

INTERSEDES

REVISTA ELECTRÓNICA DE LAS SEDES REGIONALES DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



Mural de colectivo artístico de Guanacaste

Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica

*Eric J. Alfaro Martínez
Adolfo Quesada Román*

WWW.INTERSEDES.UCR.AC.CR
VOL. XI, N°22 (2010)
ISSN 2215-2458

Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica ¹

(Tropical cyclone occurrences in the caribbean sea and their impact on Central America)

Eric J. Alfaro Martínez²

Adolfo Quesada Román³

Recibido: 1 de setiembre

Aprobado: 25 octubre

Resumen

Se definieron en este trabajo los años de alto o bajo impacto en Costa Rica por el paso de Ciclones Tropicales en el Caribe para 1948-2007. Costa Rica posee una base rica en información sobre desastres naturales que afectaron directamente los centros poblacionales y diversos sectores socioeconómicos, lo que permitió el detallar los desastres sufridos en Costa Rica por Ciclones Tropicales durante las últimas seis décadas. El análisis mostró que la tendencia encontrada en el reporte anual de impactos por eventos hidrometeorológicos no puede ser explicada totalmente por efectos climáticos, por lo que se hace necesario incluir variables socioeconómicas para hacerlo.

Palabras claves: Huracanes, Ciclones Tropicales, Impactos, Desastres Naturales, Mar Caribe, América Central, Costa Rica, Variabilidad Climática.

Abstrac

The study defined years with high and low tropical cyclone impacts in Costa Rica related to tropical cyclone occurrences in the Caribbean Sea during 1948-2007. Costa Rica has a detailed disaster data base with information about the tropical cyclone impacts on different population locations and socioeconomic sectors that allowed its study during the last six decades. The analysis showed a trend in the annual number of impacts related with hydrometeorological causes that cannot be explained by climate trends only. It means that other variables like those related with socioeconomic aspects should be included in the analysis to explain this variability and their associated impacts.

Key words: Hurricanes, Tropical Cyclones, Impacts, Natural Disasters, Caribbean Sea, Central America, Costa Rica, Climate Variability.

¹ Este trabajo se realizó gracias a los proyectos CRN2050-IAI y 805-A7-002, A8-606, A9-532-UCR. Gracias a Xinia Soto y David Enfield por sus comentarios y sugerencias durante la elaboración del trabajo.

² Profesor de la Escuela de Física e Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas y del Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica (erick.alfaro@ucr.ac.cr)

³ Colaborador del Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica (adolfo.quesada@gmail.com)

Introducción

Según se detalla en el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés (IPCC, 2007), es probable (66 a 90% de probabilidad) de que a partir de 1970 se esté observando un incremento en la actividad de ciclones tropicales intensos en la cuenca del Océano Atlántico. Sin embargo, también se resalta que la existencia de una fuerte variabilidad multidecadal en este océano (e.g. Goldenberg *et al.*, 2001) que dificulta la detección de tendencias a largo plazo en la actividad de los ciclones tropicales. Además, pudo haber muchos ciclones tropicales que no fueron contados o detectados en el pasado, especialmente en periodos previos al año 1944, cuando se comenzaron los reconocimientos aéreos por parte de los aviones conocidos como “caza huracanes” (Landsea *et al.*, 2010). Agrega también el IPCC (2007) que a la fecha, no hay una clara tendencia en el número anual de ciclones tropicales, lo que concuerda con Landsea *et al.* (2010) quienes señalan que el periodo y el área de estudio elegidos pueden ser aspectos importantes en la detección de tendencias a largo plazo de la actividad anual de los ciclones tropicales. Esto fue corroborado por Alfaro (2007), quién encontró una tendencia lineal positiva significativa al 95%, pero no al 99%, en la actividad anual del total de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico para el período 1944-2004. Sin embargo, Alfaro *et al.* (2010) no encontraron una tendencia estadísticamente significativa al 90%, en la actividad anual del total de ciclones tropicales en la cuenca del Mar Caribe para el período 1968-2007, a pesar de que si se encontró una tendencia lineal positiva en el número total de reportes de desastres y situaciones de emergencia en Costa Rica, asociadas a la presencia de Ciclones Tropicales en el Mar Caribe. Lo anterior al estudiar la base de desastres DesInventar (Velásquez y Rosales, 1999), para el período 1970-2007.

Por otra parte, basado en los escenarios futuros de cambio climático, el IPCC (2007) señala que es probable que debido al calentamiento de las aguas superficiales del mar, los ciclones tropicales se vuelvan más intensos (vientos más fuertes y lluvias más intensas) y que se tiene poca confianza en una reducción futura del número global de ciclones tropicales. Sin embargo, estudios recientes como los realizados por Bender *et al.* (2010), señalan un posible incremento en el número anual de huracanes intensos en la cuenca del Atlántico para finales del siglo XXI, aunque el número total de ciclones tropicales en dicha cuenca más bien decrece según estos mismos autores. En términos del estudio de los impactos de estos sistemas, el resultado anterior es también sujeto de discusión, ya que muchos de los impactos encontrados para Costa Rica por Alfaro *et al.* (2010) no están asociados a huracanes intensos y se encontró también que un sistema considerado débil, como una baja presión o una depresión tropical (e.g. Chinchilla *et al.*, 2010), puede causar un impacto importante en un sitio de interés determinado, dependiendo de su ubicación con respecto al istmo, su velocidad de avance y su tiempo de permanencia en la cuenca.

Debido a lo anterior, se plantea como objetivo de este trabajo, analizar las ocurrencias de los ciclones tropicales cerca de América Central durante las últimas seis décadas (1948-2007) y utilizar diferentes bases de datos sobre los reportes de impactos por desastres naturales en Costa Rica y América Central, para explorar su variabilidad y su posible relación. Lo anterior, asociado a eventos hidrometeorológicos y relacionados con ciclones tropicales. Las siguientes secciones describen en forma sucesiva los datos y metodología empleados, los resultados, su discusión y por último, las principales conclusiones de este trabajo.

Metodología

El tratamiento de la información asociada a los ciclones tropicales es idéntico al explicado en Alfaro *et al.* (2010), sin embargo, el periodo de tiempo usado en este trabajo fue de 1948 al 2007 (60 años). La base de datos con información sobre los huracanes utilizada corresponde a la del proyecto HURDAT. Esta base de datos es pública y se accede en la dirección <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/> (recuperado el 18 de enero de 2010). Ella contiene datos relacionados con el ciclón tropical cada seis horas. Como primer paso se extrajo de la base la información correspondiente a aquellos ciclones tropicales que cruzaron o se formaron en o cerca del Mar Caribe; es decir, con posiciones geográficas observadas menores a 24° de latitud Norte y mayores a 60° de longitud Oeste. Para estudiar la ocurrencia de estos fenómenos en el Mar Caribe se formaron cuatro series de tiempo anuales. La primera corresponde a la suma total de ciclones tropicales, la segunda para aquella de tormentas con nombre, las cuales agrupan a tormentas tropicales y huracanes, la tercera sólo de ciclones tropicales catalogados como huracán y la cuarta de huracanes identificados como intensos, es decir aquellos que alcanzaron categoría tres o superior, según la escala de Saffir-Simpson (Hobgood, 2005). Posteriormente, se determinaron los años con mayor o menor ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe.

Para estudiar la ocurrencia de estos ciclones tropicales cerca de la costa caribeña de América Central, se creó un índice anual que consiste en la suma de las posiciones encontradas dentro de un círculo de radio de 3 o 7° con respecto a algún punto de la costa, desde 89°W-21.5°N a 77°W-8.3°N (ver Alfaro *et al.* 2010 y Alvarado y Alfaro 2003, para mayores detalles). Al igual que para las series anteriores se cuantificaron los años que presentaron una mayor o menor presencia de ciclones tropicales con respecto a la costa caribeña de América Central. La información sobre los reportes de desastres durante este periodo se obtuvo de dos bases de datos independientes. La primera fue la desarrollada dentro del marco del proyecto “Evaluación de los impactos y medidas de adaptación para el sector de recursos hídricos debido a eventos extremos

bajo condiciones de cambio climático en América Central”⁴, ejecutado en forma conjunta por la Universidad de Costa Rica y el Comité Regional de Recursos Hidráulicos del Sistema de Integración Centroamericana (Vega y Gámez, 2003). Dicha base de datos está basada en información periodística para Costa Rica y el proyecto será denominado de ahora en adelante como LA06. La segunda corresponde a la base de datos EM-DAT (<http://www.emdat.be/>, recuperado el 23 de agosto de 2010) y proporcionó información regional para los países de América Central. De estas bases de datos, se extrajo información anual de los desastres naturales correspondiente a los eventos hidrometeorológicos, exceptuando aquellos definidos como sequías. Luego, se seleccionaron los reportes asociados a las fechas en que se reportó la presencia de algún ciclón tropical en la cuenca del Mar Caribe. Lo anterior produjo dos series anuales de la suma de los reportes encontrados; es decir, aquella de todos los eventos hidrometeorológicos y la relacionada a la presencia de algún ciclón tropical. Se recopilaron los reportes hidrometeorológicos de estas bases de datos a partir del año 1950. La información obtenida del proyecto LA06 fue estudiada y desagregada a nivel nacional, cantonal (municipio) y distrital y la de la base de datos EM-DAT fue desagregada a nivel nacional para los siete países del istmo. Para el caso de Costa Rica, estos datos fueron contrastados con el Índice de Desarrollo Social (IDS), elaborado por el Ministerio de Planificación de Costa Rica en el año 2007 (MIDEPLAN, 2007) y para la región con el índice de desarrollo humano (IDH) elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en el año 2007 (PNUD, 2009).

Resultados

En la Fig. 1 se muestran las series anuales de la ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe para 1948-2007. No se observó una tendencia lineal estadísticamente significativa en ninguna de ellas ya que todas mostraron un *valor-p* mayor a 0.100. Esto último, significa que no tendríamos evidencia estadística suficiente para afirmar que el número total de ciclones tropicales está aumentando en el Mar Caribe durante este periodo, de acuerdo a la definición empleada. Lo anterior concuerda con lo hallado por el IPCC (2007) que indica que no hay una clara tendencia en el número anual de ciclones tropicales y por Landsea *et al.* (2010) quienes señalan que el periodo y el área de estudio elegidos pueden ser aspectos importantes en la detección de tendencias a largo plazo en la actividad anual de los ciclones tropicales. Por ejemplo, para el período 1968-2007, Alfaro *et al.* (2010) encontraron una tendencia lineal positiva en todas las series, sin embargo sólo la correspondiente a la de los huracanes intensos mostró una tendencia con un *valor-p* asociado menor a 0.01. Las series de los huracanes y de las

⁴ Los detalles del proyecto se pueden consultar en http://www.aiaccproject.org/aiacc_studies/aiacc_studies.html, haciendo clic en LA06, recuperado el 17/06/2010.

tormentas con nombres mostraron *valores-p* mayores a 0.010 pero menores a 0.050 y el correspondiente al total de los ciclones tropicales fue mayor a 0.100.

La suma de los eventos observados en este trabajo durante 1948-2007 fue de 344 para el total de los ciclones tropicales, 287 para las tormentas con nombre, 158 huracanes y 79 huracanes intensos. La mediana (intervalo intercuartil) de cada una de ellas fue de: 6 (4.5), 5(3.0), 2 (3.0) y 1 (2.0), respectivamente, muy similares a los presentados por Alfaro *et al.* (2010). Para la serie de tiempo asociada con el total de los ciclones tropicales, los años identificados con altas ocurrencias fueron el 2005 con 15 eventos, 1995 con 12, 1969 y 1953 con 11, 1996 y 1949 con 10 y 1955 con 9 eventos. Los años identificados con bajas ocurrencias fueron 1983 que no presentó ningún evento, los años 1976, 1991, 1992 con sólo 1 y 1972, 1977, 1986, 1987, 1997 y el 2002 con 2 eventos, respectivamente. Nótese que de estos años con pocas ocurrencias, muchos de ellos fueron identificados como fases cálidas del evento El Niño-Oscilación del Sur, conocidas como fenómenos de El Niño (Mora y Amador, 2001).

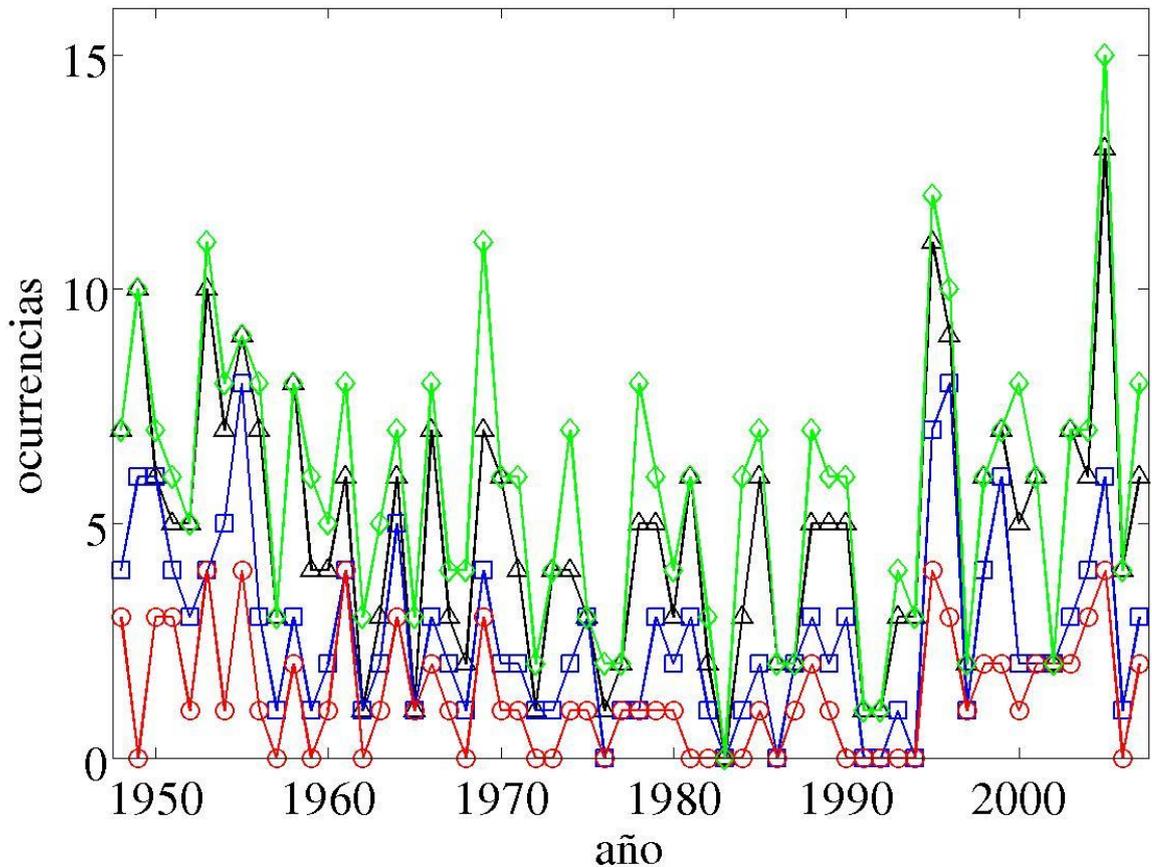


Fig. 1. Series anuales de la ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe (ocurrencias en latitudes menores a 24° N y longitudes mayores a 60° W), a partir de la base de datos HURDAT para 1948-2007. La línea verde con rombos es para el total de ciclones tropicales, la negra con triángulos es para el total de las tormentas con nombre, la azul con cuadros para el total de huracanes y la roja con círculos para el total de huracanes intensos (categoría 3 o mayor). Las tendencias (valores-p) observadas(os) durante este período fueron de -0,02 (0,5), -0,01 (0,6), -0,02 (0,28) y 0,00 (0,65) eventos año⁻¹, respectivamente.

Debido a que en América Central muchos de los efectos provocados por los ciclones tropicales se deben a los efectos llamados “indirectos”; es decir, debido a la circulación inducida por el ciclón sobre la región produciendo los llamados “temporales del Pacífico” (Fallas y Oviedo, 2003). En este trabajo se contabilizaron, anualmente, las posiciones cercanas a la costa del Caribe de América Central dentro de un radio de 7° de algún punto de la costa. La Fig. 2, muestra el índice normalizado para este umbral de 7°. Este índice mostró una tendencia lineal positiva pero con un *valor-p* asociado mayor a 0.100, lo que significa que no tendríamos evidencia estadística suficientemente fuerte para decir que está ocurriendo una mayor presencia de ciclones tropicales cercanos a las costas de América Central durante estos sesenta años. Los doce años identificados con mayores ocurrencias cerca de la costa fueron: 1953, 1961, 1964, 1969, 1970, 1971, 1988, 1995, 1996, 1998, 2001 y 2005. Los años con menores ocurrencias

fueron: 1957, 1959, 1962, 1963, 1976, 1982, 1983, 1984, 1986, 1991, 1992 y 1997.⁵ Las posiciones encontradas durante estos años se muestran en la Fig. 3. Nótese como la metodología distinguió entre los años con mayores y menores ocurrencias. La correlación de Pearson, entre este índice de la Fig. 2 y la de la frecuencia anual del total de ciclones tropicales en el Mar Caribe mostrada en la Fig. 1 es de 0.68, con una significancia estadística superior al 99%, lo cual nos dice que se explica apenas el 46% de su varianza.

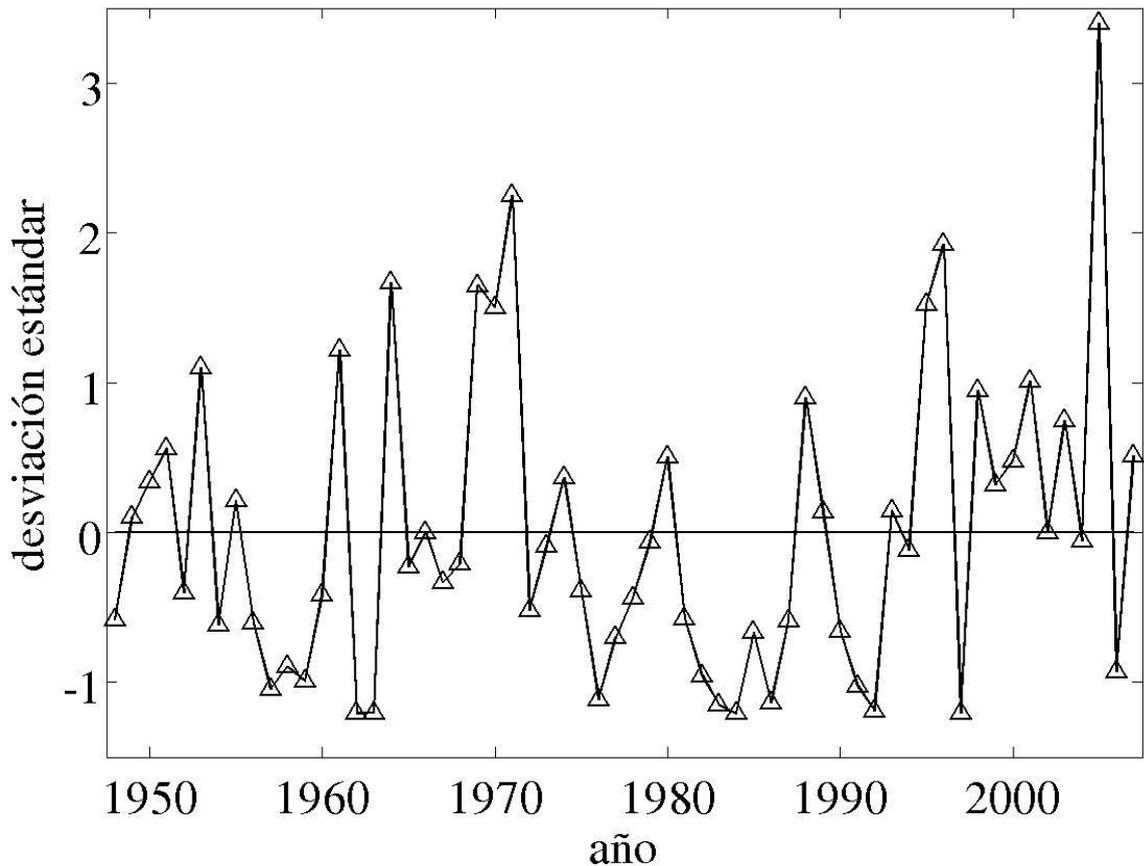
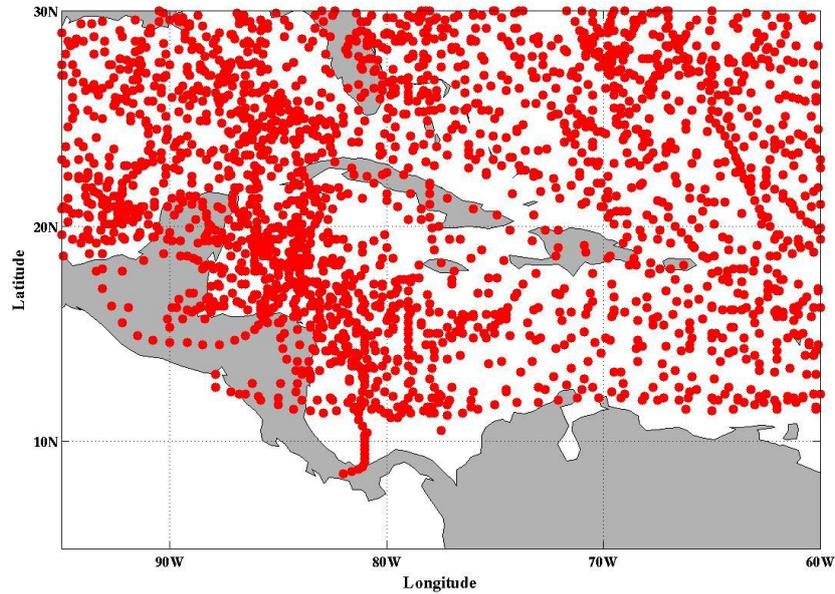


Fig. 2. Índice normalizado de ocurrencias de ciclones tropicales dentro de un radio de 7° a partir de algún punto de la costa Caribe de América Central observadas en la base de datos HURDAT. Este índice mostró una tendencia lineal positiva de $8.8 \times 10^{-3} \text{ año}^{-1}$, con un valor-p asociado de 0.24.

⁵ Si se contabilizan anualmente, las posiciones cercanas a la costa del Caribe de América Central dentro de un radio de 3° de algún punto de la costa, lo cual podría también asociarse a efectos de tipo “directo”, los doce años identificados con mayores ocurrencias fueron: 1961, 1964, 1969, 1971, 1974, 1995, 1996, 1998, 2000, 2001, 2005 y 2007; y los de menores ocurrencias fueron: 1957, 1958, 1959, 1962, 1963, 1976, 1981, 1983, 1984, 1986, 1992 y 1997. Los cuales son muy similares a los encontrados con un radio de 7°, pero no coinciden totalmente.

(a)



(b)

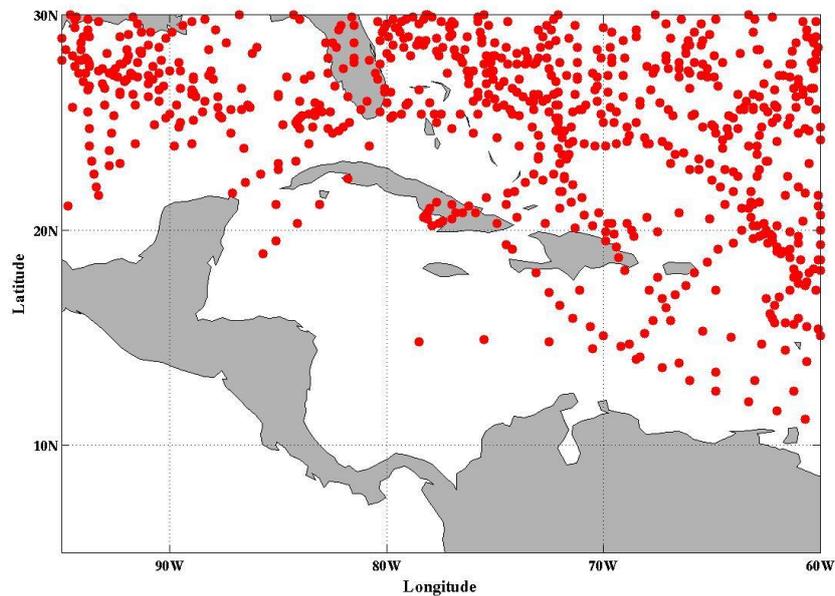


Fig. 3. Posiciones registradas (puntos rojos) en la base de datos HURDAT durante los años de mayores (a) y menores (b) ocurrencias. Los doce años identificados con mayores ocurrencias cerca de la costa fueron: 1953, 1961, 1964, 1969, 1970, 1971, 1988, 1995, 1996, 1998, 2001 y 2005. Los años con menores ocurrencias fueron: 1957, 1959, 1962, 1963, 1976, 1982, 1983, 1984, 1986, 1991, 1992 y 1997.

La Fig. 4 muestra el número de posiciones encontradas por mes cerca de la costa Caribe de América Central. Se observa que su distribución es bimodal con un máximo relativo en junio y otro absoluto en setiembre, además se nota que durante el trimestre de agosto-setiembre-octubre (ASO), es cuando es más probable (70%) encontrar ciclones tropicales dentro de un radio de 7° cerca de la costa, lo que coincide también con los meses de mayor frecuencia de ciclones tropicales en el Caribe (Taylor y Alfaro, 2005). Esta figura muestra también una disminución de los ciclones tropicales cercanos al istmo durante el mes de julio, lo cual podría explicarse debido al aumento de la cortante vertical del viento provocada por la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe, que tiene su máxima intensidad también durante el mes de julio (Amador, 2008).

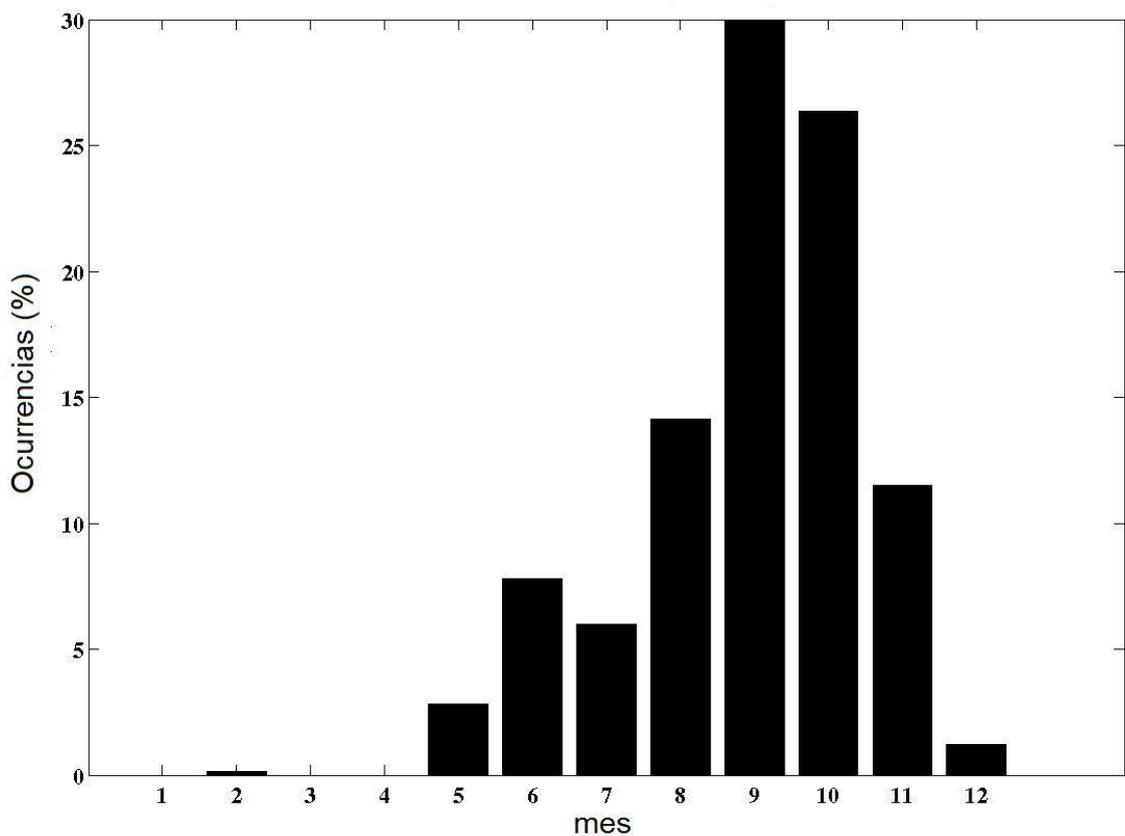


Fig. 4. Número de posiciones encontradas por mes en la base de datos HURDAT dentro de un radio de 7° a partir de algún punto de la costa Caribe de América Central. Los valores se muestran en porcentaje con respecto al número total de posiciones.

Para comparar el comportamiento en las curvas de ocurrencias de ciclones tropicales en el Caribe con los reportes de impactos por desastres naturales en Costa Rica y Centroamérica, se extrajo el número anual de reportes de origen hidrometeorológico de la base de datos del

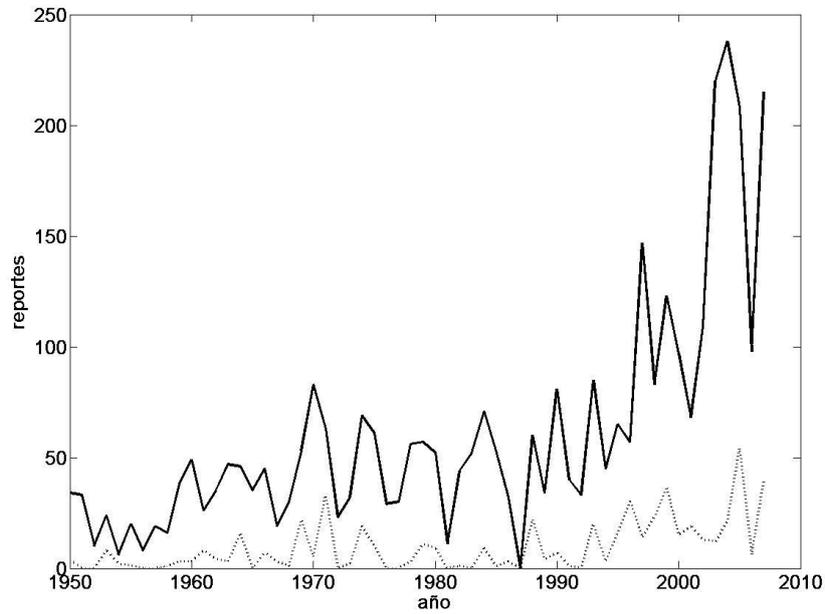
proyecto LA06 y de EM-DAT. La Fig. 5 muestra el total de los valores anuales encontrados y también aquellos registrados en presencia de un ciclón tropical en el Mar Caribe. Se observó una marcada tendencia lineal en casi todas las series con un *valor-p* asociado mucho menor a 0.010, excepto en la serie de la base EM-DAT asociada a los ciclones tropicales, cuyo *valor-p* fue de 0.011 (Fig. 5b). Nótese que estas tendencias positivas y significativas, no concuerdan con las mostradas en las Figs. 1 y 2 pero si con los resultados de Alfaro *et al.* (2010) para la base de datos DesInventar durante 1970-2007. Las correlaciones encontradas entre las series de impactos asociados a ciclones tropicales de la Fig. 5a y la del total ciclones tropicales de la Fig. 1 y del índice mostrado en la Fig. 2 fueron de 0.54 y 0.72, significativas al 99%. Por su parte, las correspondientes a la de la curva de la Fig. 5b fueron de 0.48 y 0.62, también estadísticamente significativas al 99%.

De acuerdo a nuestros resultados, lo anterior podría explicarse principalmente por variabilidad no asociada a la tendencia. El número total de reportes encontrados en la base de datos LA06 (EM-DAT) asociados a eventos hidrometeorológicos y de ciclones tropicales fue de 3517 y 548 (184 y 62), respectivamente. Se observa de esta Fig. 5, que los reportes de desastres aumentan principalmente a partir de la segunda mitad de la década de 1990, sin embargo, a diferencia de la base de datos DesInventar, la generada en el proyecto LA06 no está fuertemente influenciada por el uso de una fuente de información oficial en el periodo 1995 – 2007, es decir la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica, ya que se basa principalmente en información periodística. Según Alfaro *et al.* (2010), esto podría reflejar un mayor número de personas viviendo en una condición vulnerable ante el impacto de algún evento de tipo hidrometeorológico que puede ocasionar un reporte de desastre, en lugar de asociarse a un aumento en el número anual de ciclones tropicales en el Caribe y cerca de América Central. Según estos autores, en Costa Rica hubo un incremento de los hogares que no satisfacen las necesidades básicas, más aquellos viviendo en extrema pobreza entre 1990 y el 2007.

Este aumento en los reportes de impactos asociados a ciclones tropicales es muy relevante para economías vulnerables ante desastres como las centroamericanas. Por ejemplo, según el Ministerio de Planificación de Costa Rica (La Nación, 2010) entre 1988 y el 2009, el 83% de los reportes de los eventos asociados a emergencias naturales fueron de carácter hidrometeorológico y dejaron pérdidas por 1161 millones de dólares estadounidenses (aproximadamente 55 millones al año) en esos 21 años. Según Vanessa Rosales, presidenta ejecutiva de la CNE en el año 2010, “...las emergencias son aún más graves por el desorden urbano” y agrega que “Es un problema social de fondo...la gente vuelve al área de riesgo por el déficit de vivienda” cuando habla del municipio de Escazú, provincia de San José (La Nación, 2010). Por otro lado, Vega y Gámez (2003) para el periodo 1996-2001 en Costa Rica, encontraron que anualmente los daños asociados a eventos hidrometeorológicos son de

aproximadamente 146 millones de dólares estadounidenses, lo cual representaría un 1.15% del Producto Interno Bruto (PIB), cifra aún mayor a la reportada por La Nación (2010).

(a)



(b)

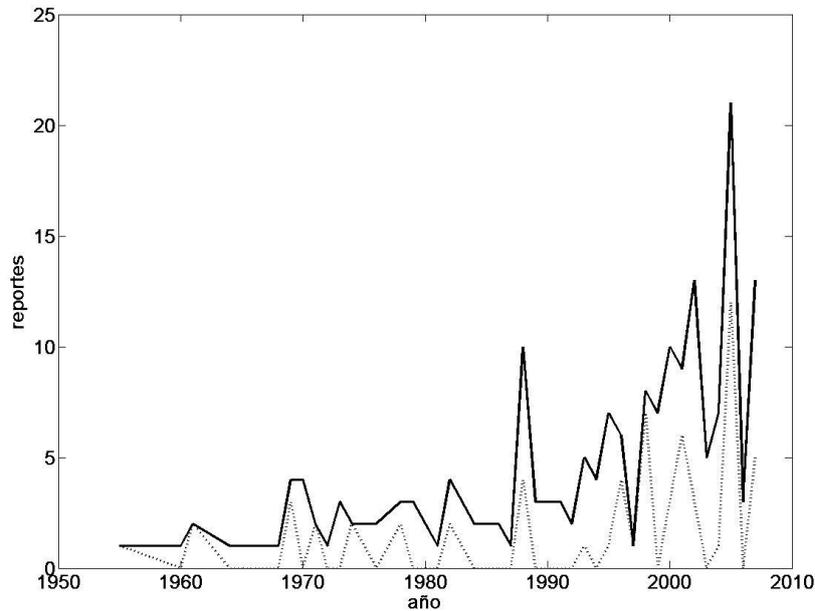


Fig. 5. La línea continua es el número anual de reportes de origen hidrometeorológico y la línea a trazos son aquellos registrados durante la presencia de un ciclón tropical en el Mar Caribe de la base de datos (a) del proyecto LA06 y (b) EM-DAT. La tendencia lineal observada en ambas series fue de 2.12 y 0.36 reportes año⁻¹, respectivamente, para las presentadas en (a), ambas con un valor-p mucho menor a 0.010

y de 0.19 y 0.07 reportes año⁻¹, respectivamente, para las presentadas en (b), la primera con un valor-p mucho menor a 0.010 y la segunda de 0.011.

Agrupando los valores de la Fig. 5a por provincia, para el total de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica, se encontró que San José reportó 1069, Limón 584, Puntarenas 489, Alajuela 468, Cartago 463, Guanacaste 339 y Heredia 221. Los diez municipios con mayores reportes, de los 81 en que está dividido el país, fueron San José con 372, Limón 172, Desamparados 153, Matina 125, Cartago 124, San Carlos 114, Alajuela 105, Pococí 100, Puntarenas 97 y Talamanca 85; de los cuales, seis están ubicados en la vertiente Caribe de Costa Rica (Limón, Matina, Cartago, San Carlos, Pococí y Talamanca). Los diez distritos (unidad administrativa de la cual están conformados los municipios) con mayores reportes fueron Limón con 83, San Sebastián 56, Guápiles 49, Valle de la Estrella 49, Parrita 45, Alajuela 42, Desamparados 41, Matina 41, Carrandí 40 y Siquirres 40, de las cuales también seis están ubicados en la vertiente del Caribe (Limón, Guápiles, Valle de la Estrella, Matina, Carrandí y Siquirres). Esta alta incidencia de reportes de impactos por eventos hidrometeorológicos en localidades del Caribe costarricense, podría estar reflejando también la influencia de las situaciones de emergencia provocadas por la ocurrencia de los frentes fríos durante el invierno boreal, que pueden provocar inundaciones en dicha vertiente (Fallas y Oviedo, 2003). Seis de estos municipios (San José, Desamparados, San Carlos, Puntarenas, Alajuela y Limón) fueron identificados también como propensos a desastres ante eventos hidrometeorológicos por la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica (La Nación, 2010).

Analizando la información asociada únicamente a reportes relacionados con ciclones tropicales en la Fig. 5a, se observó que durante los doce años de mayor incidencia de ciclones tropicales cerca de América Central, la provincia de Puntarenas reportó 55 casos, San José 54, Guanacaste 44, Cartago 21, Alajuela 17, Heredia 8 y Limón 2. Los reportes de eventos ligados a la presencia de algún ciclón tropical en el Caribe fueron agrupados también por cantón o municipio y su siguiente unidad administrativa más pequeña, el distrito. Estos se muestran en las Tablas 1 y 2. Los dos municipios que presentaron mayores reportes fueron San José en la provincia de San José y Santa Cruz en la provincia de Guanacaste 16 y 13 reportes cada uno (Tabla 1). Los dos distritos con mayores reportes, 7, fueron Filadelfia, en la provincia de Guanacaste y Parrita, en el litoral central de la provincia de Puntarenas (Tabla 2). Cabe destacar, que todas las unidades administrativas descritas en las Tablas 1 y 2 se encuentran ubicadas en la vertiente del Pacífico de Costa Rica, concordando con el hecho de que la mayoría de los impactos sobre el país son de tipo “indirecto”, asociados a la circulación inducida por el ciclón tropical sobre el país del Océano Pacífico hacia el Mar Caribe. Nótese además, que 8 (7) de estos municipios (distritos) se ubicaron en las provincias de Guanacaste y Puntarenas y que 7 (5) de estos diez (ocho) municipios (distritos) se ubicaron en las categorías “por debajo de lo

normal” (BN) y “muy por debajo de lo normal” (MBN) de acuerdo a su IDS del 2007 (70 y 62%, respectivamente).

Agrupando los valores de la Fig. 5b por países, para el total de los eventos hidrometeorológicos en América Central, se encontró que Honduras reportó 41, Costa Rica 28, Guatemala y Panamá 27, Nicaragua 26, El Salvador 24 y Belice 15. Belice que presentó muy pocos reportes (un 8% de los casos), esto puede deberse a dos causas principalmente. La primera es su reciente instauración como república independiente (1981) y la segunda es su pequeño tamaño territorial, 22.966 km², siendo el país de menor superficie de América Central. Lo anterior podría contribuir al número reducido de reportes de desastres observados en Belice, a pesar de que es un punto de frecuente incidencia de ciclones tropicales. La mayoría de eventos reportados en América Central entre 1950 y 2007 estuvieron asociadas con inundaciones con casi un 60% (108 casos reportados) y en segundo lugar aquellas asociadas con los ciclones tropicales (68 de los casos) y en tercer lugar, con un porcentaje menor al 10%, los deslizamientos. Cabe resaltar, que muchas veces los casos de inundaciones podrían estar relacionados con la incidencia de ciclones tropicales u otro tipo de fenómenos atmosféricos, como son frentes fríos o la misma actividad de la época lluviosa de los países del istmo. El 82% de los casos (74 eventos) de los reportes de afectación por eventos hidrometeorológicos se presentaron durante los 12 años de mayor ocurrencia de ciclones tropicales cercanos a América Central. Por su parte, durante los 12 años de menores ocurrencias, apenas se observaron 16 casos, o sea, un 18%. Para el caso de aquellos reportes asociados a ciclones tropicales este contraste fue de 93 y 7%.

Número	Provincia	Cantón	Reportes	Valor IDS 2007	Posición	Categoría
1	San José	San José	16	58.6	23	AN
2	Guanacaste	Santa Cruz	13	57.4	24	AN
3	Puntarenas	Golfito	12	6.4	78	MBN
4	Puntarenas	Aguirre	8	28.7	59	BN
5	Guanacaste	Carrillo	8	55.8	27	AN
6	Puntarenas	Osa	8	15.5	73	MBN
7	Guanacaste	Cañas	7	37.5	53	BN
8	Guanacaste	Nicoya	7	39.5	50	BN
9	Puntarenas	Parrita	7	25.1	67	MBN
10	San José	Pérez Zeledón	7	36.8	55	BN

Tabla 1. Reportes de eventos asociados a la presencia de algún ciclón tropical en el Caribe durante los años de mayores ocurrencias cerca de la costa Caribe de América Central (Fig. 2) para los primeros 10 cantones o municipios (columnas 1 y 4). Se muestra también el valor y la posición observada del Índice de Desarrollo Social (IDS) del 2007 en dicho municipio con respecto al total del país de 81 (columnas 5 y 6). Las posiciones se ordenaron de menor a mayor y se agruparon en cinco categorías (columna 7), a saber, muy por abajo de lo normal (MBN), abajo de lo normal (BN), normal (N), arriba de lo normal (AN) y muy por arriba de lo normal (MAN). La columna 2 muestra la provincia en la que se ubica dicho cantón o municipio.

Una de las principales causas en la base de datos EM-DAT para la clasificación de un evento como desastre en los países de América Central fue la cantidad de personas muertas (superior a 10) durante un desastre natural relacionado con eventos hidrometeorológicos (92 casos). La segunda causa fue debido a la cantidad de personas afectadas ante un siniestro (65 casos), siendo más de 100 personas el detonante para este criterio de emergencia según la metodología de la base de datos EM-DAT. Otros criterios como declaración nacional de emergencia, ayuda de la Oficina de Asistencia de los Desastres Extranjeros de los Estados Unidos (Office of U.S. Foreign Disaster Assistance (OFDA)), una emergencia regional, etc; tuvieron una baja incidencia en América Central entre 1950 y el 2007. Al estudiar el Índice de Desarrollo Humano (IDH) por país para el año 2007, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2009), el cuál varía de 0 a 1, se encontró que Costa Rica presentó un valor de 0.854, Panamá 0.840, Belice 0.771, El Salvador 0.747, Honduras 0.732, Guatemala 0.704 y Nicaragua 0.699. Nótese que a pesar de que Costa Rica y Panamá presentaron el 15 y 14% del total de los reportes de impactos por eventos hidrometeorológicos en el periodo de estudio, su IDH se considera todavía alto según PNUD (2009), mientras que el resto de los países presentaron un IDH considerado medio, lo cual podría reflejar en cierta medida, la vulnerabilidad (entendido como un índice de fragilidad) que podrían tener países como Honduras, Guatemala y Nicaragua ante el embate de este tipo de fenómenos hidrometeorológicos.

Número	Provincia	Cantón	Distrito	Reportes	Valor IDS 2007	Posición	Categoría
1	Guanacaste	Carrillo	Filadelfia	15	60.5	155	AN
2	Puntarenas	Parrita	Parrita	14	49.8	298	BN
3	Guanacaste	Cañas	Bebedero	13	50.3	290	BN
4	Puntarenas	Golfito	Golfito	12	39.0	404	MBN
5	Puntarenas	Golfito	Guaycará	12	40.1	393	MBN
6	Guanacaste	Santa Cruz	Santa Cruz	12	65.0	101	AN
7	San José	Pérez Zeledón	San Isidro del General	10	57.7	192	N
8	Puntarenas	Aguirre	Savegre	10	39.9	399	MBN

Tabla 2. Reportes de eventos asociados a la presencia de algún ciclón tropical en el Caribe durante los años de mayores ocurrencias cerca de la costa Caribe de América Central (Fig. 2) para los primeros 8 distritos (columnas 1 y 5). Se muestra también el valor y la posición observada del Índice de Desarrollo Social (IDS) del 2007 en dicho distrito con respecto al total del país de 469 (columnas 6 y 7). Las posiciones se ordenaron de menor a mayor y se agruparon en cinco categorías (columna 8), a saber, muy por abajo de lo normal (MBN), abajo de lo normal (BN), normal (N), arriba de lo normal (AN) y muy por arriba de lo normal (MAN). Las columna 2 y 3 muestran la provincia y el cantón o municipio en la que se ubica dicho distrito.

Conclusiones

Las series anuales de la ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe para 1948-2007, no mostraron tendencias lineales estadísticamente significativas (Fig. 1). Tampoco se encontró esto en la serie de tiempo del índice asociado a la suma anual de las posiciones de los ciclones tropicales cercanas a América Central (Fig. 2). Por lo que se concluye que no se tiene evidencia estadística suficiente durante este periodo, para afirmar que el número total de ciclones tropicales está aumentando en el Mar Caribe, ni tampoco que más ciclones tropicales están ocurriendo cercanos al istmo.

Se observó que durante el trimestre ASO, es cuando es más probable (70%) encontrar ciclones tropicales dentro de un radio de 7° cerca de la costa Caribe de América Central, lo que coincide también con los meses de mayor frecuencia de ciclones tropicales en el Caribe (Fig. 4). Lo anterior podría explicarse a partir de los resultados reportados por Alfaro et al. (2010) y Alfaro (2007). Dichos estudios encontraron que al comparar los años de mayor ocurrencia con

respecto a los de menor ocurrencia, se observaron anomalías positivas de Temperatura Superficial del Mar (TSM) durante ASO en la región del océano Atlántico Tropical y anomalías negativas en el Pacífico Ecuatorial, asociado con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El Atlántico Tropical también mostró una región con anomalías negativas en el campo de la Presión Atmosférica Media al Nivel del Mar (PMNM) y positivas en la Humedad Relativa en el nivel de 700 hPa (HR700). Estas condiciones observadas en el Atlántico Tropical favorecen la convección profunda y mayor frecuencia de ciclones tropicales. Por otro lado, durante la última parte de la estación lluviosa, es decir ASO, la variabilidad de la convección profunda en el Caribe está modulada también por la TSM en el Pacífico al afectar la estructura de la cortante vertical del viento en la troposfera sobre el Atlántico Tropical Norte, en donde eventos cálidos (fríos) en el Pacífico ecuatorial aumentan (disminuyen) la cortante vertical del viento en el Caribe, lo que trabaja en contra (a favor) de la convección profunda en esa región afectando la formación de ciclones tropicales.

El número total de reportes encontrados en la base de datos LA06 (EM-DAT) asociados a eventos hidrometeorológicos y de ciclones tropicales fue de 3517 y 548 (184 y 62), respectivamente, durante 1950-2007 (Fig. 5). Sin embargo, las series de tiempo asociadas con los reportes de impactos por desastres naturales en Costa Rica y Centroamérica, asociadas con reportes de origen hidrometeorológico y aquellos registrados en presencia de un ciclón tropical en el Mar Caribe, presentaron una marcada tendencia lineal con un *valor-p* asociado menor a 0.050. De acuerdo a estos resultados, se concluye que la tendencia encontrada en el reporte anual de impactos por eventos hidrometeorológicos no puede ser explicada totalmente por efectos climáticos, por lo que se hace necesario incluir variables socioeconómicas para hacerlo dentro del marco de un estudio de vulnerabilidad, como lo muestra el trabajo reciente realizado por la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica (La Nación, 2010). Lo mostrado en las Tablas 1 y 2, refuerzan esta afirmación, ya que todas las unidades administrativas descritas en ellas se encuentran ubicadas en la vertiente del Pacífico de Costa Rica, concordando con el hecho de que la mayoría de los impactos sobre el país son de tipo “indirecto”, asociados a la circulación inducida por el ciclón tropical sobre el país del Pacífico hacia el Caribe, notándose además, que 8 (7) de estos municipios (distritos) se ubicaron en las provincias de Guanacaste y Puntarenas y que 7 (5) de estos diez (ocho) municipios (distritos) se ubicaron en las categorías “por debajo de lo normal” (BN) y “muy por debajo de lo normal” (MBN) de acuerdo a su IDS del 2007, o sea el 70 y 62%, respectivamente. Por otro lado, cinco de los siete países de América Central presentaron un IDH considerado medio, lo cual podría reflejar, la vulnerabilidad que podrían tener estos países ante el embate de este tipo de fenómenos hidrometeorológicos. En general, los resultados de este trabajo sugieren que es necesaria la

incorporación de las variables socioeconómicas en el análisis de la gestión del riesgo, dentro de un marco mayor que es el estudio de los ciclones tropicales.

Referencias bibliográficas

Alfaro, E. (2007). Escenarios climáticos para temporadas con alto y bajo número de huracanes en el Atlántico. *Revista de Climatología*, **7**, 1-13.

Alfaro, E., Quesada, A. & Solano, F. (2010). Análisis del impacto en Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007 (sometido a la revista *Diálogos*).

Alvarado, L., & Alfaro, E. (2003). Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, **10**(1), 1-11.

Amador, J. A. (2008). The Intra-Americas Seas Low-Level Jet (IALLJ): Overview and Future Research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1146** (1), 153-188.

Bender, M.A., Knutson, T.R., Tuleya, R.E., Sirutis, J.J., Vecchi, G.A., Garner, S.T. & Held, I.M. (2010). Modeled Impact of Anthropogenic Warming on the Frequency of Intense Atlantic Hurricanes. *Science*, **327**, 454-458.

Chinchilla, G., Quirós, E. & Stolz, W. (2010): Resumen meteorológico mayo de 2010. *Boletín Meteorológico, Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica*, (Mayo 2010), 2-11. (Disponible en http://www.imn.ac.cr/boletin_meteo/historial%20boletines.html, recuperado el 23/08/2010)

Fallas, J.C. & Oviedo, R. (2003). Temporales. En *Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana* (pp. 38). San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.

Goldenberg, S., Landsea, C., Mestas-Núñez, A. & Gray, W. (2001). The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and Implications. *Science*, **293**, 474-479.

Hobgood, J. (2005). Tropical Cyclones. En J. Oliver (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 750-755). Netherlands: Springer.

IPCC (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

La Nación (2010). Caos urbano y basura disparan inundaciones en 45 cantones. Sección El País. Periodista Vanessa Loaiza, versión electrónica, domingo 22 de agosto de 2010. (Disponible en <http://www.nacion.com/2010-08-22/ElPais/NotaPrincipal/ElPais2492902.aspx>, recuperado el 25/08/2010)

Landsea, C.W., Vecchi, G.A., Bengtsson, L. & Knutson, T. R. (2010). Impact of Duration Thresholds on Atlantic Tropical Cyclone Counts. *Journal of Climate*, **23**, 2508-2519.

MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica, Área de análisis del desarrollo), (2007). *Índice de Desarrollo Social 2007*. San José, Costa Rica: MIDEPLAN. (Disponible en: <http://www.mideplan.go.cr/sides/social/indx10.htm>, recuperado el 22/01/2010)

Mora, I. & Amador, J. A. (2000). EL ENOS, el IOS y la Corriente en Chorro de Bajo Nivel en el Oeste del Caribe, *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, **7**(1), 1-20.

PNUD (2009). Informe *sobre Desarrollo Humano 2009 Superando barreras: Movilidad y desarrollo humanos*. 1 UN Plaza, Nueva York, NY 10017, EE.UU: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (Disponible en <http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2009/>, recuperado el 23/08/2010)

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

Vega, E. & Gámez, L. (2003). Economic Impact of Hydrometeorological Events in Costa Rica. Documento Técnico, CRRH-UCR-CIGEFI-AIACC-LA06. San José, Costa Rica. 3pp. (Disponible en <http://www.aguayclima.com/biblioteca.htm>, recuperado el 17/05/2010)

Velásquez, A., & Rosales, C. (1999). Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de desastres en América Latina utilizando DesInventar. Cali, Colombia: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina – LA RED. (Disponible en: <http://www.desinventar.org/es/proyectos/lared/escudrinando>, recuperado el 21/01/2010)