Revista de Climatología

Vol. 16 (2016): 63-75 ISSN 1578-8768

©Copyright de los autores de cada artículo. Se permite su reproducción y difusión por cualquier medio, siempre que se haga sin interés económico y respetando su integridad

Distribución espacial de impactos de eventos hidrometeorológicos en América Central

Paula M. Pérez-Briceño[1], Eric J. Alfaro[1,2,3], Hugo G. Hidalgo[1,2] y Francisco Jiménez[1]

[1] *Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica*
[2] *Escuela de Física, Universidad de Costa Rica*
[3] *Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica*
<paula.perez@ucr.ac.cr>, <erick.alfaro@ucr.ac.cr>,
<hugo.hidalgo@ucr.ac.cr>, <francisco.jimenez_g@ucr.ac.cr>

(Recibido: 14-Mar-2016. Publicado: 05-Sep-2016)

Resumen

América Central está expuesta a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos a lo largo del año y los impactos que estos pueden provocar van a estar mayormente localizados en áreas donde las variables tanto naturales como sociales conlleven a una situación de emergencia. La distribución temporal anual de los impactos estudiados en este trabajo está asociada a la ocurrencia de tres fenómenos meteorológicos: los ciclones tropicales, las ondas del este y los frentes fríos. Para este análisis se recopilaron datos de impactos de desastres de bases de datos como DesInventar y EM-DAT para seis países: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. En Costa Rica también se usó la base de eventos hidrometeorológicos extremos y sus impactos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Las series temporales son heterogéneas y abarcan eventos desde 1900 hasta el año 2014. Se trabajó a escala de municipio o cantón con el fin de evaluar la distribución espacial de los impactos. El estudio mostró que los lugares con la mayor población, como es el caso de las capitales: Ciudad de Guatemala (Guatemala), Distrito Central (Honduras), San Salvador (El Salvador), Managua (Nicaragua), San José (Costa Rica), Ciudad de Panamá (Panamá) tienen la mayor correlación con la ocurrencia de impactos, esto posiblemente responde a la mayor cantidad de población expuesta viviendo en las ciudades; sin embargo se tuvo que verificar con los datos ya que la distribución de las amenazas no corresponde con la distribución de la población. En estos análisis, las variables climáticas no son las únicas que condicionan la generación de un impacto, por lo que se acompaña de una correlación no paramétrica con variables socioeconómicas como pobreza, salud e Índice de Desarrollo Humano, para llegar a conclusiones más robustas acerca de las causas de los mismos.

Palabras clave: Variabilidad climática, impactos, eventos hidrometeorológicos, América Central, Sistema de Información Geográfica.

Abstract

Extreme hydrometeorological events in Central America are common and the impacts usually occur in areas where natural and social variables result in emergency situations. In this study, we analyzed the temporal distribution of impacts associated with occurrence of three types of meteorological events: tropical cyclones, easterly waves and cold fronts. Disaster impacts data from DesInventar and EM-DAT were collected from six countries: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica and Panama. Extreme hydrometeorological events and their impacts database from Costa Rican National Meteorological Institute (IMN) were also used in this country. The time evolution of reporting conditions is highly variable and heterogeneous, covering reports from 1900 to 2014. The spatial distribution of impacts was evaluated at the municipality scale (local government or canton). The study showed that towns with the greatest populations of each country, like capitals: Ciudad de Guatemala (Guatemala), Distrito Central (Honduras), San Salvador (El Salvador), Managua (Nicaragua), San Jose (Costa Rica), Ciudad de Panama (Panama) have high correlation with impact occurrences. In this kind of analysis, it is necessary to consider socioeconomic variables like poverty, health and Human Development Index, in order to infer robust conclusions about impact causes.

Key words: *Climate variability, impacts, hydrometeorological events, Central America, Geographic Information System.*

1. Introducción

La distribución espacial de los eventos hidrometeorológicos responde a condiciones e interacciones de la atmósfera en un momento y lugar determinado, ya sean eventos de grande, mediana o pequeña escala, pero los impactos que estos generan son percibidos en escala local y obedecen a aspectos geográficos como por ejemplo el relieve, la forma de la cuenca hidrográfica, el tipo de suelo, y la vegetación; y socioeconómicos como la densidad de población, inversión pública en infraestructura, la preparación y capacidad de respuesta de la población ante un evento extremo. América Central está expuesta a la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos de escala sinóptica como las ondas del este, las tormentas tropicales y los empujes polares.

En América Central, indicadores como el de pobreza y pobreza extrema son elevados, sumado a ello, la desigualdad y hacinamiento en que viven algunas comunidades, la falta de ordenamiento territorial, el mal uso y abuso en el manejo de los recursos naturales y degradación ambiental configuran altos niveles de vulnerabilidad de la población ante eventos naturales (UNISDR y CEPREDENAC, 2014).

Estos países han iniciado esfuerzos para atender las amenazas y que la sociedad sea resiliente ante eventos naturales en general y ante eventos hidrometeorológicos en particular. A nivel regional el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central -CEPREDENAC- es la instancia responsable de la Reducción de Riesgo de Desastres (RRD) en el marco del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) y en conjunto con los Sistemas Nacionales que son la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) en Guatemala, Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) en Honduras, la Secretaría de Vulnerabilidad-DGPC en El Salvador, el Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de desastres (SINAPRED) en Nicaragua, la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) en Costa Rica y el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en Panamá, se encargan de actividades, proyectos y programas que conduzcan a la reducción de riesgos a desastres que provoquen pérdidas humanas y económicas causadas por los factores socio-naturales (UNISDR y CEPREDENAC, 2014).

En estos análisis es entonces necesario tomar en cuenta variables sociales como la población total e indicadores de pobreza, salud e Índice de Desarrollo Humano, para llegar a conclusiones más robustas acerca de las causas de los impactos.

Este estudio tiene como objetivo identificar patrones espaciales de los impactos de desastres ante eventos hidrometeorológicos sobre el territorio centroamericano y buscar relación entre variables sociales y demográficas así como las climáticas con la ocurrencia de impactos.

1.1. Área de estudio

América Central es una región compuesta por siete países: Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, cuyos límites son definidos por la frontera con México al norte, Colombia al sur, el Océano Pacífico al oeste y el Mar Caribe al este y tiene una extensión aproximada de 523.000 km^2. El país con mayor extensión de la región es Nicaragua con 129.000 km^2 aproximadamente y el país con menor extensión terrestre es El Salvador con un área de 21.000 km^2 (Ibarra, 2008).

En la figura 1 se presentan la ubicación de los seis países utilizados en esta investigación, donde se muestra la divisoria de aguas que delimita las dos vertientes: Pacífico y Caribe y se identifican los diez municipios o cantones más poblados de cada país para su posterior análisis. Para este estudio se excluye Belice debido a la poca disponibilidad de datos de desastres y de tipo socioeconómico.

1.2. Características Generales

América Central cumple la función de puente entre América del Norte y América del Sur, al mismo tiempo que representa una división estrecha entre dos masas de agua, el Océano Pacífico y el Mar Caribe. Es una región con gran valor por su posición geoestratégica (Granados, 1985). La mayor elevación es

alcanzada por el Volcán Tajumulco en Guatemala con una altitud de 4.420 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.; Consejo Municipal de Tajumulco, 2010), seguido por el Cerro Chirripó en Costa Rica con 3.820 m s. n. m., mientras que en El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá la elevación no supera los 2.870 m s. n. m.

La precipitación, es la característica más relevante en el clima en cuanto a impactos. En la vertiente del Pacífico, en donde se concentra la mayor parte de la población, la precipitación es de tipo bimodal con una estación seca larga de noviembre a mayo y una corta de julio a agosto (llamada veranillo o canícula), con dos máximos de precipitación en junio y setiembre (Taylor y Alfaro, 2005).

En cuanto a demografía, América Central cuenta con aproximadamente 45 millones de personas para el año 2014, distribuidos de la siguiente manera: Guatemala posee la mayor población con 16,02 millones de personas, Honduras con 7,962 millones de habitantes, El Salvador con 6,108 millones de personas, Nicaragua con 6,014 millones de habitantes, Costa Rica cuenta con 4,758 millones habitantes y Panamá 3,868 millones de habitantes (Banco Mundial, 2015).

1.3. Marco Teórico Conceptual

Los eventos o fenómenos hidrometeorológicos tienen su origen en la variaciones de la atmósfera, las variaciones meteorológicas intereactúan con la superficie de la tierra y generan escorrentía, humedad del suelo, evapotranspiración y cambios en el viento y balance radioactivo de la superficie. Hay fenómenos meteorológicos muy diversos y algunos de ellos son considerados una amenaza para el ser humano. Se pueden encontrar tres fenómenos que ocurren en el ciclo anual en América Central, que son generadores de grandes impactos: tormenta tropical o ciclón tropical, ondas del este y frentes fríos (Alfaro y Pérez-Briceño, 2014).

Fig. 1: Ubicación de los seis países en estudio, configuración de las vertientes a partir de la divisoria de aguas y la distribución espacial de los diez municipios o cantones más poblados para cada país. (Proyección y Datum: WGS84. Cartografía digital por Geóg. Paula M. Pérez-Briceño).

Las tormentas tropicales o ciclones tropicales son sistemas meteorológicos de baja presión en donde el viento gira contra las manecillas del reloj en el hemisferio norte y que acumulan gran cantidad de nubes que luego precipitan con gran intensidad. Se clasifican de acuerdo a la escala de Saffir-Simpson. Primero es una depresión tropical (alcanza 62 km/h), después una tormenta tropical (de 63 a 117 km/h)

y luego un huracán o ciclón tropical (>118 km/h). La época de huracanes en el Océano Atlántico y en el Mar Caribe, que pueden afectar a la región centroamericana se extiende desde junio hasta finales de noviembre, siendo setiembre, el mes de mayor ocurrencia en esta área, sin embargo, pueden ocurrir sistemas fuera de estos meses (Alfaro y Quesada, 2010). En promedio se presentan siete ciclones al año, entre tormentas tropicales y huracanes (Fallas y Oviedo, 2003). En algunas ocasiones, los sistemas que se forman en el océano Pacífico pueden afectar al istmo centroamericano (Amador *et al.*, 2011).

Las ondas del este son características de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), se pueden encontrar tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico durante el verano y otoño del Hemisferio Norte y pueden servir como la perturbación inicial para la formación de un ciclón tropical (Serra *et al.*, 2010).

Los frentes fríos o empujes polares ocurren desde finales de noviembre hasta inicios de marzo, sin embargo, pueden ocurrir sistemas fuera de estos meses (Zárate-Hernández, 2013). Éstos pueden provocar temporales o lluvias continuas de más de 24 horas. Se trata de la interacción de dos masas de aire, una fría y una cálida, en donde la fría desplaza a la cálida generando nubes estratiformes (Cuadrat y Pita, 1997; Fallas y Oviedo, 2003).

Los fenómenos antes mencionados pueden llegar a provocar ciertas condiciones en la superficie terrestre que se pueden traducir en algún tipo de desastre, es por ello que la prevención, mitigación y sobre todo adaptación a estos fenómenos es imprescindible, aquí es donde la gestión del riesgo juega un papel importante y todavía más la gestión del riesgo climático.

Dentro de la gestión de riesgo, hay conceptos que se deben aclarar, entre ellos están amenaza que es la posibilidad de ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad (Neri y Magaña, 2016). Hay ciertas condiciones de la sociedad que propician un mayor o menor grado de impacto (Lavell, s.f., Muñoz *et al.*, 2012). La ocurrencia de un evento no supone una amenaza en sí, el impacto va a depender de la magnitud de un evento y de la vulnerabilidad de un lugar (Retana, 2012).

La vulnerabilidad es un concepto más relacionado con la sociedad, ya que toma en cuenta sus características que la pueden predisponer a sufrir daño, no el daño en sí, y que posteriormente dificulta su recuperación (Lavell, s.f.). La vulnerabilidad también puede ser entendida como el grado de exposición a un riesgo, a la proximidad que se tiene con una amenaza ya sea por la ubicación geográfica o por el contexto que me acerque a percibir un evento como amenaza y también a la sensibilidad y capacidad adaptativa (Neri y Magaña, 2016; Muñoz *et al.*, 2012; Wilches-Chaux, 1993).

El riesgo se conceptualiza como la probabilidad que pueda suceder un evento dañino causante de pérdidas y perjuicios sociales, psíquicos, económicos o ambientales y puede tener diversos grados y afectar varios sectores (Neri y Magaña, 2016; Lavell, s.f.). El desastre es el resultado final de un proceso donde se exponen las condiciones de riesgo preexistentes en la sociedad, y es por ello que analizar los impactos en una serie temporal identificando su distribución espacial relacionándolos con algunos indicadores sociales o económicos, muestra un panorama de las condiciones de la sociedad en estudio.

La gestión del riesgo climático viene a desarrollar la capacidad nacional para analizar, prevenir y gestionar los riesgos relacionados con la variabilidad y el cambio climático, y definir soluciones de gestión de riesgos. Utiliza información sobre los riesgos existentes para generar tres tipos de patrones: a) patrones históricos y actuales de las amenazas relacionadas con el clima, b) las tendencias observables para la creación de nuevos patrones de riesgos, y c) predicciones de escenarios climáticos (PNUD, 2010).

2. Metodología

Se recolectaron datos de impactos de desastres producidos por eventos hidrometeorológicos como sistemas de baja presión, ondas del este, empujes polares, sequías, tormentas y ciclones tropicales; provenientes de tres bases de datos: DesInventar (http://www.desinventar.org), EM-DAT (http://www.emdat.be) para los seis países del área en estudio y la base de eventos hidrometeorológicos extremos y sus impactos en Costa Rica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN; http://imn.ac.cr/).

DesInventar es una base de desastres regional con información sistemática de reportes de impactos pequeños o medianos; fue desarrollada por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La RED), utilizando información pre-existente como noticias de periódicos, informes institucionales para nueve países de América Latina y se implementó para hacer visibles los impactos a nivel local (cantón o su equivalente) con el fin de facilitar la acción por parte de los actores en la gestión del riesgo (Velásquez y Rosales, 1999; Corporación OSSO, 2013).

EM-DAT es una colección sistemática de información de desastres sobre población vulnerable desarrollada por el Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), que provee datos como cantidad de personas muertas o afectadas y la relación con el daño económico. Esta información es invaluable para gobiernos y agencias encargadas de la gestión del Riesgo (CRED, 2009).

La base de datos sobre eventos hidrometeorológicos extremos y sus impactos en Costa Rica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se generó a partir de los boletines meteorológicos mensuales emitidos por el instituto y hacen referencia solo a eventos hidrometeorológicos que han causado algún impacto en la economía o la sociedad costarricenses (Retana, 2012).

La información fue recopilada a nivel de cantón o municipio o su equivalente con el fin de evaluar la distribución espacial de los impactos. Se identificaron 15 tipos de impactos: (1) daños asociados a inundaciones, (2) daños asociados a deslizamientos, (3) daños a la infraestructura vial, (4) daños a viviendas, (5) daños al sector agropecuario, (6) muertes, (7) daños y/o problemas con el alcantarillado público, (8) personas afectadas, (9) daños al sistema eléctrico, (10) problemas para navegación o aviación, (11) caída de árboles, (12) reportes de enfermos o heridos, (13) problemas con el abastecimiento de agua potable, (14) otros daños asociados a sequías y (15) daños varios (estos no están contemplados en los anteriormente citados, por la inexactitud del impacto se mostrará pero no será utilizado como punto de referencia). En el caso de la cantidad de muertes y población afectada, esta información fue excluida para el análisis final, ya que es un dato poco certero por la dificultad de tener un número exacto.

La serie temporal abarca eventos desde 1900 hasta el 2014, es heterogénea entre los países por las diferencias para recolectar la información: Guatemala 1949-2011 con 4.387 registros, Honduras 1919-2012 con 8.995 registros, El Salvador 1900-2012 con 5.166 registros, Nicaragua 1931-2011 con 1.867 registros, Costa Rica 1950-2011 con 11.557 registros y Panamá 1900-2014 con 2.059 registros.

Para analizar la distribución espacial de los impactos generados por fenómenos hidrometeorológicos, se mapeó para cada uno de los países el total de impactos reportados por cantón o su equivalente. Se utilizó el método de intervalo definido de acuerdo al número de clases, en este caso seis (ESRI, 2015), con la excepción de la última clase que es mayor el tamaño del rango por el incremento significativo de los impactos y se sale del común de los reportes. Para ello se utilizó el software ArcGIS 10.2 Licencia Institucional-UCR.

Se recolectaron datos sociales para complementar el análisis, la información recopilada está desagregada por municipio (o su equivalente) y se compone de Índice de Desarrollo Humano IDH (Guatemala 2010, Honduras 2006, El Salvador 2009, Costa Rica 2009, Panamá 2000), índice de Salud (Guatemala 2002), Índice de Educación (Guatemala 2002, El Salvador 2009), ingresos (Guatemala 2002), población total, población masculina y femenina (Guatemala 2002, Honduras 2001, El Salvador 2007, Nicaragua 2005, Costa Rica 2011, Panamá 2011), pobreza (Guatemala 2002, Honduras 2001, El Salvador 2005, Costa Rica 2009, Panamá 2002), pobreza extrema (Guatemala 2002, Honduras 2001, El Salvador 2005, Nicaragua 1995), Tasa/Porcentaje de Analfabetismo (Honduras 1996, Nicaragua 2005), Escolaridad (Honduras 1996), Índice de Desarrollo Social (Costa Rica 2013) e Índice de Desarrollo Relativo al Género (Costa Rica 2009).

El Índice de Desarrollo Humano es un indicador creado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que hace énfasis en que las personas y sus capacidades deben ser el criterio para evaluar un país y no las variables económicas; se compone de: Esperanza de Vida al Nacer, Educación y PIB per Cápita (PNUD, 2014).

El índice de Salud según el Programa de los Informes Nacionales de Desarrollo Humano y Objetivos de Desarrollo del Milenio (PNUD, 2011b), incluye la esperanza de vida al nacer; es decir, cuál es la edad más probable que puede alcanzar ese individuo suponiendo que se mantienen los patrones demográficos de ese momento, en cuanto al índice de educación se contempla la tasa de alfabetización para mayores de 15 años y la matrícula combinada de tres niveles educativos y finalmente el ingreso se establece a partir del promedio de ingresos de la población.

El Índice de Desarrollo Social (Costa Rica) aborda condiciones esenciales para el desarrollo social en las dimensiones económica, educación, participación electoral y salud, vinculadas con los derechos humanos ampliamente reconocidos en la Declaración Universal de Derechos Humanos (MIDEPLAN, 2013). El Índice de Desarrollo Relativo al Género valora el impacto producido por las desigualdades existentes entre hombres y mujeres en el desarrollo humano. Este índice no es una medida per se de la desigualdad de género, sino una medida del desarrollo humano (IDH) ajustado con el objeto de penalizar desigualdades entre hombres y mujeres en tres dimensiones (educación, salud y nivel de vida; PNUD, 2011a).

Por tanto, se utilizaron los datos de impactos reportados y los datos sociales reportados por municipio para cada país se calcularon las correlaciones de Spearman. No fue posible incluir los municipios Ruaxruaha, Olapa y Esquipulas de Guatemala, Tecoluca y Armenia de El Salvador, San Francisco, Juticalpa, Patuca, Santa Bárbara y Yorito de Honduras debido a la existencia de vacíos de información.

3. Resultados

El estudio mostró que el cantón (o su equivalente) de cada país con mayor población coincide con el cantón de mayor reporte de impactos y que a su vez estos seis municipios son las capitales de los seis países: Ciudad de Guatemala (Guatemala), Distrito Central (Honduras), San Salvador (El Salvador), Managua (Nicaragua), San José (Costa Rica), Ciudad de Panamá (Panamá). Además, los cinco primeros municipios (o su equivalente), con mayor cantidad de habitantes están presentes en los diez municipios con mayor número de impactos con excepción en Masaya (posición 3 en población) en Nicaragua, Danlí (posición 5 en población) en Honduras y en Guatemala en los municipios Mixco (posición 2 en población), San Juan Sacatepéquez (posición 4 en población), y San Pedro Carcha (posición 5 en población; figuras 1 y 2).

La figura 2 muestra los seis tipos de impactos que afectan en mayor cantidad, en la mayoría de los países los tres impactos más reportados fueron inundaciones, daños a viviendas, y daños varios. En el caso de Honduras el daño en la infraestructura vial tiene mayor ocurrencia (figura 2b).

El comportamiento espacial de los impactos reportados se visualiza en la figura 3. En Guatemala los municipios con las dos clases mayores se encuentran dispersos en el territorio, cuatro en zonas costeras (La Gomera, San José Escuintla, Nueva Concepción en el Océano Pacífico y Puerto Barrios en el Mar Caribe). Guatemala (municipio), Quetzaltenango y Sololá se ubican en el centro del país, mientras Coatepeque se localiza al oeste del país hacia la costa (figura 3a). Los tipos de impactos que predominan son los daños a viviendas e infraestructura vial, y para Nueva Concepción los daños al sector agropecuario es considerable (figura 2a). Las correlaciones resultaron predominantemente positivas con las excepciones de porcentaje de población femenina y pobreza, cuya correlación resultó inversa. Por otra parte, las correlaciones resultantes tienen niveles muy bajos y moderados de significancia en el caso de Población Total (tabla 1).

En Honduras, los municipios que reportan más impactos están distribuidos en las costas, principalmente en la colindante con el Mar Caribe (San Pedro Sula, El Progreso, La Ceiba, Puerto Cortés, Potrerillos, La Lima, Choloma) y en el Pacífico el municipio Choluteca. El máximo lo reporta el Distrito Central, que se localiza en el centro de territorio hondureño (figura 3b). Daños asociados a inundaciones, el daño a viviendas y a la infraestructura vial, son lo que más generan reportes, pero sin dejar de lado que los problemas en el sector agropecuario estuvieron presentes en los diez municipios con mayores impactos (figura 2b). Los valores de correlación son estadísticamente significativos y positivos (tabla 1), con la excepción de la Tasa de Analfabetismo que tiene un comportamiento inverso.

En El Salvador, los municipios San Salvador, San Miguel y Santa Ana reportaron mayor cantidad de impactos, espacialmente se encuentran aislados rodeados de municipios con pocos impactos. Santa Ana al Noroeste, San Salvador en el centro del país, y San Miguel hacia el Este (figura 3e). San Salvador es un caso particular, ya que se sale significativamente del patrón de reportes de los demás municipios y triplica al segundo, San Miguel (figura 2c). En la figura 1, se puede identificar San Salvador como uno de los municipios más poblados. De las siete correlaciones de índices sociales; cinco poseen un valor de correlación entre bajo y moderado positivo (p = 0,001), mientras los dos valores restantes, Tasa de Pobreza Extrema en Hogares y Tasa de pobreza en Hogares poseen valores de correlación bajos e inversos.

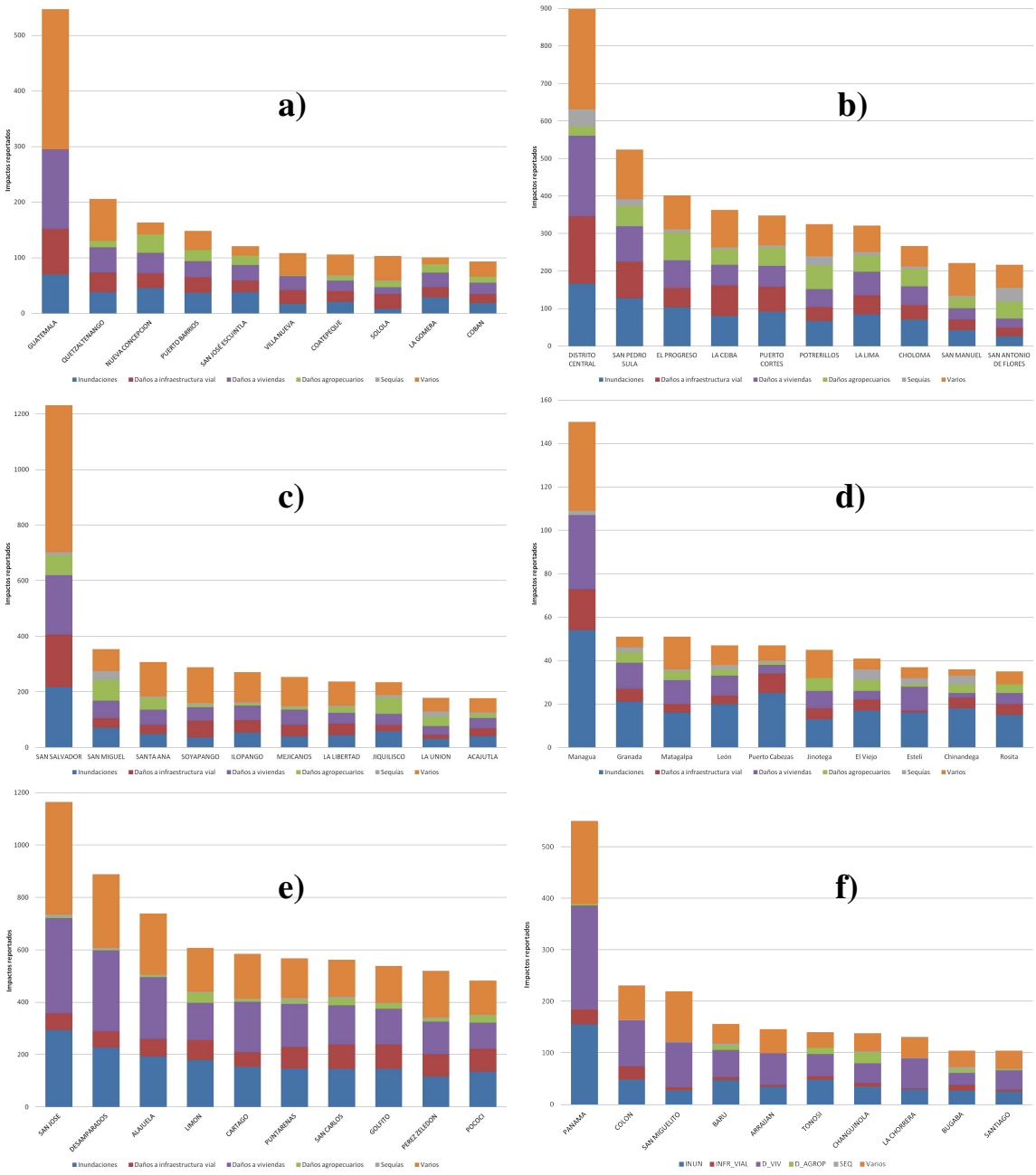


Fig. 2: Los diez cantones o municipios con mayor reportes de impactos asociados a fenómenos hidrometeorológicos en a) Guatemala, b) Honduras, c) El Salvador, d) Nicaragua, e) Costa Rica y f) Panamá.

Tabla 1: Correlación espacial según Spearman entre la cantidad de impactos reportados en la figura 3 y valores sociales.

Variable/Índice	Guatemala	Honduras	El Salvador	Nicaragua	Costa Rica	Panamá
IDH	0,177	0,453	0,349	–	-0,202	0,233
Índice de Desarrollo Relativo al Género	–	–	–	–	-0,134*	–
Índice de Desarrollo Social	–	–	–	–	-0,096*	–
Índice de Salud	0,189	–	–	–	–	
Índice de Educación	0,104*	–	0,265	–	–	
Ingresos	0,141	–	–	–	–	
Población Total	0,449	0,491	0,402	0,451	0,804	0,649
Población Masculina	–	0,459	0,405	0,441	0,811	0,636
Población Femenina	–	0,483	0,402	0,443	0,796	0,657
Porcentaje de Pobreza	-0,117	-0,284	–	-0,3	-0,424	
Porcentaje de Pobreza Extrema	-0,180	-0,298	0,107*	–	–	
Pobreza	–	0,474	–	–	–	–
Pobreza Extrema	–	0,455	–	–	–	–
Tasa/Porcentaje de Analfabetismo	–	-0,327	–	-0,002*	–	–
Escolaridad en años	–	0,369	–	–	–	–

(*: Datos con correlaciones no significativas al 95 %).

En Nicaragua, Managua reportó la mayor cantidad de impactos los cuales están asociados a inundaciones y daños a viviendas (figura 2d), además se localiza en el centro del país, colindante con el lago Xolotlán (Lago de Managua). El resto de los municipios con mayor reporte de impactos están distribuidos en el territorio de manera dispersa. En la vertiente Caribe, Puerto Cabezas reporta gran cantidad impactos (asociados a inundaciones), y ocupa la posición 13ª con relación al tamaño de la población. En la vertiente Pacífico los municipios El Viejo, León, Chinandega son los que más reportan impactos (figura 3d) y también destacan entre los que poseen mayor población (figura 1). Se establecieron cinco correlaciones: población total, Población Masculina y Población Femenina poseen una correlación moderada, mientras que Porcentaje de Analfabetismo y Pobreza Extrema poseen valores de correlación no significativos.

En Costa Rica, los cantones con el mayor reporte de impactos están en el Valle Central y son colindantes (San José y Desamparados), además son de los cantones más poblados. Los cantones de la siguiente categoría: Alajuela, Limón, Cartago, Puntarenas, San Carlos, Golfito, Pérez Zeledón y Pococí, con excepción de Golfito están entre los 12 cantones más poblados y están catalogados como ciudad (figura 3e). Los daños a viviendas predominan seguido de daños asociados a inundaciones y los daños a infraestructura vial; Limón y San Carlos son cantones que reportan daños en el sector agropecuario (figura 2e). Los valores de correlación obtenidos para Población Total, Población de Hombres y Población de Mujeres es fuerte y positiva ($p = 0{,}001$).

En Panamá, el daño a viviendas es el que tiene mayor cantidad de reportes, y los daños a la infraestructura vial son recurrentes. Changuinola, en relación a los otros distritos presenta un mayor reporte de daños en el sector agropecuario (figura 2f). El distrito Panamá es quien logra el mayor número de impactos, se localiza en el centro del país y es colindante al Océano Pacífico. Los otros dos sitios que obtienen más impactos son Colón (en la costa del Mar Caribe), San Miguelito (circunscrito en el distrito Panamá) y Barú (contiguo al Océano Pacífico y a Costa Rica; figura 3f). La correlación con siete indicadores sociales tienen un comportamiento predominantemente alto y positivo con la excepción de porcentaje de pobreza que tiene una correlación moderada e inversa. Todas las correlaciones son estadísticamente significativas.

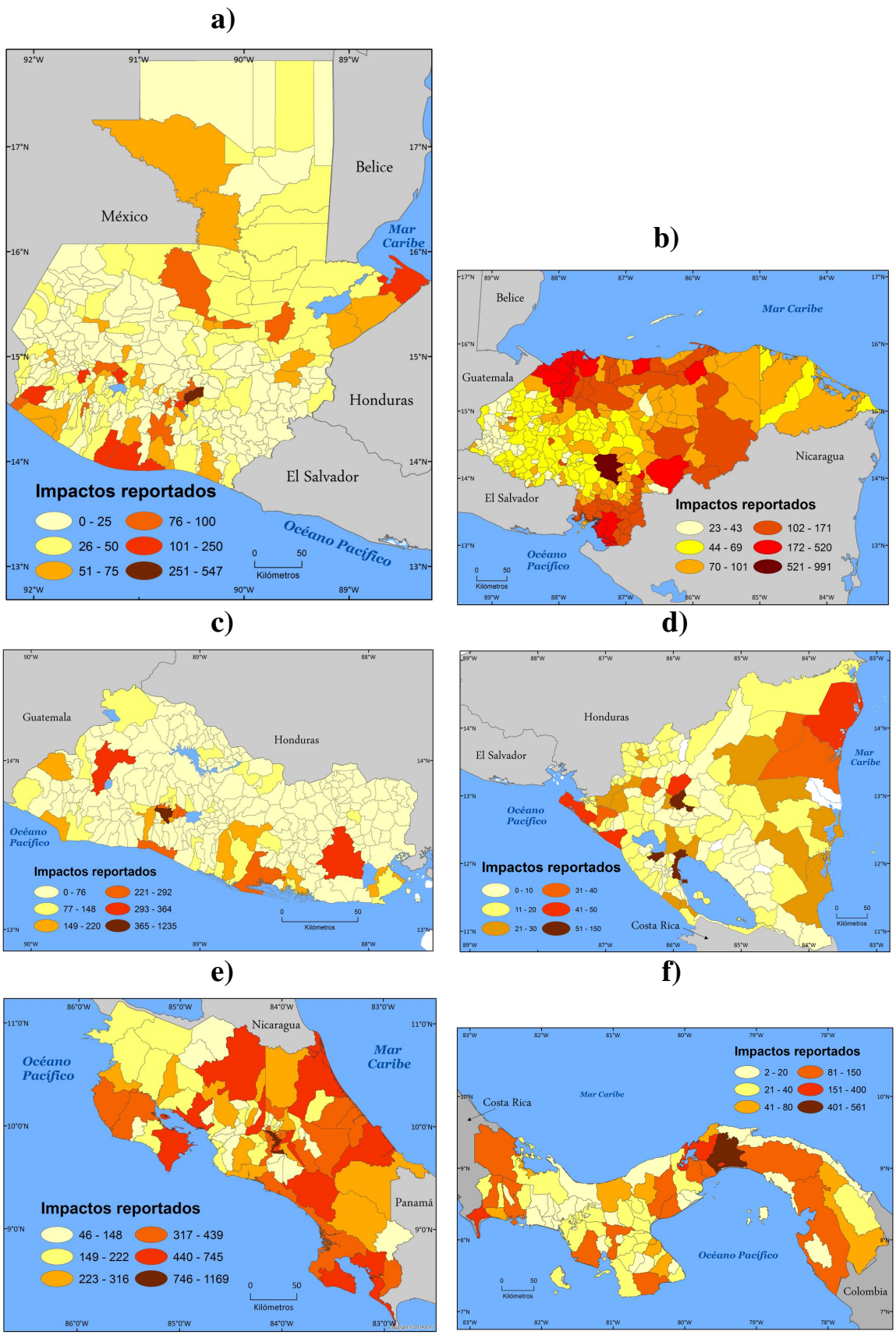


Fig. 3: Distribución espacial de los impactos reportados en seis países de América Central: a) Guatemala, b) Honduras, c) El Salvador, d) Nicaragua, e) Costa Rica y f) Panamá. Fuente: bases de datos EM-DAT, DesInventar, IMN. (Proyección y datum: WGS84. Cartografía digital por Geóg. Paula M. Pérez-Briceño).

La figura 4 muestra la distribución de los reportes durante el año, los seis países tienen un comportamiento similar, donde los impactos se acumulan de mayo a noviembre. Para este periodo daños asociados a inundaciones siempre están presentes, así como el daño a viviendas. En el caso de daños asociados a sequía se registra a lo largo del ciclo anual.

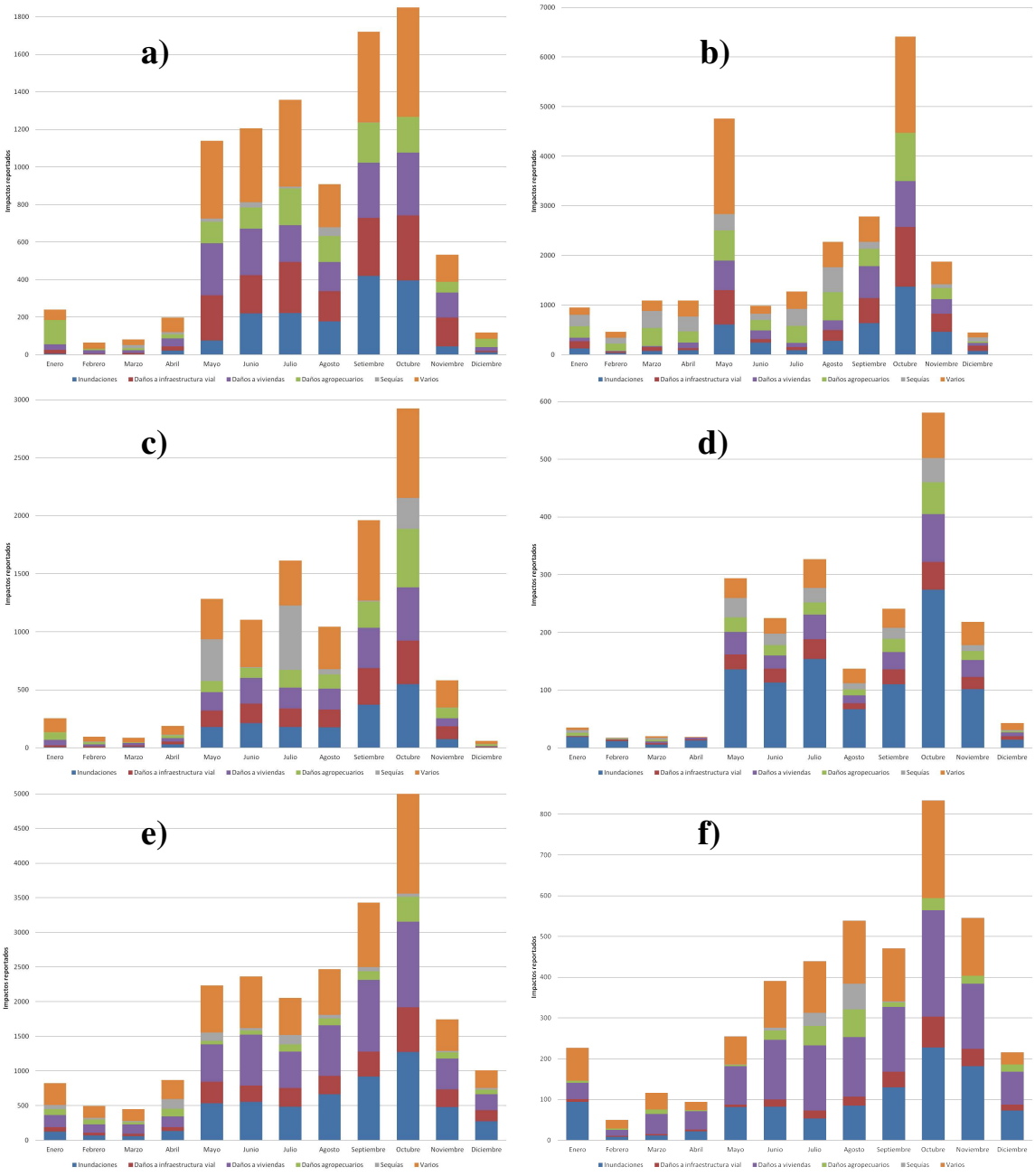


Fig. 4: Ciclo anual del reporte de impactos en seis países de América Central: a) Guatemala, b) Honduras, c) El Salvador, d) Nicaragua, e) Costa Rica y f) Panamá.

4. Discusión

Los mapas mostraron una distribución espacial de los impactos muy dispersa y en ambas vertientes. Hay cantones o municipios con muchos impactos que se comportan como islas rodeados de municipios con reportes bajos (figura 3). El tamaño de la población (figura 1) y la cantidad de impactos (figura 3), en todos los casos mostró una correlación significativa y positiva, es decir que a mayor número de

impactos, ese municipio o cantón posee mayor población. Sin embargo, en Honduras la mayoría de los impactos se presentan en la parte noreste del país, región que es frecuentemente afectada por huracanes (CATHALAC, 2015).

La correlación entre los eventos hidrometerorológicos y la cantidad de impactos reportados además de los registros totales de impactos por municipio, responden el planteamiento realizado por Westerberg *et al.* (2010), quienes sostienen la importancia de la descripción tanto temporal como espacial de impactos hidrometeorológicos en América Central para actividades como agricultura, manejo de áreas inundables y abastecimiento de agua. Al establecer correlaciones entre ambas variables, no solo se cuantifica la cantidad de afectaciones según su tipo por municipio, sino que se va más lejos al establecer relaciones que aportan respuestas al planteamiento realizado por Alfaro *et al.* (2016) en el cual no descartan la posibilidad de que algunos contrastes en la calidad de vida en América Central sean exacerbados por características socioeconómicas y climáticas (Hidalgo y Alfaro, 2012). Las correlaciones indican cuánta relación existe entre los índices ya mencionados y la cantidad de reportes de impactos, siendo la población total la que más relación guarda con la cantidad de impactos reportados con una correlación significativa y positiva en todos los países. Por otra parte, en Honduras donde la variable de pobreza es absoluta se encontró una correlación significativa y positiva con los impactos (como era de esperar). En los demás países los datos de pobreza son relativos, por esa razón las correlaciones con los impactos son negativas ya que la población viviendo en condiciones de pobreza relativa a la población total de ese gobierno local más bien disminuye.

Según el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC, 2015), las costas con el mayor índice de vulnerabilidad a marejadas producto de tempestades (2010) en la región se ubican principalmente en la línea comprendida desde el Caribe norte costarricense hasta Gracias a Dios en Honduras y desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo norte guatemalteco en la costa del Pacífico. Sin embargo, en la figura 3 se evidencia que las áreas costeras determinadas como más vulnerables no precisamente coinciden con las áreas de mayor reporte de impactos, lo cual indica que las características socio-demográficas, especialmente la población total y el Índice de Desarrollo Humano (tabla 1), son importantes en la configuración de la distribución de impactos producto de fenómenos hidrometeorológicos.

En Guatemala las correlaciones indican que conforme es más alto el valor de los indicadores, exceptuando pobreza, pobreza extrema y analfabetismo se da una mayor cantidad de impactos hidrometeorológicos. En el caso de porcentaje de pobreza y porcentaje de pobreza extrema, la correlación es inversa, lo cual indica que conforme menores sean los valores de estos indicadores mayor es la cantidad de impactos hidrometeorológicos reportados por las razones expuestas en párrafos anteriores.

En el caso de Costa Rica, las dos categorías con mayor cantidad de impactos se localizan en las ciudades más pobladas, a excepción de Golfito, que es una ciudad litoral (ICT, s.f.). De los cantones que reportan más impactos, cuatro tienen influencia costera, dos en la vertiente Pacífica y dos en la Caribe.

Para Panamá, el sitio con mayor reporte de impactos es el distrito Panamá, en donde vive el 43 % de la población del país, es un área urbana que reporta más impactos a viviendas y en la infraestructura vial (Gordón, 2014). Este autor calculó el índice de riesgo manifiesto (severidad del daño causado), y este distrito Panamá presenta el mayor valor. En síntesis, Panamá es un país con un alto grado de impactos por eventos hidrometeorológicos, en relación a eventos sísmicos o de otra índoles, los eventos hidrometeorológicos los categoriza como de pequeña escala y cotidianos (Gordón, 2014).

El análisis espacial de distribución de impactos y su relación con variables de carácter socioeconómico, es un importante insumo para la aplicación de políticas públicas efectivas en la reducción de impactos mediante la posibilidad de valorar de manera específica cuales indicadores guardan mayor relación con la ocurrencia de estos y qué lugares deben priorizarse, en la implementación de nuevas estrategias.

En síntesis, los resultados no son aplicables para un análisis a escala local, por la generalización de la unidad territorial que aún es divisible (por ejemplo en distritos), pero si son funcionales en el caso de política pública nacional, enfocada a la gestión del riego climático. Este tipo de estudio ayuda a visualizar patrones espaciales, temporales y de frecuencia, complementando con la cuantificación de los tipos de impactos que se generan frente a los eventos hidrometeorológicos de escala regional.

Esto con el fin de implementar medidas que promuevan la mejora de las condiciones de la población, o bien continuar con el proceso de educación a la población en materia de prevención, adaptación y mitigación adoptado por los Sistemas Nacionales para así minimizar el riesgo en el que se ha acostumbrado a vivir.

Agradecimientos

El estudio se realizó dentro del marco de los siguientes proyectos del Centro de Investigaciones Geofísicas, Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica: A9-532 (apoyado por CSUCA-ASDI), B3-600 (apoyo del fondo de estímulo UCR), B0-065, B4-227, B4-228, B0-810, A1-715, A4-906 (PES-CTMA/CIGEFI) y B6-143 (apoyo del fondo de estímulo UCR, CONICIT y MICITT).

Bibliografía

Alfaro E, Quesada A (2010): Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *Revista Intersedes*, 11:136-153.

Alfaro E, Hidalgo H, y Pérez-Briceño PM (2016): Mapping the vulnerability to hydrometeorological hazards across Central America. Study case: Honduras. Sometido a Climatic Change.

Alfaro EJ, Pérez-Briceño PM (2014): Análisis del impacto de fenómenos meteorológicos en Costa Rica, América Central, originados en los mares circundantes. *Revista de Climatología*, 14:1-11.

Amador JA, Alfaro EJ, Hidalgo H y Calderón B (2011): Central America. In: State of the Climate in 2010, Special Supplement to the *Bull. Amer. Met. Soc.*, 92:182-183.

Banco Mundial (2015): Datos por país. http://datos.bancomundial.org/pais

CATHALAC (2015): Evaluación de la vulnerabilidad de las costas de Centroamérica a amenazas de tempestades. http://www.cathalac.int/es/prensa/cathalac-prensa/ultimas-noticias/1583-evaluacion-de-la-vulnerabilidad-de-las-costas-de-centroamerica-a-amenazas-de-tempestades

Consejo Municipal de Tajumulco (2010): Plan de desarrollo Tajumulco, San Marcos.

Corporación OSSO (2013): Qué es DesInventar. http://www.desinventar.org/es/desinventar.html

CRED (2009): EM-DAT, The International Disaster Data Base. http://www.emdat.be/about

Cuadrat JM, Pita MF (1997): *Climatología*. Ediciones Cátedra, Madrid.

ESRI (2015): Métodos de clasificación de datos [Ayuda del programa].
http://pro.arcgis.com/es/proapp/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm

Fallas JC y Oviedo R (2003): Cap.IV: Los Desastres. En Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana (Oviedo R, Fallas JC, Ed.), Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.

Granados C (1985): Hacia una definición de Centroamérica: El peso de los factores Geopolíticos. *Anuario de estudios Centroamericanos*, 11:59-78.

Gordón C (2014): Caracterización de la ocurrencia e impacto por desastres de origen natural en Panamá. 1990-2013. *Invest. pens. Crit.*, 2:4-25.

Hidalgo H y Alfaro E (2012): Some Physical and Socio-economical Aspects of Climate Change in Central America. *Progress in Physical Geography*. 36:380-399, doi: 10.1177/0309133312438906.

Ibarra AM (2008): Centroamérica: una región de múltiples amenazas y alta vulnerabilidad. Algunos apuntes conceptuales. En R. R. P. Andrés, (Ed.), *Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica* (p. 400). Girona: Documenta Universitaria.

ICT (s.f.): Reglamento a la ley sobre la Zona Marítimo Terrestre. Departamento Legal del Instituto Costarricense de Turismo, La Gaceta, 3, 26 pp.

Lavell A (s.f.): Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una definición.
http://www.cridlac.org/cd/cd_inversion/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf

MIDEPLAN (2013): Costa Rica: Índice de Desarrollo Social 2013. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.

Muñoz ÁG, Ruiz-Carrascal D, Ramírez P, León G, Quintana J, Bonilla A. Torres W, Pastén M, Sánchez O (2012): Risk Management at the Latin American Observatory, Risk Management-Current Issues and Challenges, Dr. Nerija Banaitiene (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/50788.

Neri C, Magaña V (2016): Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico. *Weather, Climate and Society*, 8:95-110.

PNUD (2010): Gestión del Riesgo Climático. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUD (2011a): Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica 2011. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Universidad de Costa Rica.

PNUD (2011b): Cifras para el Desarrollo Humano Guatemala. Programa de los Informes Nacionales de Desarrollo Humano y Objetivos del Milenio.

PNUD (2014): El Índice de Desarrollo Humano (IDH). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Retana JA (2012): Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima. *Revista de Ciencias Ambientales*, 44:5-16.

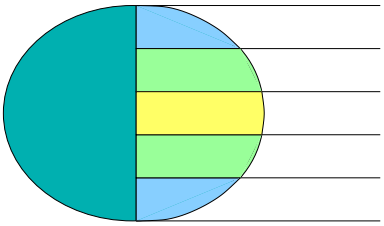
Serra YL, Kiladis GN, Hodges KI (2010): Tracking and Mean Structure of Easterly Waves over the Intra-Americas Sea. *Journal of Climate*, 25:4823-4840.

Taylor M y Alfaro E (2005): Climate of Central America and the Caribbean. En Oliver J (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology*, pp. 183-189, Springer, Holanda.

UNISDR, CEPREDENAC (2014): Informe Regional del Estado de la Vulnerabilidad y Riesgos de Desastres en Centroamérica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC); Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), Panamá.

Velásquez A y Rosales C (1999): Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de desastres en América Latina utilizando DesInventar. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina-LA RED.

Westerberg I, Walther A, Guerrero JL, Coello Z, Halldin S, Xu CY, Chen D, Lundin LC (2010): Precipitation data in a mountainous catchment in Honduras: quality assessment and spatiotemporal characteristics. *Theor. Appl. Climatol.*, 101:381-396. doi:10.1007/s00704-009-0222-x.

Wilches-Chaux G (1993): La Vulnerabilidad Global. La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Zárate-Hernández E (2013): Climatología de masas invernales de aire frío que alcanzan Centroamérica y el Caribe y su relación con algunos índices Árticos. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 12:35-55.