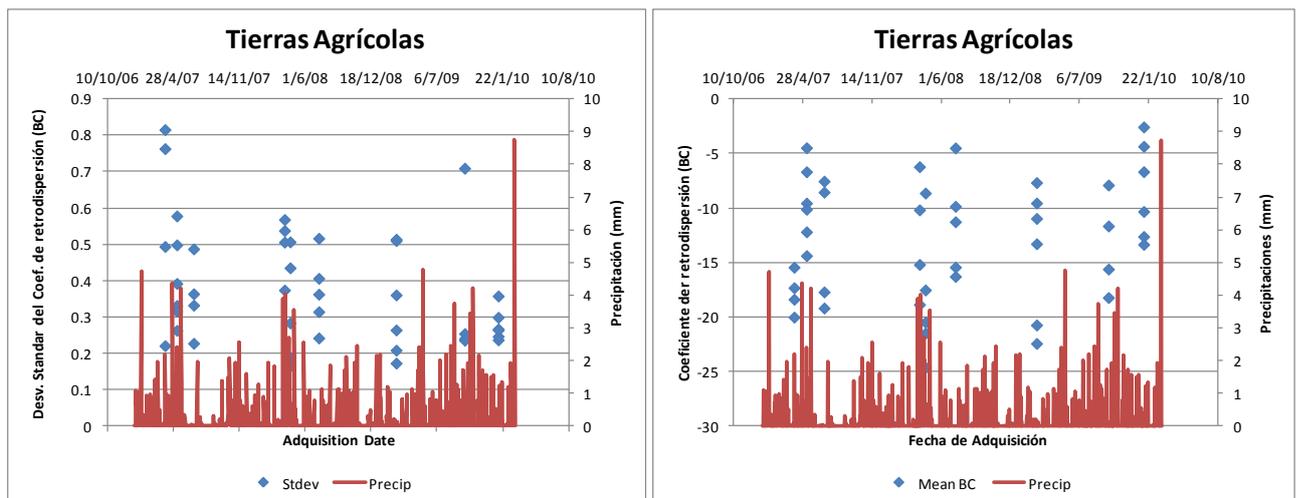


Figura 5.27. Valores medios y desviación estándar de los valores de retrodispersión observados en las imágenes ALOS Palsar para tierras agrícolas y su relación con el patrón de lluvias para el área de estudio durante el periodo de Octubre 2006 y Enero 2010.

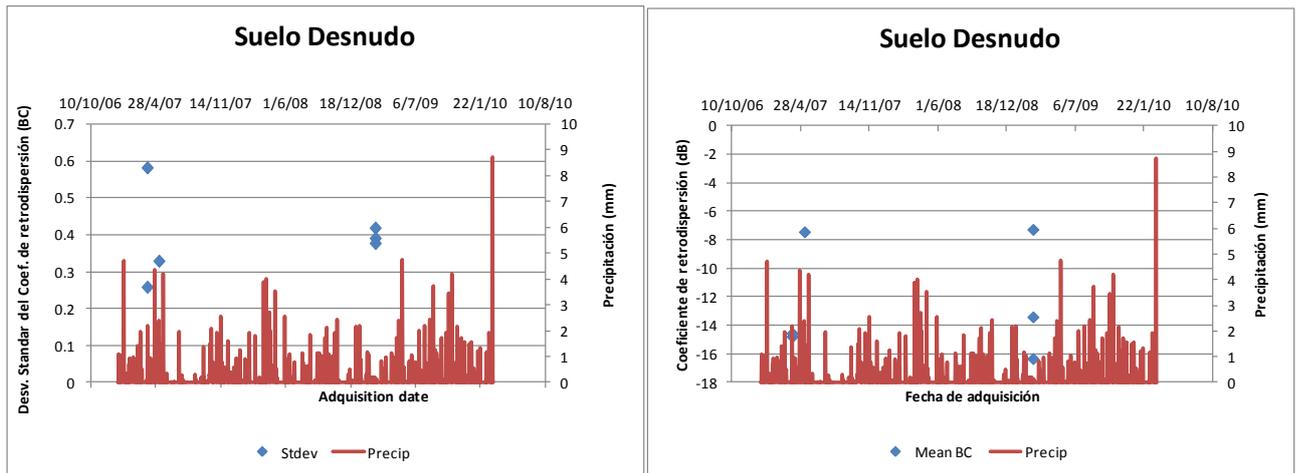


Figura 5.28. Valores medios y desviación estándar de los valores de retrodispersión observados en las imágenes ALOS Palsar para suelos desnudos y su relación con el patrón de lluvias para el área de estudio durante el periodo de Octubre 2006 y Enero 2010.

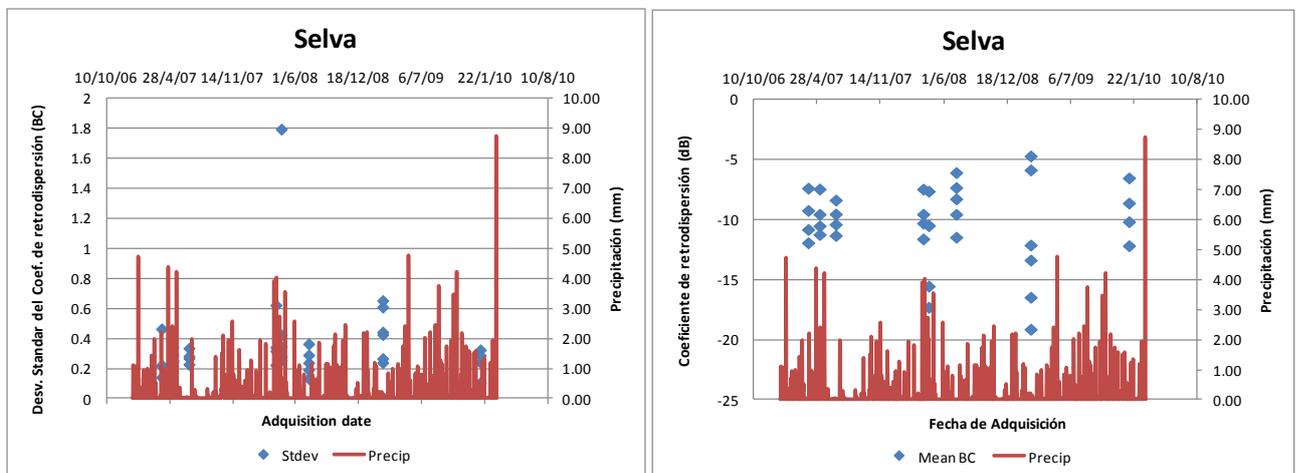


Figura 5.29. Valores medios y desviación estándar de los valores de retrodispersión observados en las imágenes ALOS Palsar para bosques y su relación con el patrón de lluvias para el área de estudio durante el periodo de Octubre 2006 y Enero 2010.

Algoritmo para la estimación de humedad de suelo mediante imágenes ALOS Palsar
Análisis de sensibilidad

Con el objetivo de obtener los parámetros y calibrar el algoritmo de estimación de humedad de suelo, se llevaron a cabo una serie de simulaciones. Se simularon valores del coeficiente de retrodispersión en diferentes combinaciones de polarizaciones de acuerdo al modelo IEM (Fung, 1992). El resultado de dichas simulaciones se detalla en el Anexo parte B.

Implementación del algoritmo de humedad de suelo

Para la aplicación de los algoritmos de humedad de suelo en una serie de imágenes ALOS PALSAR, se selecciono un área de interés en cada una de las ocho imágenes. Todas las imágenes de la serie temporal de imágenes SAR fueron adquiridas en modo WB1 del sensor, con una resolución espacial de 100 metros.

El algoritmo para la estimación de humedad de suelo fue implementado en Matlab, desarrollado por Notarnicola *et al.* (2004), basándose en el modelo IEM. Este algoritmo ha probado un buen desempeño en suelos desnudos, usando información SAR en banda C y L en localidades de Estados Unidos e Italia (Notarnicola *et al.*, 2006, 2008) y también en otros sitios de prueba (Paloscia *et al.*, 2008). Debido a que el algoritmo no es confiable para la estimación de humedad de

suelo en áreas forestadas, los valores de retrodispersión para bosques fueron enmascarados como -999.9.

La estructura del algoritmo, basada en principios de estadística bayesiana, consiste en dos programas acoplados. El primero estima la constante dieléctrica, usando como parámetros base un rango de rugosidades (indicada por la desviación estándar de las alturas del suelo), valores de constante dieléctrica y correlaciones de la “longitud” del suelo. El segundo usa los resultados del primero, con información de la constante dieléctrica, para producir una imagen con valores de suelo, usando la formula de Hallikainen para estimar la humedad de suelo desde la constante dieléctrica (Hallikainen *et al.*, 1985).

Las estimaciones de humedad de suelos fueron evaluadas para valores de rugosidad entre 1-3 y 3-5, los cuales fueron los que mostraron las simulaciones con mayor similitud a las adquisiciones.

Las imágenes de constante dieléctrica (Fig. 5.30) y humedad de suelo estimada (Figura 5.31) desde imágenes ALOS Palsar en Matlab, fueron exportadas a formato Envi, para ser superpuestas a otras capas.

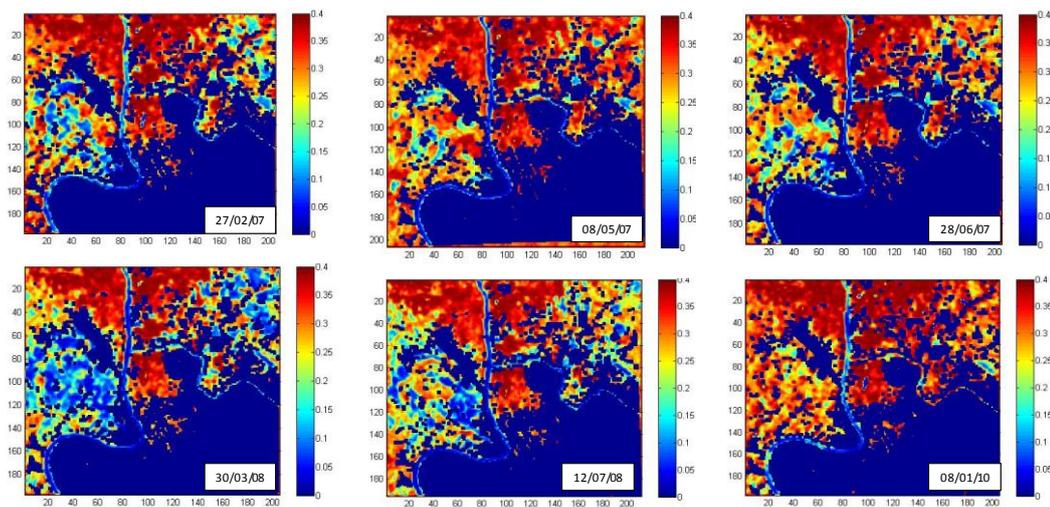


Figura 5.30. Mapas de constante dieléctrica del suelo estimada por el algoritmo (6 de las 8 imágenes analizadas, rugosidad 3-5).



- Máscara Bosque
- 0.0001-0.0500
- 0.05001-0.1000
- 0.10001-0.1500
- 0.15001-0.2000
- 0.20001-0.2500
- 0.25001-0.3000
- 0.30001-0.3500
- 0.35001-0.4000

Figura 5.31. Mapas de humedad de suelo estimada desde imágenes ALOS Palsar para el área de estudio, adquiridas para el periodo 2007 a 2010

Búsqueda, adquisición y georreferencia de imágenes AMSRE

A causa de la necesidad de una comparación cruzada para los valores de humedad de suelo estimada, se compararon con imágenes AMSRE de los días previos, durante y posterior a los días de adquisición de las imágenes ALOS. Dichas imágenes son consideradas para este estudio como indicadores de la humedad de suelo en el terreno (para mas información consultar apartado 5.2.2.1 sobre datos satelitales).

Comparación de humedad de suelo obtenida con AMSRE

Con el objetivo de evaluar la performance general del algoritmo para la estimación de la humedad de suelo en el área de estudio, se comparo el valor medio para la humedad de suelo registrada por el sensor AMSRE para cada imagen sobre el área de estudio, con el valor medio de la humedad de suelo resultado de la estimación del algoritmo.

Cada imagen fue geolocalizada usando el procedimiento en ENVI, obtenido del National Snow and Ice Data Center (NSIDC), Colorado University. Las imágenes AMSRE fueron obtenidas del USGS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Resultados

Los valores promedio de humedad obtenidos de imágenes AMSRE mostraron correspondencia temporal con los patrones de lluvia observados durante el periodo de adquisición de las imágenes ALOS (Figura 5.32).

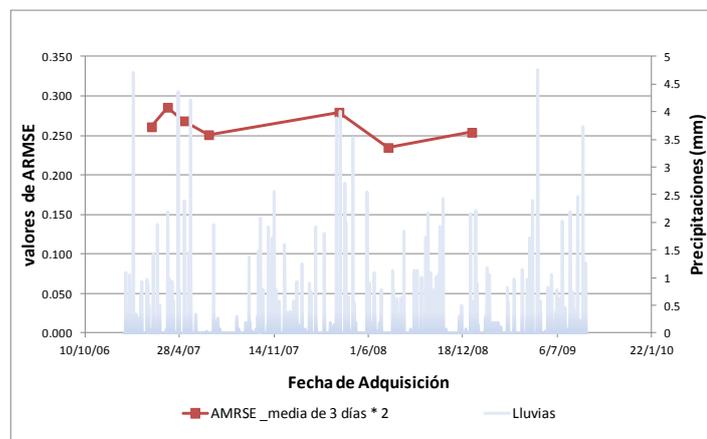


Figura 5.32. Precipitaciones diarias registradas durante el período de 2006 a 2010 (en azul), junta al valor medio de humedad de suelo obtenido de las imágenes AMSRE para el área de estudio

Durante la estimación de los valores de humedad de suelo para cada imagen ALOS, los resultados obtenidos con valores de rugosidad entre 3-5, mostraron un patrón similar a al observados con los valores medios de humedad obtenidos de las imágenes AMSRE durante el periodo de adquisición (Figura 5.33).

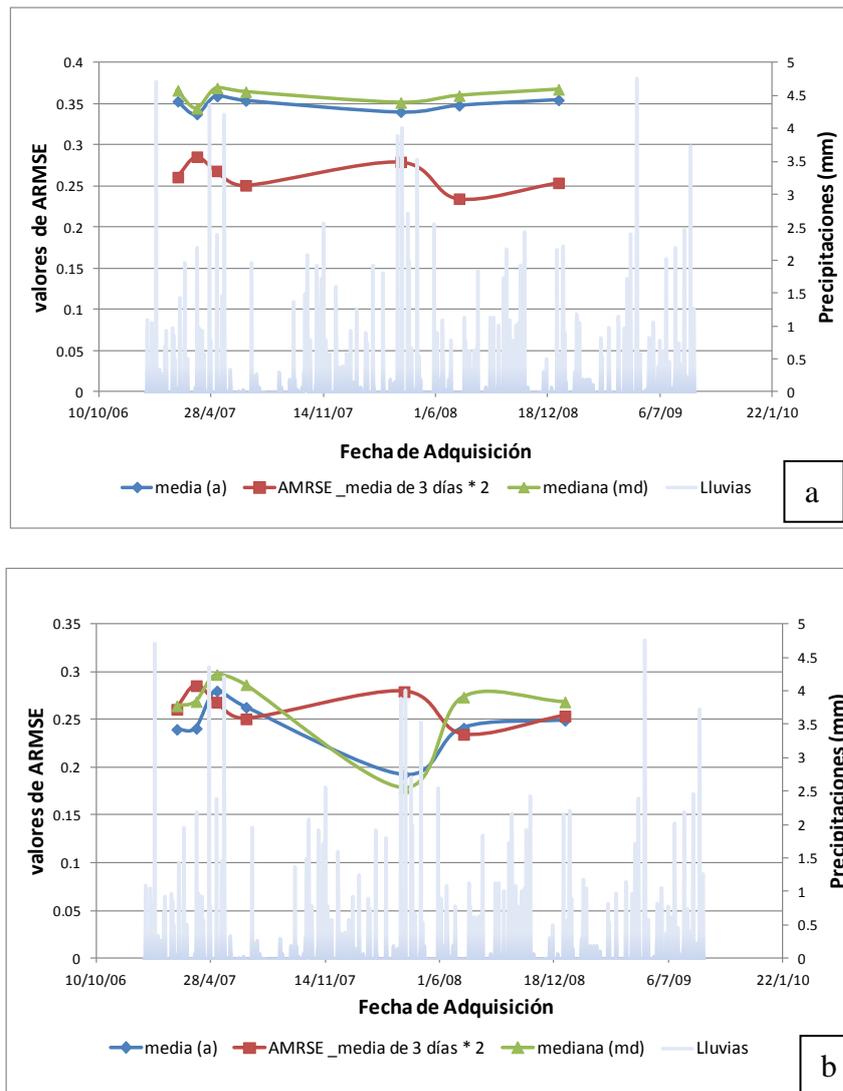


Figura 5.33. Humedad de suelo simulada (media y mediana) vs. valores medios de humedad obtenidos de imágenes *AMSRE* agrupados cada 3 días y precipitación diaria (a) rugosidad de 1-3 y b) rugosidad de 3-5). Las áreas boscosas fueron enmascaradas.

5.3.7 Aplicación del índice de humedad topográfico (topography wetness index (TWI)), para la estimación de humedad potencial de suelo

Los sitios de cría de *Anopheles* pueden ser sitios donde el agua se acumula, dando lugar a charcos por un periodo de tiempo suficiente para el desarrollo de estadios larvales y la emergencia de adultos (Minakawa *et al.*, 2005). Pequeños cuerpos de agua temporarios y grandes permanentes son mas probables de encontrar en regiones bajas y relativamente llanas (Carter *et al.*, 2000). Tales áreas pueden ser identificadas usando técnicas hidrológicas que modelan como seria el movimiento del agua a lo largo de una superficie determinada (Sorensen *et al.*, 2005). Mushinzimana *et al.* (2006) usaron este tipo de aproximación para demostrar la asociación entre las predicciones de humedad de suelo y hábitats para el desarrollo larval en una región del oeste de Kenya de aproximadamente 30 km (pero de cientos de metros de pendiente). Primero, esta metodología permite la identificación de regiones de alto riesgo en una comunidad con recursos limitados para el control del vector, optimizando las intervenciones, produciendo el máximo efecto (Carter *et al.*, 2000, figura 5.34). Segundo, tal heterogeneidad espacial en el riesgo implica que las relaciones observadas entre factor de riesgo espacial y la transmisión del patógeno puede ser confundida, al

menos que se modele la línea de base para el riesgo que varía con la topografía a nivel local (e.g., la variabilidad espacial del riesgo dificulta la investigación de otras características de interés).

Por ejemplo, la asociación observada entre el riesgo de la malaria y un factor de protección del hogar real se puede atenuar (o, en casos extremos, parecer estar en la dirección opuesta) en caso de que el factor familiar es más frecuente en una región de la comunidad en la que las variaciones de paisaje resultan en una exposición inicial mayor a los mosquitos potencialmente infecciosos, y por lo tanto en un riesgo de malaria mayor, que en otros lugares.

En consecuencia, la relación entre la malaria y el índice de humedad topográfico (TWI), una medida aproximada de la acumulación de agua prevista, serán evaluados en el área de estudio. El TWI se calcula como el cociente entre el área ladera arriba desde cualquier punto dado en el paisaje de la vertiente local en ese momento, y por lo tanto representa la cantidad de agua que debe entrar en una determinada unidad espacial dividida por la velocidad a la que el agua debe fluir de esa unidad.

El TWI es una medida atractiva de la forma de la tierra, ya que proporciona una descripción simple, biológicamente significativa, de cómo la topografía puede afectar el riesgo de la malaria a través de la aptitud de un sitio para la potencial reproducción de mosquitos. Este índice puede ser útil en la identificación de zonas dentro de las comunidades en situación de riesgo de transmisión más alta o en el control de riesgo en una localidad determinada, lo que produce estimaciones menos sesgadas de riesgo a nivel de viviendas.

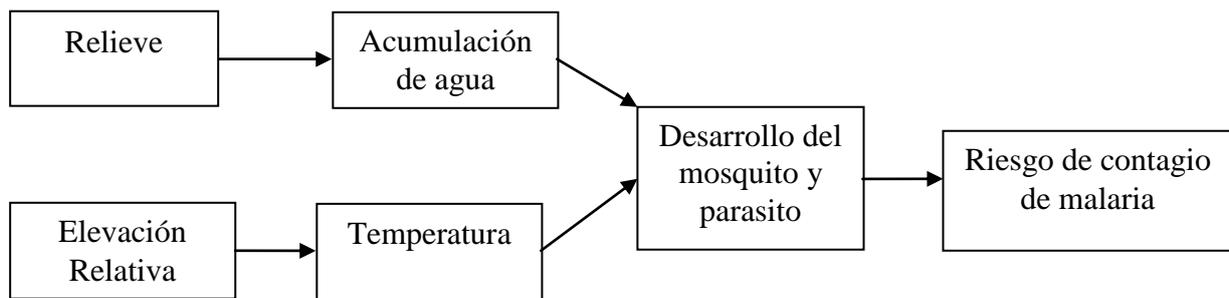


Figura 5.34. Relación teórica entre la elevación relativa, la forma del terreno y el riesgo de malaria. (Extraído de Cohen *et al.*, 2008).

Resultados

La imagen resultante de la aplicación de ArcGis 9.3 para la obtención del índice TWI, distingue lagos y ríos en la región (Figura 5.39 a), mientras que en el área de estudio es posible distinguir áreas con algunos valores diferentes de TWI, donde el agua siempre fluye (en rojo) y otras áreas con alguna posibilidad de registrar cuerpos de agua temporales y ríos (Figura 5.35).

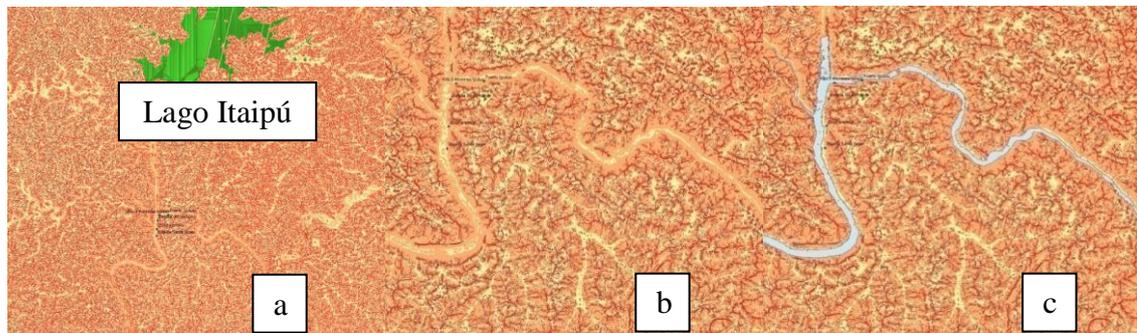


Figura 5.35. Imagen resultado de la aplicación del índice TWI index para la región (a) y el área de estudio (b y c). En rojo TWI=0, áreas claras=áreas de posible escurrimiento y canales o ríos, en verde: Lago Itaipú. En c se observa la correspondencia con el vector obtenido del procedimiento de identificación de cuerpos de agua.

5.4 Modelo espacial de malaria

Con la información obtenida mediante los procedimientos descriptos anteriormente, se integraron dos modelos teóricos. El primero es un modelo de hábitat potencial para el vector, útil para la predicción del área probable de distribución de los mosquitos adultos. El segundo modelo identifica las áreas de riesgo potencial a ser infectado por mosquitos, dentro de la ciudad de Puerto Iguazú.

5.4.1 Modelado de hábitat del vector

Basándose en la identificación de los principales cuerpos de agua, la clasificación de las coberturas de suelo y la información sobre la dispersión potencial de las hembras de *Anopheles*, se construyó un modelo para la predicción de los potenciales hábitats del vector.

El modelo asume que los sitios de cría son cuerpos de agua; que el sitio de encuentro entre machos y hembras es la selva y que la dispersión máxima de las hembras es de 1000 metros alrededor del cuerpo de agua (sitios de cría).

Se asume como la fuente más importante de adultos a los cuerpos de agua constantes, tales como los ríos. Tales supuestos se basan en antecedentes registrados para especies vectores de malaria donde se registraron valores similares de dispersión (Gillies, 1961).

Este modelo asume la presencia de sitios de cría dentro de áreas forestadas, las cuales no pueden ser identificadas mediante el uso de imágenes ópticas ni por imágenes ALOS Palsar (en modo WB1, resolución espacial de 100 metros) o porque son cuerpos de agua temporales. La presencia de estos sitios es supuesta en las tierras mas bajas, identificadas mediante el índice TWI.

Datos de muestreo de ovitrampas

Con el fin de verificar los sitios de cría de anofelinos, se utilizo la información suministrada por tesinistas del grupo de trabajo del Dr. Walter Almirón, UNC. Se tomo como sitio de cría positivo aquellas locaciones donde se observaran larvas de mosquitos pertenecientes al género.

Áreas de inundación potencial

Clasificación de tierras según su humedad de suelo y permanencia de la humedad

Para la estimación de clases de humedad de suelo, se siguió el siguiente procedimiento (Figura 5.36):

1. Compilación de las imágenes del periodo de estudio
2. Cálculo del coeficiente de variancia y valor medio de la humedad de suelo
3. Discriminación en clases basada en el valor medio de la humedad de suelo y la permanencia (dado por el coeficiente de variancia).
4. Mapa de clasificación de tipos de humedad de suelo.

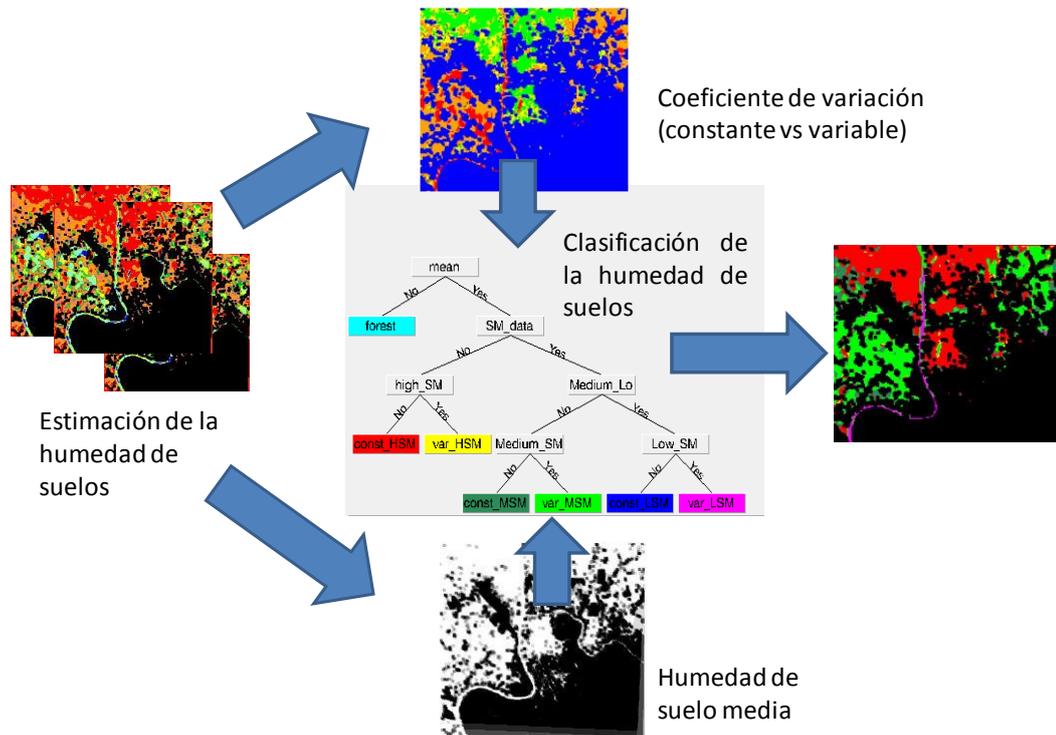


Figura 5.36. Procedimiento para la estimación de clases suelo según su humedad, basándose en el coeficiente de variancia y la media de la humedad de suelo para el periodo bajo estudio.

Las categorías con humedad de suelo alta y constante fueron incluidas con las tierras más bajas identificadas con el índice TWI en un modelo de áreas más probables de inundación (Figura 5.38). Sitios con humedad de suelo alta y poca variación podrían acumular agua durante episodios de lluvia fuerte y dar lugar a potenciales sitios de cría.

En los mapas de humedad, las áreas urbanas fueron enmascaradas. Las áreas excluidas de la máscara podían ser consideradas como sitios de probable inundación (Figura 5.37 y 5.39). Estas áreas fueron incluidas en el modelo de riesgo.

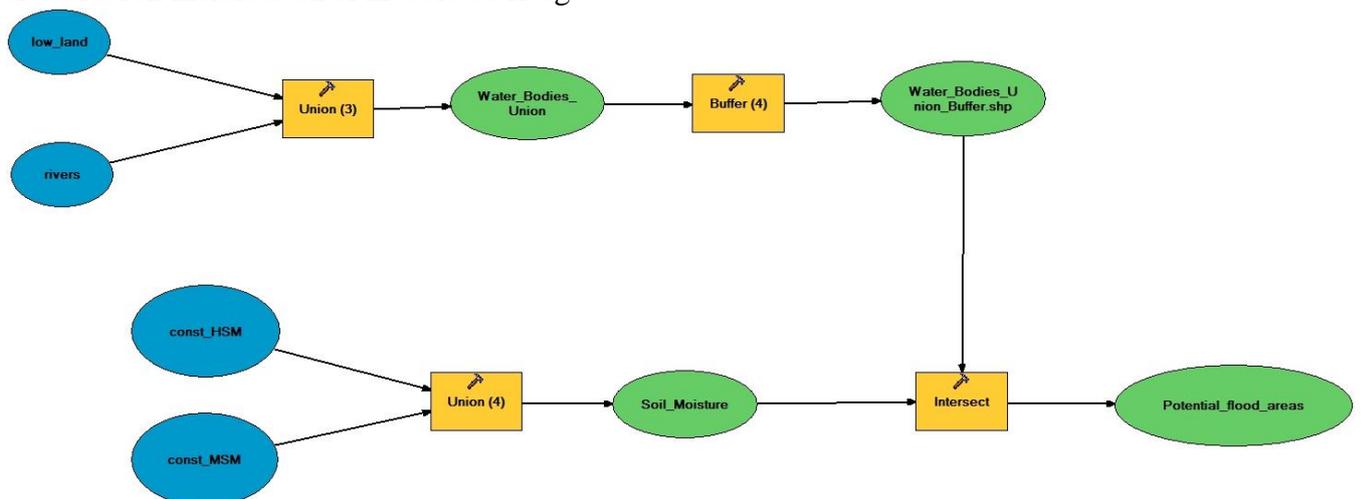


Figura 5.37. Diagrama de flujo para la estimación de áreas bajo posible riesgo de inundación durante lluvias extremas.

5.4.2 Modelo de riesgo de exposición al vector

Se propone un modelo básico de riesgo, asumiendo la misma distribución y vulnerabilidad de la población habitante de Puerto Iguazú.

Se obtuvieron tres áreas de riesgo, basándose en la superposición de los usos de suelo más relacionados con el ciclo de vida del vector. Se clasificaron como áreas de alto riesgo los sitios

donde se observaron la superposición de bosques, asentamientos urbanos y el área de dispersión de las hembras adultas. Estas condiciones se suponen las ideales para el establecimiento de poblaciones de mosquitos, oviponiendo y criando en ríos, reproduciéndose en la selva y tomando sangre de los humanos, para la ovipostura de huevos en los cuerpos de agua. Tales escenarios fueron observados por Dantur Juri *et al.*, (2005, 2009) para la región del NOA.

Se reconocieron como áreas de riesgo medio aquellas donde es posible encontrar la intersección entre el área buffer de los bosques (área de dispersión de adultos desde la selva) y asentamientos humanos, pudiendo ir los mosquitos infectados desde el bosque a la ciudad para alimentarse. Se asume que las densidades de adultos atacando a humanos será menor que en las áreas de mayor riesgo, donde la población estará expuesta a hembras provenientes del río y la selva al mismo tiempo.

En la última área, la de mas bajo riesgo, las tierras clasificadas como agrícolas, caracterizadas por el continuo disturbio debido a practicas agrícolas y aplicación de insecticidas, se establece un área de influencia de 50 metros a su alrededor (Fig. 5.38).



Figura 5.38. Cuadro de flujo para la construcción de mapas de riesgo de malaria en Puerto Iguazú, Argentina.

5.4.2.1 Aplicación del modelo espacial de riesgo

Resultados

La aplicación del modelo de hábitat, registra un área potencial a ser afectada por el vector en cercanías de los principales ríos y otros cuerpos de agua de aproximadamente 1792,220 km². Se observó que al menos 9 estaciones de muestreo de larvas registraron la presencia de anofelinos dentro del límite establecido por el modelo de hábitat teórico y en su mayoría se encontraron en cercanías de tierras clasificadas como bajas, mediante el uso del TWI (Figura 5.39).

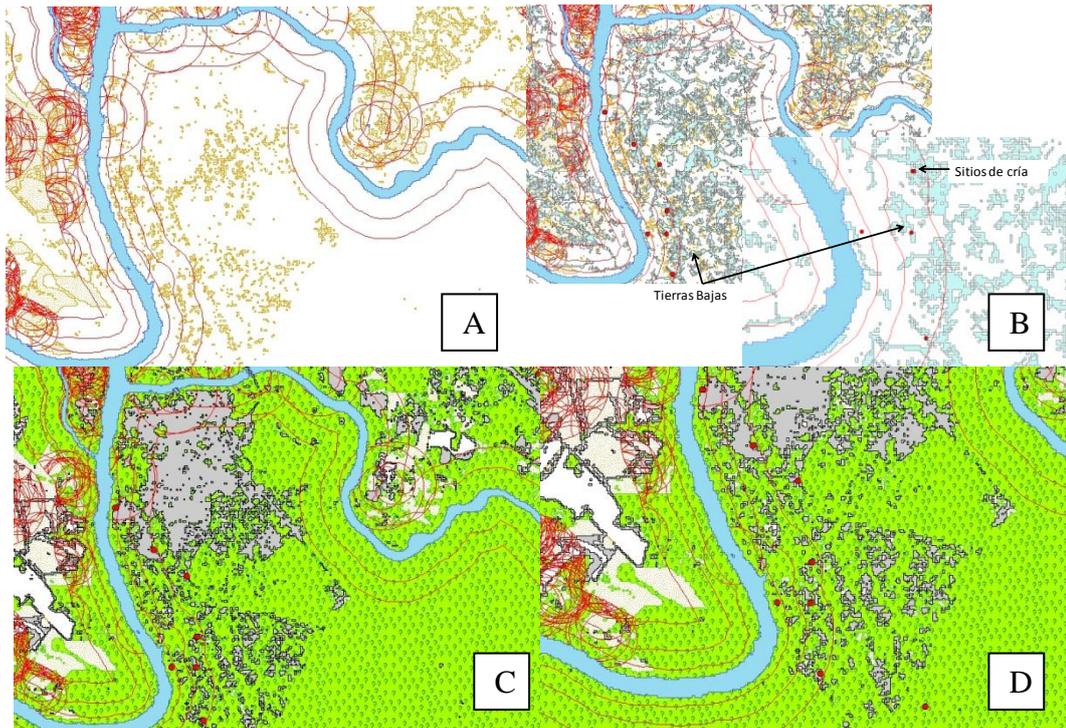


Figura 5.39. Aplicación del modelo especial de hábitat del vector. A) Área de dispersión desde ríos. B) Área de dispersión con la distribución de tierras más bajas (celeste claro). C) Área de dispersión, bosques (verde), asentamientos urbanos (gris) y puntos de muestreo del vector (puntos rojos). D) Zoom a C

El uso de imágenes SAR para la estimación de sitios de humedad de suelo alta y constante, según descrito en la figura 5.36 y 5.37, dio lugar a sitios de potencial inundación dentro de la ciudad de Puerto Iguazú (5.40). Dichos sitios se obtuvieron luego del enmascaramiento de los valores de humedad obtenidos dentro de la cobertura clasificada como asentamiento humano. Los valores en rojo son los sitios probables de ser inundados con fuertes lluvias.

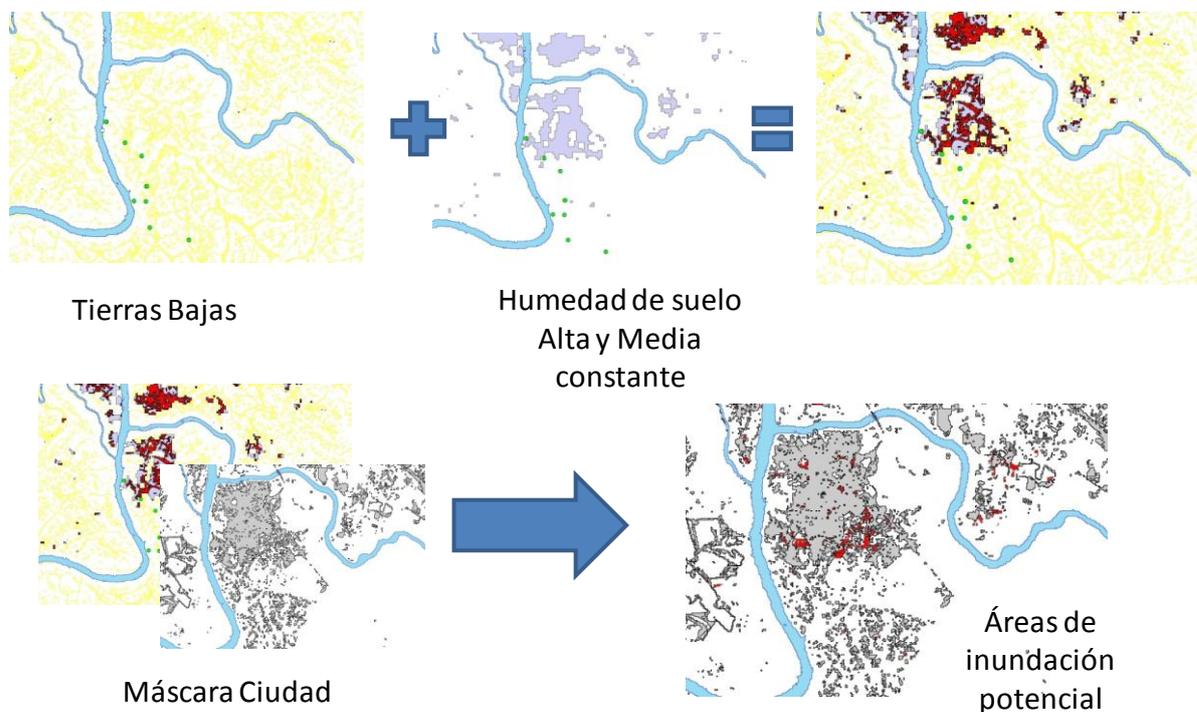


Figura 5.40. Diagrama de construcción de la estimación de áreas bajo posible riesgo de inundación durante lluvias extremas. Las áreas de probable inundación están en rojo.

La aplicación del modelo de riesgo descrito en la figura 5.36 dio lugar a las áreas de riesgo potencial descritas en la figura 5.41, encontrándose en su mayoría área de mayor riesgo en áreas pobladas vecinas a los ríos y rodeadas de selva. El centro de la ciudad mostraría un nivel de riesgo medio, en tanto que las áreas agrícolas presentarían un riesgo bajo por su lejanía a los cuerpos de agua en su mayoría.

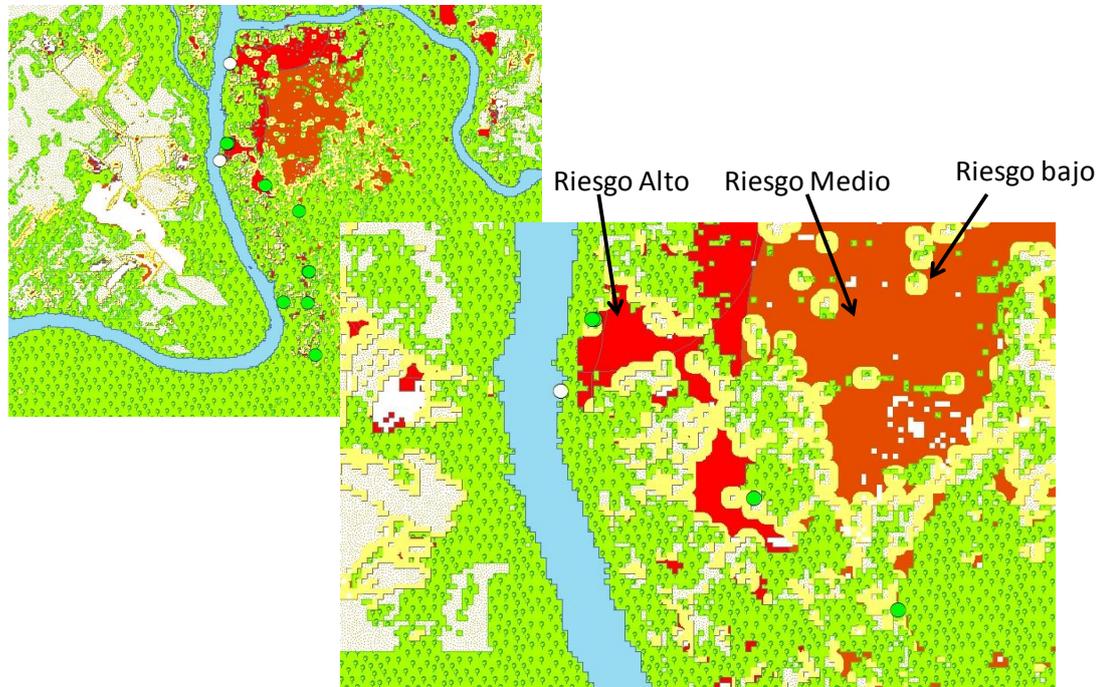


Figura 5.41. Áreas de riesgo potencial predichas por el modelo para el área de Puerto Iguazú. Los puntos verdes corresponden a las estaciones de muestreo con larvas de anofelinos.

5.5 Consideraciones Finales

En el análisis de la cobertura del terreno, los bosques resultaron ser la clase mas frecuente registrada en ambos años. Se observo una expansión de los asentamientos urbanos hacia el sur, sobre las áreas anteriormente cubiertas por bosques (5.3 y 5.4). Esta expansión es coincidente con el incremento del área dedicada a turismo en la zona de Puerto Iguazú luego del año 2000 (Ministerio de Salud de la Nación, 2007)

En el periodo 1999-2007, los cambios más significativos en la región fueron observados para los usos agrícolas (áreas de uso agrícola y suelos desnudos). Esto es de esperarse como consecuencia de la dinámica de los sistemas agrícolas, con cambios en los cultivos y tipos de practicas (Tabla 5.6).

Por otro lado, en el área cercana a Puerto Iguazú, donde se registro el brote de malaria, el análisis muestra un cambio evidente en la extensión de los asentamientos urbanos como resultado del crecimiento de Puerto Iguazú hacia el sur, reemplazando áreas forestadas (Figura 5.5 y 5.6) .

Los bosques registraron un reemplazo por asentamientos urbanos cercano al 4% (Tabla 5.4). El análisis de la interfase bosque-urbano, mostró un aumento en su frontera cercano al 32%, con un incremento neto en su extensión de más de 18 kilómetros entre 1999 y 2007.

La comparación desde 1999 a 2007, muestra diferencias en el área urbana bajo influencia del mosquito proveniente de ríos y áreas boscosas. La expansión de Iguazú hacia el sur, resulto para 2007, año del brote epidémico, en un incremento en la población potencialmente expuesta al vector cerca de ríos cercanos y selva.

El análisis de la distancia Euclidiana desde el bosque a la ciudad, muestra un incremento en el área urbana expuesta al movimiento potencial del mosquito desde los bordes del bosque hacia dentro de la ciudad, incrementando el área de interacción potencial entre humanos y el vector.

Las condiciones climáticas durante el período de registro de casos de malaria, mostró temperaturas medias óptimas para el desarrollo del vector, entre 25 y 30°C, con las lluvias más altas para la estación. Dichas condiciones coinciden con lo observado en los demás brotes epidémicos observados en otras localidades relevadas y descriptas en el capítulo 4 de la presente tesis.

En resumen, se han observado cambios significativos en el patrón de uso de la tierra en el área de Puerto Iguazú en el período 1999 a 2007, incrementando el área de contacto entre asentamientos urbanos y bosques. Esta situación podría no ser la principal causa del aumento de los casos de malaria y del brote epidémico, pero prepararía el escenario para su ocurrencia.

La fusión de las imágenes SAR con Landsat TM, mejoraron la clasificación supervisada y la identificación de los usos de suelo, incrementando su precisión (Tabla 5.5). La misma fue mejorada mediante su uso conjunto con modelos de elevación digital en árboles de decisión.

El uso de algoritmos para la estimación de la humedad de suelos permitió la identificación de diferentes clases de suelo según su humedad, basándose en su permanencia y nivel de humedad. Esto muestra la posible aplicación para la predicción de áreas potencialmente inundables y nuevos sitios de cría para mosquitos, aunque su uso se encuentra limitado en áreas urbanas y bosques, ya que se generan valores de humedad alta por efecto de la rugosidad y heterogeneidad del terreno y su efecto sobre la retrodispersión del SAR.

A nivel regional, los valores de estimación de humedad de suelo obtenidos temporalmente fueron similares a la tendencia observada en las imágenes AMRSE durante el mismo período de adquisición de las imágenes ALOS Palsar. Esto muestra una evaluación preliminar de la precisión del método para la estimación de la humedad de suelo.

La identificación de usos de suelo, cuerpos de agua y características topográficas, acoplado al conocimiento biológico del vector, permite la construcción de un modelo de distribución de hábitats potenciales. La aplicación de este modelo en la distribución de asentamientos urbanos, permitiría la identificación de áreas bajo diferente riesgo de exposición al vector.

Este modelo puede considerarse como una aproximación preliminar a las áreas más probables de riesgo. La distribución homogénea de la población y la falta de identificación de las diferentes clases vulnerables son algunos de los supuestos que deben tenerse en cuenta para la interpretación de estos resultados. Son necesarios datos de campo con información de casos de la enfermedad para poder evaluar el desempeño del modelo, por lo cual, el presente trabajo se plantea como un procedimiento sugerido para la confección de mapas de riesgo y no como un producto de aplicación final.



Capítulo 6

Conclusiones finales

Si bien existen numerosos estudios acerca de la aparición de determinadas enfermedades, en la fase posterior a la ocurrencia un evento catastrófico, al presente no se registraron en la bibliografía trabajos recientes en los cuales se busquen patrones en la ocurrencia entre las diferentes patologías asociadas a inundaciones. La presente tesis presenta un enfoque novedoso en el análisis de las epidemias posteriores a desastres, mostrando metodologías que podrían ser de uso común para la evaluación de la incidencia de enfermedades.

Durante el desarrollo de este trabajo fue necesario el procesamiento de información meteorológica y epidemiológica, además del registro de eventos de inundaciones de base de datos sobre desastres. En virtud de ser indispensable la confluencia de dicho conjunto de datos, el análisis se ve limitado a un periodo de tiempo. El principal inconveniente fue la falta de información disponible en cuanto al número de casos por enfermedad y localidad, para periodos anteriores a 2005. En este sentido, los esfuerzos llevados a cabo por el Ministerio de Salud de la Nación, en el Área de Epidemiología, por digitalizar la información de casos por provincias y ordenarlos mediante un sistema de manejo de base de datos, como es el programa GECO marca un hito y abre la puerta a futuras investigaciones retrospectivas de las consecuencias de eventos de inundación relevados antes del 2005 y sus consecuencias a nivel epidemiológico.

Por otra parte, el registro de eventos de inundaciones y sus consecuencias en cuanto a número de afectados, víctimas y daños entre otros, también se encuentra limitado, con una última actualización por parte de la Red DesInventar para el año 2007. Este inventario se construyó por etapas desde 1996, en el marco de diversos proyectos. Se inició con el proyecto piloto de La Red Inventarios históricos de desastres en América Latina, para luego actualizarse para el periodo 1970-2004 en el proyecto de IAI-La Red Gestión de riesgos de desastres ENSO. Finalmente se actualizó hasta el año 2007, en el marco de la consultoría con el Proyecto PREDECAN – CAPRADE.

Por otra parte existe en la base de datos EM-DAT del CRED (Center for Reserch on the Epidemiology on Disasters), perteneciente a la Université Catholique de Louvain, Bruselas, Bélgica (www.emdat.be), datos referentes a desastres. En este sentido, fue en el marco del desarrollo de la presente tesis, que se firmó un convenio de colaboración entre el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich y el CRED para obtener información de desastres. Si bien la información provista permitió observar patrones de ocurrencia de desastres y la importancia de las inundaciones dentro de este contexto en Sudamérica, la base presenta la característica de que para que una inundación sea incluida en la base de desastres, debe de cumplir una serie de requisitos, tal como registrar al menos 1 muerto. En este sentido, no todos los eventos de inundación ocurridos presentan estas características, por lo que los datos provistos por el EMDAT subestiman el número de inundaciones en la región.

Aún existen vacíos críticos de información, acerca de cómo el sistema de atención de salud debe tratar los desastres. En general se carece de un proceso eficaz, institucionalizado a nivel nacional, de transferencia de conocimientos para la recopilación y difusión de las lecciones aprendidas de las respuestas de salud a los desastres, por parte de los investigadores, hacia a los asistentes de primera respuesta.

Se sugiere mejorar la base de datos disponibles en cuanto al registro de inundaciones, por parte de organismos del Estado, tales como Defensa Civil o el Instituto Nacional del Agua, para poder contar con un mayor volumen de información sobre el impacto de las inundaciones, relevando indicadores como los relevados por la red DesInventar. Por otra parte, es necesaria la disposición de equipos de salud y epidemiología para el seguimiento de los casos de enfermedades registrados luego del evento. En este sentido, la información de su localización geográfica, así como el grupo etario al que pertenece, condición socioeconómica y situación sanitaria en la fase posterior al inicio de la inundación, entre otras características, serán de extrema utilidad en la generación de antecedentes necesarios para el estudio de la epidemiología postdesastre en la región.

En el capítulo 1 se presenta como relevante la importancia de los eventos de inundación como desastres, tanto para la región de Sudamérica, como para Argentina en particular. Durante el

periodo 1900 a 2011, las inundaciones fueron el desastre natural más común en Latinoamérica, produciendo la mayor cantidad de personas muertas, siendo Colombia y Brasil los países más afectados. En este sentido, Argentina mostró un bajo porcentaje de muertos y afectados en relación al resto de la región. Argentina junto a Brasil, fueron de los países más perjudicados económicamente en el periodo 1900-2011. En el caso argentino, la mayor parte de la pérdida constituyo posiblemente pérdidas relacionadas con la agricultura. Dicha tendencia se mantuvo en la última década, a pesar de observarse una disminución en el número de eventos de inundación, manteniéndose como el desastre más común, con el mayor daño económico y la mayor cantidad de personas afectadas.

Las inundaciones generales e inespecíficas causaron la mayor cantidad de muertos, debido a su mayor frecuencia de eventos, en tanto que las rápidas mostraron un impacto más grande en cuanto a la mortalidad por evento. En virtud de esto se sugiere la necesidad de plantear planes de evacuación y de contingencia por localidad afectada, basado principalmente en acción ciudadana, debido a que la mayoría de los eventos de inundación se registran en áreas con infraestructura y equipamiento mínimos para la defensa civil. Este esquema ha mostrado resultados satisfactorios en poblaciones bajo riesgo en África (CRED 2010).

Aunque la tendencia en general marca una disminución en el número de eventos y número de afectados para la última década, no se observa una disminución en el daño económico ocasionado. Esto posiblemente se deba a que las mayores pérdidas registradas, se ocasionan por daños a campos agrícolas (pérdida de cosechas, áreas de pastoreo o áreas de siembra) en el caso de Argentina.

Debido a la importancia de las inundaciones como catástrofes y las consecuencias ocasionadas tanto a nivel económico, social y en particular sanitario, se hace de extrema importancia el poder entender los procesos, y condiciones en las cuales se generan epidemias que afectan la población sometida al desastre.

El origen de una inundación puede deberse principalmente a dos tipos de causas, por un lado por lluvias extremas caídas en forma local y otra por lluvias caídas en la cuenca y que dan lugar al posterior desborde de ríos. En este sentido, conocer la ocurrencia de los distintos tipos de enfermedades epidémicas por cada tipo de inundación, brinda una herramienta en la determinación de escenarios epidémicos posibles en los cuales deben desenvolverse los cuerpos de salud que asistan a los afectados en las semanas posteriores al desastre.

El presente estudio observo una dependencia de la ocurrencia de epidemias con respecto a la ocurrencia de eventos de inundación, con una mayor incidencia de epidemias para eventos de inundación provocadas por lluvias y desborde de ríos. Esto implica que aunque no necesariamente ocurrirá una epidemia luego de una inundación, si existe una alta probabilidad de registrar al menos un brote epidémico posterior al inicio de la emergencia. Esto es un justificativo mas para la implementación de programas sanitarios de vigilancia y alerta temprana que permitan el control de los eventos epidémicos en áreas más propensas a sufrir inundaciones, en particular las provocadas por lluvias y desborde de ríos,

En este sentido, la identificación de áreas de frecuente ocurrencia de brotes epidémicos, así como su asociación con diferentes enfermedades epidémicas, ayudaría al establecimiento y mejoramiento de los sistemas de alerta temprana, focalizados en dichas patologías, optimizando personal, tiempo y recursos. Un enfoque organizado para la recogida de datos en situaciones de desastre ayudaría a los administradores de desastres tomar decisiones cruciales y a predecir la variedad de opciones que durante las diferentes fases de un desastre (Ahern *et al*, 2005).

El número de episodios de inundaciones debidas lluvias y desbordes y la relación de brotes epidémicos registrados para este tipo de causa de inundaciones (numero de brotes epidémicos/numero de inundaciones) se mostraron superiores a las inundaciones provocadas solo por lluvias. En este sentido, la alteración más generalizada y mantenida en el tiempo, provocada por inundaciones por lluvias y desbordes, permitiría la incubación de un mayor número de enfermedades. Por otra parte, el mayor número de inundaciones debidas a lluvias y desbordes de

ríos, puede ser consecuencia de que la mayor parte de las inundaciones se registraron en las cuencas de ríos de llanura.

El número de brotes epidémicos registrados para inundaciones afectadas por epidemias, se mostró independiente del origen de la inundación, sin observarse diferencias según el tipo de mecanismo de transmisión de la enfermedad, ya sea agua, aire o vectores. Esto puede ser consecuencia de la baja frecuencia registrada por enfermedades discriminadas según mecanismo de transmisión y la sensibilidad del método estadístico empleado para el análisis. Se recomienda aumentar el registro de eventos de epidemias por inundación, para lo que es necesaria la implementación de monitoreos *ad hoc* para situaciones de emergencia ambiental, como se mencionara anteriormente.

Aunque el número de picos epidémicos mostró un aumento con el número de personas afectadas por los eventos de inundación provocados por lluvias y desbordes, en general no se encontraron relaciones inequívocas entre el número de brotes epidémicos observados por evento de inundación, la magnitud y duración de la inundación.

Esto se debe particularmente a que los registros de magnitud y duración no necesariamente se relacionan con las condiciones sanitarias presentes luego de la emergencia. Existe la posibilidad que ante inundaciones de gran magnitud y duración, las poblaciones presenten infraestructura o sistemas de gestión de la emergencia y asistencia sanitaria lo suficientemente eficientes para evitar la generación de epidemias. O por lo contrario, interrupciones de los servicios básicos en poblaciones vulnerables, podría resultar en un aumento inusual de casos de enfermedades de baja incidencia hasta ese momento. Por otra parte existe el inconveniente que implica la falta de información sistematizada sobre la incidencia de enfermedades en este tipo de condiciones. Poblaciones fuertemente afectadas por las inundaciones, donde se produzca el colapso de las estructuras sanitarias, podrían resultar en el movimiento de individuos enfermos hacia otros centros de atención en localidades vecinas. De esta forma se produciría una subestimación de los casos por falta de notificación.

El número de víctimas a consecuencia de la inundación no tuvo relación con el número de brotes por evento en ambos tipos de causas de inundación. Esto posiblemente fue debido a que la mayor parte de las víctimas durante un evento de inundación, se relacionan más con accidentes que provocan heridas, contusiones o golpes por movimiento de objetos en el agua, caída de paredes u ahogamiento. Por esta razón, el número de víctimas, muertos o no, no se espera tenga influencia directa en la ocurrencia de epidemias.

Por otra parte, el número de evacuados para las inundaciones provocadas por lluvias mostró una disminución del número total de epidemias con respecto al total de evacuados para cada evento. Esto se contrapone a lo comúnmente esperado, donde el mayor número de evacuados, lleva a la generación de núcleos poblacionales precarios, como campos de refugiados, donde las condiciones sanitarias son subóptimas y el potencial de contagio e infección entre individuos aumenta debido a la sobrepoblación. Por otra parte, debido a la falta de información sobre las condiciones posteriores a la evacuación, no es posible hacer afirmaciones válidas. Cabe la posibilidad que la evacuación no resultase en campo de refugiados, y que alejase a los pobladores de condiciones ambientales desfavorables, manteniendo el sistema de salud condiciones sanitarias básicas, evitando el contagio de enfermedades. Por otra parte, el bajo número de eventos que proveen de información para el análisis, podría no ser representativo del patrón general, resultando en una relación no inequívoca, estando sujeta a observación y crítica.

Las condiciones necesarias para la ocurrencia de un brote epidémico no solo depende de la magnitud y la duración del evento de inundación, sino que podrían intervenir otros factores socioeconómicos, sanitarios y ambientales en la ocurrencia de epidemias.

Las inundaciones son la causa más común de desastre natural y se estima que representan el 40% de todos los desastres naturales (French, *et al.*, 1989). Enfermedades transmitidas por el agua (fiebre tifoidea, cólera, leptospirosis y hepatitis A) y por vectores (malaria, fiebre amarilla, fiebre del Nilo Occidental, el dengue y la fiebre hemorrágica del dengue) son las enfermedades que

pueden ser transmitidos durante las inundaciones (WHO, pagina web), existiendo un mayor riesgo de infección cuando las personas tienen contacto directo con agua contaminada. A menudo, estas personas presentan diarreas, dermatitis, conjuntivitis, o una herida, el oído o infecciones de la garganta.

La baja frecuencia de epidemias de la mayoría de las enfermedades no permitió la aplicación de la tabla de contingencia para ver diferencias entre la ocurrencia de tipo de epidemias por tipo de inundación. El alacranismo y las parasitosis mostraron diferencias significativas entre causas de inundación, en tanto que las diarreas no mostraron diferencias. De esto se desprende la necesidad de contar con conjunto de datos más extenso y/o la aplicación de otra herramienta estadística, mas adecuada para el bajo numero muestral registrado por enfermedad.

Las diarreas, enfermedades toxoalimentarias y parasitosis intestinales fueron las que mostraron el mayor porcentaje de ocurrencia en eventos de inundación, con marcada diferencia en las inundaciones debidas a lluvias y desbordes. El mayor impacto que frecuentemente tienen las inundaciones de este tipo, debido a la extensión y período de permanencia de las aguas en el área afectada, alterando los sistemas de depuramiento de efluentes cloacales, pozos y letrinas y contaminando fuentes de agua potable y alimentos, podrían resultar en un mayor contacto de los agentes infecciosos transmitidos en los cuerpos de agua con la población afectada.

El resto de las enfermedades transmitidas por agua mostraron una baja frecuencia de brotes epidémicos en general, sin superar el 10% de los eventos de inundación observados. Las hepatitis mostraron baja incidencia para ambos tipos de inundación, sin observarse diferencias entre inundaciones.

Las enfermedades mediadas por vectores, mostraron una baja frecuencia por evento de inundación, mostrándose como más frecuentes las picaduras por alacranes y las mordeduras. La mayor frecuencia de dichas “patologías” podría ser consecuencia de un aumento en la frecuencia de contacto entre los pobladores y dichos artrópodos. Se ha observado una mayor incidencia de picaduras de artrópodos y otros animales tras los ciclones tropicales ((MMWR, 1986, 1996 & 2000; PHO, 1998). Los factores que pudieron contribuir en estos casos serian: 1) aumento de la exposición del medio ambiente debido a la evacuación forzosa o la destrucción de viviendas, 2) la transformación de los hábitats naturales de los artrópodos por la tormenta o después de los esfuerzos de limpieza en marcha, y 3) la suspensión temporal de las medidas de control de vectores en el período inmediatamente posterior a la tormenta.

La hantaviriosis y malaria se asociaron a lluvias y desbordes de ríos, probablemente por la mayor disrupción del hábitat provocado por las aguas, dando lugar a desplazamiento de roedores y generando cuerpos de agua temporarios que sirvieron de hábitat de cría para mosquitos vectores del paludismo. Bayard *et al.* (2000), observaron picos epidémicos en Panamá durante 1999, produciéndose los casos casi al mismo tiempo que un aumento en los roedores peri-domésticos, asociado con aumento de las precipitaciones e inundaciones en las zonas circundantes. Similar caso se observó para las inundaciones de Santa Fe durante 2007, resultando en brotes epidémicos de leptospirosis (Corallo *et al.*, 2010). Diversos autores han informado de transmisión de la malaria relacionada con las inundaciones en África (MMWR 1989; Woodruff *et al.*, 1990, McCarthy *et al.*, 1996; El-Sayed *et al.*, 2000, Kondo *et al.*, 2002), Asia (Nandi y Sharma, 2000; Sharma *et al.*, 1997; Mathur *et al.*, 1992) y América Latina. (Moreira Cedeño, 1986; Russac, 1986; Hederra, 1987; Sáenz *et al.*, 1995).

En el Capítulo 3 se observa un comportamiento diverso en la aparición de los brotes epidémicos con respecto a las lluvias, tanto entre eventos de inundación como entre enfermedades, aunque para la mayoría de las enfermedades, en especial las de transmisión no vectorial, la mayor probabilidad de ocurrir en su fase epidémica ocurrirá luego de seis semanas de registrarse los mayores promedios de lluvias en una semana. Periodos de más de 6 semanas probablemente no estén relacionados con los picos de precipitaciones relacionados con los eventos de inundación. De esta forma, podría establecerse que la mayoría de las enfermedades no vectoriales tienen periodo de aparición posterior a los eventos de lluvias extremas e inundación, de hasta 6 semanas.

Tanto diarreas como las parasitosis intestinales, registraron 2 grupos, con retrasos de 3 a 6 semanas y otro de 6 a 11 semanas. Las diarreas presentaron retrasos disímiles entre eventos, identificándose dos grupos, con retrasos de hasta 3 semanas (Santa Fe (2007) y Oran (2006)) y entre 8 y 7 semanas (Córdoba (2006) y S.M. de Tucumán (2007)).

La tuberculosis, parotiditis y enfermedades toxoalimentarias mostraron solo un retraso con respecto a las precipitaciones promedio semanales (1-4, 1 y 1-6 semanas respectivamente). Los brotes epidémicos para la tuberculosis fueron coincidentes con el tiempo de incubación, de 1 a 6 meses.

En cuanto a las enfermedades vectoriales, el paludismo y la leptospirosis fueron las que mostraron mayor coincidencia con los eventos de inundación, con un retraso de 4 a 6 semanas y 2 a 3 semanas respectivamente. Para las hantaviriosis se observó un retraso significativo para un evento, de 1 semana. Leishmaniasis y dengue mostraron variabilidad entre eventos, registrándose dos grupos, (2-6 y 6-10 semanas). Dicho patrón se podría deber posiblemente a ciclos diferentes de la enfermedad, pudiendo estar el primero, vinculado a los incrementos en las precipitaciones causantes de las inundaciones, mientras el segundo respondería a variaciones ambientales estacionales, con precipitaciones más tardías.

El análisis de las condiciones ambientales dentro de las 10 semanas posteriores al inicio de las inundaciones, muestra un predominio de las enfermedades de transmisión vectorial, a valores mayores a los 4,5 mm semanales promedio. A valores menores a 4,5 mm, se observó un predominio de las enfermedades de transmisión no vectorial. Por ejemplo, las epidemias de leishmaniasis, hantaviriosis y leptospirosis solo ocurrieron con precipitaciones mayores a los 4,5 mm, con máximas de 14 mm aproximadamente.

Este escenario muestra condiciones aptas para la proliferación de vectores como mosquitos vectores de dengue y malaria o flebótomos transmisores de leishmaniasis, los cuales presentan asociación con ambientes periselváticos.

Asimismo se observa valores de precipitación diferentes entre localidades, pero en la mayoría de los casos, el máximo valor de las precipitaciones acumuladas en una semana refleja periodos de fuertes precipitaciones para cada localidad.

Las precipitaciones máximas acumuladas semanales mostraron que a precipitaciones máximas semanales mayores a 180 mm existió un predominio de las enfermedades transmitidas por vectores, tales como malaria y leptospirosis.

Por otra parte, la caída de importantes precipitaciones en las localidades inundadas donde se observaron epidemias de leptospirosis y hantaviriosis, posiblemente dio lugar a la disrupción del hábitat de los roedores y su consecuente desplazamiento hacia áreas más seguras. La infección por leptospiras 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 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. Dichas áreas son las más frecuentemente afectadas durante episodios de inundaciones. Además, todos estos factores se ven agravados en condiciones climáticas adversas. 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°C 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. Las condiciones observadas en el presente estudio presentan un escenario propicio para la proliferación leptospiras y la modificación del comportamiento de las poblaciones de roedores. El período de incubación de 1 a 2 semanas coincide con los valores de correlación cruzada de los casos con las precipitaciones promedio semanales (2 a 3 semanas).

En general las áreas mostraron vegetación vigorosa, reflejada en valores de NDVIM altos a medios. Las temperaturas mínimas estuvieron sobre los 14°C, las máximas con valores menores a 36°C y medias cercanas a los 24°C. Las enfermedades transmitidas por mosquitos necesitaron al menos 14°C para su transmisión, registrándose la mayoría entre los 16°C y 20°C.

La mayoría de las enfermedades se registraron en un rango de temperaturas medias promedio para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación, entre 17°C y 24 °C. La mayor parte de las enfermedades transmitidas por vectores se observaron entre los 23°C y 28°C de máxima semanal. La malaria se observa con temperaturas máximas entre 21°C y 28°C, mientras que el dengue y las hantaviriosis entre 23°C y 28°C. Con temperaturas máximas superiores a 32°C grados solo se observaron enfermedades transmitidas por agua en forma no vectorial como enfermedades toxoalimentarias y diarreas. Las diarreas se observaron en todas las temperaturas máximas. Esto es coincidente con el umbral superior de desarrollo térmico para la mayor parte de los insectos, sobre el cual se limita el desarrollo de los estadios de larvales de los vectores-

Finalmente, se observó que los mayores números de epidemias se registraron en condiciones de temperaturas altas sostenidas, condiciones de vegetación vigorosa, valores de lluvias acumuladas altos y picos de lluvias entre 10 y 180 mm. Además se presentó variaciones térmicas promedio para las 10 semanas posteriores al inicio de la inundación, entre 16°C de mínima y 28°C de máxima, medias entre 20°C y 24°C, precipitaciones acumuladas totales superiores a 180 mm y vegetación vigorosa con NDVIM entre 0.5 y 0.6

El análisis descriptivo de la dinámica de casos de las enfermedades con respecto a condiciones ambientales, motivo la búsqueda de patrones generales que pudieran ser revelados mediante el uso de herramientas estadísticas adecuadas, tales como los modelos lineales generalizados mixtos. De esta forma en el Capítulo 4, el análisis de las variables ambientales mediante regresión mostró un efecto conjunto de los factores ambientales en la dinámica de los casos en la mayoría de las enfermedades analizadas.

Si bien todas tuvieron efectos significativos, las lluvias registradas en forma semanal (tanto acumuladas como promedio) y las temperaturas medias semanales mostraron mayor peso explicativo para el conjunto de las enfermedades analizadas.

La inferencia derivada de los modelos estadísticos ajustados y seleccionados se encuentra limitada por el set de datos con el cual fueron ajustados. La falta de información epidemiológica disponible en referencia a años posteriores a 2005 y el déficit en el relevamiento de las consecuencias de las inundaciones en Argentina desde el año 2007, último registro observado en la red DesInventar. Se plantea como necesidad para un mejor ajuste de los modelos, así como para su validación, contar con un set de datos epidemiológicos y de emergencias que cubran ese vacío.

Estos modelos no se pretende sirvan para la toma de decisiones, sino más bien como una evaluación de las variables relevantes en la emergencia sanitaria postinundación. Dichas variables podrían ser consideradas en la formulación de modelos predictivos mecanísticos con mayor poder de inferencia para otros casos de emergencias por inundación. El uso de variables bioclimáticas para la caracterización de escenarios y localidades relacionadas con la ocurrencia de enfermedades es un enfoque usado por numerosos autores. Tourre *et al* (2008) mostraron como la variabilidad climática y ambiental afecta las tasas de incidencia de enfermedades transmitidas por vectores y zoonosis, asociándose posiblemente con epidemias para la región sur de Sudamérica.

El presente estudio muestra en los capítulos desarrollados, la influencia de variables climáticas como precipitaciones y temperaturas, además de la vegetación, sobre las condiciones propicias para la ocurrencia de epidemias tales como malaria, dengue o parasitosis.

Por otra parte, además de las condiciones ambientales posteriores al evento de inundación, es necesario tomar en cuenta las condiciones del paisaje donde ocurre el mismo, en la etapa preevento, con el fin de asegurar una gestión eficaz de la emergencia. La distribución de los cuerpos de agua y las coberturas del terreno, en especial para enfermedades transmitidas por vectores, como por ejemplo el paludismo. En el caso de esta enfermedad, la determinación de la cercanía a los cuerpos de agua y áreas selváticas es un factor determinante en la exposición al vector. La historia de la variación en las coberturas, en especial el reemplazo de bosques por áreas urbanas, podrían tener importancia en la ocurrencia de brotes, debido a la mayor exposición de la población a vectores (Salomón *et al.*, 2004; Dantur Juri *et al.*, 2009).

En este trabajo se observaron localidades con más de un evento de inundación y también, con más de un evento epidémico en el periodo estudiado. En sitios con mayor frecuencia y/o probabilidad de inundación se recomienda un relevamiento y mapeo más, con el fin de disponer información sobre las coberturas del terreno y cuerpos de agua. También sería útil disponer de modelos de escurrimiento basados en modelos de elevación digital, con el fin de determinar áreas potencialmente inundables, donde pudieran darse cuerpos de agua temporales y potenciales sitios de cría de vectores, o de identificación de sitios elevados de mayor riesgo de contacto humano vector, en el caso de roedores. El presente trabajo muestra en el Capítulo 5, algunos de los pasos necesarios para la confección de mapas de distribución de hábitats de vectores y conceptos útiles para la confección de mapas de riesgo, los cuales serán necesarios validar con información a campo.

Los cambios observados en la cobertura de la selva y el aumento de exposición de la población al vector, medido en forma de indirecta mediante la estimación de la interfase selva-asentamiento urbano, marcan un escenario de mayor susceptibilidad, que podría haber facilitado el surgimiento del evento epidémico del 2007.

El uso de imágenes SAR y Landsat TM fusionadas, mejoraron la clasificación supervisada y la identificación de los usos de suelo, y conjuntamente con modelos de elevación digital en árboles de decisión, permitieron un reconocimiento más preciso de los cuerpos de agua en el área. Las imágenes SAR, conjuntamente con algoritmos de estimación de humedad de suelo mostraron su utilidad en la determinación de áreas potencialmente inundables y nuevos sitios de cría para mosquitos.

La identificación de usos de suelo, cuerpos de agua y características topográficas, acoplado al conocimiento biológico del vector, permitió la construcción de un modelo de distribución de hábitats potenciales. La aplicación de este modelo en la distribución de asentamientos urbanos, permitiría la identificación de áreas bajo diferente riesgo de exposición al vector.

Este modelo puede considerarse como una aproximación preliminar a las áreas más probables de riesgo. La distribución homogénea de la población y la falta de identificación de las diferentes clases vulnerables son algunos de los supuestos que deben tenerse en cuenta para la interpretación de estos resultados.

Determinar las potenciales áreas donde se producirían las infecciones, permitiría en caso de producirse eventos extremos de inundación y registrarse condiciones similares a las observadas, poder gestionar los recursos a nivel espacial, dentro de cada localidad.

También sería útil para el ordenamiento territorial de municipios afectados frecuentemente por determinadas enfermedades, evitando asentamientos en áreas de alto riesgo epidemiológico. Este tipo de cartografía o análisis es necesario como elementos de base, para la toma de decisiones de cualquier tipo de emergencia. Ordenamiento de este tipo se observaban en la antigüedad, estableciéndose asentamientos en lugares alejados de bosque o potenciales hábitats de vectores (Barnes, 2005).

El presente trabajo de tesis presenta una primera aproximación en el reconocimiento de las condiciones ambientales imperantes durante periodos posteriores a las inundaciones en nuestro país relacionados con brotes epidémicos, abriendo la puerta a nuevos estudios epidemiológicos de tipo retrospectivo, que permitan generar modelos predictivos de utilidad en la gestión de la fase posterior a la emergencia por inundaciones.

Se propone como futuras líneas de trabajo, la actualización y ampliación de la base de datos epidemiológicos cargados en el programa GECCO, a fechas posteriores al 2005. Dicha base de datos deberá ser cruzada con información de eventos de inundación (emergencias o no) contemporánea, con el fin de identificar picos epidémicos.

Por otra parte es necesario contar con información detallada de efecto a nivel de pérdidas, afectados y demás indicadores del efecto de las inundaciones. Este mayor volumen de información posiblemente permita discernir con más precisión el efecto de los factores ambientales, mediante modelos estadísticos.



Otra línea de trabajo futura es el desarrollo de modelos de hábitat para vectores en las localidades donde se observe recurrencia de las inundaciones, tal como se han los desarrollados para dengue, leptospirosis o malaria por CONAE. Dichos modelos de hábitats deberían considerar varios escenarios, dependiendo del nivel de severidad de la inundación, a fin de proveer herramientas que faciliten el monitoreo epidemiológico de la emergencia. Asimismo deberán estar apoyadas por información de terreno sobre distribución de la población susceptible a ser afectada, de acuerdo a su estado sanitario o socioeconómico. En este sentido, es de vital importancia contar con personal dedicado a tal tarea por parte de los cuerpos de salud, con el fin de contar con información geográfica de los casos, que permitan validar dichos modelos y retroalimentar su ajuste.



Bibliografía

- Ahern M., R.S. Kovats, P. Wilkinson, R. Few, and F. Matthies. 2005. Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev* 2005; 27:36–46.
- Albala-Bertrand, J.M., 1993. *Political Economy of Large Natural Disasters: With Special Reference to Developing Countries*. Oxford Univ. Press, London 259 pp.
- Alexander, D., 1993. *Natural Disasters*. UCL Press and Chapman & Hall, New York, 632 pp.
- Armenian HK, Noji EK, Oganessian AP. 1992. Case control study of injuries due to the earthquake in Soviet Armenia. *Bull World Health Organ* 1992; 70:251–7.
- Barkun, N., 1974. *Disaster and the Millenium*. Yale Univ. Press, New Haven.
- Beck, L. R., M. H. Rodriguez, S. W. Dister, A. D. Rodriguez, R. K. Washino, D. R. Roberts, and M. A. Spanner. 1997. Assessment of a remote sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 56: 99-106.
- Biswas, R., Pal, D., & Mukhopadhyay, S.P. 1999. A community based study on health impact of flood in a vulnerable district of West Bengal. *Indian J Public Health*, 43, 89-90.
- Bortman, M. 1999. Elaboración de corredores o canales endémicos mediante planillas de cálculo. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health* 5(1), 1999.
- Bronstert, A. 2003. Floods and Climate Change: Interactions and Impacts. *Risk Analysis*, 23, 545-557.
- Burnham, K. P. & D.R. Anderson. 2000. *Model selection and multimodel inference. A practical Information-Theoretic Approach*. 2nd Edition. Springer-Verlag, New York, 359 pp. Cairncross, S. & Feachem, R. 1993. *Environmental health engineering in the tropics: An introductory text*, 2nd edn. J. Wiley, Chichester.
- Carter R, Mendis C, Roberts DR. 2000. Spatial targeting of interventions against malaria. *Bull World Health Organ* 2000, 78:1401-1411.
- Checkley, W., L D Epstein, R H Gilman, D Figueroa, R I Cama, J A Patz, R E Black. 2000. Effect of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children. *Lancet* 355, 442–450 (2000).
- Choudhury, I., Chakraborty, M. 2006: SAR signature investigation of rice crop using RADARSAT data. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 519-534.
- Cohen, J.M. , K. C. Ernst, K.A. Lindblade, J.M .Vulule, C. C. John and M. L. Wilson. 2008. Topography-derived wetness indices are associated with household-level malaria risk in two communities in the western Kenyan highlands. *Malaria Journal* 2008, 7:40.
- Corallo L., Balparda L., Porcasi X. & Lamfri M. 2010. 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. XIV Simposio Internacional SELPER, 8 al 12 de noviembre de 2010, Guanajuato, México.



- Curto S.I, Carbajo, A.E. & R. Boffi. 2003. Contribuciones Científicas, GAEA, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 2003: 193-206.
- Dantur Juri MJ, Zaidenberg M, Almirón WR. 2005. Distribución espacial de *Anopheles (Anopheles) pseudopunctipennis* (Diptera: Culicidae) en un área palúdica de las Yungas de Salta, Argentina. *Rev Saúde Pública* 2005, 39:565-570.
- Dantur Juri, M. J; M. Zaidenberg, G. L Claps, M. Santana and W. R Almirón. 2009. Malaria transmission in two localities in north-western Argentina. *Malaria Journal*, 8:18
- Diuk-Wasser MA, Dolo G, Bagayoko M, Sogoba N, Toure MB, Moghaddam M, Manoukis N, Rian S, Traore SF, Taylor CE, 2006. Patterns of irrigated rice growth and malaria vector breeding in Mali using multi-temporal ERS-2 synthetic aperture radar. *Int J Remote Sens* 27: 535–548.
- Duclos, P., Vidonne, O., Beuf, P., Perray, P., & Stoebner, A. 1991. Flash flood disaster: Nimes, France, 1988. *European Journal of Epidemiology*, 7, 365-71.
- ENVI, 2008. Environment for Visualizing Images, version 4.5. ITT Visual Information Solutions
- Epstein PR, Diaz HF, Elias S, Grabherr G, Graham NE, *et al.* (1998) Biological and physical signs of climate change: Focus on mosquito-borne diseases. *Bull Am Meteorol Soc* 79: 409–417.
- Erasmi, S. & Twele, A. 2009. Regional land cover mapping in the humid tropics using combined optical and SAR satellite data – a case study from Central Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing* , 30, 2465-2478
- European Space Agency (ESA). 2007. Information on ALOS PALSAR products for ADEN users. issue 1 revision 1. Technical note.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C. Prentice, N. Ramankutty, and P.K. Snyder. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570 - 574.
- French, J.G. and K.W. Holt. 1989. Floods, p. 69-78. In M.B. Gregg (ed.), *The public health consequences of disasters: 1989*. Centers for Disease Control, Atlanta, GA. Control, Atlanta, GA.
- Fritz, C.E., 1961. Disasters. In: Merton, R.K., Nisbet, R.A. (Eds.), *Contemporary Social Problems*. Harcourt, New York, pp. 651–694.
- Galea S, Nandi A, Vlahov D. 2005. The epidemiology of posttraumatic stress disorder after disasters. *Epidemiol Rev* 2005; 27:78–91.
- Gates, David M. (1980), *Biophysical Ecology*, Springer-Verlag, New York, 611 p.
- Gillies, M. T. 1961. Studies on the dispersion and survival of *Anopheles gambiae* Giles in East Africa, by means of marking and release experiments. *Bulletin of Entomological Research* (1961), 52:99-127 Cambridge University Press.
- Glass G.E, J. E. Cheek, J.A. Patz, T.M. Shields, T. J. Doyle, D. A. Thoroughman, D.K. Hunt, R. E. Ensore, K. L. Gage, C. Irland, C. J. Peters & R. Bryan. 2000. Using remotely sensed data to



- identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome. *Emerg. Infect. Dis.* 6, 238–247 (2000).
- Goodess, C.M., Hulme, M. & Osborn, T. 2001. The identification and evaluation of suitable scenario development methods for the estimation of future probabilities of extreme weather events, Tyndall Centre Working Paper 6.
- Hajat, S., Ebi, K.L., Kovats, S., Menne, B., Edwards, S., & Haines, A. 2003. The human health consequences of flooding in Europe and the implications for public health: a review of the evidence. *Applied Environmental Science and Public Health*, 1, 13- 21.
- 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* 360: 830–834.
- Hay, S. I., D. J. Rogers, J. F. Toomer, and R. W. Snow. 2000. Annual *Plasmodium falciparum* entomological inoculation rates (EIR) across Africa. I. Literature survey, internet access and review. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 94: 113-127.
- Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Nouger, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C., eds. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IDNDR, 1992. *Glossary: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*, DHA-Geneva, 83 pp.
- Kasischke, E. S., Melack, J. M., Dobson, M. C. 1997. The use of imaging radars for ecological applications – A review. *Remote Sensing of Environment*, 59, 141-156.
- Kessler C, Connolly M, Levy M, Chaulet P. 2003. Tuberculosis control in refugees and displaced persons. www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/eng/doc8955/doc8955.htm (accessed July 22, 2003).
- Koelle K. & Pascual M. 2004. Disentangling extrinsic from intrinsic factors in disease dynamics: A nonlinear time series approach with an application to cholera. *Am Nat* 163: 901–913.
- Kondo, H., Seo, N., Yasuda, T., Hasizume, M., Koido, Y., Ninomiya, N., & Yamamoto, Y. 2002. Post-flood epidemics of infectious diseases in Mozambique. *Prehospital Disaster Med*, 17, 126-33.
- Kovats S., Campbel-Lendrum D.H., McMichael A.J., Woodward A, Cox J.S. 2001 Early effects of climate change: Do they include changes in vectorborne disease? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356: 1057–1068.
- Kovats, R.S., Bouma, M.J., Shakoor, H., Worrall, E., & Haines, A. 2003. El Nino and Health. *The Lancet*, 362, 1481-1489.
- Kunii, O., Nakamura, S., Abdur, R., & Wakai, S. 2002. The impact on health and risk factors of the diarrhoea epidemics in the 1998 Bangladesh floods. *Public Health*, 116, 68-74.
- Kurosu T, Fujita & M, Chiba K. 1997. The identification of rice fields using multi-temporal ERS-1 C band SAR data. *International Journal of Remote Sensing* 1997;18: 2953–2965.



- Le Toan T, Ribbes F, Wang LF, Flourey N, Ding KH, Kong JA, Fujita M, Kurosu T. 1997. Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing* 1997;35:41–56.
- Liew SC, Kam SP, Tuong TP, Chen P, Minh VQ, Lim H. 1998. Application of multitemporal ERS-2 synthetic aperture radar in delineating rice cropping systems in the Mekong River Delta, Vietnam. *IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing* 1998; 36:1412–1420.
- Lindblade, K. A., E. D. Walker, A. W. Onapa, J. Katungu, and M. L. Wilson. 2000. Land use change alters malaria transmission parameters by modifying temperature in a highland area of Uganda. *Trop. Med. Int. Health* 2000. 5:263–274. CrossRef, PubMed, CSA
- Liu S, Quenemoen LE, Malilay J .1994. Assessment of a severe weather warning system and disaster preparedness, Calhoun County, Alabama, 1994. *Am J Public Health* 1996;86:87–9.
- Malilay, J. 1997. Floods. In *The Public Health Consequences of Disasters* (ed E. Noji), pp. 287-301. Oxford University Press, New York.
- McCarthy, J., Canziani, O.S., Leary, N., Dokken, D., & White, K., eds. 2001. *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Minakawa N, Mutero CM, Githure JI, Beier JC, Yan G, 1999. Spatial distribution and habitat characterization of anopheline mosquito larvae in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 61: 1010–1016.
- Minakawa N, Sonye G, Yan G. 2005. Relationships between occurrence of *Anopheles gambiae* s.l. (Diptera: Culicidae) and size and stability of larval habitats. *J Med Entomol* 2005, 42:295-300.
- Ministerio de Salud de la Nacion, 2007. Investigación de brote de paludismo. Puerto Iguazú, Misiones. Enero - mayo 2007. Informe preliminar. Ministerio de Salud de la Nacion, Argentina.
- MMWR, 1996. Surveillance for injuries and illnesses and rapid healthneeds assessment following Hurricanes Marilyn and Opal, September–October 1995. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 1996; 45:81–5.
- MMWR, 1986. Hurricanes and hospital emergency room visits—Mississippi, Rhode Island, Connecticut (Hurricanes Alicia and Gloria). *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 1986;34:765–70
- MMWR . 2000. Morbidity and mortality associated with Hurricane Floyd—North Carolina. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2000; 49: 369–72.
- Molyneux, D. H. 1997. Patterns of change in vector-borne diseases. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 91: 827-839.
- Mondal, N.C., Biswas, R., & Manna, A. 2001. Risk factors of diarrhoea among flood victims: a controlled epidemiological study. *Indian J Public Health*, 45, 122-7.
- Morgan, O. 2004. Infectious disease risks from dead bodies following natural disasters. *Rev Panam Salud Publica.* 2004;15 (5):307–12.
- Mosley LM, Sharp DS, Singh S. 2004. Effects of a tropical cyclone on the drinking-water quality of a remote Pacific island. *Disasters* 2004;28: 405–17.

- Mushinzimana E, Munga S, Minakawa N, Li L, Feng CC, Bian L, Kitron U, Schmidt C, Beck L, Zhou G, Githeko AK, Yan G. 2006. Landscape determinants and remote sensing of anopheline mosquito larval habitats in the western Kenya highlands. *Malar J* 2006, 5:13.
- Nezry, E., Mougin, E., Lopes, A., Gastellu-Etchegorry, J.P., Laumonier, Y. 1993. Tropical vegetation mapping with combined visible and SAR spaceborne data. *International journal of remote sensing*, 14, 2165-2184.
- Noji EK. 1993. Analysis of medical needs during disasters caused by tropical cyclones: anticipated injury patterns. *J Trop Med Hyg* 1993;96:370–6.
- Okamoto K & Kawashima H. 1999. Estimation of rice-planted area in the tropical zone using a combination of optical and microwave satellite sensor data. *International Journal of Remote Sensing* 1999; 20:1045–1048.
- Pascual M., Bouma M.J., Dobson A.P. 2002. Cholera and climate: revisiting the quantitative evidence. *Microbes and Infection* 4: 237–245.
- Patz J.A.; Strepk K.; Lele, S.; Hedden, M. Greene, S; Noden B., Hay S., Kalkstein L. & J.C. Beier. 1998. Predicting key malaria transmission factors, biting and entomological inoculation rates using modeled soil moisture in Kenya. *Journal of Tropical Medicine and International Health*, 1998, 3: 818–827.
- Patz J.A., Graczyk TK, Geller N, Vittor AY. 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *Int J Parasitol* 30: 1395–1405.
- Patz J.A. 2001. Public health risk assessment linked to climatic and ecological change. *Hum Ecol Risk Assess* 7: 1317–1327.
- Patz J.A., Reisen WK . 2001. Climate-change and vector-borne diseases. *Trends Immunol* 22: 171–172.
- Patz J.A., Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley, JA. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 2005; 438:310-317.
- Rejmankova, E., D. R. Roberts, A. Pawley, S. Manguin, and J. Polanco. 1995. Predictions of adult *Anopheles albimanus* densities in villages based on distances to remotely sensed larval habitats. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 53: 482-488.
- Roberts, D. R., J. F. Paris, S. Manguin, R. E. Harbach, R. Woodruff, E. Rejmankova, J. Polanco, B. Wulschleger, and L. J. Legters. 1996. Predictions of malaria vector distribution in Belize based on multispectral satellite data. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 54: 304-308.
- Rodo X., Pascual M., Fuchs G, Faruque SG. 2002. ENSO and cholera: A nonstationary link related to climate change? *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 99: 12901–12906.
- Rogers DJ, Randolph SE, Snow RW, Hay SI. 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature* 2002;415:710–715.
- Salomon, O.D., M. L. Wilson, L. E. Munstermann & B. L. Travi. 2004. Spatial and Temporal Patterns of Phlebotomine Sand Flies (Diptera: Psychodidae) in a Cutaneous Leishmaniasis Focus in Northern Argentina. *J. Med. Entomol.* 41(1): 33-39 (2004).



- Schmidt, W., Skala, M., Donelon, I., & Donnell, H.D. 1993. Morbidity surveillance following the midwest flood - Missouri, 1993. *MMWR*, 42, 797-798.
- Seaman, J. 1984. *Epidemiology of natural disasters* Karger, Basel, Switzerland.
- Shimabukuru, Y.E., Almeida-Filho, R, Kuplich, T.M., De Freitas, R.M. 2007: Quantifying optical and SAR image relationships for tropical landscape features in the Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3831-3840.
- Siddique, A.K., Baqui, A.H., Eusof, A., & Zaman, K. 1991. 1988 floods in Bangladesh: pattern of illness and causes of death. *J Diarrhoeal Dis Res*, 9, 310-4.
- Sorensen R, Zinko U, Seibert J. 2005. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrol Earth Sys Sci Discuss* 2005, 2:1807-1834.
- Staes C, Orengo JC, Malilay J. 1994. Deaths due to flash floods in Puerto Rico, January 1992: implications for prevention. *Int J Epidemiol* 1994;23:968-75.
- Tourre Y.M., L Jarlan, J-P Lacaux, C H. Rotela and M Lafaye. 2008. Spatio-temporal variability of NDVI-precipitation over southernmost South America: possible linkages between climate signals and epidemics. *Environ. Res. Lett.* 3 044008 (<http://iopscience.iop.org/1748-9326/3/4/044008>)
- Van der Hoek,W; F. Konradsen, P. H. Amerasinghe, D. Perera, M.K. Piyaratne & F. P. Amerasinghe. 2003. Towards a risk map of malaria for Sri Lanka: the importance of house location relative to vector breeding sites. *International Journal of Epidemiology* 2003;32:280-285.
- Walsh J.F., Molyneux D.H., Birley M.H., 1993. Deforestation: effects on vector-borne disease. *Parasitology* 106 (Suppl): S55-S75.
- Westgate, K.N. & P. O'Keefe. 1976. Some Definitions of Disaster. Disaster Research Unit Occasional Paper No. 4. Department of Geography, University of Bradford.
- World Health Organization (WHO). 2005. http://www.who.int/hac/techguidance/ems/flood_cds/en/print.html.
- Woodruff, B.A., Toole, M.F., Rodrigue, D.C., Brink, E.W., Mahgoub, E., Ahmed, M.M., & Babikar, A. 1990. Disease surveillance and control after a flood: Khartoum, Sudan, 1988. *Disasters*, 14, 151-163.
- Woodworth, PH, J.Gregory and RJ Nicholls, 2004: Long term sea level changes and their impacts. *The Sea*, vol.12/13, A. Robinson and K. Brink, Eds., Harvard University Press, Cambridge, M.A.
- Zhou, X.; Chang, N.-B.; Li, S. 2009. Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research. *Sensors* 2009, 9, 1876-1912.



Anexo

Parte A

RED DesInventar

DesInventar define a Inundación como el anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura. Las Inundaciones por olas marinas en zonas litorales las reporta con el término -marejada-.

La información utilizada para el presente análisis discriminara:

1. Muertos

Número de personas fallecidas por causas directas. Cuando se dispone de datos oficiales finales se incluye este valor con las observaciones correspondientes, por ejemplo cuando haya diferencias entre las cifras oficialmente aceptadas y las de otras fuentes.

2. Valor pérdidas \$

Monto de las pérdidas directas causadas por el desastre en la moneda local.

3. Vías afectadas (m)

Longitud de redes viales destruidas y/o inhabilitadas en metros.

4. Otras pérdidas

Descripción de otras pérdidas no incluidas en los campos de la ficha básica. Por ejemplo: edificaciones religiosas y monumentos, patrimonio arquitectónico y cultural, escenarios e instalaciones masivas, edificios de administración pública de la banca, del comercio y del turismo, vehículos o buses perdidos, puentes.

5. Desaparecidos

Número de personas cuyo paradero a partir del desastre es desconocido. Incluye personas presumiblemente muertas sin evidencias físicas. Los datos de muertos y de desaparecidos son mutuamente excluyentes, por lo tanto no los mezcle.

6. Valor pérdidas US\$

Equivalente en dólares (US\$) de las pérdidas en moneda local, según la tasa de cambio de moneda nacional en la fecha de ocurrencia del desastre. Este valor es útil para evaluaciones comparativas entre bases de datos.

7. Cultivos y bosques (Ha)

Número de áreas de cultivo, pastizales o bosques destruidas y afectadas. Si la información está en otra medida se deberá convertir a hectáreas.

8. Observaciones de efectos

Anotaciones o ampliaciones sobre los efectos del desastre. Se usa para registrar las discrepancias entre las cifras de efectos cuando hay mas de una fuente. Al igual que los campos de observaciones de eventos y causas se para contextualizar los datos consignados en la ficha es en este caso para los efectos.

9. Heridos, enfermos

Número de personas que resultaron afectadas en su salud o integridad física, sin ser víctimas mortales, por causa directa del desastre. Se deben incluir las personas que sufrieron lesiones y las que quedaron enfermas si se trata de una plaga o epidemia.

10. Ganado

Número de unidad pérdidas (bovino, porcino, caprino, avícola) cualquiera sea el evento (inundación, sequía, epidemia, etc.).

11. Afectados

Número de personas que sufren efectos indirectos o secundarios asociados a un desastre. Corresponde al número de personas, diferentes a damnificados, que sufren el impacto de los efectos secundarios de los desastres por razones como deficiencias en la prestación de servicios públicos, en el comercio, o en el trabajo, o por aislamiento. Si la información aparece por familias, calcular el número de personas según indicadores disponibles.

12. Centros de educación

Número de guarderías, escuelas, colegios, universidades, centros de capacitación, etc. destruidas y afectadas directa o indirectamente por el desastre. Incluye aquellos que han sido utilizados como albergues temporales.

13. Reubicados

Número de personas que han sido trasladadas desde sus sitios de vivienda a nuevos emplazamientos permanentes. Si la información aparece por familias, calcular el número de personas según indicadores disponibles.

14. Centros hospitalarios

Número de centros de salud, clínicas, hospitales locales y regionales destruidos y afectados directa o indirectamente por el desastre.

15. Viviendas afectadas

Número de viviendas con daños menores, no estructurales o arquitectónicos, que pueden seguir siendo habitadas, aún cuando requieran de acciones de reparación o de limpieza.

16. Evacuados

Número de personas evacuadas temporalmente de sus viviendas, lugares de trabajo, colegios, hospitales, etc. Si la información aparece por familias, calcular el número de personas según indicadores disponibles.

17. Damnificados

Número de personas que han sufrido grave daño directamente asociado al evento en sus bienes y/o servicios individuales o colectivos. Por ejemplo destrucción parcial o total de su vivienda y sus bienes; pérdidas en cultivos y/o en bodegas, etc. Se deben incluir también personas reubicadas. Si la información aparece por familias, se debe calcular el número de personas según indicadores disponibles.

18. Viviendas destruidas

Número de viviendas arrasadas, sepultadas, colapsadas o deterioradas de tal manera que no son habitables.

19. Transporte

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Corresponde con efectos del desastre sobre el sector del transporte: redes viales (vehiculares, férreas), terminales de transporte, aeropuertos, puentes fluviales y marítimos, muelles, etc. afectados y/o destruidos.

20. Comunicaciones

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de comunicaciones: sobre plantas y redes telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo y de información pública, servicios de Internet, radiotelefonía, comunicaciones celulares.

21. Instalaciones de socorro

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de respuesta a emergencia, específicamente instalaciones de los organismos de socorro: Cuerpos de bomberos, instalaciones de organismos de socorro y de entidades de orden público.

22. Agropecuario

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de Agropecuario: Campos de cultivos, granjas, zonas de pastoreo.

23. Acueducto

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de Acueducto: Tomas de agua, plantas de tratamiento, acueductos y canales de conducción de agua potable, tanques de almacenamiento.

24. Alcantarillado

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de Alcantarillado: Redes de disposición de aguas servidas y/o pluviales y sus plantas de tratamiento.

25. Educación

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de Educación: Todo lo relacionado con este sector: guarderías, escuelas, colegios, universidades, centros de capacitación, bibliotecas, centros culturales, etc.

26. Energía

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector energético: Presas, subestaciones, líneas de transmisión, plantas de generación, plantas de procesamiento de energéticos y depósitos combustibles, oleoductos, gasoductos, plantas nucleares.

27. Industrias

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de industrial: Industrias de todos los tipos y tamaños, incluidas agrícolas y pecuarias.

28. Salud

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con los daños en el sector de la salud: Todo lo relacionado con el sector de salud incluyendo las redes de comunicación, red de atención de emergencias (ambulancias), centros de atención, etc.

29. Otros

Campo cualitativo de la base de datos. Tiene dos opciones “Afectado o No Afectado”. Se relaciona con daños que no corresponde a ninguno de los campos de la ficha básica.

Dicha información también discriminará:

1. Fecha del evento
2. Subtipo de desastre
3. País
4. Región
5. Enfermedades presentes en la emergencia y número de casos

Calculo del índice de magnitud.

Este índice tiene una escala que va de 0 (impacto nulo) hasta 30 (impacto máximo) y es la suma algebraica de 3 subíndices: el de impactos sobre bienes materiales y servicios, el de impacto sobre las personas y el de duración.

Los subíndices que componen el índice de magnitud se compone de la siguiente forma:

Subíndice 1: De impactos sobre bienes materiales y servicios.

Presenta dos componentes (cantidad y tipo de efectos) que se suman algebraicamente dando un valor de subíndice de efecto.

Componente Cantidad de efectos:

Para determinar el valor de este componente se contabiliza el número total de efectos tildados en la ficha, entre los siguientes

- Viviendas destruidas
- Viviendas afectadas
- Vías
- Energía
- Alcantarillado
- Salud
- Industrias
- Comunicaciones
- Acueducto
- Educación
- Agropecuario
- Otros.

Se le asigna un valor de acuerdo a la siguiente tabla:

Cantidad de efectos	Valor
Más de 8	5
5 a 8	4
3 a 4	3
2	2
1	1
0	0

Tabla 1. Valor del componente cantidad de efectos del *Subíndice 1*, correspondiente al índice de magnitud
Componente Tipo de efectos:

Se definen 3 sectores:

- Vivienda
- Infraestructura
- Producción, comercio, servicios, recursos naturales

Tipo de efectos	Valor
Destrucción en 3 sectores	5
Destrucción en 2 sectores	4
Destrucción en 1 sectores	3
Afectación en 2 o 3 sectores	2
Afectación en 1 sector	1
Ningún sector afectado	0

Tabla 2. Valor del componente tipo de efectos del *Subíndice 1*, correspondiente al índice de magnitud
Se asigna el valor por el mayor daño. Por ejemplo si en la ficha figuran 2 sectores con destrucción, (viviendas y caminos) y otros 2 afectados (energía y centros hospitalarios), sólo se consideran los 2 sectores con destrucción y el valor asignado será 4.

De la suma algebraica de estos 2 componentes surge un subíndice de efectos materiales. Su escala va de 0 a 10.

Subíndice 2: De impacto sobre las personas.

Presenta dos componentes, (número y tipo de afectados), que se suman algebraicamente.

Componente Número de afectados:

En la ficha se suma el número de muertos, afectados, evacuados, damnificados, desaparecidos y heridos; a este total se le asigna un valor según la siguiente tabla:

No. de afectados	Valor
Más de 10.001	5
1.001 a 10.000	4
101 a 1.000	3
11 a 100	2
1 a 10 o indeterminado	1
0	0

Tabla 3. Valor del componente numero de afectados del *Subíndice 2*, correspondiente al índice de magnitud

Componente Tipo de afectados:

Se asigna un valor de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipo de afectados	Valor
Muertos y/o desaparecidos	5
heridos y/o enfermos	4
Evacuados y/o reubicados	3
Damnificados	2
Afectados	1
No hay ningún tipo de afectados	0

Tabla. Valor del componente tipo de afectados del *Subíndice 2*, correspondiente al índice de magnitud

En este caso los valores no son aditivos, la clasificación se hace por el daño mayor. Por ej. si en una fecha existen muertos y damnificados, el valor resultante será 5. Se suma numéricamente el valor obtenido en número de afectados más el obtenido en tipo de afectados obteniéndose un subíndice de afectación cuya escala va de 0 a 10.

Subíndice 3: De duración del desastre.

El valor de este subíndice surge de la siguiente tabla:

Duración (días)	Valor
1 o indeterminado	1
2	2
3	3
4 a 6	4
7 a 10	5
11 a 14	6
15 a 20	7
21 a 30	8
31 a 60	9
más de 60	10

Tabla 3. Valor del *Subíndice 3* en función de los días de duración de la inundación, correspondiente al índice de magnitud

Anexo

Estadísticos descriptivos	Suma		Media		Desv. típica		Varianza	
	Lluvias	Desborde	Lluvias	Desborde	Lluvias	Desborde	Lluvias	Desborde
Muertos	0	1	.00	.03	.000	.174	.000	.030
Desaparecidos	5	0	.26	.00	1.147	.000	1.316	.000
Heridos; Enfermos	0	0	.00	.00	.000	.000	.000	.000
Victimas	100	1900	11.11	135.71	33.333	264.886	1111.111	70164.835
Afectados	280	1030	140.00	171.67	56.569	274.900	3200.000	75570.267
Evacuados	1158	4349	89.08	161.07	128.265	218.446	16451.910	47718.610
Relocalizados	0	100	.00	3.03	.000	17.408	.000	303.030
Casas destruidas	0	61	.00	1.91	.000	10.602	.000	112.410
Casas afectadas	100	240	16.67	18.46	40.825	38.045	1666.667	1447.436
Cultivo y maderas (Hectáreas)	0	1000	.00	30.30	.000	174.078	.000	30303.030
Centros educativos	0	2	.00	.06	.000	.242	.000	.059
Ganado	0	300	.00	9.09	.000	52.223	.000	2727.273
Duración	166	260	8.74	7.88	10.640	5.721	113.205	32.735
Magnitud	246	462	12.95	14.00	3.865	3.122	14.942	9.750
hepatitis A	0	2	.00	.06	.000	.242	.000	.059
hepatitis B	0	1	.00	.03	.000	.174	.000	.030
hepatitis C	0	0	.00	.00	.000	.000	.000	.000
hepatitis no ABC	0	0	.00	.00	.000	.000	.000	.000
Diarreas	5	19	.26	.58	.452	.502	.205	.252
Toxoalimentarias	2	6	.11	.18	.315	.392	.099	.153
Encefalitis	0	2	.00	.06	.000	.242	.000	.059
Leptospirosis	2	0	.11	.00	.315	.000	.099	.000
Hantavirus	0	4	.00	.12	.000	.331	.000	.110
Dengue C.	1	2	.05	.06	.229	.242	.053	.059
Dengue Probable	1	1	.05	.03	.229	.174	.053	.030
Malaria	0	3	.00	.09	.000	.292	.000	.085
Aracnoidismo	0	4	.00	.12	.000	.331	.000	.110
Alacranismo	7	6	.37	.18	.496	.392	.246	.153
Mordedura Perro	1	11	.05	.33	.229	.479	.053	.229
Parasitosis intestinales	1	11	.05	.33	.229	.479	.053	.229
Toxoplasmosis	1	0	.05	.00	.229	.000	.053	.000
Psitacosis	0	0	.00	.00	.000	.000	.000	.000
Parotiditis	1	3	.05	.09	.229	.292	.053	.085
tuberculosis	1	1	.05	.03	.229	.174	.053	.030
Ofidismo	1	2	.05	.06	.229	.242	.053	.059
Numero total de epidemias	26	86	1.3684	2.6061	1.46099	1.98336	2.135	3.934

Tabla 4. Estadísticos descriptivos por variable y tipo de inundación



CONAE



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba

Anexo

Parte B

Algoritmos para la estimación de humedad de suelo

El modelo de estimación de humedad de suelo aplicado en el presente estudio requiere como variables de entrada: valores para la constante dieléctrica, la desviación estándar de la altura del suelo (std), la correlación longitudinal del suelo (l), el valor de la longitud de onda (k), el ángulo de incidencia (θ , en radianes) y la polarización (HH, VV).

Para obtener los valores mas adecuados para la aplicación del algoritmo se llevaron a cabo simulaciones de los diferentes parámetros, variando los niveles de rugosidad, constante dieléctrica y desviación estándar.

Se consideraron tres niveles de rugosidad, bajo, medio y alto (Tabla 5). La desviación estándar de las alturas fue el único parámetro diferente entre niveles de rugosidad, debido a que en la mayoría de las casos el modelo muestra una sensibilidad reducida a la correlación longitudinal (Fung, 1992).

Nivel de rugosidad	Constante dieléctrica	Pol	Ángulo	L	Std
Baja	3,10,15,20,25	HH	0-50	2,10,20	0.2,0.5,1
Media	3,10,15,20,25	HH	0-50	2,10,20	1.2, 1.5,2,3
Alta	3,10,15,20,25	HH	0-50	2,10,20	3,4,5

Tabla 5. Parámetros considerados en la simulación de valores de retrodispersión para niveles de rugosidad baja

Aun cuando en la presente simulación no fue considerado, el algoritmo permite incorporar diferentes tipos de ruidos en la simulación de los valores de retrodispersión (noiseType: 0=sin ruido; 1=normal; 2=uniforme) modulando cada tipo mediante coeficientes para el ruido multiplicativo asociado a cada coeficiente de retrodispersión.

Resultados de las simulaciones

El análisis de σ^0 para rugosidades teóricas bajas (Figura 1) muestra que incrementos en el ángulo de incidencia resultan, para todos los casos, en una disminución de los valores de retrodispersión. Incrementos en la constante dieléctrica y la desviación estándar de la altura de los suelos, determinara incrementos en el coeficiente de retrodispersión.

Por otra parte, bajos valores de correlación longitudinal del suelo (l) muestran menores valores de σ^0 , pero disminuciones menos marcadas a ángulos de incidencia grandes.

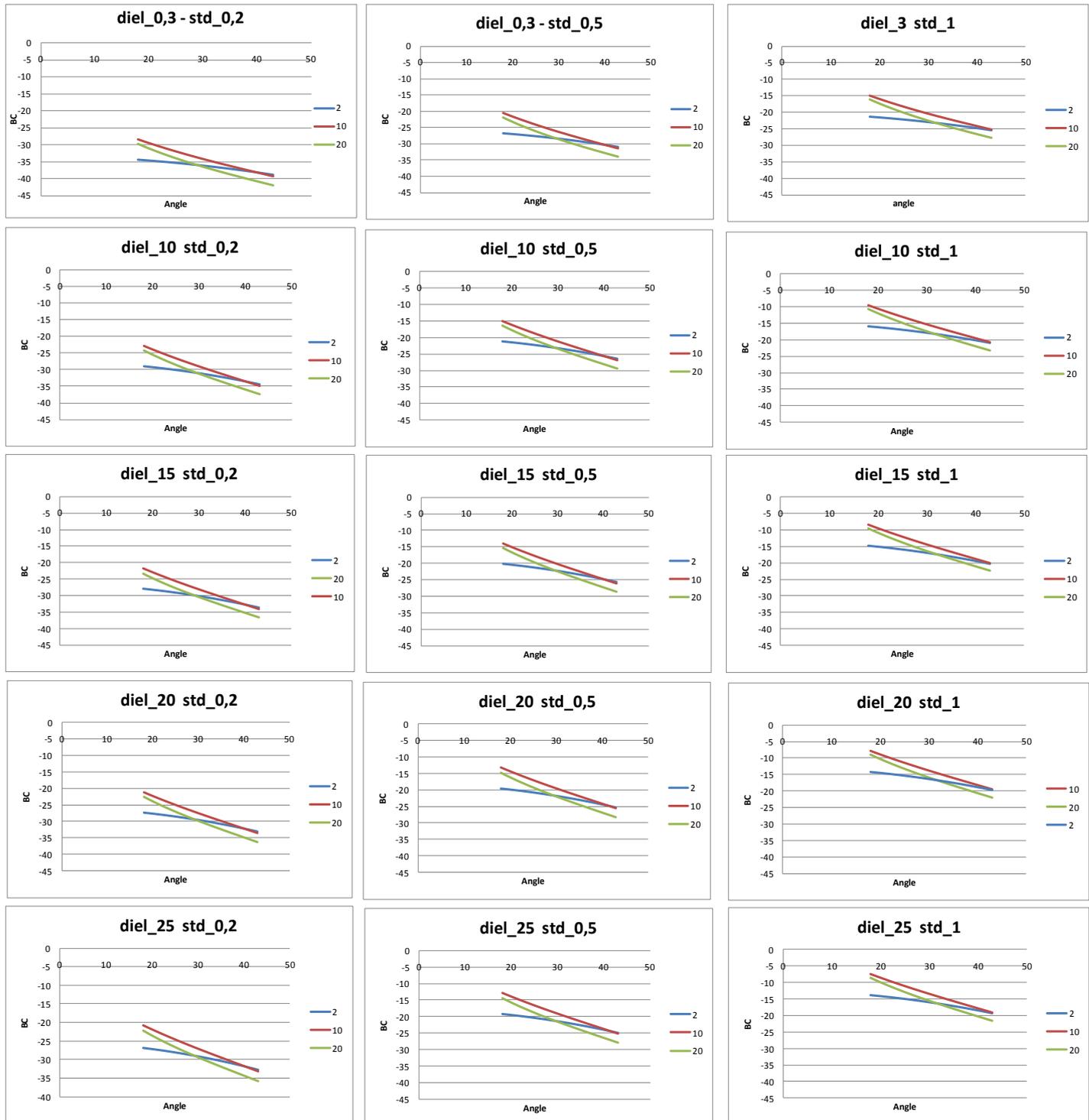


Figura 1. Simulaciones para variaciones en la constante dieléctrica, desviaciones estándar de las Alturas del suelo (std) y correlación longitudinal de suelos (1) (2, 10, 20) para suelos de baja rugosidad.

Para rugosidades de suelo medias, las simulaciones mostraron un patrón similar a las rugosidades bajas (Figura 2). A incrementos en los ángulos de adquisición, se observan valores del coeficiente de retrodispersión bajos con todos los valores de std.

Dado un valor de std, las variaciones de la constante dieléctrica fueron similares, observándose al menos el mismo patrón a rugosidades bajas. Para la misma constante dieléctrica, el coeficiente de retrodispersión registró valores más altos cuanto mayor era la std.

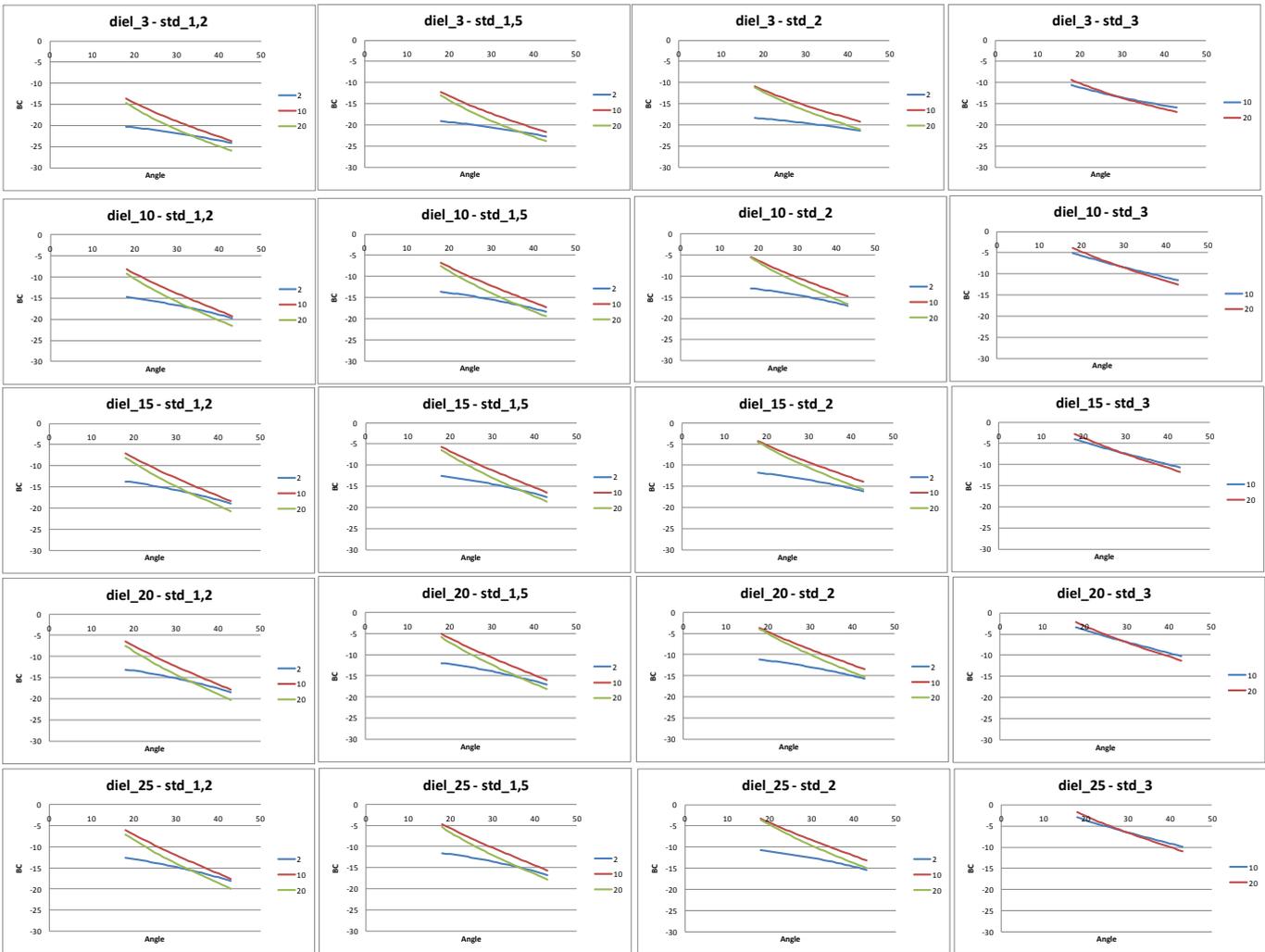


Figura 2. Resultados de la simulación en la constante dieléctrica, la desviación estándar de las Alturas del suelo (std) y la correlación longitudinal de los suelos (l) (2,10, 20) para valores teóricos de rugosidad del suelo.

Para valores de rugosidad alta (relacionados principalmente con altos valores de std), las simulaciones mostraron diferentes patrones para diferentes correlaciones longitudinales de suelo (l) (1, 10 o 20) (Figura 3)

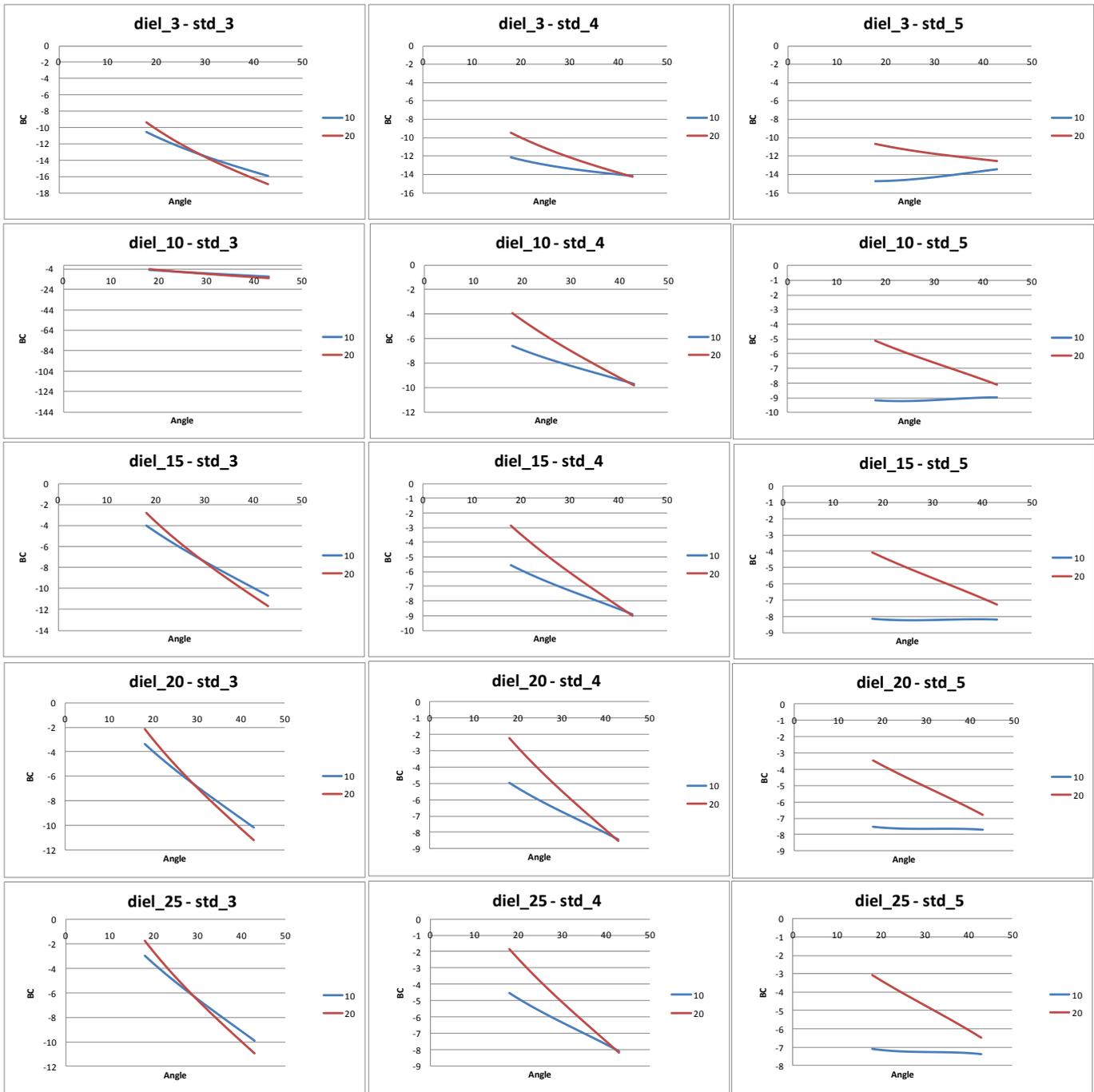


Figura 3. Resultados de la simulación para variaciones en la constante dieléctrica, desviación estándar de las alturas del suelo (std), y correlación longitudinal de los suelos (l) (2,10, 20) para valores de rugosidad teórica alta para suelos.

Evaluación de los parámetros

Para evaluar la variación de los parámetros y seleccionar la combinación posible en relación a las medidas obtenidas de las imágenes ALOS, se compararon las simulaciones con os valores promedios observados para suelos desnudos en tres fechas (Ej. de rugosidad media en Figura 4). Los valores de retrodispersión observados fueron obtenidos de diferentes imágenes y diferentes ángulos de adquisición 27.1° y 34.6°, los cuales corresponden a los ángulos en los que se encuentran disponibles las imágenes en modo de adquisición FBS.

El ajuste de los parámetros fue evaluado mediante el cociente de los coeficientes de retrodispersión observados vs. esperados. Los valores cercanos a 1 fueron considerados como los más plausibles. Esta evaluación fue efectuada para cada nivel de rugosidad (Tablas 6 a 8).

	diel	std	1
02/04/2007	3	1	10
	20	1	20
08/05/2007	25	1	10
	20	1	10
04/03/2009	25	1	10
	15	1	10
	25	1	10

Tabla 6. Parámetros seleccionados para la simulación con rugosidades bajas.

	diel	std	1
02/04/2007	10	1.5	2
	20	1.2	2
	3	2	10
	10	1.2	20
	20	1.2	2
08/05/2007	10	3	20
	25	3	20
04/03/2009	25	3	10
	20	1.2	20
	10	1.5	2
	10	2	20

Tabla 7. Parámetros seleccionados para la simulación con rugosidades medias.

	1	std	diel
02/04/2007	3	5	10
	3	5	10
08/05/2007	10	3	20
	25	3	20
04/03/2009	20	4	10
	25	5	10
	3	4	20
	3	3	20

Tabla 8. Parámetros seleccionados para la simulación con rugosidades altas.

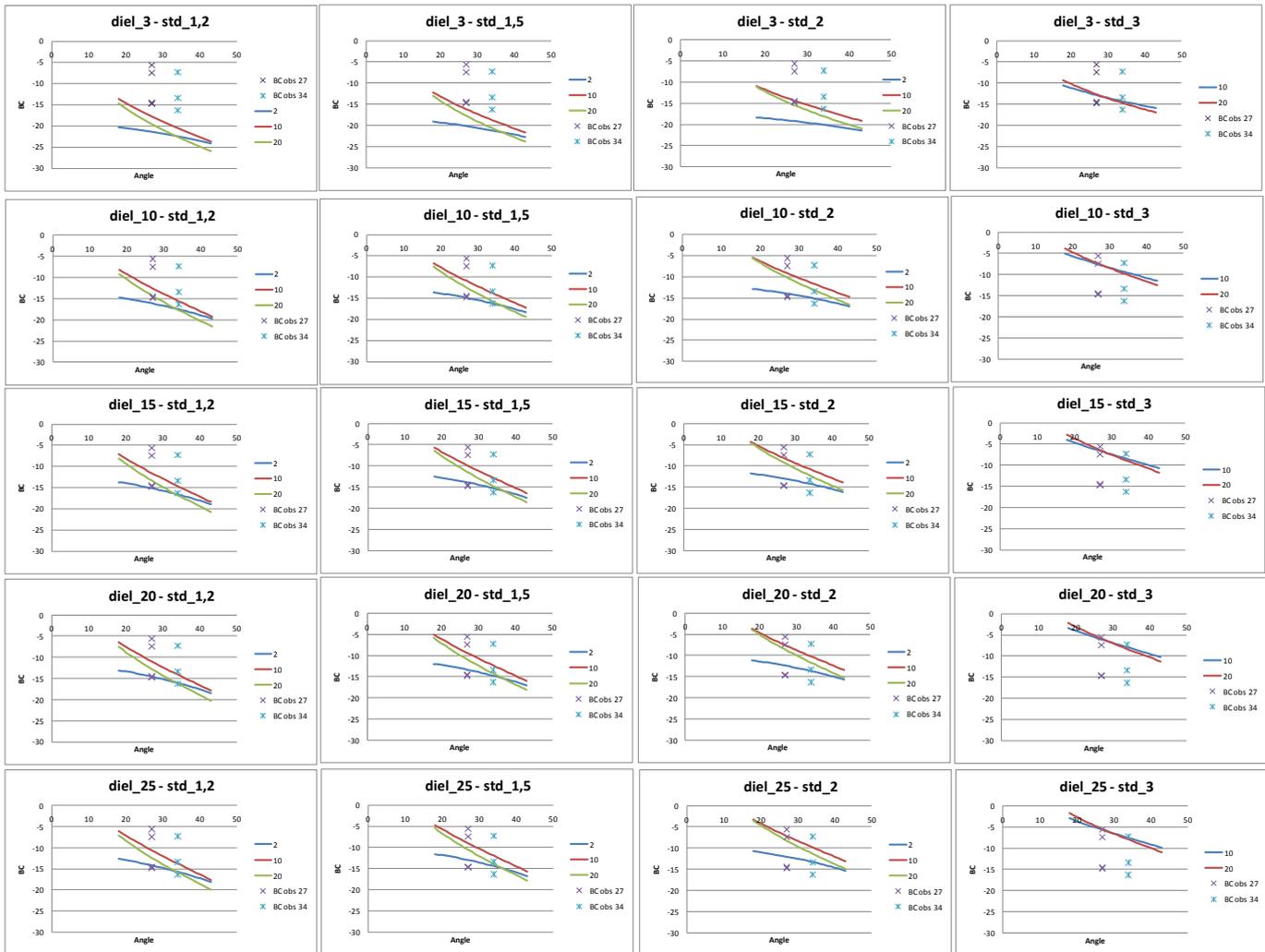


Figura 4. Comparación de los valores del coeficiente de retrodispersión observados vs. simulados para rugosidades medias. Las simulaciones son resultado de variaciones en la constante dieléctrica, desviación estándar de la altura del suelo (std), correlación de la longitud del suelo (l) (2, 10,20) para rugosidades teóricas altas del suelo. $\sigma_{obs\ 27}$ y $\sigma_{obs\ 34}$ son los coeficientes de retrodispersión correspondientes a los ángulos de adquisición de las imágenes ALOS Palsar, de 27.1 y 34.6 grados.

Detalle de imágenes ALOS Palsar utilizadas

Sensor	Nombre	Fecha	Modo del Sensor	Angulo fuera de Nadir	Path Numero	Fuente
PALSAR	ALPSRP058206660	27/02/2007	FBS	34.3	76	CONAE
PALSAR	ALPSRS063234100	02/04/2007	WB1	27.1	400	CONAE
PALSAR	ALPSRS068484150	08/05/2007	WB1	27.1	394	CONAE
PALSAR	ALPSRS075924150	28/06/2007	WB1	27.1	397	CONAE
PALSAR	ALPSRS116184150	30/03/2008	WB1	27.1	397	CONAE

PALSAR	ALPSRP118596660	16/04/2008	FBS	34.3	76	CONAE
PALSAR	ALPSRS131354150	05/01/2009	WB1	27.1	400	CONAE
PALSAR	ALPSRP165566660	04/03/2009	FBS	34.3	76	CONAE
PALSAR	ALPSRS195974150	28/09/2009	WB1	27.1	394	CONAE
PALSAR	ALPSRS210854150	08/01/2010	WB1	27.1	400	CONAE

Tabla 1. Imágenes ALOS Palsar adquiridas durante el periodo Febrero 2007 a Enero 2010.

AMSRE
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070401
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070402
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070403
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090303
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090304
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090305
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090105
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20100107
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20100108
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20100109
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070507
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070508
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070509
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080711
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080712
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080713
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080415
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080416
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080417
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070226
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070227
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070228
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070627
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070628
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20070629
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090927
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090928
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20090929
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080329
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080330
AMSR_E_L3_DailyLand_V06_20080331



Tabla 5. Imágenes AMSRE obtenidas y georeferenciadas, relacionadas con la fecha de adquisición de imágenes ALOS Palsar.



Anexo

Parte C

El rol de los sensores remotos en la epidemiología postdesastre por inundación

Como se mencionó en el capítulo introductorio, la devastación producida por un desastre natural abarca grandes áreas, por lo que el control de vectores y enfermedades necesita de información espacial precisa. Los sensores remotos serían la herramienta adecuada para su manejo, su uso en la administración de desastres se está incrementando, existiendo organizaciones dedicadas a la evaluación y gestión de la información satelital para el apoyo en la toma de decisiones postcatastrofe como por ejemplo Spider, Charter y UNOSA.

La información provista por los sensores remotos también puede ser usada durante la etapa de pre-desastre, para el análisis de riesgos y mapeos, alertando sobre desastres, especialmente el seguimiento de ciclones, monitoreo de sequías, volcanes, fuegos a gran escala y producción agrícola.

El modelado efectivo de riesgo epidemiológico de vectores necesita tomar en cuenta el comportamiento humano, que incrementa la exposición, así como otros factores que afectan la ecología de los vectores, tales como cambios en la presión de predación o cambios en el hábitat.

La vigilancia epidemiológica luego de los desastres y crisis de refugiados incluyen la identificación de enfermedades transmisibles y el establecimiento de programas para su control, durante la cual la generación de mapas de riesgo de enfermedades en áreas afectadas, puede aportar elementos cruciales en la toma de decisión de los cuerpos de salud, permitiendo intervenir oportunamente.

La administración de desastres es altamente dependiente de la recolección e interpretación de información precisa, la que es usada para la coordinación y control, evaluación, reporte, monitoreo y planeación de la logística, evaluación de daños, administración de víctimas, administración de costos y reunificación y seguimiento de familias separadas. Por esta razón, la información obtenida mediante sensores remotos, de vital importancia para la toma de decisiones en las áreas damnificadas, solo es relevante si esta disponible en forma rápida y continua, a pesar de los inconvenientes generados por el evento, que puede deteriorar y destruir la infraestructura de comunicación, limitando el acceso a Internet. Una forma alternativa a la web, por la que se pueden obtener los productos necesarios para la toma de decisiones es la provista por el sistema GeonetCast, el cual proporciona acceso libre y gratuito a datos ambientales para el bien público. Los proveedores de datos (ej. CONAE) pueden utilizar GeonetCast para envío de manera oportuna de productos, tales como tasas de precipitación, actividad volcánica o un terremoto, las condiciones del mar, la calidad del aire, datos climáticos, alertas meteorológicas o productos elaborados *ad hoc* para áreas afectadas, tales como mapas de riesgo epidemiológico.

El sistema de difusión GeonetCast se desarrolló en apoyo del Sistema Global de Observación de la Tierra (GEOSS). Las aplicaciones del GEOSS son compatibles con una amplia gama de prestaciones básicas para la sociedad, incluida la reducción de la pérdida de vidas y bienes durante desastres naturales, la gestión de recursos hídricos, energía y el apoyo a la salud y la seguridad públicas. América GeonetCast es el componente del Hemisferio Occidental del sistema global, y provee de productos a América del Norte, Central y del Sur y el Caribe, mediante estaciones receptoras de satélite de bajo costo, basadas sobre la base de la tecnología Digital Video Broadcast, con terminales fáciles de usar, comúnmente empleadas en los sistemas de televisión digital hogareños (DVB-S). Su capacidad de multidifusión permite la transmisión de diferentes conjuntos de datos en paralelo, independientemente de la fuente. Los productos y los datos del GeonetCast se transmiten de forma gratuita a los usuarios, pero las estaciones receptoras deben ser adquiridas por los usuarios a su propio costo.

GeonetCast utiliza una red global de satélites de comunicaciones para transmitir a los usuarios, datos de satélite sobre medio ambiente, datos in situ, y productos provistos por el grupo de Observación de la Tierra. Esta tecnología permite acceder a información satelital sin ser necesaria una conexión a Internet, ideal para áreas aisladas por desastres.

¿Qué es GeonetCast Américas?

GeonetCast Américas es la componente Occidental del GeonetCast, una red mundial de sistemas de disseminación de información por satélite, en tiempo casi real, concebida para distribuir datos observados de la superficie y de la atmósfera, metadatos y productos para distintos tipos de usuarios, sin necesidad de conexión a Internet.

Es un servicio de difusión de la información a bajo costo, orientado hacia el cliente y resulta de fácil empleo. Tiene como objetivo proporcionar información completa que puedan servir como sustento para la toma responsable de decisiones en áreas tan diversas como: salud pública, energía, agricultura, tiempo, agua, clima, desastres naturales y ecosistemas. El sistema busca que el acceso y distribución de ese tipo de información vital promueva beneficios sociales a través de mejoras en las condiciones de salud y bienestar de las personas, gestión del medio ambiente y crecimiento económico. La tecnología de recepción GeonetCast está basada en el uso de componentes comunes y disponibles en el mercado, lo cual permite la adquisición de un servicio completo por un bajo costo (estación de recepción U\$S 2000 a 3000).

El GeonetCast está comandado por tres proveedores de infraestructura: [EUMETSAT](#) en Europa ([EUMETCAST](#)), Chinese Meteorological Administration ([CMA](#)) en la región Asia-Pacífico (FengYunCast), y la [NOAA](#) en el Hemisferio Occidental (GeonetCast Américas). El GeonetCast es parte de la contribución del Group on Earth Observation (Grupo de Observación de la Tierra, en español) para la organización del Sistema de los Sistemas de Observación Global de la Tierra, GEOSS (Global Earth Observing System of Systems, en inglés).

La prestación del GeonetCast en las Américas entró en operaciones en 2008. , estando en funcionamiento en más de 10 países del Hemisferio Occidental en 2009.

Mantenido por NOAA, el servicio GeonetCast Américas usa el satélite comercial Intelsat 9 (IS-9) (Fig.6.1) para transmitir datos ambientales observados para un área que cubre la mayor parte de América del Norte, Centroamérica y Sudamérica. Los usuarios de toda la región pueden captar los datos transmitidos usando estaciones receptoras de satélite de bajo costo, basadas en patrones de Transmisión de Video Digital (DVB) - (Digital Video Broadcast – Satellite o DVB-S).

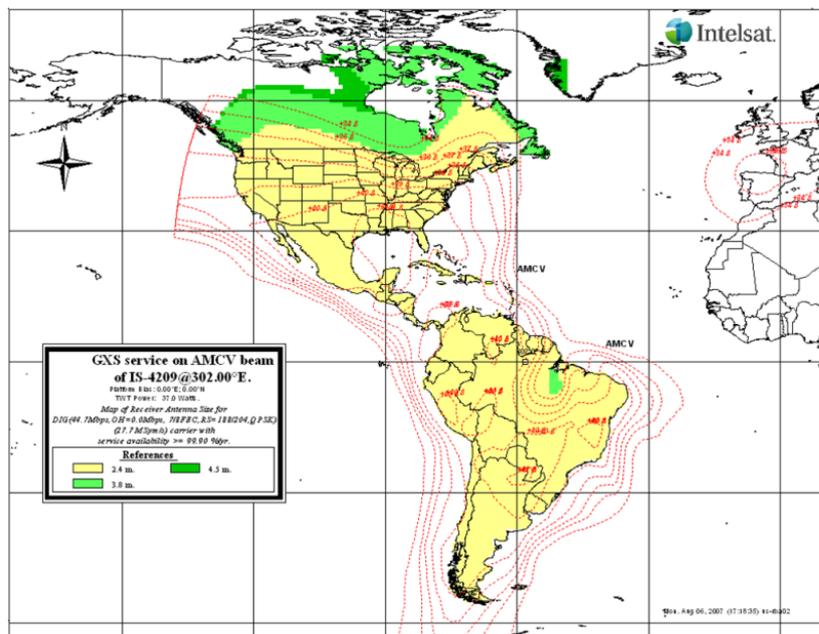


Figura 6.1. Tamaño de antena Parabólica requerida según la localización

La información actualizada, proporcionada por el sistema GeonetCast Américas está disponible para su retransmisión por otros servicios del sistema global GeonetCast (EUMETCast y FengYunCast) mediante la solicitud del cliente. Del mismo modo, usuarios de GeonetCast América pueden solicitar y recibir productos de otras regiones.

Actualmente CONAE participa como usuario y productor de la red, permitiendo el acceso de los usuarios a la red GeonetCast Americas y sus productos, a través de su portal en la dirección <http://geonetcast.conae.gov.ar/descargaarchivos/index3.htm>,

Cobertura

GeonetCast Américas cubre el Continente Americano; mientras que EUMETCAST lo hace en Europa y África y FengYunCast en Asia (Fig 6.2).

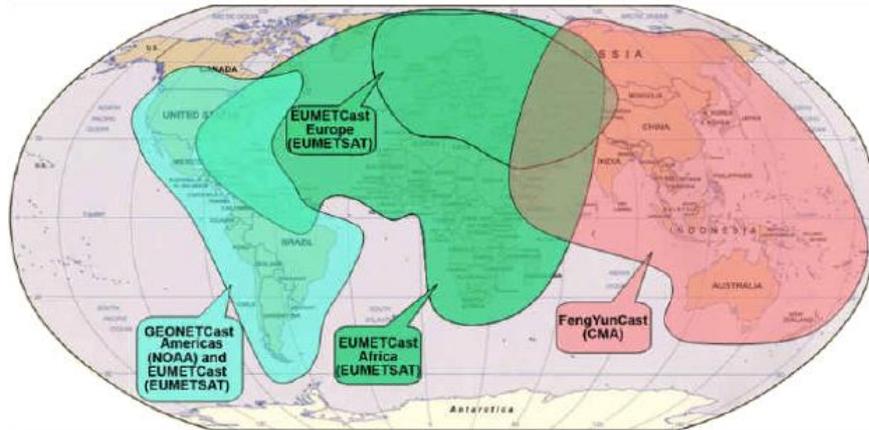


Figura 6.2. Cobertura de todos los participantes de GeonetCast

Arquitectura

GeonetCast Américas usa el sistema DVB-S (Digital Video Broadcast for Satellites, en inglés) para transmitir archivos de productos. Siguiendo los patrones comerciales DVB, GeonetCast Américas usa la frecuencia de transmisión en la BANDA C. La frecuencia de transmisión de datos es de aproximadamente 2 Megabits por segundo, inicialmente.

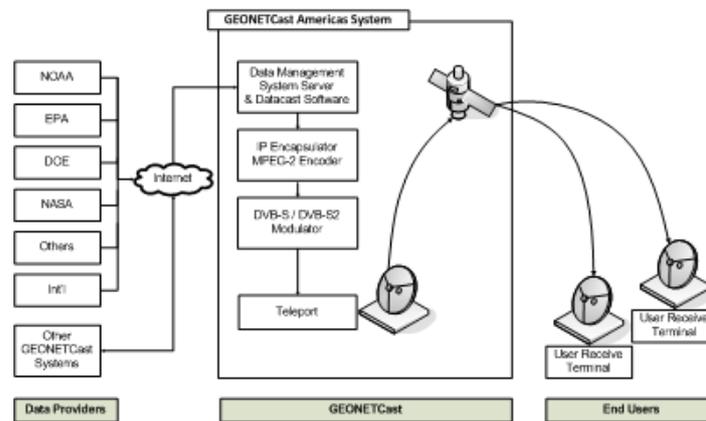


Figura 6.3. Arquitectura del GeonetCast

GEO y GEOSS

El propósito del GEOSS (Global Earth Observation System of Systems, en inglés) es conseguir observaciones amplias, coordinadas y continuas del Sistema Terrestre, para optimizar el monitoreo, aumentar la comprensión de los procesos de la Tierra y mejorar las previsiones del comportamiento del Sistema Terrestre.

El GEOSS surge de la necesidad de obtener informaciones globales de calidad, a largo plazo y en tiempo adecuado como sustento para la toma de decisiones responsables, mientras que a su vez posibilitará un aumento de los beneficios para la sociedad, según consta en el Plan de Implementación del GEOSS en 10 años. Los casi 80 países y las más de 50 organizaciones internacionales que conforman el GEO (Group on Earth Observations, en inglés) estuvieron de acuerdo en desarrollar el GEOSS. El GEO fue fundado en respuesta a los pedidos de acción



realizados durante el 2002 World Summit en relación al Desarrollo Sustentable y por el G8, grupo de los países más industrializados.

El GEO (www.earthobservations.org) es una asociación voluntaria de gobiernos y organizaciones internacionales que proporciona la estructura a través de la cual sus socios pueden desarrollar nuevos proyectos y coordinar estrategias e inversiones.

El GEO está construyendo el GEOSS basado en un [Plan de Implementación a 10 años](#), durante el período 2005-2015. El plan define una declaración de principios para el GEOSS, su propósito y alcance. De la misma manera, quedan establecidos los beneficios esperados en las nueve “Áreas de Beneficios Sociales”. Ellas son: [desastres](#), [salud](#), [clima](#), [tiempo](#), [ecosistemas](#), [agricultura](#) y [biodiversidad](#).

Beneficios Sociales

El GEOSS proporcionará una amplia gama de beneficios sociales, en especial:

- reducir las pérdidas de vidas humanas y de bienes materiales ocasionadas por los desastres naturales o causadas por el hombre;
- conocer comprensivamente los factores ambientales que afectan la salud y el bienestar de los seres humanos;
- optimizar la gestión de recursos energéticos;
- entender, evaluar, prever, mitigar y adaptarse a las mudanzas y variabilidades climáticas;
- mejorar la gestión de los recursos hídricos a través de una comprensión integral del ciclo del agua;
- mejorar las informaciones sobre el tiempo, pronóstico y alerta;
- optimizar la gestión y protección de los ecosistemas terrestres, costeros y marinos;
- brindar apoyo a la agricultura sustentable y combatir la desertificación; y, finalmente,
- entender, monitorear y conservar la biodiversidad.

Navegador y Lista de los Productos

Existen actualmente dos fuentes de información sobre los productos que se transmiten por el servicio GeonetCast Américas. Una de ellas es el actual Navegador de Productos EUMETSAT (que en breve, se convertirá en el GeonetCast Product Navigator) y la otra, es la Lista de Productos GeonetCast América. En un futuro, el Navegador de Productos incorporará la Lista de Productos, dejando esta última de ser producida.

Lista Actual de Productos GeonetCast Américas

Existe una diversidad de productos disponibles en la red GeonetCast Americas, disponibles en <http://www.geonetcastamericas.noaa.gov/docs/gnc-aProductsList020510.pdf> . Dentro de esta oferta, los productos expuestos en la tabla 6.1, podrían ser de utilidad en la aplicación en situaciones posteriores a inundaciones, con el fin de prever la ocurrencia de enfermedades. El principal inconveniente que presentan dichos productos es el formato en el que son presentados para su distribución. Si bien los formatos JPEG y PNG facilitan su distribución debido a su menor tamaño, presentan el inconveniente de no ser procesable para obtener información cuantificable para localidades puntuales.

Formatos como el GEOTIFF permitirían tener información de las variables relevadas junto a su información geográfica.

Agencia proveedora	Producto	Variable	Formato	Frecuencia del producto
INPECPTEC	Precipitaciones estimadas por Satelite (RFS)	Precipitaciones	JPEG	Cada 15 minutos
INPECPTEC	Temperatura de superficie de tierra (LST)	Temperatura de la superficie terrestre	JPEG	Cada 12 minutos
INPECPTEC	Índice de Vegetación Normalizado (NDV)	Tierra/Vegetación	JPEG	Cada 15 días = x por mes
INPECPTEC	Temperaturas Regionales a 1000 hPa 24 Hr (RT1)	Temperatura de la Atmosfera	PNG	Estimada diariamente
INPECPTEC	Temperaturas Regionales a 1000 hPa 48 Hr (RT2)	Temperatura de la Atmosfera	PNG	Estimada diariamente
INPECPTEC	Precipitaciones Acumuladas a nivel Regional 24 Hr (RR1)	Precipitaciones	PNG	Estimada diariamente
INPECPTEC	Precipitaciones Acumuladas a nivel Regional 48 Hr (RR2)	Precipitaciones	PNG	Estimada diariamente
INPECPTEC	Precipitaciones Acumuladas a escala global 120 Hr (WGR)	Precipitaciones	PNG	Estimada diariamente

Tabla 6.1. Listado de productos de potencial aplicación para la caracterización de ambientes propicios a epidemias postinundación

Consideraciones finales del uso del GeoNetCast en la epidemiología postdesastre

Cuando una localidad se encuentre al inicio de una probable inundación (por intensas lluvias en el lugar o en una cuenca cercana); el sistema implementado por la red resulta ideal para el apoyo (por la posibilidad de recibir datos en tiempo cuasi-real) a usuarios finales como departamentos de bomberos o defensa civil, debido que permite la transmisión de información aun con las redes de comunicaciones colapsadas. Debido a esta característica, la Carta Internacional para la Gestión de Emergencias (Charter) adopto su uso, habilitando un canal para la transmisión de los productos generados por sus proyect managers. Algunas de las variables aconsejadas para la toma de decisiones son: las lluvias registradas en forma semanal (tanto acumuladas como promedio) y las temperaturas medias semanales; que mostraron mayor peso explicativo para el conjunto de las enfermedades analizadas.

Productos como la lluvia acumulada o su pronóstico de 24 o 48 horas, así como valores de NDVI y temperatura de suelo, permitirían obtener información de las variables que influyen en la dinámica de las epidemias.

No obstante, una característica que permite su funcionamiento es el envío de archivo de imágenes "livianas" en formatos GIF o JPG. Esto limita la disponibilidad de información geográfica y valores digitales de la variable al usuario final, por lo que se sugiere migrar a formatos como GEOTIFF o



JPG con información geográfica adjunta, tendencia que actualmente esta siendo adoptada por INPE, uno de los principales proveedores de productos en la red.

En este contexto, el aporte de CONAE al GeonetCast Americas resulta escaso, solo poniendo a disposición de los usuarios archivos de información referente a las olas australes. La generación de mapas de riesgo o susceptibilidad a enfermedades podría ser un producto de valor agregado para los usuarios afectados por eventos de inundación.