

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

Ministerio de Ambiente y Energía - Instituto Meteorológico Nacional

Número **1**
ISSN 2953-738X



Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1888

ISSN 2953-738X

Volumen 22

Diciembre 2023



San José, Costa Rica

TÓPICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS

ISSN 2953-738X

Volumen 22

Diciembre 2023



Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Coordinación general:
Mag. Eladio Solano León

Edición:
M.Phil. María Esther Suárez Baltodano

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

Diseño y diagramación:
Rodrigo Granados Jiménez

Imágenes de portada:
Nury Sanabria Valverde

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 El extremo lluvioso de 1944 en Costa Rica: relación entre datos pluviométricos e información documental en el análisis histórico-meteorológico

RODRIGO GRANADOS JIMÉNEZ

- 37 Estudio del inicio y término de la estación lluviosa en el Pacífico Norte de Costa Rica en el periodo 1981-2020. Parte 1, caracterización climática.

KENDALL UGALDE CASTRO, ERIC J. ALFARO MARTÍNEZ,
HUGO G. HIDALGO LEÓN Y TITO MALDONADO MORA

- 58 Estudio del inicio y término de la estación lluviosa en el Pacífico Norte de Costa Rica en el periodo 1981-2020. Parte 2, variabilidad climática.

KENDALL UGALDE CASTRO, ERIC J. ALFARO,
HUGO G. HIDALGO Y TITO MALDONADO

Estudio del inicio y término de la estación lluviosa en el Pacífico Norte de Costa Rica en el periodo 1981-2020. Parte 2, variabilidad climática.

KENDALL UGALDE CASTRO¹, ERIC J. ALFARO², HUGO G. HIDALGO³, TITO MALDONADO⁴

Resumen

El inicio y término de la estación lluviosa (IELL y TELL, respectivamente), así como de la duración de las estaciones seca y lluviosa (DES y DELL, respectivamente) sobre la provincia de Guanacaste puede ser afectada por diversas fuentes de variabilidad climática que modulan las precipitaciones en América Central. Se determina el IELL, TELL, DES y DELL, con datos de precipitación en rejilla sobre Guanacaste para el periodo 1981-2020 y se redujo su dimensionalidad mediante el análisis de Componentes Principales (CP). Se calcularon las correlaciones de Pearson entre las CP y sus respectivos índices, para estudiar las regiones que presentan mayor influencia de las CP. Estas CP se compararon con índices de fuentes de variabilidad climática como El Niño-Oscilación del Sur, la Oscilación Multidecenal del Atlántico y la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés). Un calentamiento (enfriamiento) relativo del Atlántico con respecto al Pacífico ecuatorial favorece IELL tempranos (tardíos), TELL tardíos (tempranos), DES cortas (largas) y DELL largas (cortas); mientras que un CLLJ intenso (débil) favorece IELL tardíos (tempranos), TELL tempranos (tardíos), DES largas (cortas) y DELL cortas (largas).

PALABRAS CLAVE: CHIRPS; DURACIÓN DE LA ESTACIÓN SECA Y LLUVIOSA; EL NIÑO; GUANACASTE; OSCILACIÓN MULTIDECENAL DE ATLÁNTICO; CORRIENTE EN CHORRO DE BAJO NIVEL DEL CARIBE.

Abstract

The onset and demise of the rainy season (IELL and TELL, respectively in Spanish), as well as the duration of the dry and rainy seasons (DES and DELL, respectively in Spanish) in the province of Guanacaste can be affected by various sources of climate variability that modulates rainfall in Central America. The IELL, TELL, DES and DELL are determined with gridded precipitation data over Guanacaste for the period 1981-2020 and their dimensionality was reduced using the Principal Components (PCs) analysis. The Pearson correlations between the PCs and their respective indexes were calculated to study the regions with the greatest influence of the PC. These PCs were compared with indices from climate variability sources such as El Niño-Southern Oscillation, the Atlantic Multidecadal Oscillation, and the Caribbean Low-Level Jet (CLLJ). A relative warming (cooling) of the Atlantic relative to the equatorial Pacific favors earlier (later) IELL, later (earlier) TELL, shorter (longer) DES, and longer (shorter) DELL. Conversely, a stronger (weaker) CLLJ favour later (earlier) IELL, earlier (later) TELL, longer (shorter) DES, and shorter (longer) DELL.

KEYWORDS: ATLANTIC MULTIDECADAL OSCILLATION; CARIBBEAN LOW-LEVEL JET; CHIRPS; EL NIÑO; GUANACASTE; RAINY AND DRY SEASON DURATION.

- 1 Docente e investigador en la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. kugaldec@uned.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0002-9762-9811>
- 2 Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) y profesor catedrático en la Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. erick.alfaro@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0001-9278-5017>
- 3 Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y profesor catedrático en la Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. hugo.hidalgo@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0003-4638-0742>
- 4 Investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica. tito.maldonado@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0001-9774-9082>

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Guanacaste en Costa Rica forma parte del llamado Corredor Seco Centroamericano (CSC), se trata de una franja que se extiende a lo largo de la vertiente Pacífico de América Central, desde Chiapas en México o la parte oeste de Guatemala hasta Guanacaste en Costa Rica (Calvo et al., 2018; Gotlieb et al., 2019) dentro de los cuales se destaca la sequía. Esta ha tenido efectos adversos de distinta índole en la región denominada como el Corredor Seco Centroamericano (CSC). El CSC está caracterizado por un clima especialmente árido, bajos recursos hídricos y un bosque tropical seco. Como indican Calvo et al. (2018) dentro de los cuales se destaca la sequía. Esta ha tenido efectos adversos de distinta índole en la región denominada como el Corredor Seco Centroamericano (CSC e Hidalgo et al. (2019) las condiciones secas características del CSC se deben a diversos factores como el papel del relieve en la distribución de humedad, la formación del sistema montañoso en dirección noroeste-sureste o el complejo mecanismo de circulación de los vientos alisios en la región, estos últimos muy ligados a la intensidad de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés). Además, que fuentes de variabilidad climática como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA), han mostrado influencia en la modulación de las precipitaciones (Hidalgo et al., 2019).

Diversos estudios se han relacionado al inicio y término de la estación lluviosa (IELL y TELL, respectivamente) en la región centroamericana con fuentes de variabilidad climática como las temperaturas superficiales del mar (TSM) de los océanos Pacífico y Atlántico tropical (e.g. Alfaro, 2002; Alfaro et al., 1998; Alfaro & Cid, 1999; Enfield & Alfaro, 1999) se calcularon los ciclos anuales promedio dominantes en la región centroamericana por medio del análisis de funciones ortogonales empíricas. Esto permitió estimar aspectos importantes del ciclo anual tales

como el inicio y término de la estación lluviosa así como el período de veranillo o canícula, notándose una variación latitudinal de los mismos. Se encontró que la región está dominada por un ciclo anual promedio que captura cerca del 72% de la varianza. Este ciclo anual está explicado por una combinación de sistemas y parámetros que involucran la migración latitudinal de la ZCIT, la variación estacional de la radiación solar, que influye sobre el flujo de calor latente, y el viento en bajo nivel y su interacción con la orografía, principalmente. El segundo ciclo anual en importancia explica sólo el 8% de la varianza en la región. Este dominó en estaciones ubicadas sobre la costa Caribe de Honduras, Costa Rica y Panamá. La precipitación en Centroamérica presentó relaciones distintas con los océanos Atlántico y Pacífico tropical en las escalas interanuales y decadales. En la escala interanual, los años más húmedos (secos. Por lo que es importante destacar estos estudios en la región y sus principales resultados, además de las fuentes de variabilidad climática a estudiar.

En la revisión de Maldonado et al. (2018) se indican diversas fuentes de variabilidad climática que inciden sobre América Central, por ejemplo el ENOS que se compone de un acople atmosférico y oceánico. La parte oceánica corresponde a las anomalías de TSM sobre el Pacífico Tropical del Este (PTE) y, la parte atmosférica a un gradiente de presión a nivel del mar entre el hemisferio oriental y occidental del Pacífico ecuatorial. El fenómeno se compone de tres fases, una fase cálida conocida como El Niño, una fase fría conocida como La Niña y una tercera fase de condiciones neutras que ocurren aproximadamente con un periodo de dos a siete años.

Maldonado et al. (2018) mencionan que la variabilidad del ENOS se centra sobre el Pacífico ecuatorial, sin embargo, múltiples estudios han encontrado teleconexiones entre el fenómeno y diversas condiciones climáticas. Por ejemplo, la frecuencia de ciclones tropicales en el océano

Atlántico (Alfaro, 2007) y el aumento o descenso de precipitaciones durante la estación lluviosa sobre la vertiente del Pacífico de América Central (Maldonado et al., 2013), específicamente fases frías (cálidas) del ENOS se asocian al incremento (descenso) de precipitaciones (Maldonado et al., 2018).

Otro fenómeno de variabilidad climática importante en la región es la OMA, esta corresponde a un modo con periodo de aproximadamente 70 años sobre la TSM en el océano Atlántico (Maldonado et al., 2018). Se ha encontrado que la OMA también puede afectar las sequías provocadas por el ENOS, donde una OMA positiva (negativa) puede inducir condiciones húmedas (secas) en la vertiente del Pacífico de América Central, además puede modular el tamaño de la Piscina Cálida del Atlántico, e influir en el desarrollo de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico (Alfaro, 2007; Maldonado et al., 2017) dentro y arriba de lo normal en la actividad anual de los ciclones tropicales dado un escenario bajo, dentro y arriba de lo normal en distintos índices de TSM para el periodo 1944-2004 (61 años).

Los trabajos de Amador (1998) y Amador (2008) describen la CLLJ como una corriente de movimiento rápido sobre el mar Caribe, su núcleo se encuentra alrededor de los 15° N y 75° O a una altura de unos 925 hPa con un distinguido ciclo anual, una considerable extensión de este a oeste que puede alcanzar velocidades de entre 10-15 ms⁻¹, con los vientos más intensos durante el invierno y verano.

La CLLJ es uno de los elementos más importantes para explicar la actividad convectiva de julio a noviembre en la región de los mares intra americanos (Maldonado et al., 2018). La CLLJ tiene influencia sobre las lluvias de la vertiente Caribe, sin embargo, Hidalgo et al. (2015) proponen un mecanismo que relaciona a la CLLJ con las precipitaciones del Pacífico. El modelo indica que cerca de las costas del Caribe de Costa

Rica y Nicaragua en la salida de los vientos de la CLLJ, se presentan intensos procesos convectivos que propician condiciones húmedas y el ascenso de las masas de aire, en altos niveles atmosféricos cerca de los 200 hPa un hundimiento genera descenso de aire seco hacia el Caribe y al PTE, provocando un desplazamiento al sur de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT). De tal manera que este patrón de circulación se acentúa (suprime) cuando la ZCIT se desplaza hacia el sur (norte). Además, es conocido que una fase cálida (fría) del ENOS fortalece (debilita) la CLLJ, por lo que existe una conexión entre ambos fenómenos y las precipitaciones sobre el Pacífico de América Central (Quirós & Hidalgo, 2016).

Alfaro et al. (1998) buscaron correlaciones entre el IELL y TELL contra las TSM del Atlántico norte (ATN) y sur (ATS), el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y las TSM del Pacífico ecuatorial, específicamente el área 6° N - 6° S y 150° O - 90° O correspondiente a la región Niño3 (N3), aunque tradicionalmente se usa el área 5° N - 5° S y 150° O - 90° O (Alfaro et al., 1998; Trenberth & Stepaniak, 2001). En este estudio el índice del ATN mostró correlación negativa con el IELL, especialmente en el enero anterior, así eventos cálidos (fríos) se correlacionaron a comienzos tempranos (tardíos) de la estación lluviosa, posiblemente debido a bajas presiones sobre el ATN que afectan el posicionamiento de la ZCIT en América Central. De igual forma tanto el índice IOS como el N3 mostraron correlación positiva en diciembre y negativa en marzo (antes del TELL). Por tanto, eventos cálidos (fríos) en el PTE se correlacionan a comienzos tempranos (tardíos) de la estación seca, posiblemente asociados a una migración temprana o tardía de la ZCIT. Además, se debe destacar que no encontraron correlaciones significativas del IELL y el TELL con el ATS.

Adicionalmente, Enfield & Alfaro (1999) but the strength of the rainfall response appears to depend on how SSTA in the tropical Atlantic and eastern Pacific combine. The strongest response occurs

when the tropical Atlantic is in the configuration of a meridional dipole (antisymmetric across the ITCZ) encontraron que el ATN también modula el TELL, ya que un ATN cálido (frío) se asocia a un TELL más tardío (temprano), de manera que el ATN influencia la duración de la estación lluviosa. Se debe destacar que tanto el ATN y N3 afectan el TELL de modo que signos iguales en estos índices oceánicos tienden a contrarrestar sus efectos, por lo que es importante estudiar el comportamiento simultáneo de ambos océanos. Estos resultados se apreciaron al sur de América Central sobre la vertiente del Pacífico de Costa Rica y Panamá.

Los resultados de Alfaro y Cid (1999) son muy similares a trabajos previos, por ejemplo, un ATN cálido (frío) se relaciona a un IELL temprano (tardío) o un PTE cálido (frío) se relaciona a un TELL temprano (tardío). También se determinó que una DELL más larga (más corta) se relaciona a un ATN cálido (frío). De manera que estos resultados destacan la importancia de los océanos Pacífico y Atlántico como pronóstico de la estación lluviosa en la región de América Central.

En el trabajo de Fallas & Alfaro (2012) determinaron que la combinación de diversos índices oceánicos y atmosféricos como la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP), OMA, N3 o la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) resultan útiles en el pronóstico de la estación lluviosa. Índices combinados como OMA-(ODP+N3), ODP+N3, N3 y OMA-ODP dieron resultados confiables en el adelanto o atraso del IELL. Mientras que índices como OMA, OMA-N3, N3, OMA-(ODP+N3) mostraron resultados significativos en la predicción de los atrasos y adelantos del TELL.

Díaz (2019) encontró que el IELL ocurre primero en los países más al sur como Costa Rica y Panamá, y más tarde en zonas al norte de México, con casi dos meses de diferencia. De manera que parece existir una dependencia latitudinal como ya se indicó en trabajos previos. La que puede estar relacionada con el desplazamiento de la ZCIT,

donde el retraso o adelanto en el IELL también puede corresponder a la influencia del fenómeno del ENOS, y la manera en que este afecta la posición de la ZCIT.

Rivera et al. (2019) lograron caracterizar el IELL, TELL y DELL obteniendo resultados similares con ambos métodos, sin embargo, no lograron resultados robustos al relacionar el IELL y el TELL contra los índices del ENOS.

A diferencia de investigaciones previas, en el trabajo de Gouirand et al. (2020) NCEP-DOE and ERA-Interim no se encontraron correlaciones significativas entre el IELL y la TSM del Atlántico o Pacífico. Sin embargo, sí encontraron correlaciones similares a las presentadas en trabajos previos para el TELL, es decir un Pacífico ecuatorial cálido (frío) y un Atlántico Tropical Norte frío (cálido) se relaciona con TELL tempranos (tardíos).

Con respecto a las TSM del Pacífico y Atlántico, Alfaro e Hidalgo (2021) encontraron que si las TSM del ATN son cálidas (frías) se debilita (fortalece) el flujo alisio lo que favorece (desfavorece) la formación de sistemas convectivos y la precipitación, mientras que un Pacífico ecuatorial del este cálido (frío) alejan (acercan) la ZCIT al istmo de centroamericano desfavoreciendo (favoreciendo) la formación de sistemas convectivos, además esta respuesta se puede reforzar en fases positivas (negativas) de las TSM del Pacífico Norte.

El objetivo de esta investigación es el de estudiar la relación del IELL, TELL, DES y DELL sobre la provincia de Guanacaste con algunas fuentes de variabilidad climática que modulan las precipitaciones en América Central, como lo son: ENOS, la OMA, la CLLJ y la diferencia de TSM entre el Pacífico Ecuatorial y el Atlántico Tropical Norte. Lo anterior, mediante el uso de análisis estadísticos como correlaciones no paramétricas y llevar a cabo pruebas que permitan establecer la significancia estadística en los resultados.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Datos de precipitación

Se utilizaron los mismos datos de precipitación en rejilla de Ugalde (2022) que cubren toda la zona de Guanacaste, provenientes del conjunto de datos denominado *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) (1981-2020) (Funk et al., 2015).

2.2. Índices de fuentes de variabilidad climática

Las fuentes de variabilidad climática a estudiar que influyen la época lluviosa y seca en la región de interés son: el ENOS, la OMA, el CLLJ y el dipolo entre las TSM del Pacífico y Atlántico.

En el caso de ENOS, se tomó la región del Niño 3.4 (N3.4) correspondiente al área entre las latitudes 5° N - 5° S y longitudes 170° O - 120° O (Trenberth & Stepaniak, 2001) sea surface temperature (SST, el índice de las anomalías del N3.4 se encuentra disponible en la dirección web <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.81-10.ascii>. Para la OMA se tomó índice del sitio web <https://psl.noaa.gov/data/correlation/amon.us.long.data>. Este índice abarca prácticamente todo el Atlántico norte (0-70° N).

Para calcular el dipolo entre las TSM del Atlántico y el Pacífico se usaron los índices N3.4 y OMA. Para comparar ambos fenómenos se obtuvieron las anomalías normalizadas tanto las series del N3.4 y la OMA, es decir, a cada dato de la serie se le restó su media y se dividió entre su desviación estándar, luego simplemente se realizó la resta OMA-N3.4.

Usando datos de viento del reanálisis de ERA5, se obtuvo el índice referente a la CLLJ a partir de datos de viento zonal a la altura de 925 hPa según las características de la CLLJ descritas en Amador

(2008) y Amador et al. (2010) indexes of the Intra-Americas or Caribbean Low-Level Jet (IALLJ or CLLJ, respectively). Se aplicó la metodología descrita por Hidalgo et al. (2015), esto es promediar espacialmente la velocidad del viento zonal en la región delimitada por las latitudes 7.5° N - 12.5° N y las longitudes 85° O - 75° O a una altura de 925 hPa. En la figura 1 se muestra el ciclo anual de este índice calculado en el periodo de 1981-2020. Se puede apreciar que los resultados son muy similares a los obtenidos por Hidalgo et al. (2015) donde se usó el reanálisis NCEP/NCAR. La principal diferencia radica en que los valores de vientos zonales presentan una magnitud menor en la figura 1 quizás ligado al uso de distintos periodos, además Foli et al. (2021) indican que NCEP/NCAR tiende a sobrestimar los vientos zonales, aunque en la figura 1 se aprecia claramente el ciclo anual del CLLJ.

Para comparar cada índice de variabilidad climática con cada índice asociado al IELL, TELL, DES y DELL, y considerando que el IELL tiende a ocurrir alrededor de mayo y el TELL alrededor de noviembre (Alfaro, 2002), se calcularon promedios alrededor de estos meses para las fuentes de variabilidad climática. Los índices N3.4, OMA, OMA-N3.4 y CLLJ son mensuales, para compararlos contra el IELL se calculó el promedio

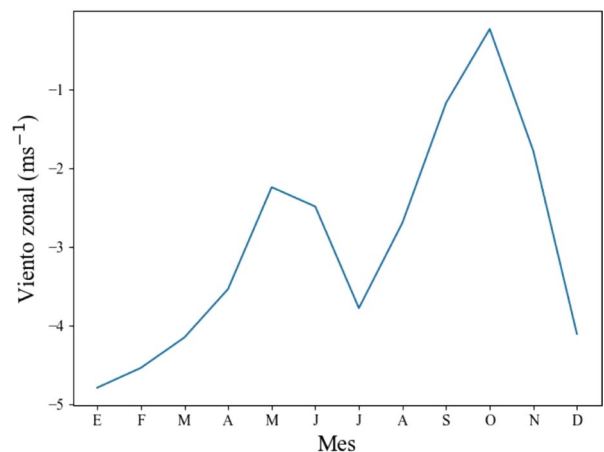


Figura 1. Ciclo anual para el índice de la CLLJ calculado a partir de los datos de viento zonal de ERA5 a 925 hPa para la región limitada entre 7.5° N y 12.5° N y entre 85° O y 75° O.

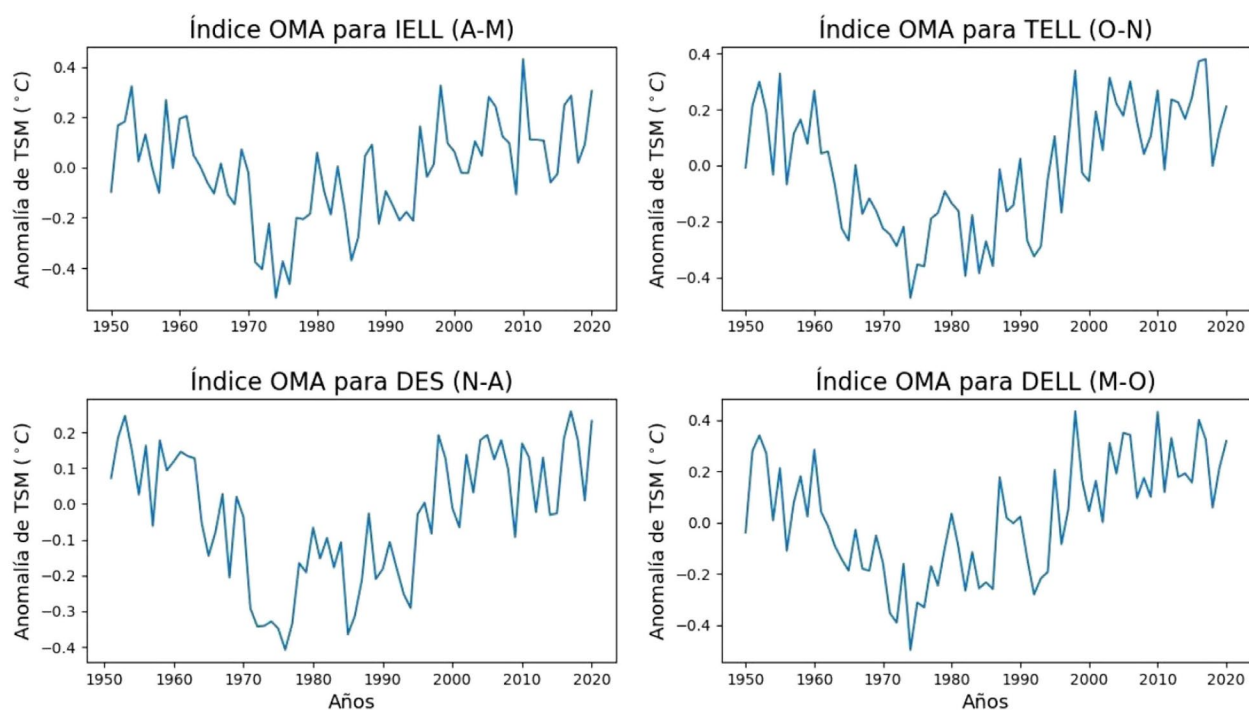


Figura 2. Índice OMA para 1950-2020 promediado en los periodos de abril-mayo para el IELL, de octubre-noviembre para el TELL, de noviembre (año anterior)-abril (año posterior) para la DES y de mayo-octubre para la DELL.

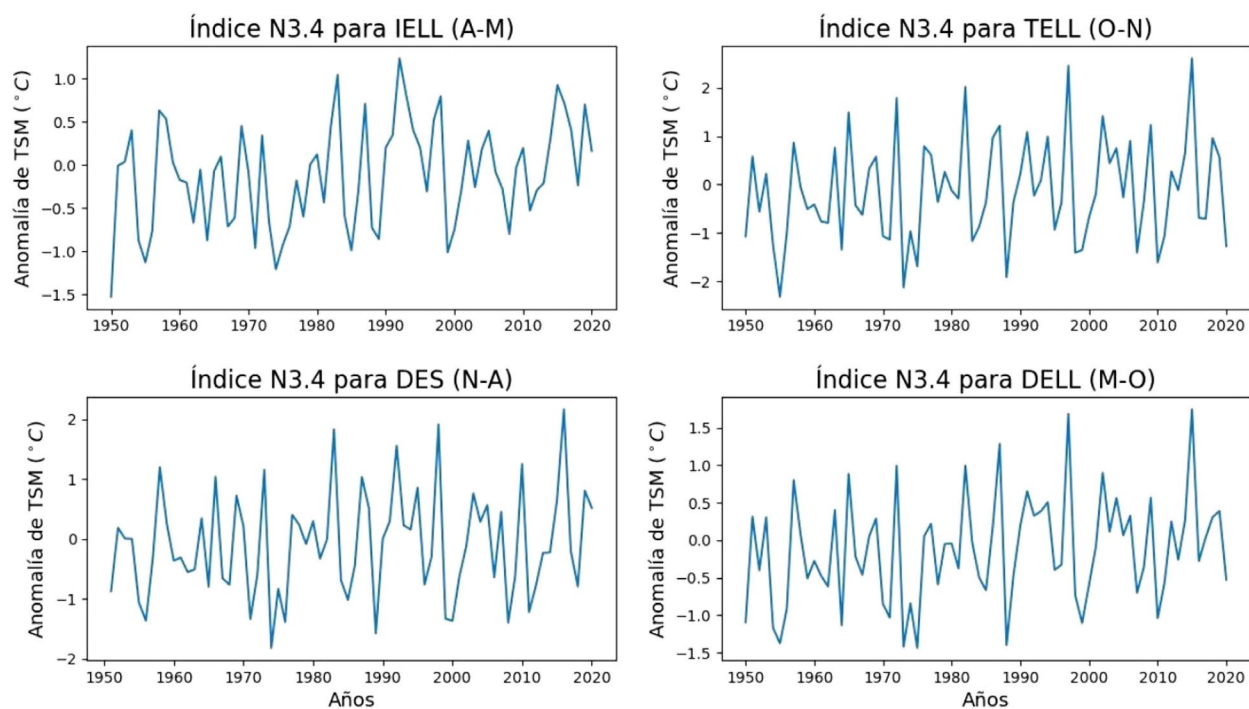


Figura 3. Índice N3.4 para 1950-2020 promediado en los periodos de abril-mayo para el IELL, de octubre-noviembre para el TELL, de noviembre (año anterior)-abril (año posterior) para la DES y de mayo-octubre para la DELL.

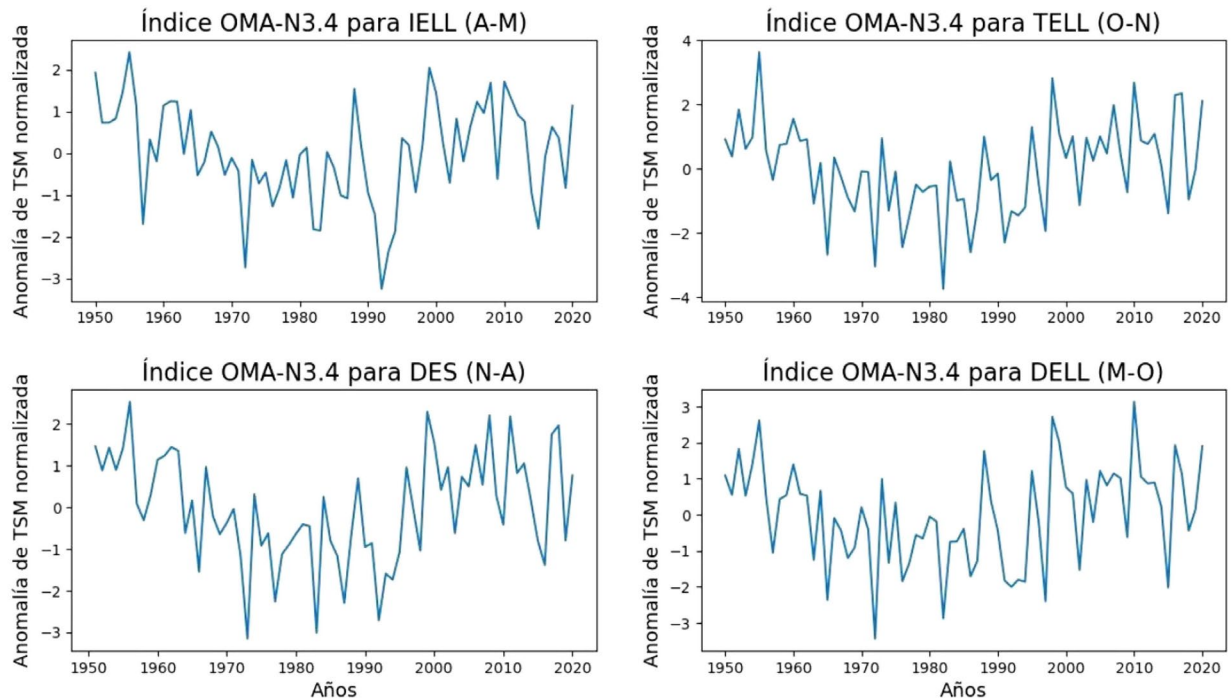


Figura 4. Índice OMA-N3.4 para 1950-2020 promediado en los periodos de abril-mayo para el IELL, de octubre-noviembre para el TELL, de noviembre (año anterior)-abril (año posterior) para la DES y de mayo-octubre para la DELL.

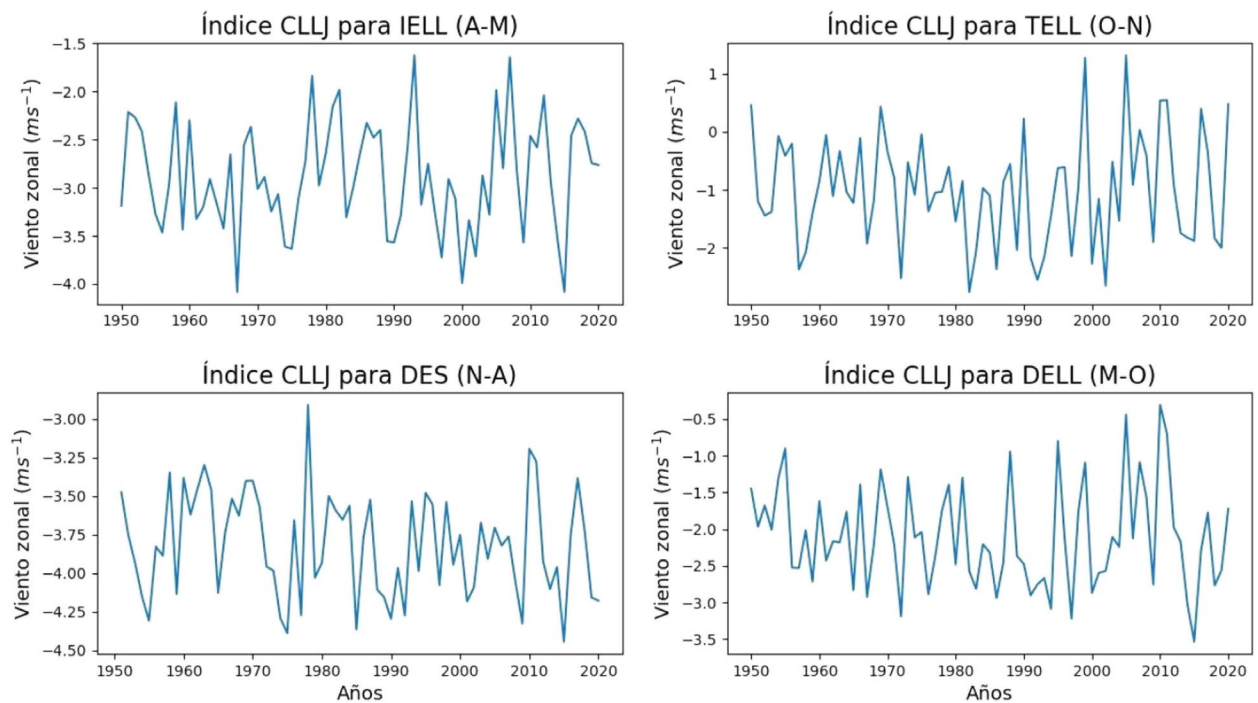


Figura 5. Índice CLLJ para 1950-2020 promediado en los periodos de abril-mayo para el IELL, de octubre-noviembre para el TELL, de noviembre (año anterior)-abril (año posterior) para la DES y de mayo-octubre para la DELL.

de los meses abril y mayo, para el TELL fue el promedio de los meses octubre y noviembre, mientras la DELL al definirse como la cantidad de días entre el IELL y TELL se calculó el promedio de los meses mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre, mientras que para la DES al definirse como la cantidad de días entre el TELL (del año anterior) y el IELL (del año en posterior) se calculó el promedio de los meses noviembre y diciembre del año anterior y enero, febrero, marzo y abril del año posterior, tomando este índice como el asociado al año posterior. De las figuras 2 a 5 se observa el comportamiento de estos índices asociados a las fuentes de variabilidad climática en el periodo de 1950-2020.

2.3. Proceso metodológico

2.3.1 Análisis de componentes principales (CP) aplicado sobre las series de IELL, TELL, DELL y DES

Debido a la gran cantidad de puntos de rejilla que presentan los datos de CHIRPS sobre la región de interés, es necesario aplicar algún método que permita la simplificación de los datos para una manipulación más sencilla. Se usó el método de análisis de CP como se indica en Wilks (2019), el cual consiste en la generación de la matriz de covarianza o correlación del conjunto de datos, luego se calculan los autovalores y autovectores de esta matriz, y posteriormente, utilizando la matriz de autovectores y el conjunto original de datos, se genera un nuevo conjunto de variables ortogonales, en el que, por lo general, las primeras CP explican la mayoría de la varianza del conjunto original, reduciendo el número de puntos por estudiar. Esto ayudó a simplificar significativamente el análisis.

En el trabajo de Fallas y Alfaro (2012) se aplicó un análisis de CP para reducir la información de 146 estaciones meteorológicas a lo largo de todo América Central en tan solo 2 nuevas

variables, esto muestra la utilidad del método en la simplificación de una gran cantidad de datos. Para este trabajo se logran disminuir las series de tiempo para el IELL, el TELL, el DES y el DELL sobre la región de Guanacaste con datos de resolución de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$, a una única serie de tiempo para cada índice (ver sección 3 más adelante).

Para aplicar el análisis de CP lo primero que se hizo fue calcular las anomalías normalizadas de los índices IELL, TELL, DELL y DES. Posteriormente para cada índice se calculó su matriz de correlación debido a que esta trabaja con datos estandarizados. A las matrices de correlación se les calcularon los respectivos autovalores y autovectores. Finalmente, para obtener el nuevo conjunto de datos se realiza la multiplicación matricial descrita en la ecuación 1.

$$TC = X * E \quad (E. 1)$$

Donde:

TC: nuevo conjunto de datos

X: conjunto de datos originales (índice normalizado)

E: matriz de autovectores.

Se calcularon y graficaron los *scree-plot* (Wilks, 2019) como la razón entre el autovalor de cada CP y la suma de todos los autovalores de todas las CP multiplicado por 100 y se toman las CP que explican más varianza según el *scree-plot*. Posteriormente, se calculó la correlación de Pearson entre las CP con su respectivo índice, los resultados se graficaron en mapas para estudiar las regiones que presentan mayor influencia de las CP, mostrando únicamente las correlaciones significativas al 95% ($\alpha = 0.05$).

2.3.2 Análisis de tablas de contingencia

El análisis de contingencia usado es detallado por Alfaro et al. (2004), esta metodología busca una correlación significativa entre una variable dependiente y una independiente mediante

el uso de la función de correlación cruzada. El método de tablas de contingencia divide la variable independiente en M categorías y la dependiente en N categorías resultando en una cantidad de categorías conjuntas $M \times N$, para posteriormente calcular las frecuencias empíricas f_0 correspondientes a la cantidad de parejas que pertenecen a cada una de las $M \times N$ categorías conjuntas. Para este se realizaron varias tablas de contingencia tomando como variable dependiente las CP asociadas a los índices IELL, TELL, DELL y DES, mientras que las variables independientes fueron los índices de variabilidad climática N3.4, OMA, OMA-N3.4 y CLLJ en su respectivo periodo.

Alfaro et al. (2004) recomienda el uso de una cantidad baja de categorías para lograr un análisis más estable, lo cual sería para este trabajo $M = N = 3$, resultando en un total de 9 categorías conjuntas.

Tal división permite trabajar el conjunto de datos en *terciles* con un manejo más sencillo de las cantidades de posibles escenarios, además brinda un entendimiento más claro de parte del público en general con términos como condiciones normales (N), arriba de lo normal (AN) o bajo lo normal (BN), separadas por los percentiles 33 y 67 (P_{33} y P_{67} , respectivamente) de las variables.

Además, se realiza una prueba χ^2 para determinar la discrepancia entre las frecuencias observadas (f_{ij}) y las esperadas (e_{ij}) de la tabla de contingencia. Para el caso de tablas 3×3 el número de grados de libertad corresponden a 4. Considerando que la frecuencia total de la tabla es n y que esta sea construida de manera aleatoria, la frecuencia asociada a cada casilla es $n/9$ y se calcula el χ^2 asumiendo la hipótesis nula de que no hay relación entre las variables. De manera

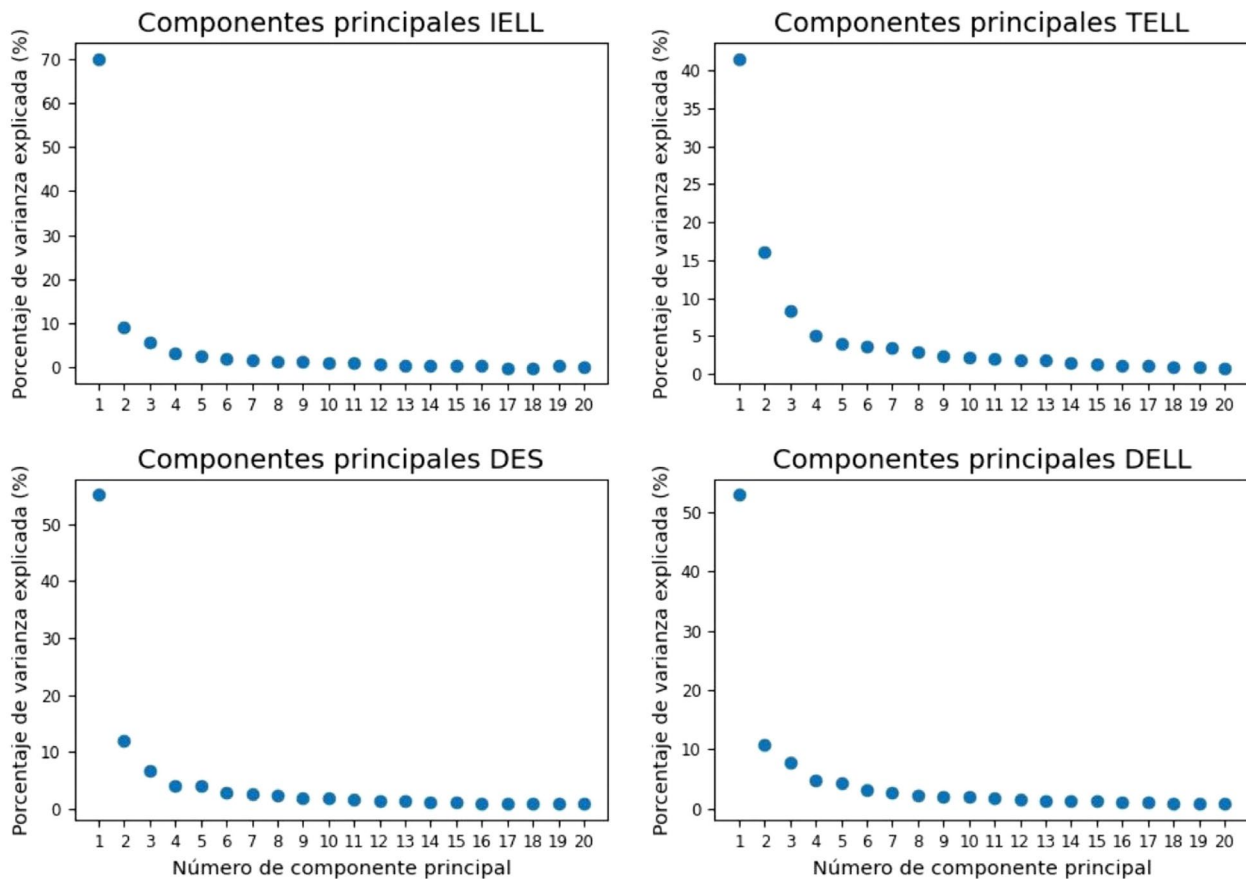


Figura 6. Porcentaje de varianza explicada para las primeras 20 CP asociadas al IELL, TELL, DES y DELL obtenidas a partir de la base de datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981-2020.

que, si el estadístico χ^2 resultante es mayor que el valor crítico determinado por la distribución χ^2 , se rechaza la hipótesis nula, indicando que las frecuencias observadas y esperadas difieren significativamente, para este trabajo se usaron valores de $\alpha = 0.05$ considerando resultados significativos al 95%.

Para determinar la significancia estadística de cada categoría de la tabla de contingencia se utilizó una prueba de Montecarlo. El método toma las variables dependientes e independientes que son puestas a prueba y en base a ellas genera nuevas variables aleatorias, construye una nueva tabla de contingencia cada vez que genera un nuevo par de variables aleatorias y determina las categorías que son más confiables de obtener en cada bucle. El proceso es recomendable de ejecutar en bucles de 10000 a 200000 veces. Esta metodología se ha aplicado en otros trabajos que utilizan tablas de contingencia para estudiar la relación entre fuentes de variabilidad climática e índices de precipitación (e.g. Alfaro, 2014; Alfaro & Hidalgo, 2017).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 6 muestra los gráficos *scree-plot* para las primeras 20 CPs asociadas a los índices de la época seca y lluviosa. El cuadro 1 muestra en detalle el porcentaje de la variabilidad explicada por la CP 1 y 2 (CP1 y CP2, respectivamente), donde se aprecian bajos valores de la CP2 con respecto a la CP1.

Las figuras 7 y 8 muestran la correlación entre la CP1 y CP2 contra su respectivo índice de estación seca o lluviosa. Se puede apreciar como la CP1 presenta una alta correlación contra su respectivo índice (IELL, TELL, DES y DELL) en todo Guanacaste, mientras la CP2 presenta en general correlaciones menores, además de que gran parte de la región no alcanza una significancia estadística superior al 95% ($\alpha > 0.05$). Considerando que la CP1 explica mayor cantidad de varianza en la región, se utiliza únicamente esta para comparar contra las fuentes de variabilidad climática. El cuadro 2 muestra la correlación entre la CP1 asociada al IELL, TELL, DES y DELL y los índices OMA, N3.4, OMA-N3.4 y CLLJ.

Cuadro 1. Porcentaje de varianza explicada por la CP1 y CP2 asociada al IELL, TELL, DES y DELL

% de variabilidad explicada	IELL	TELL	DES	DELL
CP 1	70.04	41.56	55.11	52.96
CP 2	9.11	16.10	11.97	10.75

Cuadro 2. Correlación de Pearson entre la CP1 asociada al IELL, TELL, DES y DELL y los índices OMA, N3.4, OMA-N3.4 y CLLJ en su respectivo periodo.

Índices	Correlación de Pearson CP1	Índices	Correlación de Pearson CP1
OMA vs IELL	-0,32	OMA-N3.4 vs IELL	-0,46
OMA vs TELL	0,24	OMA-N3.4 vs TELL	0,39
OMA vs DES	-0,33	OMA-N3.4 vs DES	-0,47
OMA vs DELL	0,31	OMA-N3.4 vs DELL	0,54
N3.4 vs IELL	0,27	CLLJ vs IELL	0,36
N3.4 vs TELL	-0,33	CLLJ vs TELL	-0,36
N3.4 vs DES	0,30	CLLJ vs DES	0,32
N3.4 vs DELL	-0,50	CLLJ vs DELL	-0,52

* Valores en negrita indican significancia estadística al 99% ($\alpha < 0.01$).

** Valores en itálica indican significancia estadística al 95% ($\alpha < 0.05$).

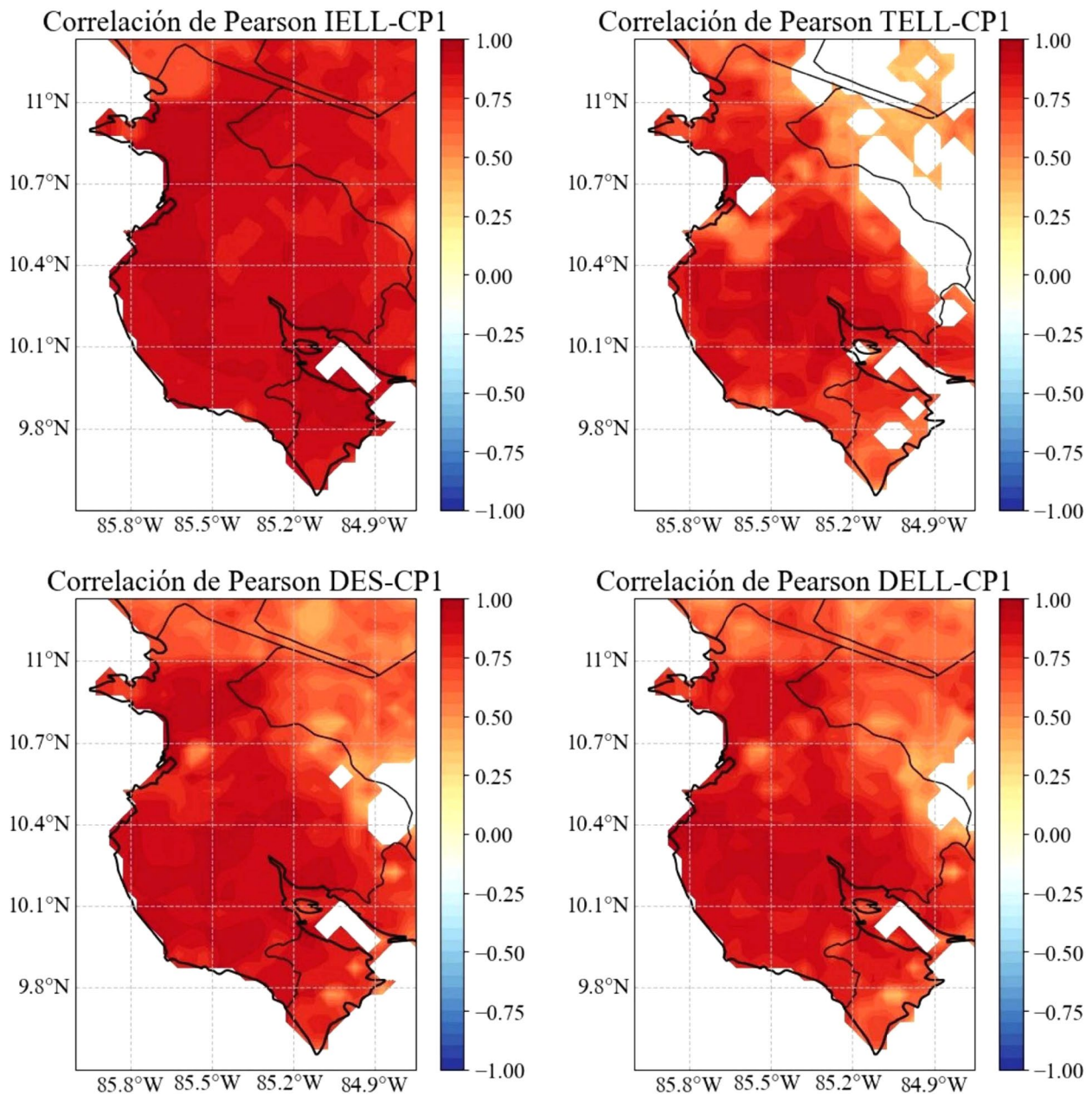


Figura 7. Correlación de Pearson entre el IELL, TELL, DES y DELL con su respectiva CP1 asociada para los datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981-2020. Las zonas en blanco representan regiones de significancia estadística inferior al 95% ($\alpha > 0.05$).

Comparando el índice de la OMA sobre el Atlántico se encuentran correlaciones significativas con el IELL, DES y DELL. La correlación negativa del IELL sugiere que una OMA positiva (negativa) se asocia a un IELL temprano (tardío). Las correlaciones positivas y negativas de la DES y DELL respectivamente, indican que eventos

positivos (negativos) de la OMA se asocian a DELL más largas (cortas), mientras lo contrario ocurre con la DES. Coincidiendo con resultados como los de Alfaro et al. (1998) y Alfaro y Cid (1999).

Con el índice N3.4 sobre el Pacífico Ecuatorial se obtienen correlaciones significativas con el TELL

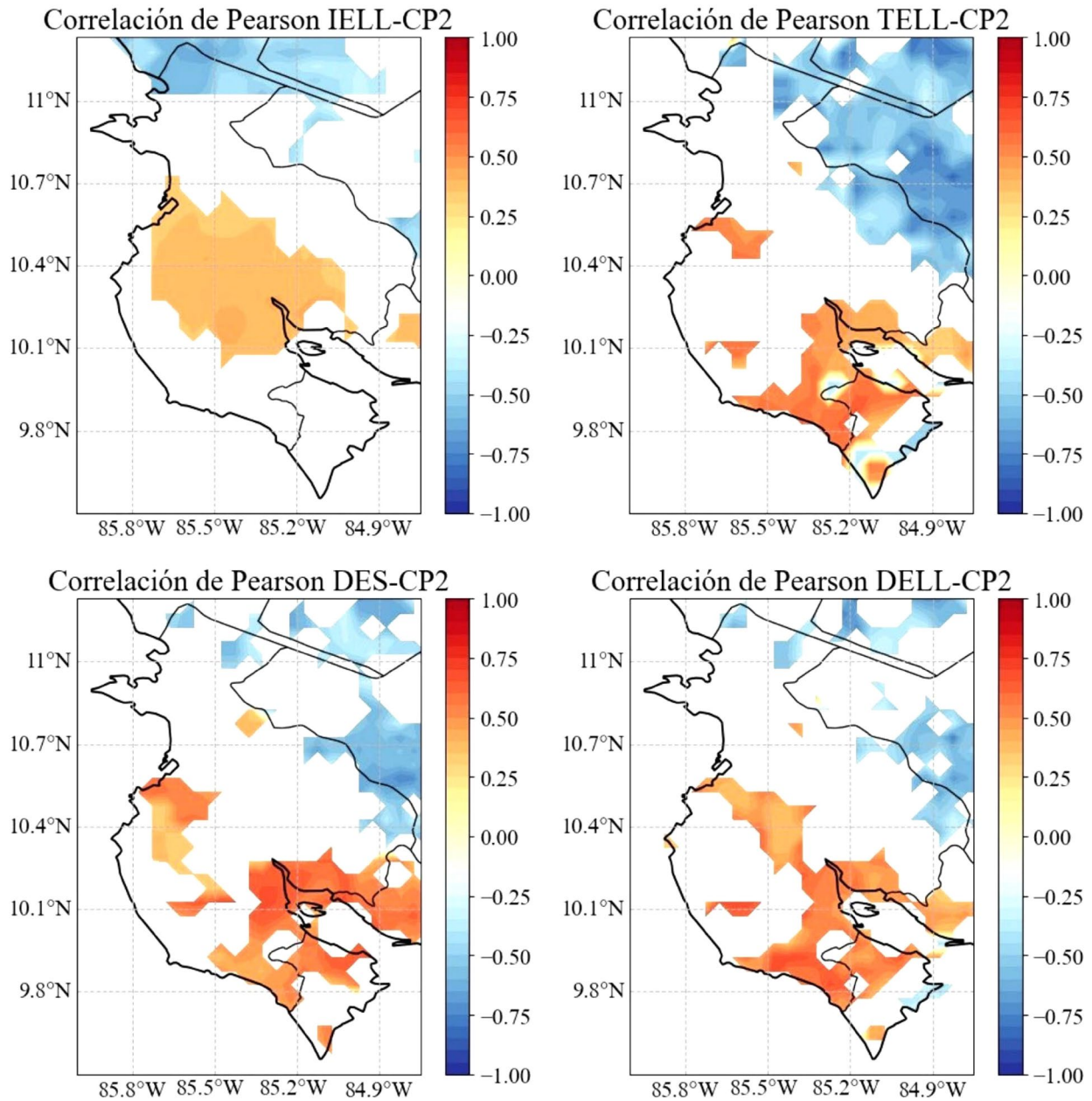


Figura 8. Correlación de Pearson entre el IELL, TELL, DES y DELL con su respectiva CP2 asociada para los datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981- 2020. Las zonas en blanco representan regiones de significancia estadística inferior al 95% ($\alpha > 0.05$).

y la DELL, con comportamientos contrarios a los vistos en la OMA. La correlación entre N3.4 y TELL es negativa sugiriendo que el TELL ocurre más temprano (tarde) con eventos positivos (negativos) del N3.4 coincidiendo con resultados previos en el Pacífico ecuatorial (Alfaro & Cid, 1999; Gouirand et al., 2020). El índice DELL presenta una correlación

negativa, asociando un N3.4 positivo (negativo) a DELL más cortas (largas).

Las TSM combinadas del Atlántico y Pacífico ecuatorial, muestran mejores resultados que al analizar los índices por separado, con correlaciones significativas más altas. Al obtener índices

OMA-N3.4 positivos (negativos) se esperan IELL tempranos (tardíos) asociados a un calentamiento (enfriamiento) relativo del Atlántico respecto al Pacífico ecuatorial. Un comportamiento inverso ocurre con el TELL, cuando el índice OMA-N3.4 es positivo (negativo) el TELL ocurre más tarde (temprano). Con respecto a la DELL y DES se tiene un comportamiento similar al obtenido con los océanos por separado, el índice OMA-N3.4 positivo (negativo) implica una DELL más larga (corta) y una DES más corta (larga).

Trabajos previos (Alfaro, 2002; Alfaro et al., 1998) mencionan que la migración latitudinal temprana o tardía de la ZCIT es uno de los moduladores más importantes para los IELL y TELL tempranos o tardíos en la región. Alfaro et al. (1998) detalla que eventos cálidos en el Atlántico inducen bajas presiones relativas que disminuyen el flujo alisio asociado al anticiclón del Atlántico Norte, favoreciendo sobre América Central el establecimiento de la ZCIT y propiciando las precipitaciones en la región, mientras que un océano Pacífico Ecuatorial cálido intensifica el flujo alisio del noreste favoreciendo la migración al sur de la ZCIT disminuyendo las precipitaciones, por lo que se esperan situaciones contrarias con TSM frías en ambos océanos, de manera que si la OMA y ENOS están en fase tienden a anularse sus efectos y caso contrario se fortalecen. Lo anterior se ve reflejado en las correlaciones oceánicas del cuadro 2, especialmente en el índice OMA-N3.4 por lo que el comportamiento en conjunto de ambos océanos tiene mayor relevancia sobre el establecimiento de la época seca y lluviosa que considerar solo uno de ellos.

Para analizar el CLLJ se debe considerar que los vientos zonales son negativos hacia el oeste, para facilitar la interpretación de las correlaciones, los vientos zonales fueron multiplicados por -1 de forma que una correlación positiva se asocia a una anomalía positiva del CLLJ y por tanto vientos zonales más intensos. Del cuadro 2 se puede apreciar como un CLLJ intenso (débil) se

relaciona a IELL tardíos (tempranos) y con TELL tempranos (tardíos), mientras una DELL más corta (larga) y una DES más larga (corta) se relaciona a un CLLJ más intenso (débil). Sugiriendo que un CLLJ intenso (débil) induce condiciones secas (húmedas) sobre la provincia de Guanacaste.

Hidalgo et al. (2015) y Quirós e Hidalgo (2016) encontraron que cuando el CLLJ es intenso la ZCIT tiende a desplazarse hacia el suroeste propiciando condiciones secas en la vertiente Pacífico de América Central, por lo que un CLLJ intenso podría favorecer condiciones como un IELL tardío, un TELL temprano, una DES larga y una DELL corta en Guanacaste, esperando lo contrario con un CLLJ débil. Hidalgo et al. (2015) propusieron un modelo conceptual para explicar tal correlación, el modelo se describió anteriormente. Esto también se relaciona con el comportamiento del ENOS, ya que Amador (2008) indica que durante fases cálidas (frías) del ENOS se espera un CLLJ intenso (débil) relacionado con anomalías de precipitación negativas (positivas) en la vertiente Pacífico de América Central. Según explica Maldonado et al. (2016) esto puede deberse a que eventos ENOS son capaces de modular las anomalías de presión superficial a nivel del mar cerca de la costa Este de Estados Unidos y de la baja presión de Aleutianas afectando la intensidad del CLLJ.

El análisis de contingencia presentado en el cuadro 3 muestra resultados que concuerdan con las correlaciones de Pearson del cuadro 2 para el caso de la DELL con los índices OMA-N3.4 y CLLJ. Estos fueron los índices cuyo análisis fue estadísticamente significativo tanto en la tabla de contingencia como en sus categorías.

Para el índice OMA-N3.4 (cuadro 3, arriba) los escenarios más posibles son (BN, BN), (N, N) y (AN, AN). El primer escenario (BN, BN) indica que bajo condiciones del índice OMA-N3.4 por debajo de su percentil 33 (P_{33}) lo más probable es una DELL más corta de lo normal. El segundo escenario (N, N) sugiere que si el índice OMA-N3.4 se encuentra

Cuadro 3. Tablas de contingencia de las probabilidades empíricas condicionales (%) para la CPI de la DELL de CHIRPS según los índices OMA-N3.4 (arriba) y CLLJ (abajo). Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas absolutas y las categorías usadas son bajo lo normal (BN), neutral (N) y arriba de lo normal (AN), separadas por los percentiles 33 y 67, mostrados en los paréntesis en negrita.

		DELL		
		BN (<-6.04)	N	AN (>4.85)
OMA-N3.4 (M-O) $\chi^2=12.47$ (0.986)	BN (<-0.53)	69(9)***	23(3)*	8(1)**
	N	21(3)*	50(7)**	29(4)
	AN (>0.86)	8(1)***	31(4)	62(8)***
		DELL		
		BN (<-6.04)	N	AN (>4.85)
CLLJ (M-O) $\chi^2=9.63$ (0.953)	BN (<2.10 ms⁻¹)	15(2)**	23(3)*	62(8)***
	N	29(4)	50(7)**	21(3)*
	AN (>2.57 ms⁻¹)	54(7)**	31(4)	15(2)**

* Significancia estadística al 90% ($\alpha < 0.10$).

** Significancia estadística al 95% ($\alpha < 0.05$).

*** Significancia estadística al 99% ($\alpha < 0.01$).

entre su P_{33} y P_{67} se esperarían DELL normales. Mientras que el tercer escenario (AN, AN) indica que bajo condiciones del índice OMA-N3.4 por encima de su P_{67} lo más probable es que la DELL sea más larga de lo normal. Aunque también se pueden destacar las condiciones contrarias que serían las categorías (BN, AN) y (AN, BN) que indicarían que bajo un índice OMA-N3.4 negativo (positivo) es muy poco probable que la DELL sea más larga (corta) de lo normal.

Para el caso del CLLJ (cuadro 3, abajo) el comportamiento es contrario, destacando los escenarios (BN, AN), (N, N) y (AN, BN). El primer escenario (BN, AN) sugiere que un índice del CLLJ por debajo de su P_{33} es más probable asociarlo a una DELL más larga de lo normal. El segundo escenario (N, N) indica que si el índice CLLJ se encuentra entre su P_{33} y P_{67} no se favorece una DELL más corta o larga. Mientras el tercer escenario (AN, BN) indica que bajo condiciones del índice CLLJ por arriba de su P_{67} lo más probable es que la DELL sea más corta de lo normal. Finalmente, también se deben destacar las condiciones contrarias (BN, BN) y (AN, AN) indicando que bajo un CLLJ débil (intenso) es muy poco probable que la DELL sea más corta (larga) de lo normal.

4. CONCLUSIONES

Con el análisis de CP se obtienen varias correlaciones significativas entre los índices de variabilidad climática y la CP1 asociada al IELL, TELL, DES y DELL en los datos de CHIRPS. El índice OMA muestra una correlación positiva significativa con IELL, la DES y la DELL, mientras que el índice N3.4 presenta correlaciones negativas significativas con el TELL y DELL. Sin embargo, las correlaciones más significativas se obtienen con la combinación de ambos índices OMA-N3.4. Los resultados indican que un calentamiento (enfriamiento) relativo del Atlántico con respecto al Pacífico ecuatorial tiende a favorecer IELL más tempranos (tardíos), TELL más tardíos (tempranos), DES más cortas (largas) y DELL más largas (cortas). Mientras que el índice CLLJ presenta correlaciones inversas, donde un CLLJ más intenso (débil) favorece IELL más tardíos (tempranos), TELL más tempranos (tardíos), DES más largas (cortas) y DELL más cortas (largas). Todo esto posiblemente ligado al movimiento latitudinal de la ZCIT y los eventos convectivos en la región influenciados por las condiciones del océano Atlántico, océano Pacífico y la intensidad del CLLJ.

Finalmente, estos resultados de como el IELL, TELL, DELL y DES son modulados por ENOS, OMA y el CLLJ son especialmente relevantes ya que la dependencia del recurso hídrico impacta directamente actividades productivas como la agricultura, ganadería y generación eléctrica, además de la disponibilidad hídrica para la población, de modo que tal información podría ayudar en la gestión y toma de decisiones referentes al recurso hídrico en Pacífico Norte de Costa Rica. Además, debido a las condiciones especialmente áridas presentes en la región Chorotega, al encontrarse dentro del CSC (Quesada et al., 2019) stretching south through Central America's Pacific coast down to northwestern Costa Rica (Guanacaste province, es de vital importancia realizar estudios pertinentes a los regímenes de precipitación en esta región. Como indica el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2020) en la región Chorotega del país fuentes de variabilidad climática como ENOS, tienen implicaciones negativas en actividades dependientes de los recursos hídricos como ganadería y cultivos, por ejemplo, las sequías que afectaron al país entre 2014 y 2016, generaron pérdidas económicas de hasta 30 millones de dólares, especialmente en el sector agrícola (MAG, 2020). Ampliar el conocimiento en cuanto al IELL, TELL, DES y DELL y su relación con fuentes de variabilidad climática, puede resultar en información importante para los entes encargados del manejo adecuado de los recursos agrícolas e hídricos.

5. ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan de forma completa y clara en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

6. AGRADECIMIENTOS

A los proyectos EC497 (FEES-CONARE), B9454 (Fondo de Grupos), C0610 (Fondo de estímulo) y C2-103 inscritos a la Universidad de Costa Rica dentro de los cuales se enmarca este trabajo. A la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica debido a que esta investigación es parte del Trabajo Final de Graduación para la Licenciatura en Meteorología de Kendall Ugalde, también por darnos el tiempo de investigación para desarrollar este estudio. Al centro de investigación CIGEFI de la UCR por su apoyo logístico durante la recopilación y análisis de datos.

7. REFERENCIAS

- 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), Article 2. <https://doi.org/www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/15428>
- 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. (2014). Caracterización del “veranillo” en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20010>
- Alfaro, E., & 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), Article 1. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/76679>
- Alfaro, E., Cid, L., & 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. <https://doi.org/10.4067/S0717-71781998002600006>
- Alfaro, E., & Hidalgo, H. (2021). Inicio de la temporada de lluvias en América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 20(1), Article 1.
- Alfaro, E., & Hidalgo, H. G. (2017). Propuesta metodológica para la predicción climática estacional del veranillo en la cuenca del río Tempisque en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 16(1), Article 1.
- Alfaro, E., Soley, F. J., & Enfield, D. (2004). *Uso de una Tabla de Contingencia para Aplicaciones Climáticas (Use of a Contingency Table for Climatic Applications)*. ESPOL y FUNDESPOL. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/76751>
- Amador, J. A. (1998). A Climate Feature of the Tropical Americas: The Trade Wind Easterly Jet. *Revista Tópicos meteorológicos y oceanográficos*, 5(2), Article 2.
- Amador, J. A. (2008). The Intra-Americas Sea low-level jet: Overview and future research. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 153-188. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.012>
- Amador, J. A., Alfaro, E. J., Rivera, E. R., & Calderón, B. (2010). Climatic Features and Their Relationship with Tropical Cyclones Over the Intra-Americas Seas. En J. B. Elsner, R. E. Hodges, J. C. Malmstadt, & K. N. Scheitlin (Eds.), *Hurricanes and Climate Change: Volume 2* (pp. 149-173). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9510-7_9
- Calvo, O. D., Quesada, L. E., Hidalgo, H. G., & Gotlieb, Y. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), Article 3. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828>
- Díaz, S. G. (2019). *Inicio de las lluvias de verano en las costas del Pacífico Mesoamericano*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3466119>
- Enfield, D., & Alfaro, E. (1999). The Dependence of Caribbean Rainfall on the Interaction of the Tropical Atlantic and Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 12(7), Article 7. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2093:TDOCRO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2093:TDOCRO>2.0.CO;2)
- Fallas, B., & Alfaro, E. (2012). 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.
- Foli, B. A. K., Appeaning Addo, K., Ansong, J. K., & Wiafe, G. (2021). Evaluation of ECMWF and NCEP Reanalysis Wind Fields for Long-Term Historical Analysis and Ocean Wave Modelling in West Africa. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s41976-021-00052-3>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gotlieb, Y., Pérez, P. M., Hidalgo, H. G., & Alfaro, E. (2019). The Central American Dry Corridor: A Consensus Statement and its Background. *Revista Yu'am*, 3(5), Article 5.
- Gouirand, I., Moron, V., & Sing, B. (2020). Seasonal atmospheric transitions in the Caribbean basin and Central America. *Climate Dynamics*, 55(7), Article 7. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05356-6>
- Hidalgo, H. G., Alfaro, E., Amador, J. A., & Bastidas, Á. (2019). Precursors of quasi-decadal dry-spells in the Central America Dry Corridor. *Climate Dynamics*, 53(3), Article 3. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04638-y>

- Hidalgo, H. G., Durán-Quesada, A. M., Amador, J. A., & Alfaro, E. (2015). The caribbean low-level jet, the inter-tropical convergence zone and precipitation patterns in the intra-americas sea: A proposed dynamical mechanism. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(1), Article 1. <https://doi.org/10.1111/geoa.12085>
- Maldonado, T., Alfaro, E., Fallas, B., & 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. <https://doi.org/doi.org/10.5194/adgeo-33-41-2013>
- Maldonado, T., Alfaro, E., & Hidalgo, H. G. (2018). A review of the main drivers and variability of Central America's Climate and seasonal forecast systems. *Revista de Biología Tropical*, 66(1-1), Article 1-1. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.33294>
- Maldonado, T., Alfaro, E., Rutgersson, A., & Amador, J. A. (2017). The early rainy season in Central America: The role of the tropical North Atlantic SSTs. *International Journal of Climatology*, 37(9), Article 9. <https://doi.org/10.1002/joc.4958>
- Maldonado, T., Rutgersson, A., Amador, J., Alfaro, E., & Claremar, B. (2016). Variability of the Caribbean low-level jet during boreal winter: Large-scale forcings. *International Journal of Climatology*, 36(4), Article 4. <https://doi.org/10.1002/joc.4472>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). *Programación Región de Desarrollo Chorotega 2020*. Liberia, Guanacaste. <http://www.mag.go.cr/regiones/chorotega/Caracterizacion-REGION-DE-DESARROLLO-CHOROTEGA.pdf>
- Quesada, L. E., Calvo-Solano, O. D., Hidalgo, H. G., Pérez-Briceño, P. M., & Alfaro, E. (2019). Dynamical delimitation of the Central American Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(5), Article 5. <https://doi.org/10.1177/0309133319860224>
- Quirós, E., & Hidalgo, H. G. (2016). Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico Este. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(1), Article 1.
- Rivera, P., Ochoa, W., González, B., & Salguero, M. (2019). Inicio y término de la época lluviosa (IELL, TELL) en los estratos de la zona cañera de Guatemala. *Tikalía*, 37(2), Article 2.
- Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2001). Indices of El Niño Evolution. *Journal of Climate*, 14(8), Article 8. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2)
- Ugalde, K. (2022). *Estudio del inicio y término de la estación lluviosa en el Pacífico Norte de Costa Rica en el periodo 1950-2020* [Tesis de licenciatura aprobada con distinción sobresaliente, Universidad de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/10669/89114>
- Wilks, D. S. (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (4.ª ed.). Elsevier Science.



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

