

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

Ministerio de Ambiente y Energía - Instituto Meteorológico Nacional

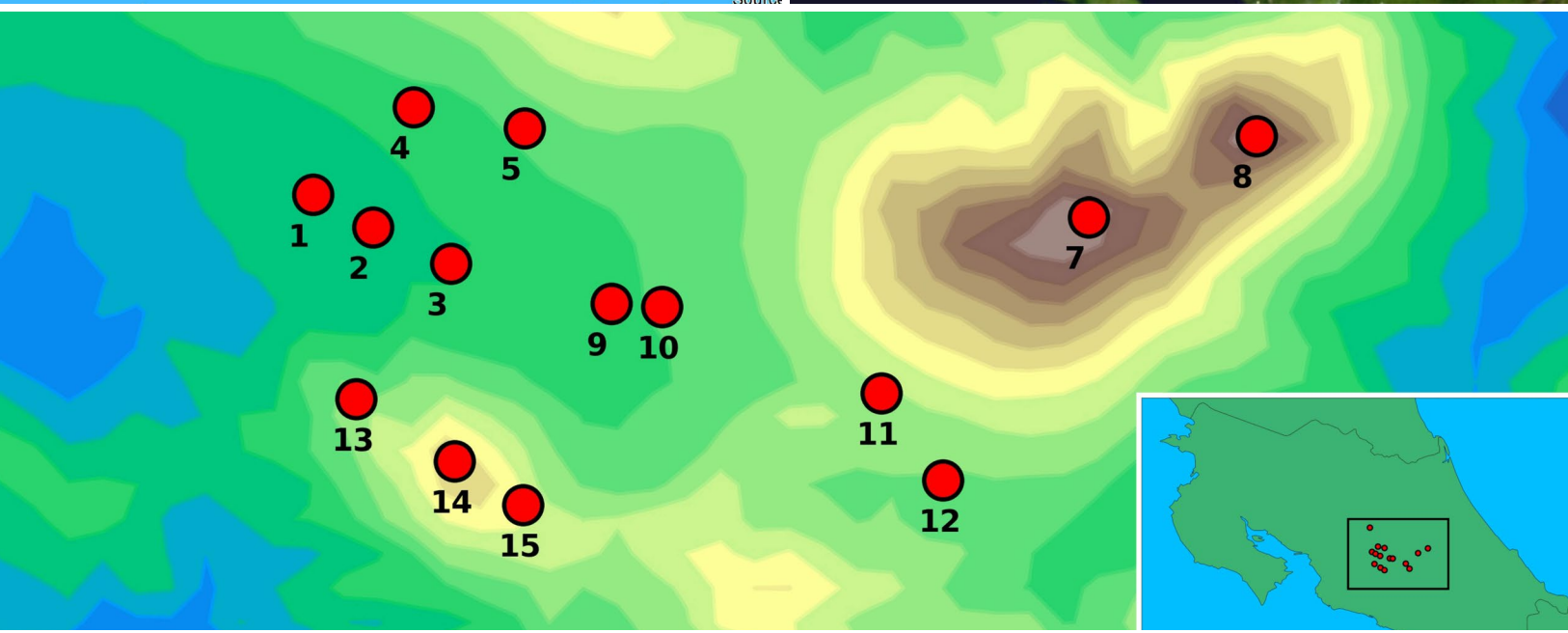
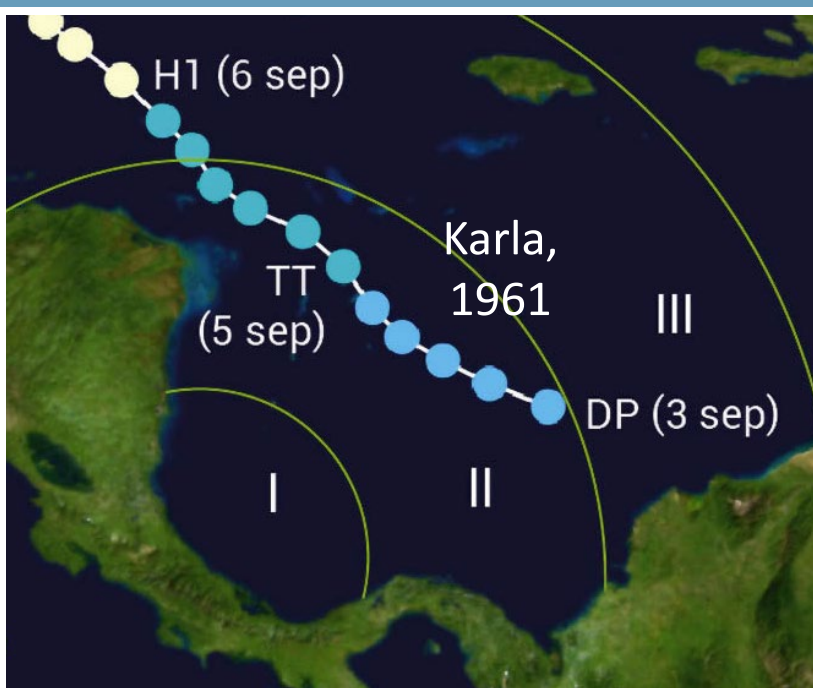


Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888

ISSN 2953-738X

Volumen 20

Diciembre 2021

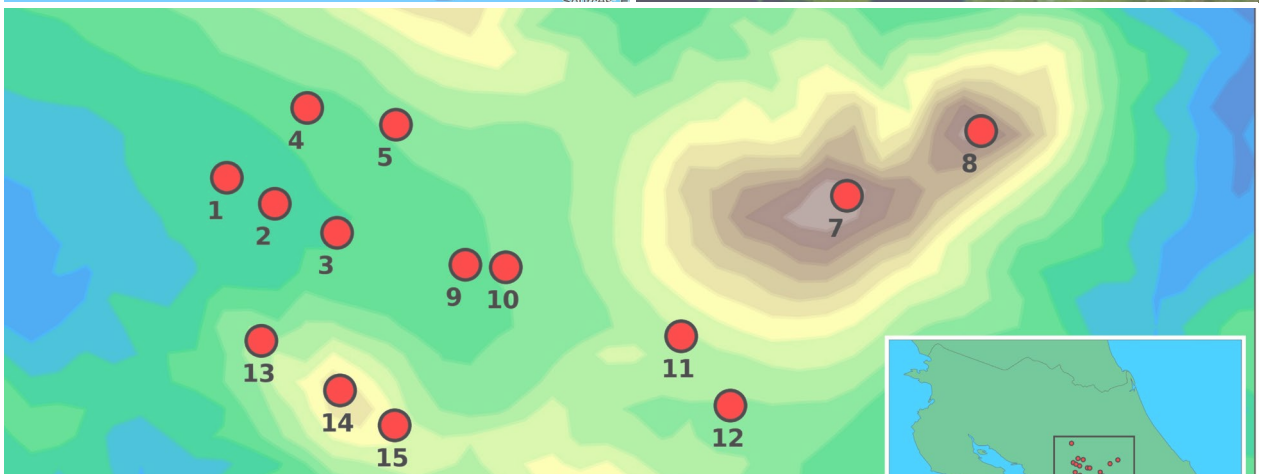
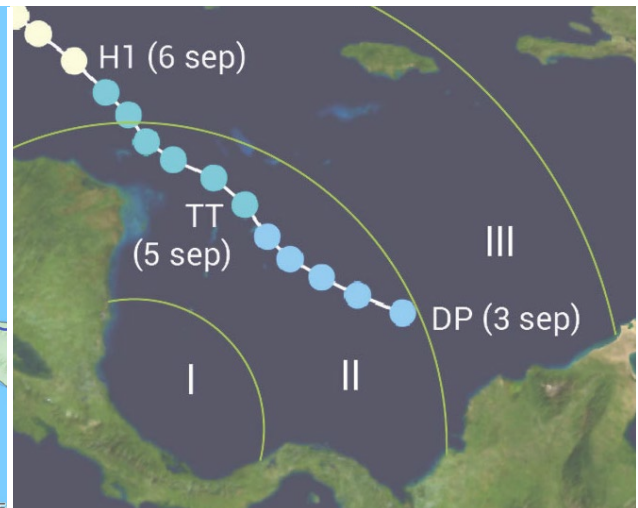


TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 2953-738X

Volumen 20

Diciembre 2021



Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Coordinación general:
MSc. Eladio Solano León

Edición:
María Esther Suárez Baltodano

Comité editorial:
Gabriela Chinchilla Ramírez
Karina Hernández Espinoza
Daniel Poleo Brito

Diseño y diagramación:
Rodrigo Granados Jiménez

Imágenes de portada:
Tomadas de los artículos incluidos en esta edición.

*La revista “Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos”
es publicada por el Instituto Meteorológico Nacional,
Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica. Tiene como
finalidad dar a conocer los resultados de investigaciones y
estudios en Ciencias de la Atmósfera y Oceanografía Física.*

Los artículos publicados en Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos expresan la opinión del autor y no necesariamente del Instituto Meteorológico Nacional

CONTENIDO

- | Pág. | Artículo |
|------|--|
| 5 | Influencia de la tormenta tropical Carla en el temporal de septiembre de 1961 en Costa Rica
RODRIGO GRANADOS JIMÉNEZ |
| 16 | Inicio de la temporada de lluvias en América Central
<i>Onset of the rainy season in Central America</i>
ERIC ALFARO Y HUGO HIDALGO |
| 29 | Modelado numérico en el Valle Central Occidental de Costa Rica durante el invierno boreal: sensibilidad al esquema de capa límite
TIFFANY SUÁREZ Y ERICK R. RIVERA |

Inicio de la temporada de lluvias en América Central

Onset of the rainy season in Central America

ERIC ALFARO¹ Y HUGO HIDALGO²

Resumen

Los comienzos tempranos (tardíos) de la temporada de lluvias en América Central, tienden a estar asociados con periodos en mayo-junio más lluviosos (más secos), siendo este el primer pico de la temporada de lluvias. El objetivo de este estudio es calcular los valores promedio de largo plazo para la fecha del inicio de la temporada de lluvias y su variabilidad. Se exploró un conjunto de registros diarios de estaciones pluviométricas en América Central, con datos de inicio de lluvias en al menos 27 años, de 1968 a 2012. La mediana del valor del inicio se ubicó alrededor del 8 de mayo y el cincuenta por ciento de los datos fueron observados entre el 26 de abril y el 20 de mayo. El análisis mostró que los comienzos tempranos o tardíos tienden a ser seguidos por condiciones más lluviosas o más secas sobre el istmo durante mayo-junio, y mostraron un uso potencial en esquemas de predicción climática.

PALABRAS CLAVE: AMÉRICA CENTRAL, INICIO DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA, PRECIPITACIÓN, PREDICCIÓN CLIMÁTICA ESTACIONAL, VARIABILIDAD CLIMÁTICA.

Abstract

Early (late) onsets of the rainy season in Central America tend to be associated with wetter (drier) than normal May-June season, corresponding to the first peak of the rainy season. The objective of this study is to calculate the climatic values for the onset of the rainy season and its variability. We used a set of daily records from rain gauge stations in Central America having onset data in at least 27 years from 1968 to 2012. Median onset value was May 8 and fifty percent of the data were observed between April 26 and May 20. The analysis showed that early (late) onsets tend to be followed by wetter (drier) than normal conditions over the isthmus and showed a potential use for onset climate prediction.

KEY WORDS: CENTRAL AMERICA, ONSET, PRECIPITATION, SEASONAL CLIMATE PREDICTION, CLIMATE VARIABILITY.

1. INTRODUCCIÓN

Maldonado et al. (2013) explican que una cadena de altas montañas divide a América Central en dos regiones climáticas: la vertiente del Pacífico y la del Caribe, que están a sotavento y barlovento respectivamente de los vientos alisios del Atlántico norte, el cual es el régimen

de viento dominante. La lluvia sobre la mayor parte del istmo, principalmente sobre la vertiente del Pacífico, tiene un ciclo anual bimodal, con dos máximos: uno en mayo-junio y el otro en septiembre-octubre, separados por un veranillo en julio-agosto (Alfaro et al. 2018). Según Magaña et al. (1999), en mayo se alcanza un primer máximo de actividad de convección profunda y, por tanto,

1 Erick Alfaro es miembro del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica; de la Escuela de Física, Universidad de Costa Rica; y del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: erick.alfaro@ucr.ac.cr.

2 Hugo Hidalgo es miembro del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica; y de la Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: hugo.hidalgo@ucr.ac.cr

un primer máximo de precipitación cuando la temperatura de la superficie del mar (TSM) supera los 29 °C en el Pacífico tropical del este. Luego, durante julio y agosto, la TSM disminuye alrededor de 1 °C debido a la disminución de la radiación solar incidente y los vientos del este más intensos, lo que resulta en una disminución en la actividad de convección profunda. Tal reducción en la actividad de convección profunda permite un aumento de la radiación solar incidente y un ligero aumento de la TSM (alrededor de 28.5 °C) para fines de agosto y principios de setiembre, lo que nuevamente se traduce en una actividad de convección profunda y, en consecuencia, en un segundo máximo de precipitación.

Enfield y Alfaro (1999) hicieron un análisis de las fechas de inicio y finalización de la estación lluviosa en América Central, tomando como base la definición de Gamow y Henry (1972). Demostraron que la variabilidad de la anomalía de la TSM del Atlántico tropical norte está fuertemente asociada con las precipitaciones sobre el Caribe y América Central en conjunto con la anomalía de la TSM del Pacífico oriental tropical. Ambos océanos están relacionados con la lluvia, pero la respuesta a la lluvia parece depender de cómo se combinan las anomalías de la TSM en el Atlántico tropical norte y el Pacífico oriental. *La respuesta más fuerte ocurre cuando el Atlántico tropical está en la configuración de un dipolo meridional (antisimétrico a través de la Zona de Convergencia Intertropical o ZCIT) y el Pacífico tropical oriental tiene el signo opuesto al Atlántico tropical norte.* Cuando el Atlántico tropical norte y el Pacífico tropical tienen el mismo signo, la respuesta de la lluvia es más débil. La temporada de lluvias al sur de América Central tiende a comenzar temprano y terminar tarde en años que comienzan con TSM cálidas en el Atlántico tropical norte, y las fechas de finalización también se retrasan cuando el Pacífico ecuatorial oriental está relativamente frío (Alfaro et al., 1998; Alfaro y Cid, 1999; Alfaro y Enfield, 1999, Fallas y Alfaro, 2012a), proporcionando, además, posibles

esquemas empíricos de predicción. Tal relación con potencial predictivo también fue confirmada en Hidalgo et al. (2017).

Alfaro (2002) encontró que, en promedio, la fecha del inicio de la temporada de lluvias en Centroamérica se ubica entre el 11 y el 15 de mayo. El comportamiento del patrón de inicio podría explicarse en parte por la migración hacia el norte de la ZCIT que provoca inestabilidad y convergencia de humedad en la región desde fines de la primavera boreal hasta principios del otoño, principalmente en el sur de América Central, provocando un aumento de la convección profunda que reduce la radiación y las horas de sol medidas en el suelo (Hidalgo et al., 2015). A principios de año, ambas curvas tienen una tendencia positiva, pero los valores de radiación disminuyen a partir de marzo, cuando la ZCIT comienza a acercarse a la región. Esto se debe a que la mayor parte de la radiación es absorbida y reflejada por las cubiertas de nubes, principalmente en la parte sureste de la región. Durante este período y durante toda la temporada de lluvias, los vientos alisios son más débiles que en la temporada seca y esto permite la formación de sistemas de mesoescala, como la brisa de mar-tierra y la brisa de valle-montaña (Muñoz et al., 2002), principalmente en la vertiente del Pacífico, asociado lo anterior a convección profunda de sistemas precipitantes importantes.

Cortez (2000) utilizó un enfoque diferente y calculó el promedio de largo plazo del inicio de las lluvias, el veranillo y la retirada de las lluvias, con los datos de radiación saliente de onda larga sobre América Central y el sur de México, y señaló que la intensidad del viento de bajo nivel en la región es consistente con el inicio y evolución de la temporada de lluvias. Estudios recientes sobre el inicio y el final de las fechas de la temporada de lluvias en Costa Rica y Panamá se pueden encontrar en Hernández y Fernández (2015) y Nakaegawa et al. (2015), y obtuvieron valores similares, en términos generales, a los

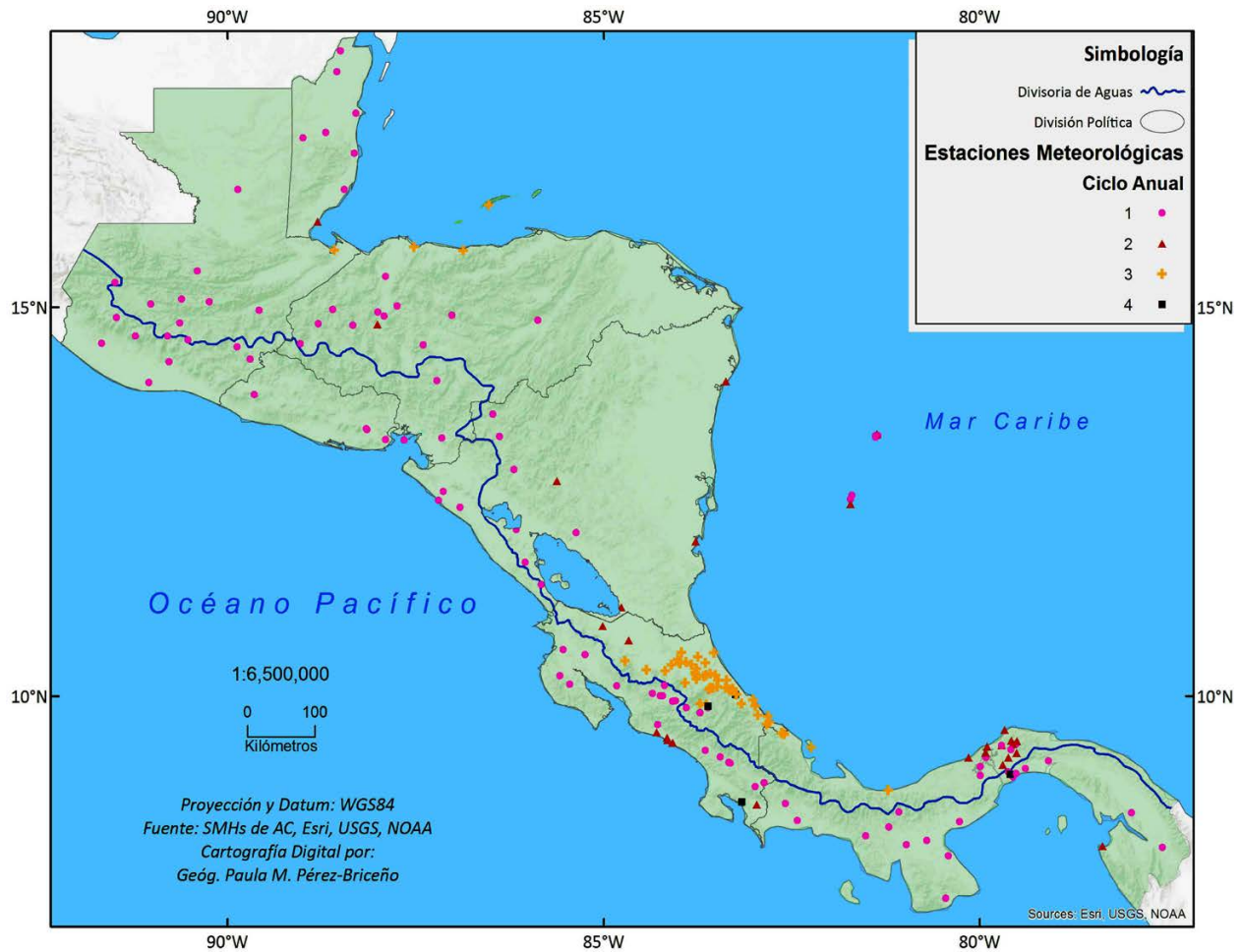


Figura 1. Ubicación de las 187 estaciones consideradas originalmente. Solo las estaciones con un ciclo anual tipo 1 (círculos de color rosa) y 2 (triángulos rojos) presentaron una estación seca durante el invierno boreal y principios de la primavera (ver figura 2).

encontrados por Alfaro (2002). A pesar de que Alfaro (2002) sugirió algún comportamiento latitudinal relacionado con el inicio de las lluvias en el istmo, sus resultados también muestran estaciones ubicadas en el sur y sobre el norte de la región con fechas de inicio climáticas similares, lo que sugiere que la migración latitudinal de la ZCIT no podría explicar completamente la variabilidad del inicio de las lluvias observada (Díaz, 2019).

El objetivo principal de este estudio es calcular los valores promedio a largo plazo y su variabilidad del inicio de las lluvias, utilizando registros diarios de estaciones pluviométricas en América

Central, asociados con los patrones del ciclo anual dominante de las lluvias en la región. Asimismo, un segundo objetivo es asociar algunas de estas estructuras del ciclo anual de precipitación con la variabilidad interanual de la TSM de los océanos Atlántico Tropical Norte y Pacífico Ecuatorial Oriental, investigando los aspectos dinámicos asociados con la circulación sobre el istmo durante el inicio de la temporada de lluvias. Cabe mencionar que una diferencia respecto a estudios previos, como el realizado por Alfaro (2002), es que el presente análisis se efectuó utilizando datos diarios de precipitación, mientras que el análisis anterior utilizó datos agregados en pentadas.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

En este estudio, se exploró un conjunto original de 187 registros diarios de estaciones pluviométricas en América Central. Sus ubicaciones geográficas se muestran en la figura 1. De ese conjunto de datos se seleccionaron por inspección visual solo aquellas estaciones que tienen una estación seca durante el invierno boreal y principios de la primavera de acuerdo con su ciclo anual basado en los acumulados climáticos mensuales (ciclos anuales tipo 1 y 2 en las figuras 1 y 2a, b). Una condición adicional es tener datos de inicio de las lluvias en al menos 27 años entre 1968 y 2012. Se seleccionaron esos años porque la mayoría de los registros de la estación tenían datos durante ese período. Un subconjunto de 104 estaciones cumple con los criterios anteriores, ubicadas tanto en la vertiente del Pacífico como en la del Caribe de América Central y fueron las utilizadas en el resto del estudio (figuras 1 y 3).

La figura 2 muestra los ciclos anuales de precipitación asociados con las estaciones mostradas en la figura 1. El tipo 1 (figura 2a) es el más común y tiene una estación seca durante el invierno boreal y principios de la primavera, seguida de una distribución bimodal con picos en junio y setiembre, separados por el veranillo en julio, con acumulaciones anuales entre 1177 y 3560 mm. El tipo 2 (figura 2b), presentó también una estación seca durante el invierno boreal y principios de

primavera, pero sin veranillo en julio, teniendo un máximo en octubre, con acumulaciones anuales entre 2239 y 4888 mm. El tipo 3 (no mostrado y representativo del Caribe centroamericano según Alfaro, 2002 y Taylor & Alfaro, 2005) no presenta una estación seca, mostró picos de lluvia en julio y noviembre-diciembre, dos mínimos en marzo y septiembre, con acumulados anuales entre 2958 y 6040 mm. Algunas estaciones, asociadas al tipo 4 (no mostrado y que requiere un estudio posterior), presentaron una distribución uniforme de las precipitaciones a lo largo del año, con un leve pico en noviembre y con acumulaciones anuales entre 2159 y 6087 mm.

Basado en la metodología desarrollada en Alfaro (2014), y también aplicada por Alfaro e Hidalgo (2017), Maldonado et al. (2016) y Solano (2015), las series de tiempo de precipitación diaria se filtraron utilizando un promedio móvil de peso triangular con una ventana de 31 días, para evitar o minimizar las interrupciones del inicio debido a posibles fortalecimientos de corta duración de los vientos alisios. Se aplicó un algoritmo basado en la metodología de Gamow y Henry (1972), que fue posteriormente adaptada por Alfaro et al. (1998), Alfaro y Cid (1999), Alfaro y Enfield (1999) y Enfield y Alfaro (1999), para identificar sistemáticamente el inicio a la serie de tiempo de precipitación diaria filtrada. El algoritmo consiste en que para un año en particular y en un registro de estación en particular, el inicio de las lluvias

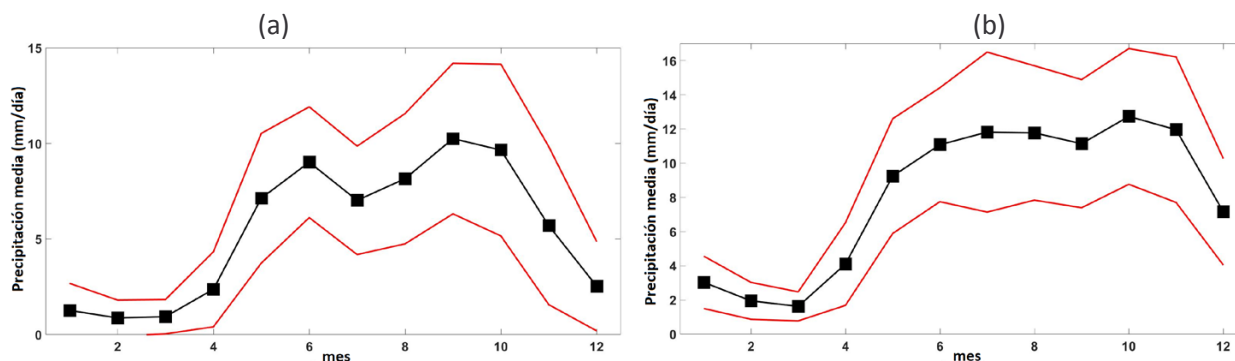


Figura 2. Las líneas negras con cuadrados son los principales tipos de ciclos anuales de precipitación mostrados en la figura 1. a) Tipo 1 y b) Tipo 2. Las líneas rojas muestran una desviación estándar a partir del valor medio

(en días julianos) se asocia con aquel día en que la precipitación suavizada es mayor a 5 mm día^{-1} durante al menos diez días (o dos pentadas seguidas) y si en los siguientes cinco días (por ejemplo, la siguiente pentada), la precipitación observada es superior a 0.1 mm día^{-1} .

En este estudio se utilizó la reconstrucción de la TSM elaborada por Xue et al. (2003) y Smith et al. (2007) (denominada ERSSTv3b). Las anomalías de TSM se reconstruyeron utilizando una combinación de datos observados junto con modelos y cuadrículas de muestreo históricas. Esta base de datos global tiene una resolución horizontal de 2.5 por 2.5 grados. El dominio delimitado por $10^\circ \text{ S} - 62^\circ \text{ N}$ y $150^\circ \text{ E} - 15^\circ \text{ W}$, se consideró aquí para capturar la señal de los modos de variabilidad climática más importantes para el istmo centroamericano como son: El Niño Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), la Oscilación Multidecenal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) y el Atlántico Tropical Norte (ATN), que a su vez han demostrado ser relevantes en términos de variabilidad y predicción de las precipitaciones durante la época de lluvias (Fallas -López y Alfaro, 2012a, b; Hidalgo et al., 2015). Las anomalías de la TSM se utilizan como los predictores en los modelos del análisis de correlación canónica o ACC. Los modelos del ACC se construyeron siguiendo la metodología utilizada previamente por Alfaro et al. (2018); Maldonado et al. (2016; 2013); y Fallas-López y Alfaro (2012b). Los detalles de la construcción de los modelos del ACC pueden ser consultados en las referencias citadas en la oración anterior.

Por último, se obtuvieron los datos mensuales de la AMO (National Oceanographic and Atmospheric Administration [NOAA], 2021a), la NAO (National Oceanographic and Atmospheric Administration [NOAA], 2021b), la PDO (University of Washington [UW], 2021), el Niño 3.4 (Columbia University [CU], 2021), y la Corriente en Chorro de Bajo Nivel

(CLLJ, por sus siglas en inglés, estimado según Amador *et al.*, 2010), para calcular la correlación de Spearman (Wilks, 2019) entre los modos del ACC y los índices climáticos, siguiendo la metodología propuesta por Fallas-López y Alfaro (2012a).

3. RESULTADOS

La figura 3 muestra la mediana y la variabilidad de las 104 estaciones seleccionadas en este análisis. Observe que algunas estaciones ubicadas en el sur y en la parte norte del istmo tienden a tener fechas de inicio y variabilidad similares, a pesar de que un modelo de regresión lineal entre la mediana del inicio de la estación lluviosa (IELL) y la latitud de las estaciones estima una pendiente de $3.71 \text{ juliano/latitud } (^\circ \text{ N})$, con un $R = 0.65$ (*valor* - $p < 0.01$).

La figura 4 muestra el diagrama de caja y el histograma de todos los valores, cuya mediana por estación se presenta en la figura 3a. El valor de la mediana se ubicó en el 8 de mayo y el cincuenta por ciento de los datos se observaron entre el 26 de abril y el 20 de mayo. Obsérvese que no se detectaron valores atípicos. Los valores mínimos climáticos fueron para la estación denominada Macano Arriba en Panamá (8.6° N , 82.6° W), con una mediana de 86.5 (27 de marzo). La estación de La Mesa en Honduras (15.4° N , 87.9° W) presentó los valores máximos con una mediana de 158 (7 de junio). La figura 4b muestra que la moda es para la categoría centrada en 138 (18 de mayo), con 35 ocurrencias, que van del 14 al 22 de mayo dado por el intervalo de clase modal.

La figura 5 presenta las correlaciones para los primeros modos del ACC, entre los inicios y los acumulados estacionales, días lluviosos, ocurrencias de eventos de precipitación mayores al percentil 80 y menores al percentil 20 en el bimestre de mayo-junio. Los resultados muestran la coherencia de los patrones espaciales para el

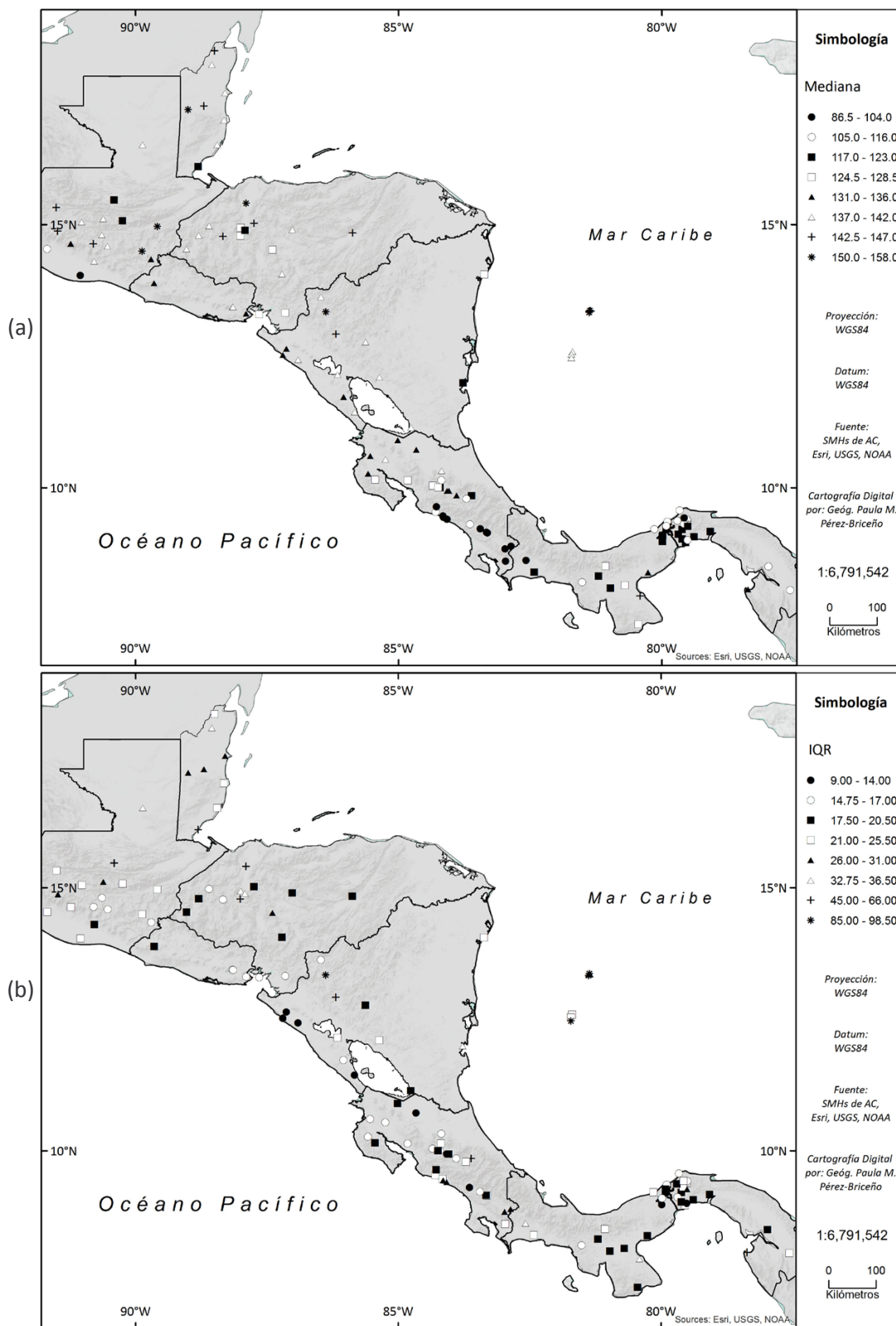


Figura 3. Mediana (expresada como día juliano) del inicio de la estación lluviosa para las 104 estaciones seleccionadas (a) y su intervalo intercuartil o IQR, por sus siglas en inglés (b).

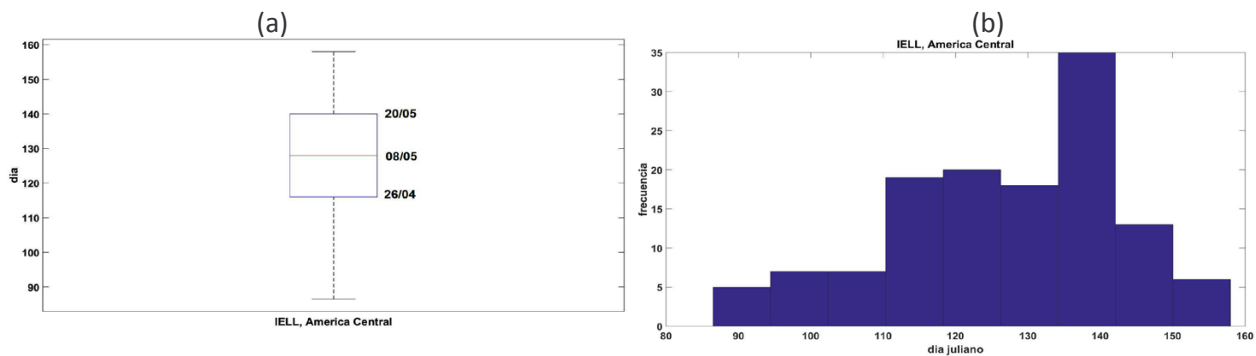


Figura 4. Diagrama de caja a) e histograma b) para los valores de la mediana del día juliano correspondiente al inicio de la estación lluviosa, IELL, presentados en la figura 3a. Los umbrales superiores e inferiores en a) corresponden al percentil 75 y 25 o ± 1.5 IQR, respectivamente. El histograma en b) presenta el número máximo de clases posibles que tienen al menos cinco o más ocurrencias.

inicio de la temporada de lluvias con las siguientes variables de precipitación de mayo a junio. En general, los inicios tempranos (tardíos) tienden a ser seguidos por condiciones más lluviosas (más secas) en el istmo, excepto en unas pocas estaciones del tipo 2 mostrado en la figura 2. Ejemplos de años de aparición temprana en la mayoría de las estaciones del istmo son 1979, 1981 y 2010, mientras que se observaron inicios tardíos durante 1992, 1997 y 1998; registrándose todos estos últimos años eventos El Niño.

La figura 6 muestran el uso potencial de esquemas empíricos para la predicción climática del IELL. La primera gráfica en el panel superior de la figura 6 muestra los dos primeros pares canónicos y su correlación. Las correlaciones de la TSM del primer modo en febrero-marzo (figura 6b) están correlacionadas negativamente con la serie de tiempo del IELL en el panel superior de la figura 6a, en la región ubicada principalmente en el Atlántico (figura 6b). Las correlaciones del inicio de las lluvias están correlacionadas positivamente (figura 6c), especialmente para aquellas estaciones al sur de 14° N. Lo anterior sugiere que condiciones del Atlántico más cálidas (más frías) están asociadas con vientos alisios más débiles (más fuertes), y esto favorece (no favorece) la formación de sistemas mesoescalares convectivos profundos en la región (Alfaro, 2007;

2002). Siguiendo lo propuesto por Fallas-López y Alfaro (2012a), la correlación de Sperman de este modo con la resta AMO-NAO fue de -0.61 (*valor-p* < 0.01).

Las configuración del segundo modo de la TSM (figura 6d) se correlaciona positivamente con la serie de tiempo en el panel inferior de la figura 6a, en la región ubicada principalmente en el Pacífico ecuatorial y con las fases positivas de los modos de variabilidad del océano Pacífico Norte obtenidos de Hartmann (2015) (figura 6d), mientras que las correlaciones del inicio de las lluvias están correlacionadas positivamente (figura 6e), especialmente para aquellas estaciones al norte de 14° N. Hidalgo et al. (2015) explican que condiciones más cálidas (más frías) en el Pacífico ecuatorial retrasan y mantienen la ZCIT en las posiciones oeste-sur (este-norte), costa afuera (cerca de la costa) de Centroamérica, aumentando (disminuyendo) la estabilidad sobre el istmo, y esto no favorece (favorece) la formación de sistemas mesoescalares convectivos profundos en la región productora de lluvias (Hidalgo et al. 2015). Esta respuesta podría reforzarse durante las fases positivas (negativas) de los modos de variabilidad de la TSM del Pacífico Norte (Gershunov y Barnett, 1998; Muñoz et al., 2010; Fallas y Alfaro, 2012a; Hartmann, 2015). Siguiendo lo propuesto por Fallas-López y Alfaro (2012a), la correlación de

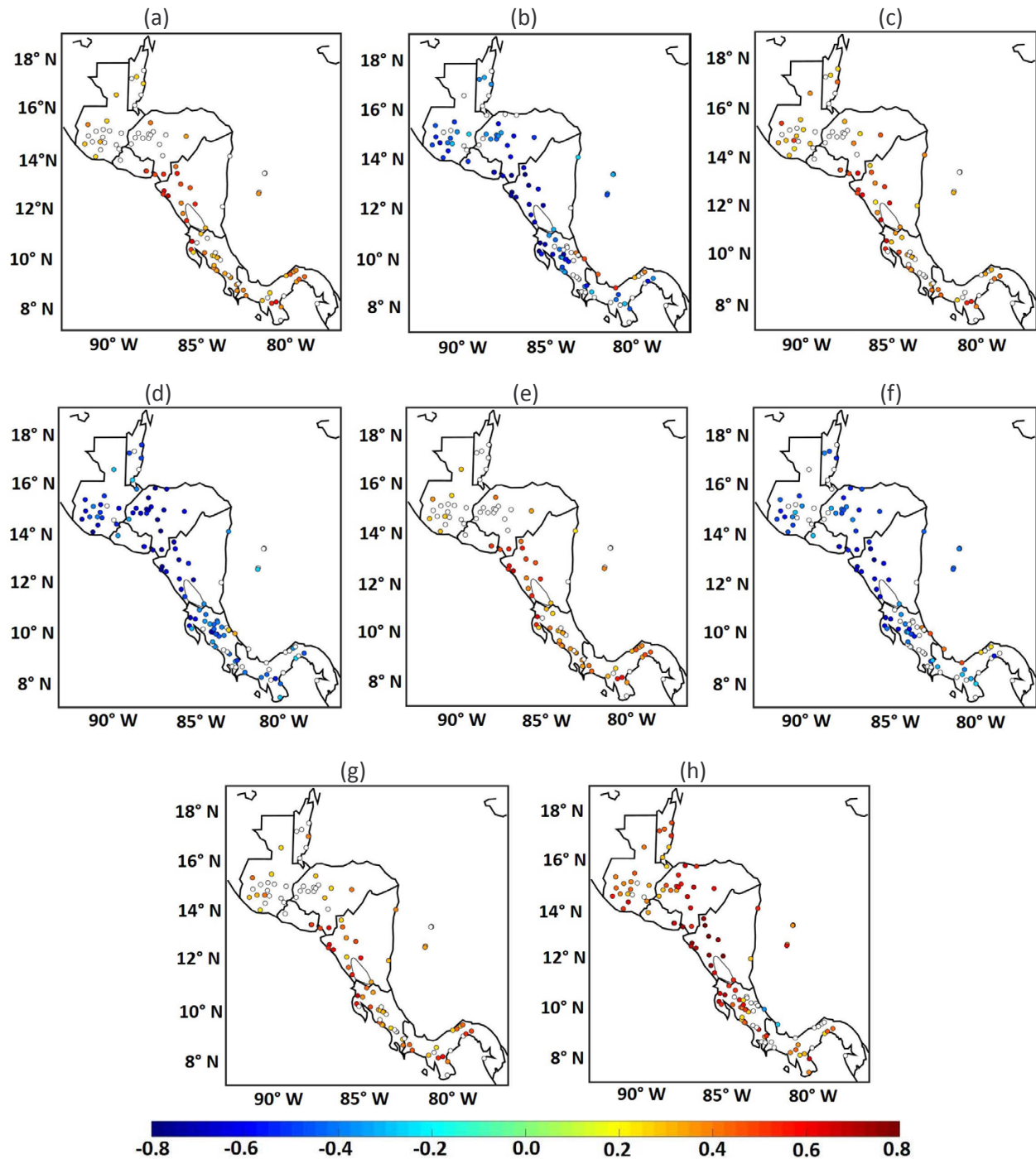


Figura 5. Coeficientes de correlación del primer modo del inicio de las lluvias (a, c, e, g), a partir del ACC, con la precipitación estacional acumulada (b), con el número de días con precipitación (d), con el número de eventos mayores que el percentil 80 (f) y con el número de eventos menores al percentil 20 (h), en el bimestre MJ. Los valores presentados son solo para correlaciones con *valores - p* < 0.05. La correlación de series de tiempo de los modos principales del ACC son 0.72, 0.82, 0.68 y 0.79, respectivamente, todos ellos con *valores - p* < 0.01.

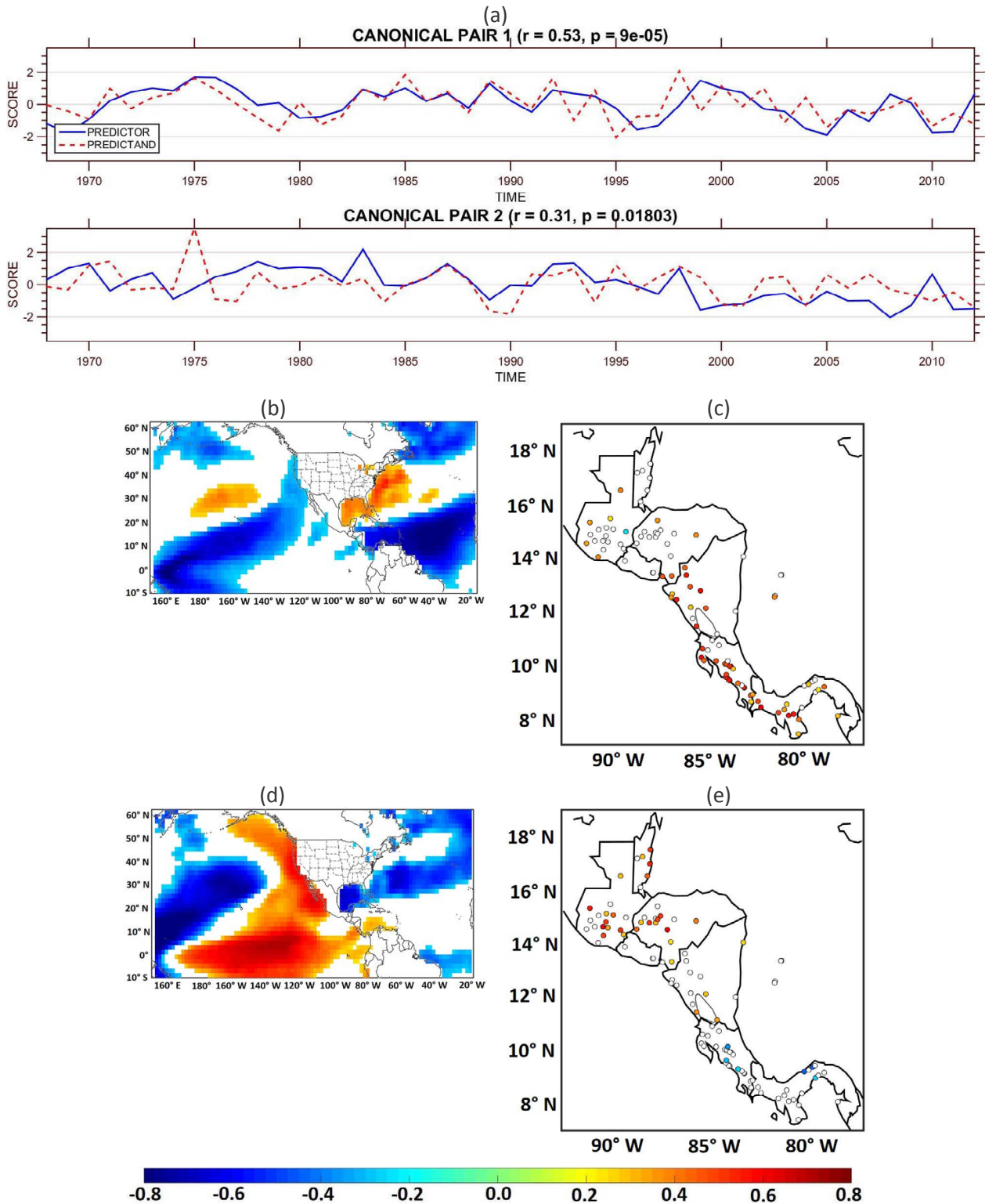


Figura 6. a) Series de tiempo para los dos modos principales del ACC significativos (valor $p < 0.05$) entre la TSM del bimestre FM (línea azul continua) y los inicios de las lluvias (línea roja discontinua). b), c), d) y e) son los mapas con las correlaciones para los dos primeros modos presentados en la figura 6a, a la izquierda para el bimestre FM de la TSM y a la derecha para los inicios de la estación lluviosa. Los valores presentados son solo para correlaciones con valores $p < 0.05$.

Sperman de este modo con la combinación de índices dada por Niño 3.4+PDO-AMO fue de 0.81 (*valor-p* < 0.01), adicionalmente, este modo tuvo una correlación con el CLLJ de 0.54 (*valor-p* < 0.01).

Los resultados de la figura 6 coinciden con los de Alfaro (2007), quién utilizó un modelo estadístico basado en el ACC para explorar la predictibilidad de la temporada de lluvias en América Central, incluyendo mayo, junio y julio (MJJ). Las variables explicativas fueron la TSM en la superficie del océano Atlántico y Pacífico, para la región dentro de 112.5° E - 7.5 ° W y 7.5° S - 62.5° N durante 1958-1998. Para la primera parte de la temporada de lluvias tempranas (MJJ), las anomalías positivas (negativas) de la TSM del Atlántico tropical se asociaron con anomalías positivas (negativas) de las lluvias en un área amplia ubicada al norte de la región estudiada. Los resultados del modelo fueron validados de forma cruzada, mostrando valores de habilidad significativos en una porción importante de la región estudiada. Además, Fallas y Alfaro (2012b) elaboraron un esquema de predicción climática estacional para América Central basado en el ACC. Las TSM de los océanos alrededor del istmo se utilizaron como predictores. La precipitación se usó como predictante, utilizando 146 estaciones meteorológicas ubicadas en Mesoamérica con registros mensuales de 1971 a 2000. El área de la TSM utilizada fue 60° N - 60° S y 270 - 0° W. En general, la TSM asociada con el trimestre anterior se utilizó para todas las estaciones previstas, incluido MJJ. El problema con los esquemas predictivos de Alfaro (2007) y Fallas y Alfaro (2012b) es que incluyen el mes de julio. Este mes presenta un reforzamiento de los vientos alisios y de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (Amador, 2008), además del veranillo en el Pacífico Tropical Oriental (Herrera et al., 2015; Alfaro e Hidalgo, 2017; Alfaro, 2014; Amador, 2008; Magaña et al., 1999). Por esa razón se recomienda excluir julio para aquellos esquemas predictivos asociados con el primer pico de la temporada de lluvias (Maldonado et al., 2017; Alfaro et al., 2016).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se mostró que la lluvia en la mayor parte del istmo centroamericano, principalmente en la vertiente del Pacífico, tiene un ciclo anual bimodal, con dos máximos: uno en mayo-junio y el otro en septiembre-octubre; separados por el veranillo en julio-agosto (figuras 1 y 2a). Las principales diferencias entre los tipos del ciclo anual de la precipitación en América Central (figuras 1 y 2) se explican por la compleja topografía del istmo asociada a condiciones de circulación muy locales (Muñoz et al., 2002; Sáenz y Amador, 2016), por la posición a sotavento o barlovento de las estaciones según los vientos alisios, y por la elevación de la estación en su respectiva vertiente (Taylor y Alfaro, 2005, Fernández et al., 1996).

El análisis presentado en este estudio permitió calcular los valores promedios a largo plazo para la fecha del inicio de la temporada de lluvias y su variabilidad, utilizando registros diarios de estaciones pluviométricas en América Central. La mayoría de las estaciones presentaron inicios de la estación lluviosa entre el 26 de abril y el 20 de mayo (figuras 3a y 4a); sin embargo, el análisis del intervalo intercuartil mostró que la variabilidad natural de esta variable es alto, incluso con valores que pueden variar por más de un mes en sus casos más extremos (figuras 3b y 4b). Similar a los resultados de Alfaro (2002), se encontró en este estudio que estaciones ubicadas en el sur y sobre el norte de la región presentaron fechas de inicio climáticas similares (figura 3a), lo que sugiere que la migración latitudinal de la ZCIT no podría explicar completamente la variabilidad del inicio de la estación lluviosa observada (Díaz, 2019).

El estudio del inicio de la temporada de lluvias mostró ser importante debido a que los inicios tempranos (tardíos) tienden a estar asociados con una temporada de mayo a junio más húmeda (más seca), el cual es el primer pico de la temporada de lluvias (figuras 2a y 5). Las precipitaciones de principios del verano tienden a

ser espacialmente bastante heterogéneas en todo el Caribe y América Central (Alfaro, 2002; Jurya y Malmgren, 2012). Por lo tanto, tener un inicio tardío de las lluvias como en el 2015 (Amador et al., 2016), seguido de una temporada más seca en mayo-junio junto con un veranillo intenso en julio y agosto (Alfaro, 2014; Hernández y Fernández, 2015; Solano, 2015; Alfaro e Hidalgo, 2017), afectaría significativamente a sectores socioeconómicos clave en América Central como la generación hidroeléctrica, el suministro de agua para consumo humano (ya que las principales ciudades del istmo se encuentran en la vertiente del Pacífico) y la agricultura.

La figura 6 mostró que el ACC tiene un uso potencial de esquemas empíricos para la predicción del clima de inicio de las lluvias en América Central, con fuentes de variabilidad decenal e interanual. Las configuraciones de las TSM en febrero-marzo, previo al inicio de las lluvias en casi todo el istmo, sugieren que condiciones más cálidas (más frías) en el ATN están asociadas con vientos alisios más débiles (más fuertes), y esto favorece (no favorece) la formación de sistemas convectivos en la región asociados con lluvia importante (Maldonado et al., 2017; Alfaro et al., 2016; Alfaro, 2007; Alfaro, 2002). Adicionalmente, las configuraciones de la TSM en el Pacífico ecuatorial del este y norte explican que condiciones más cálidas (más frías) en el Pacífico ecuatorial del este retrasan y mantienen la ZCIT en las posiciones más al Suroeste (Noreste), o sea, costa afuera (cerca de la costa) de América Central, aumentando (disminuyendo) la estabilidad sobre el istmo, y esto no favorece (favorece) la formación de sistemas mesoescalares convectivos productores de lluvia en la región (Hidalgo et al., 2015). Esta respuesta podría reforzarse si además ocurren fases positivas (negativas) de los modos de variabilidad de la TSM del Pacífico Norte (Gershunov y Barnett, 1998; Muñoz et al., 2010; Fallas y Alfaro, 2012a; Hartmann, 2015).

5. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se elaboró en el marco de varios proyectos inscritos en la Vicerrectoría de Investigación y Acción Social de la Universidad de Costa Rica: 805-C0-610 (apoyado por el Fondo de Estímulo de la Universidad de Costa Rica), EC-497 (apoyado por el fondo de extensión FEES-CONARE), 805-C0-074 y 805-B9-454 (apoyado por el Fondo de Grupos de la Universidad de Costa Rica).

6. REFERENCIAS

- Alfaro, E. (2014). Caracterización del “veranillo” en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical*, 62 (Supl. 4), 1-15.
- Alfaro, E. (2007). Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 9 (2), 33-48.
- Alfaro, E. (2002). Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E. J., Chourio, X., Muñoz, Á. G. y Mason, S. J. (2018), Improved seasonal prediction skill of rainfall for the Primera season in Central America. *Int. J. Climatol.*, 38(S1), e255-e268. doi:10.1002/joc.5366
- Alfaro, E. y Cid, L. (1999). Análisis de las anomalías en el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y su relación con los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 6(1), 1-13.
- Alfaro, E., Cid, L. y Enfield, D. (1998). Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69.

- Alfaro, E. y Enfield, D. (1999). The rainy season in Central America: An initial success in prediction. *IAI Newsletters*, 20, 20-22.
- Alfaro, E. e Hidalgo, H. (2017). Propuesta metodológica para la predicción climática estacional del veranillo en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica, América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 16(1), 62-74.
- Alfaro, E., Hidalgo, H. y Mora, N. (2016). Prediction of MJ rainfall season using CCA models. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 5-19.
- Amador, J. A. (2008). The Intra-Americas Sea Low-level Jet Overview and Future Research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146(1), 153–188. doi:10.1196/annals.1446.012.
- Amador J. A., Alfaro, E., Rivera, E. y Calderón, B. (2010). Climatic Features and Their Relationship with Tropical Cyclones Over the Intra-Americas Seas. En J.B. Elsner et al. (eds.), *Hurricanes and Climate Change: Volume 2*, DOI 10.1007/978-90-481-9510-7 9 (pp. 149-173). New York: Springer.
- Amador, J. A., Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Durán, A. M. y Calderón, B. (2016). *Central America*. [In State of the Climate 2015]. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 97(8), S178-S181.
- Columbia University (9 de agosto de 2021), International Research Institute for Climate and Society, <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Indices/.nino/.EXTENDED/.NINO34/T+exch+table+text+text+skipanyNaN+table+.html>
- Cortez, M. (2000). Variaciones intraestacionales de la actividad convectiva en México y América Central. *Atmósfera*, 13 (2), 95-108.
- Díaz, S. (2019). *Inicio de las lluvias de verano en las costas del Pacífico Mesoamericano* [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma México]. <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F?RN=842537213>
- Enfield, D. y Alfaro, E. (1999). The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*, 12, 2093-2103.
- Fallas-López, B. y Alfaro, E. (2012a). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 1: Análisis de tablas de contingencia. *Revista de Climatología*, 12, 61-79.
- Fallas-López, B. y Alfaro, E. (2012b). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 2: Análisis de Correlación Canónica. *Revista de Climatología*, 12, 93-105.
- Fernandez, W., Chacón, R. y Melgarejo, J. (1996). On the rainfall distribution with altitude over Costa Rica. *Revista Geofísica*, 44, 57–72.
- Gamow, R. y Henry, W. (1972). The Rainy pentads of Central America. *Journal of Applied Meteorology*, 11, 637-642.
- Gershunov, A. y Barnett, T. (1998). Inter-decadal modulation of ENSO teleconnections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 2715-2725.
- Hartmann, D. L. (2015). Pacific sea surface temperature and the winter of 2014. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1894–1902. doi:10.1002/2015GL063083.
- Hernández, K. y Fernández, W. (2015). Estudio de la evaporación para el cálculo del inicio y la conclusión de la época seca y lluviosa en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 14, 18–26, 2015.
- Herrera, E., Magaña, V. y Caetano, E. (2015). Air sea interactions and dynamical processes associated with the midsummer drought. *Int. J. Climatol.*, 35, 1569–1578. doi:10.1002/joc.4077.
- Hidalgo, H., Alfaro, E. y Quesada-Montano, B. (2017). Observed (1970–1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies. *Climatic Change*, 141, 13-28. doi:10.1007/s10584-016-1786-y
- Hidalgo, H.G., Durán-Quesada, A.M., Amador J.A. y Alfaro, E.J. (2015). The Caribbean Low-

- Level Jet, the Inter-Tropical Convergence Zona and the precipitation patterns in the Intra-Americas Sea: A proposed dynamical mechanism. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 97, 41–59. doi:10.1111/geoa.12085
- Jurya, M. R. y Malmgren, B. A. (2012), Joint modes of climate variability across the inter-Americas. *Int. J. Climatol.*, 32, 1033–1046. doi:10.1002/joc.2324
- Magaña, V., Amador, J.A. y Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, 12, 1577–1588.
- Maldonado, T., Alfaro, E., Rutgersson, A. y Amador, J. A. (2017), The early rainy season in Central America: the role of the tropical North Atlantic SSTs. *Int. J. Climatol.*, 37, 3731–3742. doi:10.1002/joc.4958
- Maldonado, T., Alfaro, E., Fallas, B. y Alvarado, L. (2013). Seasonal prediction of extreme precipitation events and frequency of rainy days over Costa Rica, Central America, using Canonical Correlation Analysis. *Advances in Geosciences*, 33, 41–52.
- Maldonado, T., Rutgersson, A., Alfaro, E., Amador, J. y Claremar, B. (2016). Interannual variability of the midsummer drought in Central America and the connection with sea surface temperatures. *Advances in Geosciences*, 42, 35–50. doi:10.5194/adgeo-42-35-2016.
- Muñoz, A.C., Fernández, W., Gutiérrez, J.A. y Zárate, E. (2002). Distribución horaria de la magnitud del viento en Costa Rica. *Tópicos Meteorológico y Oceanográficos*, 9(1), 14–28.
- Muñoz, E., Wang, C. y Enfield, D. (2010). The Intra-Americas springtime sea surface temperature anomaly dipole as fingerprint of remote influences. *J. Climate*, 23, 43–56.
- Nakaegawa, T., Arakawa, O. y Kamiguchi, K. (2015). Investigation of Climatological Onset and Withdrawal of the Rainy Season in Panama Based on a Daily Gridded Precipitation Dataset with a High Horizontal Resolution. *Journal of Climate*, 28, 2745–2763, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00243.1.
- National Oceanographic and Atmospheric Administration (9 de agosto de 2021b), Climate Prediction Center, National Centers for Environmental Prediction, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>
- National Oceanographic and Atmospheric Administration (9 de agosto de 2021a), Physical Sciences Laboratory, <https://psl.noaa.gov/data/correlation/amon.us.long.data>.
- Saenz, F. y Amador, J. A. (2016). Características del ciclo diurno de precipitación en el Caribe de Costa Rica. *Revista de Climatología*, 16, 21–34.
- Smith, T., Reynolds, R., Peterson, T. C. y Lawrimore, J. (2007). Improvements to NOAA's Historical Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006). *J. Climate*, 21, 2283 – 2296.
- Solano, E. (2015). *Análisis del comportamiento de los períodos caniculares en Costa Rica en algunas cuencas del Pacífico Norte y del Valle Central entre los años 1981 y 2010* [Tesis Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. https://www.researchgate.net/publication/279912901_Analisis_del_comportamiento_de_los_periodos_caniculares_en_Costa_Rica_en_algunas_cuencas_del_Pacifico_Norte_y_del_Valle_Central_entre_los_anos_1981_y_2010
- Taylor, M. y Alfaro, E. (2005). Climate of Central America and the Caribbean. En J.E. Oliver (Ed), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 183–189), Springer.
- University of Washington (9 de agosto de 2021), Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest.txt>
- Wilks, D. (2019) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 4th. ed. Elsevier
- Xue, Y., Smith, T. y Reynolds, R. (2003). Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871–2000. *Journal of Climate*, 16, 1601–1612. doi:10.1175/1520-0442-16.10.1601



Source



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

