

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 1, caracterización climática.

KENDALL UGALDE CASTRO¹, ERIC J. ALFARO MARTÍNEZ²,
HUGO G. HIDALGO LEÓN³ y TITO MALDONADO MORA⁴

Resumen

Esta investigación estudió el comportamiento y la distribución espacial del inicio y término de la estación lluviosa (IELL y TELL, respectivamente), así como la duración de las estaciones seca y lluviosa sobre la provincia de Guanacaste (DES y DELL, respectivamente). Se determinaron y caracterizaron estadísticamente las fechas del IELL, TELL, DES y DELL, usando datos de precipitación en rejilla sobre Guanacaste para el periodo 1981-2020 y se validaron contra datos de precipitación de estaciones meteorológicas. Los IELL ocurren más tempranos en cantones centrales de Guanacaste alrededor de la desembocadura del río Tempisque, con fechas más tardías al desplazarse hacia zonas costeras, limítrofes con Alajuela y al norte de la provincia. Los TELL se distribuyen uniformemente, con valores tardíos al sur y valores tempranos en la zona central y norte de Guanacaste. La DES y DELL, son uniformes en la región con las condiciones más secas al norte y las más húmedas al sur y este de la región, con aproximadamente una mitad del año como estación seca y la otra como estación lluviosa. Las tendencias indican que los IELL son más tempranos, los TELL más tardíos, las DES más cortas y las DELL más largas.

PALABRAS CLAVE: CHIRPS; DURACIÓN DE LA ESTACIÓN SECA Y LLUVIOSA; GUANACASTE; PRECIPITACIÓN.

Abstract

This research aims to characterize the behavior and spatial distribution of the onset and demise of the rainy season (IELL and TELL, respectively for their acronym in Spanish), as well as the duration of the dry and rainy seasons over the province of Guanacaste (DES and DELL, respectively for their acronym in Spanish). The IELL, TELL, DES and DELL dates are determined and statistically characterized, using a gridded precipitation dataset for Guanacaste for the period 1981-2020 and validated against precipitation data from meteorological gauge stations. IELLS occur earlier in central cantons of Guanacaste around the mouth of the Tempisque river, with later dates as moving towards coastal regions, bordering Alajuela and to the north of the province. TELLs are uniformly distributed, with late values in the south and early values in the central and northern areas of Guanacaste. DES and DELL are uniform in the region with the driest conditions in the north and the most humid places in the south and east of the region, with approximately one half of the year as a dry season and the other half as a rainy season. The trends indicate earlier IELLS, later TELLs, shorter DES, and longer DELLs.

KEYWORDS: CHIRPS; GUANACASTE; PRECIPITATION; 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), del Centro de Investigación en Matemática Pura y Aplicada (CIMPA) 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

Costa Rica es un país dividido en dos vertientes dado al amplio sistema de cordilleras que se extienden desde el noroeste hasta sureste, que separa a las aguas marinas que rodean al país (océano Pacífico al oeste y el mar Caribe y Atlántico al este); aunado al complejo sistema atmosférico que afecta América Central da como resultado un régimen de precipitación representativo para la vertiente del Pacífico y otro para la vertiente del Caribe (Durán-Quesada et al., 2020; Maldonado et al., 2018).

La vertiente del Pacífico presenta dos estaciones climáticas características, una estación seca y otra lluviosa, la transición de estación seca a lluviosa ocurre alrededor del mes de mayo y la transición de estación lluviosa a seca alrededor de noviembre (Alfaro, 2002), con un periodo de disminución de las precipitaciones entre julio y agosto conocido como “veranillo” (Alfaro, 2014; Alfaro & Hidalgo, 2017; García-Franco et al., 2022; Maldonado et al., 2016a; Ramírez, 1983).

La cantidad de precipitación varía a lo largo de toda la estación lluviosa y depende de los sistemas ciclónicos, sistemas de vientos provenientes del océano Pacífico Ecuatorial, las brisas marinas y la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Maldonado et al., 2018; Mora et al., 2020; Muñoz et al., 2002; Quirós & Hidalgo, 2016b, 2016a).

La estación seca se puede definir como el periodo en que la precipitación no supera la evapotranspiración (Hernández & Fernández, 2015; Ramírez, 1983), mientras que lo contrario sucede durante la época lluviosa. Las fechas de inicio de la estación lluviosa (IELL) se determina cuando se establecen las precipitaciones, y las fechas en que esta termina (TELL) cuando se suprimen las precipitaciones. Ahora bien, la duración de la época lluviosa (DELL) se puede definir como el periodo abarcado desde el IELL

hasta el TELL; de manera similar, la duración de la estación seca (DES) se define como el periodo comprendido desde el TELL hasta el IELL del siguiente año. El Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (2008) estima el establecimiento de las precipitaciones en la vertiente del Pacífico de Costa Rica entre mayo y octubre.

Diferentes investigaciones (Alfaro, 2002; Díaz, 2019; Gramzow & Henry, 1972) han encontrado que los IELL más tempranos (tardíos) ocurren en los países al sur (norte) de la región centroamericana y los TELL muestran un comportamiento contrario, lo que se podría atribuir a un movimiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Sin embargo, en un trabajo más reciente, Alfaro e Hidalgo (2021) encontraron comportamientos similares entre estaciones en países al norte y sur de América Central, de modo que el desplazamiento latitudinal de la ZCIT no explica toda la variabilidad del IELL y TELL.

Diversas investigaciones (Alfaro, 2002; Alfaro et al., 1998; Alfaro & Cid, 1999; Gramzow & Henry, 1972; Nakaegawa et al., 2015; Rivera et al., 2019) han determinado el IELL reduciendo las series de precipitación a pentadas (promedios cada cinco días), luego recorren la serie en sentido cronológico y cuando alguna pentada supere un umbral de precipitación definido se establece el IELL. Usualmente el umbral se establece en 25 mm, ya que representa la precipitación de una tormenta de meso-escala y, además, también indica la cantidad de evaporación esperada en cinco días (Hernández & Fernández, 2015), según las estimaciones de evaporación de 5-8 mm/día determinadas por Gray (1993) para Centroamérica. El TELL se establece de la misma forma, pero recorriendo la serie en sentido inverso.

Entre otros métodos para determinar IELL y TELL se destaca la usada por Hernández y Fernández (2015), la cual compara los promedios en pentadas de precipitación y evapotranspiración de referencia. Similarmente, Orrego et al. (2021)

realizó comparaciones entre las pentadas de precipitación y la evapotranspiración potencial. En la tesis de Díaz (2019) se calcularon las pendientes del acumulado de precipitación diario cada diez días, entre el 19 de abril y 30 de julio, si tal pendiente es mayor que 2 y al menos 5 de los 10 días presentan lluvias mayores que cero, se considera el IELL como el primer día del intervalo.

Un método alternativo es usado por Gouirand et al. (2020) NCEP-DOE and ERA-Interim, ellos definieron sobre América Central y el Caribe patrones sinópticos (weather types o WT por sus siglas en inglés), unos son representativos para la estación lluviosa y otros para la estación seca. Cuando una serie de precipitación presenta WT representativos a la estación lluviosa, con pocos WT representativos a la estación seca, se define la transición de estación seca a lluviosa. Mientras que, para la transición de época lluviosa a seca, se hace el proceso inverso.

Por último, en el trabajo reciente de Ureña-Mora y Alfaro (2022) se usa un método expuesto por Bombardi et al. (2017) para determinar el IELL y el TELL y es comparado contra métodos similares a los usados en otros trabajos (Alfaro et al., 1998; Alfaro & Cid, 1999; Gramzow & Henry, 1972). El método usado por Ureña-Mora y Alfaro (2022) se aplicó en esta investigación y se detallará más adelante, en la sección 2.2.1.

El objetivo de esta investigación es determinar el IELL, TELL, DES y DELL sobre la provincia de Guanacaste, utilizando la metodología de Bombardi et al. (2017), modificada por Ureña-Mora y Alfaro (2022), sobre datos de precipitación en rejilla que cubren toda la zona de Guanacaste y caracterizarlos estadísticamente mediante el cálculo de métricas tales como la mediana, la desviación estándar y las tendencias. Adicionalmente, se pretende llevar a cabo un análisis estadístico que permita validar las fechas del IELL, TELL, DES y DELL de los datos de rejilla contra datos observados de precipitación de estaciones meteorológicas.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio y datos de precipitación

En la figura 1 se aprecia la región de estudio de interés, abarcando toda la provincia de Guanacaste y la región de la provincia de Puntarenas perteneciente a la península de Nicoya.

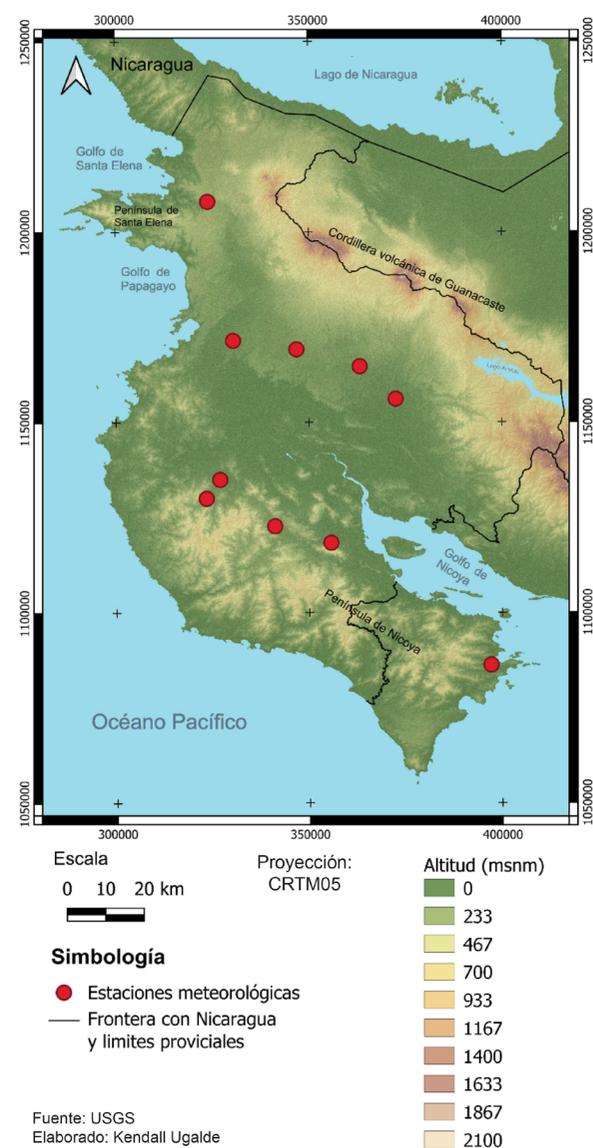


Figura 1. Región de estudio que abarca toda la provincia de Guanacaste incluyendo la península de Nicoya. Los puntos rojos representan la localización de las estaciones meteorológicas de la base de datos del IMN usadas en el análisis (cuadro 1).

Cuadro 1. Información de estaciones sobre Guanacaste con datos de resolución temporal diaria. La mayoría de los datos de las estaciones meteorológicas fueron suministradas por el IMN.

Nombre	Numero de estación	Latitud (°)	Longitud (°)	% de dato faltante	Periodo
Santa Cruz	74003 + 74053	10.26	-85.58	6,54	1981-2009
Bagaces	76026	10.53	-85.25	4,52	1981-2015
Liberia	74020 + 74059	10.60	-85.54	3,32	1981-2017
Finca las Huacas	74037	10.57	-85.40	5,52	1986-2018
Peñas Blancas	69534	11.215	-85.612	6,80	1981-2006
Nicoya	72101	10.15	-85.45	5,05	1981-2013
Santa Elena	72153	10.92	-85.611	4,62	2005-2019
Finca la Ceiba	72157	10.111	-85.317	5,71	1999-2019
Paquera	72111	9.822	-84.938	16,45	1981-2019
Mojica	76055	10.453	-85.165	6,14	1999-2019

Se utilizaron los datos en rejilla del conjunto de datos denominado *Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS por sus siglas en inglés) (Funk et al., 2015). Esta es una base de datos de precipitación que se genera a partir de técnicas de interpolación y registros de precipitación de observaciones al infrarrojo de la duración de nubes frías, esto para caracterizar ubicaciones geográficas con pocos o datos nulos. La resolución espacial de CHIRPS es de 0.05° (alrededor de 5 km) y la resolución temporal es de un día, con datos desde 1981 hasta 2020 (Funk et al., 2015). Recientemente, los trabajos de Centella et al. (2020) y de Stewart et al. (2022) evaluaron diversas bases de datos sobre la región de América Central, obteniendo resultados satisfactorios con los datos de CHIRPS. Específicamente para Costa Rica, en la tesis de Quesada-Hernandez (2019) se validó CHIRPS con datos de estaciones meteorológicas en Guanacaste dando como resultado una alta representación de CHIRPS en la región.

La base de datos de CHIRPS se validó comparándose con datos observados de precipitación sobre Guanacaste; la información de las estaciones meteorológicas utilizadas, obtenidas en su mayoría del IMN, se presenta en el cuadro 1, y su ubicación se muestra en la figura 1.

2.2. Proceso metodológico

Los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas enumeradas en el cuadro 1, presentaban datos faltantes dentro de su propio periodo, por ello, se rellenaron utilizando la metodología expuesta por Ureña et al. (2016), que combinan modelos autorregresivos y ACP.

2.2.1 Método para determinar el IELL, TELL, DES y DELL

Para determinar el IELL y el TELL se utilizó el método expuesto por Bombardi et al. (2017) que no depende de los umbrales típicamente definidos, para esta técnica se considera la ecuación 1.

$$S(n) = \sum_{i=t_0}^n (P(i) - P_c) \quad (\text{E. 1})$$

Donde:

$S(n)$: Desviación del acumulado de precipitación con respecto a la media anual en el día n .

$P(i)$: Precipitación diaria en el día i .

P_c : Promedio diario de precipitación en todo el periodo.

t_0 : Día de inicio para los cálculos.

Las fechas de IELL y TELL se determinan como los puntos de inflexión en la curva S de una serie de precipitación, para ello:

- Se calcula S con la ecuación 1, se suaviza con una media móvil de tres días para evitar falsos puntos de inflexión y se calcula su primera derivada.
- El IELL se toma como el primer día en que la derivada pasa de valores negativos a positivos, manteniendo valores positivos al menos por tres días.
- El TELL se calcula igual, pero recorriendo la serie en sentido contrario.

En la investigación de Ureña-Mora y Alfaro (2022) se realizaron unas modificaciones al método de Bombardi et al. (2017), estas fueron:

- Suavizar la curva de $S(n)$ usando una media móvil de 31 valores (rellenando los primeros y últimos 15 días de la serie con su media).
- Los valores positivos posteriores al IELL y TELL se mantienen por al menos diez días.

La identificación del IELL se inició a partir del 1 de abril (número de día 91 o 92 si el año es bisiesto), mientras que para el TELL se buscó que no superara el 30 de noviembre (número de día 334 o bien 335 si el año es bisiesto), esto para evitar que eventos de precipitación invernal fueran detectados como posibles fechas para el TELL.

Dado que en la región de Guanacaste la ocurrencia del veranillo causa una disminución en las precipitaciones durante los meses de julio y agosto (Alfaro, 2014; Alfaro & Hidalgo, 2017; García-Franco et al., 2022; Maldonado et al., 2016a; Ramírez, 1983), el método de Bombardi et al. (2017) aplicado en el procedimiento de Ureña-Mora y Alfaro (2022) podría confundir los puntos de inflexión en la curva $S(n)$ causados por el veranillo, con posibles IELL y TELL.

La figura 2 muestra el cálculo del IELL y el TELL usando la metodología de Ureña-Mora y Alfaro (2022). Según dicha figura, el IELL ocurre el 11 de mayo (día número 131 de año no bisiesto) y el TELL el 19 de octubre (día número 292 de año

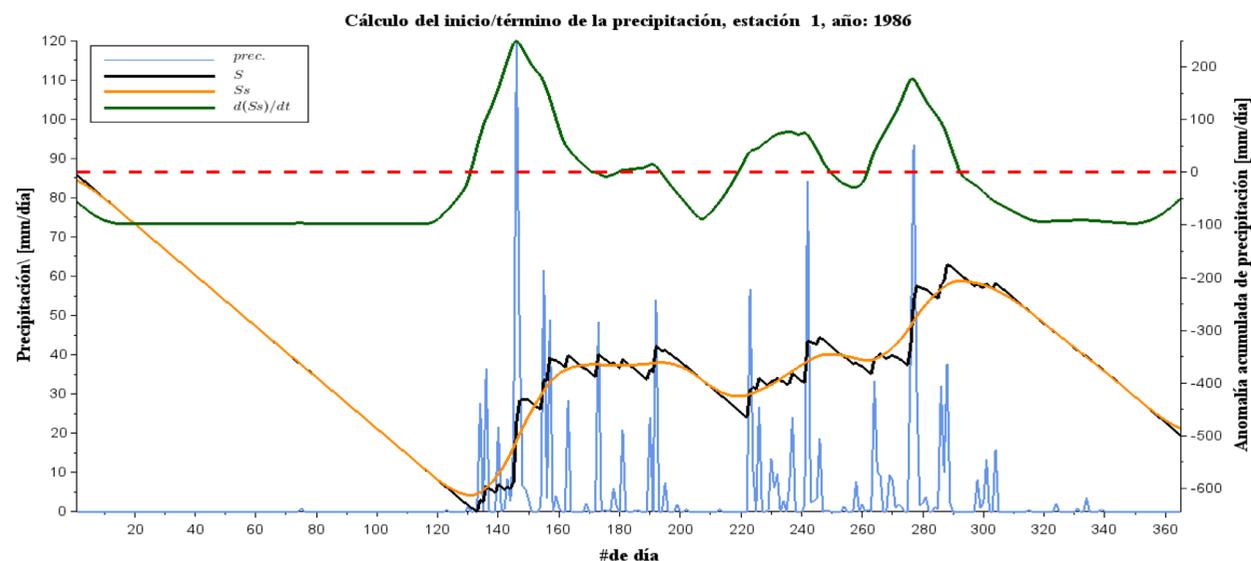


Figura 2. IELL y TELL para la estación de Santa Cruz durante el año 1986 obtenidos con el método de Ureña-Mora & Alfaro (2022). La curva azul representa la precipitación diaria observada, la curva negra representa la desviación del acumulado de precipitación con respecto a la media anual, la curva naranja muestra suavizada con una media móvil de 31 días y la curva verde simboliza la derivada temporal de la curva. Las líneas rojas a trazos verticales representan el IELL y el TELL, el IELL ocurre el 11 de mayo (número de día 131) y el TELL ocurre el 19 de octubre (número de día 292).

no bisiesto). Sin embargo, al limitar la búsqueda del TELL a más tardar el 30 de noviembre, ocurren casos donde no es posible ubicar el TELL a final de año y se asocia un punto de inflexión en fechas no relacionadas al TELL. Por ejemplo, en la figura 2 se aprecian puntos de inflexión alrededor del día 190 y del día 220, quizás asociados al veranillo. En Ugalde (2022) se presenta un caso que llega a confundir un punto de inflexión en esas fechas con el TELL.

Para evitar falsas detecciones del IELL y TELL, se establecieron umbrales límites basados en los resultados de la caracterización de los inicios y términos medios del veranillo, obtenidos en el trabajo de Alfaro (2014). Además, es posible que se obtengan fechas tardías para el IELL y tempranas para el TELL, debidos a algún fenómeno de variabilidad climática y no necesariamente a que la metodología confunda un punto de inflexión asociado al veranillo con el IELL o el TELL. Debido a lo anterior, también se utilizó el índice de variabilidad climática asociado al dipolo de la temperatura superficial del mar (TSM) entre el Atlántico y el Pacífico (Maldonado et al., 2013), el cual se define como la diferencia los índices normalizados de la Oscilación Multidecenal del Atlántico (OMA) y El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en la región 3.4 (N3.4). En Ugalde (2022) se encuentran los detalles de cómo calcular el índice OMA-N3.4; además, se usó este índice ya que muestra los mejores resultados al modular el IELL y TELL en la región.

Los criterios aplicados para determinar si un IELL se podría considerar tardío o se debía eliminar fueron:

Si: $OMA-N3.4 < P_{67}(OMA-N3.4)$

- Se elimina el IELL si: $IELL > 21/07$

Si: $OMA-N3.4 > P_{67}(OMA-N3.4)$

- Se elimina el IELL si: $IELL > 11/06$

Para el caso del TELL los criterios aplicados para considerarlos tempranos o eliminarlos fueron:

Si: $OMA-N3.4 < P_{67}(OMA-N3.4)$

- Se elimina el TELL si: $TELL < 28/07$

Si: $OMA-N3.4 > P_{67}(OMA-N3.4)$

- Se elimina el TELL si: $TELL < 30/08$

Para el IELL las fechas umbrales corresponden al percentil 75 y 25 (P_{75} y P_{25}) para la caracterización del inicio del veranillo del trabajo de Alfaro (2014), para el TELL corresponden al P_{25} y P_{75} que caracteriza el término del veranillo en el mismo estudio. El índice OMA-N3.4 usado corresponde a un promedio en los meses de abril y mayo (octubre y noviembre) en los que se espera que ocurra con mayor frecuencia el IELL (TELL). Se usó el P_{67} del índice OMA-N3.4 ya que valores positivos tienden a propiciar IELL (TELL) tempranos (tardíos), por lo que es poco probable (aunque no imposible) que durante eventos por encima del P_{67} de la OMA-N3.4 los IELL se atrasen (adelanten) (Ugalde, 2022).

Al limitar la detección del TELL al 30 de noviembre, se identificaron casos particulares en que las lluvias continuaban incluso después haber determinado el punto de inflexión asociado al TELL y el criterio anterior no lo detectó como temprano (en Ugalde (2022) se presenta un caso). Por tanto, se optó por revisar individualmente cada uno de los TELL identificados como tempranos, para corroborar si se trata de un evento representativo o no. La revisión consistió en visualizar gráficas similares a la figura 2. Esto se hizo solo en la base de datos de las estaciones meteorológicas y no con CHIRPS, ya que sería un trabajo muy demandante revisar visualmente todos los TELL tempranos de bases de datos tan extensas. Como alternativa para solucionar este problema, se puede implementar el método de Martínez et al. (2022), donde antes de determinar el IELL y TELL con la ecuación 1 se identifican periodos secos intermitentes que pueden intervenir en la detección de los puntos de inflexión.

Finalmente, una vez obtenidos los datos definitivos para el IELL y el TELL, se calculó tanto la DELL como

la DES. La DELL se estimó como la cantidad de días entre el IELL y el TELL para cada año, mientras que la DES se computó como la cantidad días entre el TELL y el IELL del año posterior. Como la época seca en el país ocurre en medio de la transición de año y como la mayoría de días de la misma ocurren a inicios de año, se tomó el año respectivo para la DES como el año en que acaba la misma, es decir el índice DES asociado a la época seca que ocurre finalizando 1981 e iniciando 1982 se tomará como la DES de 1982 y no de 1981, esto provoca que las series de DES tengan un dato menos con respecto a las del IELL, el TELL y la DELL.

Toda la metodología anterior se aplicó a dos bases de datos distintas: la primera que contempla las estaciones meteorológicas con periodo de 1980-2019 y la segunda con los datos directamente de CHIRPS con periodo de 1981-2020.

2.2.2 Validación de datos de CHIRPS vs estaciones de precipitación en Guanacaste

Los datos de estaciones meteorológicas que validan los datos de CHIRPS se presentan en el cuadro 1. Para empezar, se buscó el punto en la rejilla de CHIRPS más cercano a la posición geográfica de cada estación meteorológica, para ello se calculó la distancia euclidiana entre la respectiva estación y todos los puntos de CHIRPS, usando como punto más próximo el que presentara la distancia euclidiana mínima, de manera que se comparan las series de tiempo de ambos puntos. Se validó tanto la precipitación mensual como las respectivas fechas del IELL, TELL, DELL y DES.

Para la comparativa se utilizaron parámetros como el error medio absoluto (EMA), el coeficiente de correlación de Pearson (r_p), el coeficiente de correlación de Spearman (r_s), el sesgo (β), la variabilidad (γ), el índice de eficiencia Kling-Gupta modificado (KGE) y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

El índice KGE se detalla en Kling et al. (2012) y ha sido utilizado en los trabajos de Zambrano-Bigiarini et al. (2017), Quesada-Hernández (2019) y de Ugalde (2022) quienes recomiendan el uso de este índice ya que es capaz de reproducir dinámicas temporales medidas por el coeficiente de correlación lineal (r) y preservar el volumen y distribución medidas por β y γ . El índice NSE se detalla también en Ugalde (2022) y Quesada-Hernández (2019). El valor del NSE varía entre 1 y $-\infty$, donde los valores más cercanos a 1 indican mejor representación de los datos en rejilla.

2.2.3 Cálculo de características estadísticas y tendencias para el IELL, TELL, DES y DELL

Una vez que los datos de precipitación de CHIRPS fueron sometidos a la metodología para determinar el IELL, TELL, DELL y DES, se computarizaron algunos parámetros estadísticos para caracterizar el comportamiento climatológico de los fenómenos en la región para cada periodo. Estos fueron la media aritmética y mediana como medidas de localización, y la desviación estándar y rango intercuartílico como medidas de dispersión (Wilks, 2019)

Las tendencias se calcularon con el método de mínimos cuadrados como una regresión lineal simple. Como se define en Wilks (2019), a partir de una variable independiente y una variable dependiente se busca una ecuación lineal que represente el conjunto de datos (ecuación 2).

$$\hat{y} = a + bx \quad (\text{E. 2})$$

Donde:

\hat{y} : Variable a estimar.

a : Intersección con el eje y .

x : Variable independiente (serie de tiempo sucesiva p.e. 1981, 1982, 1983, ..., 2020).

b : Pendiente de la regresión en este caso la tendencia.

Los valores positivos indican una tendencia hacia fechas más tardías para el IELL y el TELL, y en el caso contrario (valores negativos) indican una tendencia hacia fechas más tempranas para el IELL y el TELL; para la DELL y la DES representaría duraciones más cortas (tendencias negativas) o más largas (tendencias positivas). Para evaluar la significancia estadística de las tendencias se usó una prueba *t*-student definida en Wilks (2019). Una vez obtenido el valor de *t* se compara contra la distribución *t*-student para determinar si las tendencias son significativas o no, además debido a que estas pueden ser tanto positivas como negativas se usa una prueba de dos colas con un $\alpha = 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la precipitación a partir de la base de datos de CHIRPS

La figura 3 representa el promedio de precipitación diaria en el periodo de 1981-2020 para los datos de CHIRPS, donde se muestran

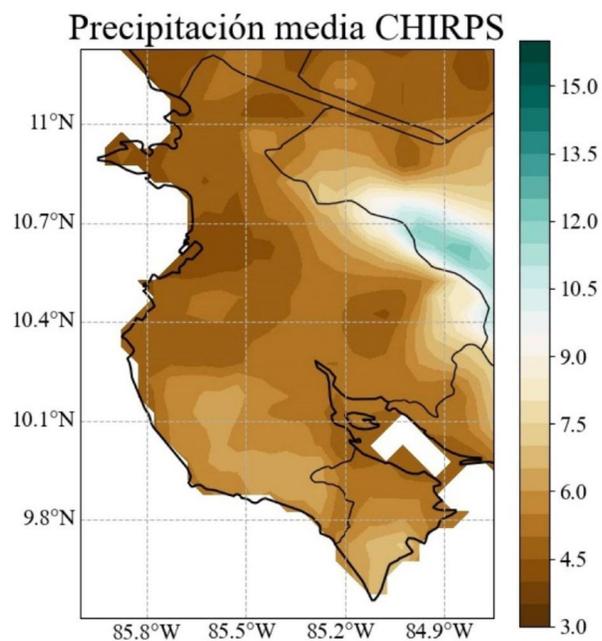


Figura 3. Promedio de precipitación diaria (mm·día-1) para los datos de CHIRPS (1981-2020).

núcleos de bajas precipitaciones (por ejemplo, los que se encuentran alrededor del cantón de Cañas y Liberia). También se observa un núcleo de altas precipitaciones al norte de la cordillera de Guanacaste, aunque este se escapa de la región de estudio. Los percentiles 25, 50, y 75 para los valores de la figura 3 son: P25 = 4,73 mm·día-1, P50 = 5,16 mm·día-1 y P75 = 5,96 mm·día-1.

3.2. Validación de los datos CHIRPS contra estaciones meteorológicas

En los cuadros siguientes se muestran los resultados de las validaciones de los datos de CHIRPS contra varias estaciones meteorológicas.

La comparativa mostrada en el cuadro 2 se hizo con escala mensual y no diaria como son originalmente las bases de datos, esto se hizo de tal forma por la alta dispersión que puede existir en escalas diarias; además, el objetivo principal de este análisis que es caracterizar el IELL y TELL en la región, determina tales fechas con un método que aplica una media triangular móvil de 31 días, lo que suaviza en gran medida la variabilidad diaria en los datos.

Del cuadro 2 se aprecia en general, una alta correlación entre datos de precipitación en rejilla y los observados (estación meteorológica más cercana al punto en rejilla de CHIRPS). Los resultados indican un EMA bajo, con valores de r_s , β , γ , KGE y NSE cercanos a 1 en la mayoría de las estaciones, lo que sugiere una alta representación en Guanacaste por parte de CHIRPS; sin embargo, se deben destacar las estaciones de Bagaces, Santa Elena y Mojica, donde a pesar de su alto r_s , el KGE no muestra una correspondencia adecuada, lo cual se debe principalmente a la gran desviación del β y γ con respecto a 1, aunque esto no alteró tanto el valor del NSE . Dado que siete de las diez estaciones usadas son representadas adecuadamente por CHIRPS, y las tres restantes discrepan principalmente en el KGE , se optó por

Cuadro 2. Comparativa de precipitación mensual entre datos de estaciones meteorológicas y datos de CHIRPS. Los resultados muestran el error medio absoluto (*EMA*), el coeficiente de correlación de Spearman (r_s), el sesgo (β), la variabilidad (y), el índice de eficiencia Kling-Gupta modificado (*KGE*) y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (*NSE*).

Estación*	<i>EMA</i>	r_s^{**}	β	y	<i>KGE</i>	<i>NSE</i>
Santa Cruz	31,12	0,95	1,00	0,92	0,90	0,89
Bagaces	72,11	0,88	1,61	1,75	0,02	0,37
Liberia	39,98	0,94	0,93	0,74	0,71	0,81
Finca las Huacas	47,13	0,91	1,06	0,94	0,84	0,75
Peñas Blancas	50,74	0,89	1,02	0,87	0,76	0,63
Nicoya	65,88	0,85	0,81	0,60	0,53	0,68
Santa Elena	79,65	0,83	1,43	1,60	0,23	0,41
Finca la Ceiba	48,48	0,90	1,08	1,05	0,84	0,74
Paquera	59,02	0,88	0,80	0,59	0,51	0,64
Mojica	61,39	0,92	1,52	1,93	-0,07	0,40

* Esta columna muestra el nombre de la estación meteorológica comparada con CHIRPS.

** En la correlación de Spearman valores en negrita indican significancia estadística al 99 %.

usar los datos de CHIRPS para el análisis. Cabe destacar que en la tesis de Quesada-Hernández (2019), se realizó una validación entre datos de precipitación de estaciones meteorológicas en la cuenca del Tempisque con datos de CHIRPS, obteniendo altas correspondencias con los mismos parámetros para tres estaciones.

En el cuadro 3 se muestra la correlación de Spearman para el IELL, TELL, DELL y DES entre cada estación y CHIRPS, donde se aprecian altos valores de r_s estadísticamente significativos al 95% y 99% en la mayoría de estaciones, indicando una representación adecuada por parte de CHIRPS. Sin embargo, también ocurren casos donde la correlación no es del todo apropiada, por ejemplo, en Nicoya, Santa Elena, Finca la Ceiba y Mojica las r_s son positivas, pero no alcanzan una significancia del 95% en al menos dos de sus correlaciones. Nicoya está muy cerca de ese 95%, pero en los otros tres casos se debe destacar que las series son las más cortas, en algunos casos con apenas 20 años (ver cuadro 1). Por otro lado, al determinar el IELL y TELL existe la posibilidad de que no se cumplan los criterios y se obtenga un dato nulo, lo cual reduciría aún más el tamaño de la serie de tiempo, afectando el cálculo de r_s . La correlación

Cuadro 3. Correlación de Spearman entre los datos de estaciones meteorológicas y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	0,79	0,84	0,83	0,75
Bagaces	0,49	0,46	0,51	<i>0,40</i>
Liberia	<i>0,41</i>	0,89	0,65	0,79
Finca las Huacas	0,60	<i>0,40</i>	0,68	0,63
Peñas Blancas	0,72	0,62	0,71	0,60
Nicoya	<i>0,35</i>	0,48	0,32	0,33
Santa Elena	0,62	0,32	0,67	0,16
Finca la Ceiba	<i>0,48</i>	0,44	0,34	<i>0,49</i>
Paquera	0,72	0,46	0,50	0,52
Mojica	0,25	<i>0,54</i>	0,26	0,45

* Los valores en negrita indican significancia estadística al 99 % y en itálica significancia al 95 %.

de Pearson no se muestra, pero los resultados son muy similares a r_s , mientras los otros estadísticos de evaluación usados, i.e. *EMA*, β , y , *KGE*, y *NSE*, se muestran como material suplementario en los cuadros incluidos en el anexo con su discusión.

De los resultados anteriores y los presentados en el anexo, se puede concluir una alta correspondencia entre la mayoría de las estaciones meteorológicas y CHIRPS para todos los parámetros, excepto

Cuadro 4. Percentiles 25, 50 y 75 (P25, P50 y P75 respectivamente) para el IELL, TELL, DES y DELL de cada estación meteorológica (Cuadro 1).

Estaciones	IELL			TELL			DELL			DES		
	P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75
Santa Cruz	123	130	139	302	311	316	180	185	199	171	182	190
Bagaces	117	129	139	297	309	315	178	184	199	161	179	198
Liberia	127	134	140	301	309	316	179	191	207	165	176	183
F. las Huacas	125	132	138	298	307	317	178	194	210	166	176	185
Peñas Blancas	130	136	143	298	315	317	180	188	200	165	176	188
Nicoya	120	131	138	305	311	317	171	186	197	173	181	188
Santa Elena	128	129	135	302	305	313	180	189	196	173	175	182
Finca la Ceiba	123	129	133	306	310	316	176	187	191	177	183	189
Paquera	125	132	138	304	311	317	179	188	196	170	178	191
Mojica	130	132	137	303	312	317	183	189	196	172	177	186
*P50	125	132	138	302	311	317	179	188	198	171	178	188

* La última fila representa la mediana de cada columna.

el índice NSE. Aunque, es importante tener en cuenta que parámetros como el coeficiente de correlación de Pearson o el NSE, son susceptibles a datos anómalos que se desvían en gran medida entre series comparativas (McCuen et al., 2006) y esto se acentúa más en series cortas.

Del cuadro 4 se aprecia que, para las estaciones ubicadas en Guanacaste, el IELL tiende a ocurrir alrededor del día 132 (12 de mayo), con una dispersión entre el día 125 (5 de mayo) y 138 (18 de mayo). El TELL se establece cerca del día 311 (7 de noviembre), rondando el día 302 (29 de octubre) y el día 317 (13 de noviembre). Por tanto, el IELL sucede mayormente de principios a mediados de mayo, mientras que el TELL entre principios y mediados de noviembre. Por otro lado, el la DELL se establece por unos 188 días y la DES por unos 178, mostrando un comportamiento simétrico con una dispersión de unos 20 días.

3.3. Caracterización del IELL, TELL, DELL y DES en la región con datos de CHIRPS

En la figura 4 se muestra la distribución del IELL en Guanacaste con los datos de CHIRPS. Se destacan núcleos de IELL tempranos en zonas centrales

de Guanacaste cerca de la desembocadura del río Tempisque, en cantones como Liberia, Carrillo, Nicoya, Bagaces y una parte de Santa Cruz (alrededor de los días 5-7). Otros núcleos de IELL tempranos ocurren cerca de los cantones de Bagaces, Cañas, Abangares y en zonas de la provincia de Puntarenas. Las regiones periféricas, como las costas de la península de Nicoya o las limítrofes a la provincia de Alajuela, presentan IELL un poco más tardíos que las zonas centrales; sin embargo, el IELL más tardío está al norte cerca del cantón La Cruz (alrededor del 19-20 de mayo), denotando que la diferencia en la región entre los IELL más tempranos y tardíos es de unas dos semanas, además, del cuadro 5 se observa que el 50% de la mediana del IELL ocurre entre el 8 y 15 de mayo.

Con respecto al TELL, se observa como casi toda la región tiende hacia condiciones uniformemente secas, sin destacar núcleos tan definidos como en el IELL. Se aprecia una zona de TELL más tardíos (13-16 de noviembre) alrededor del cantón de Abangares y la parte sur de la península de Nicoya. También se puede destacar otra zona con TELL un poco más tempranos (4-5 de noviembre) cerca de la parte central y norte de Guanacaste, involucrando cantones como Liberia, Carrillo y

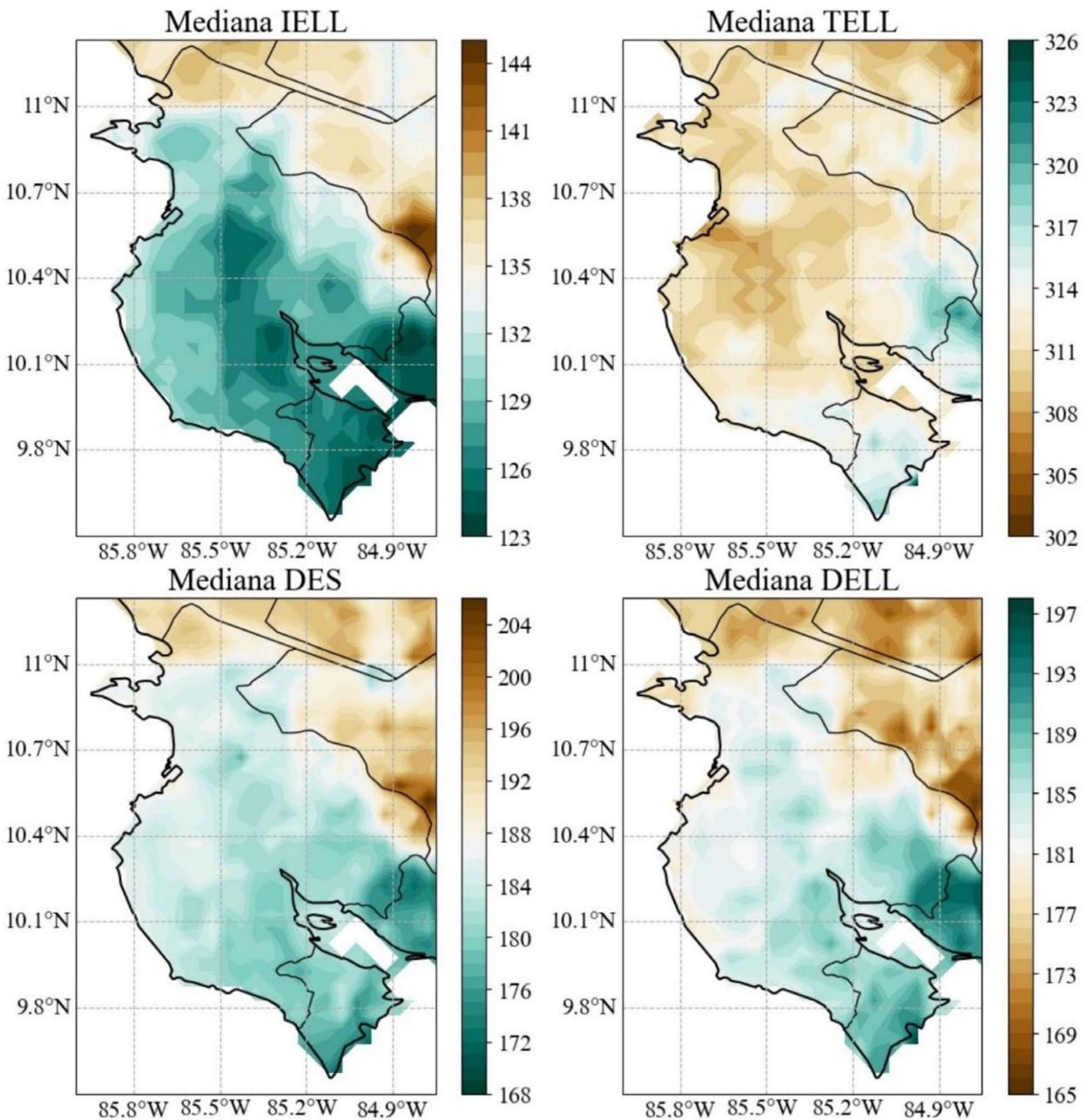


Figura 4. Mediana del número de día del IELL y TELL, y mediana de la cantidad de días de la DES y DELL de la base de datos de CHIRPS en la región de Guanacaste en el periodo 1981-2020.

Santa Cruz, sin embargo, el comportamiento del TELL no es tan marcado como con el IELL, donde la diferencia entre los TELL de las zonas más secas y húmedas es inferior a dos semanas y el 50% de la mediana de los TELL ocurre entre el 7 y 9 de noviembre (cuadro 5), destacando aún más uniformidad de los datos.

El comportamiento de la DES y DELL es muy simétrico, indicando que una mitad del año se mantiene en condiciones secas y la otra mitad en condiciones lluviosas. La DES se mantiene por unos 180-185 días en casi toda la provincia, las más cortas suceden al oeste en el límite con Puntarenas rondando los 170-175 días, mientras

Cuadro 5. Percentiles 25, 50 y 75 (P_{25} , P_{50} y P_{75}) para el IELL, TELL, DES y DELL para los estadísticos: mediana, desviación estándar, rango intercuartil y tendencias para CHIRPS.

Parámetro	IELL			TELL			DES			DELL		
	P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75	P25	P50	P75
Mediana	128	131	135	311	312	313	182	185	190	177	182	185
D. estándar	10,0	10,4	11,3	8,7	9,7	15,0	14,2	15,4	19,2	12,7	14,0	18,4
RIQ	12,8	14,0	15,3	9,0	10,5	12,3	16,5	18,5	21,5	14,5	16,8	20,5
Tendencias	-0,25	-0,18	-0,12	-0,06	0,06	0,16	-0,42	-0,27	-0,08	0,09	0,24	0,40

las más largas se aprecian al norte cerca de La Cruz con unos 195-200 días. La DELL muestra un comportamiento similar a la DES ya que es bastante uniforme en la región estableciéndose por unos 180-185 días, siendo más extensa al oeste limitando con unos 190-195 días y más corta al norte con unos 170-175 días. Las diferencias entre máximas y mínimas duraciones pueden alcanzar hasta 20 días, aunque abarcan poco territorio en la región y se ubican en los extremos de esta, además, en el cuadro 5 se observa que la mediana de la DES mantiene el 50% de sus datos entre los 182 y 190 días, mientras que la mediana de la DELL entre los 177 y 185 días, de modo que la DES y la DELL tienen duraciones similares.

Trabajos previos han caracterizado el IELL y TELL en la región encontrando una dependencia latitudinal (Alfaro, 2002; Díaz, 2019; Gramzow & Henry, 1972), lo que se aprecia en la DES y la DELL, y hasta cierto punto en el IELL, ya que este último muestra que las lluvias empiezan más tarde al norte y más temprano al sur y sureste, pero no se trata de un gradiente norte-sur, ya que hay algunas desviaciones hacia el este y oeste. Por otro lado, las investigaciones antes mencionadas sugieren una dependencia latitudinal en el IELL y TELL al estudiar toda América Central, mientras que esta investigación abarca una región pequeña y no se puede asegurar que el comportamiento se mantenga más allá de los límites, sin embargo, tampoco se debe descartar, ya que entre las zonas más secas al norte (IELL tardíos, DES largas y DELL cortas) y las más húmedas al sur y sureste (IELL tempranos, DES cortas y DELL largas) existen

alrededor de dos semanas de diferencia, lo que es un periodo considerable para una región relativamente pequeña.

Por otro lado, la media (no mostrada) presenta un comportamiento similar a la mediana en la región para el IELL, TELL, DES y DELL, destacando principalmente la aparición de un núcleo de TELL temprano que ocurre sobre la cordillera de Guanacaste (fuera de la región de estudio con poco alcance sobre Tilarán). Considerando que la mediana es una medida de tendencia central bastante robusta con baja sensibilidad a los datos atípicos, es posible que tal núcleo sea influenciado por datos atípicos. Se debe destacar lo mencionado en Ugalde (2022), quién recomendó revisar cada uno de los TELL en todas las bases de datos debido a la presencia de valores anómalos y evitar posibles falsas detecciones, lo cual no se hizo debido a la gran cantidad de puntos de rejilla en los datos de CHIRPS en el dominio de estudio.

La desviación estándar (figura 5), muestra un comportamiento similar en los cuatro índices, valores que rondan entre 10 y 15 días con respecto a la media en prácticamente toda la región, también se aprecia en el cuadro 5 con las mayores desviaciones estándares para la DES y DELL. La mayor desviación estándar está alrededor de la cordillera de Guanacaste, con valores superiores a un mes, pero solo una pequeña parte de Tilarán pertenece a la región de estudio, la alta dispersión podría indicar una región de comportamientos atípicos ya que la desviación estándar es sensible a estos.

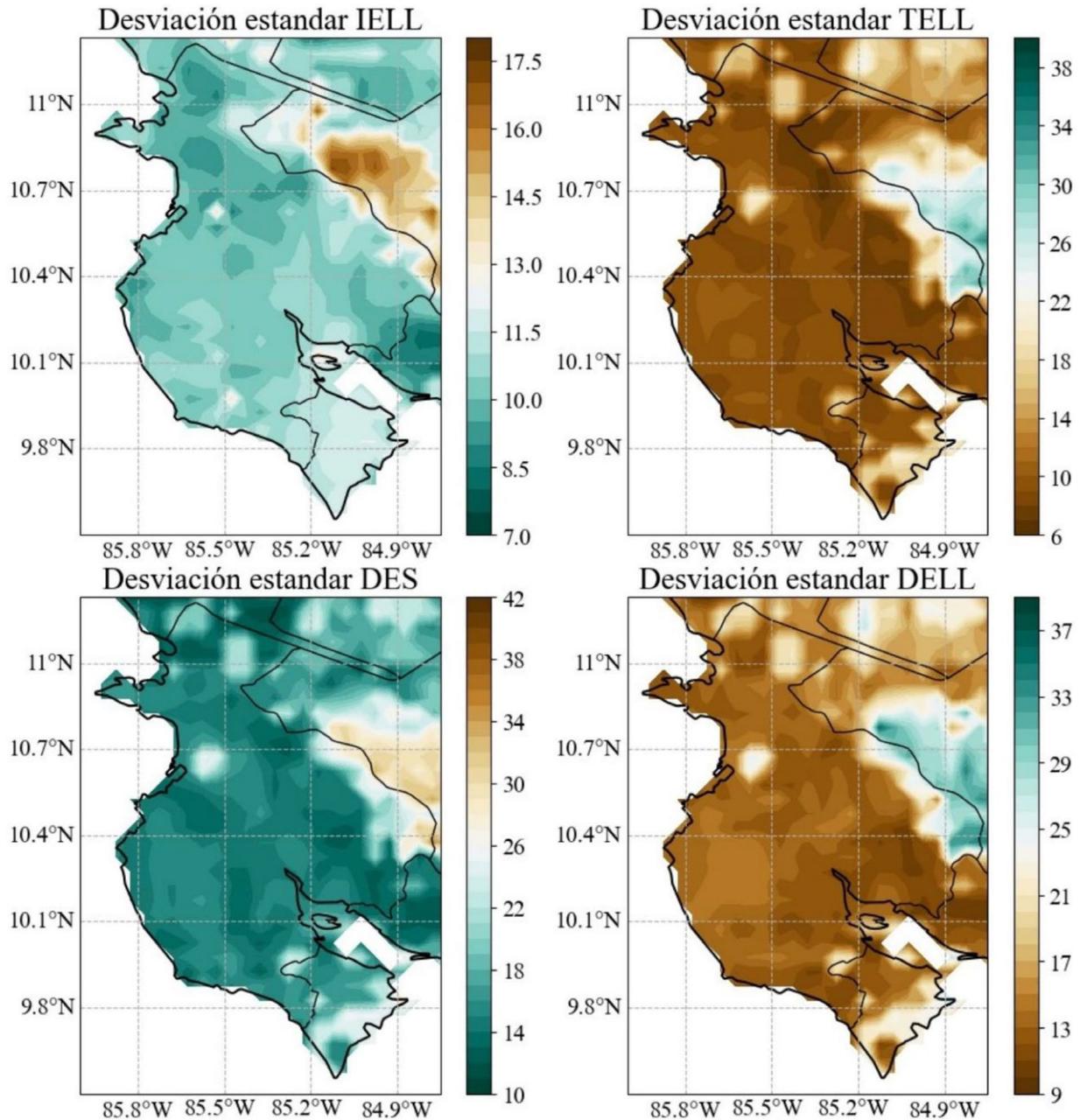


Figura 5. Desviación estándar para las series de IELL, TELL, DES y DELL de la base de datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981-2020.

Considerando los resultados del rango intercuartílico (figura 6), es posible apreciar cómo ronda entre dos y tres semanas en los cuatro índices (del cuadro 5 se aprecia que el 50% de los datos está alrededor de estos valores), a excepción de la zona sobre la cordillera de Guanacaste para el TELL, DELL y DES, donde el rango intercuartílico

presenta valores muy altos de hasta 40 días, lo que podría indicar que la mayoría de los datos extremos se ubican en esa región, sin embargo, pertenecen en su mayoría a la parte de la cordillera en Alajuela, es la misma región mostrada en la desviación estándar, aunque con un área de afectación mucho menor.

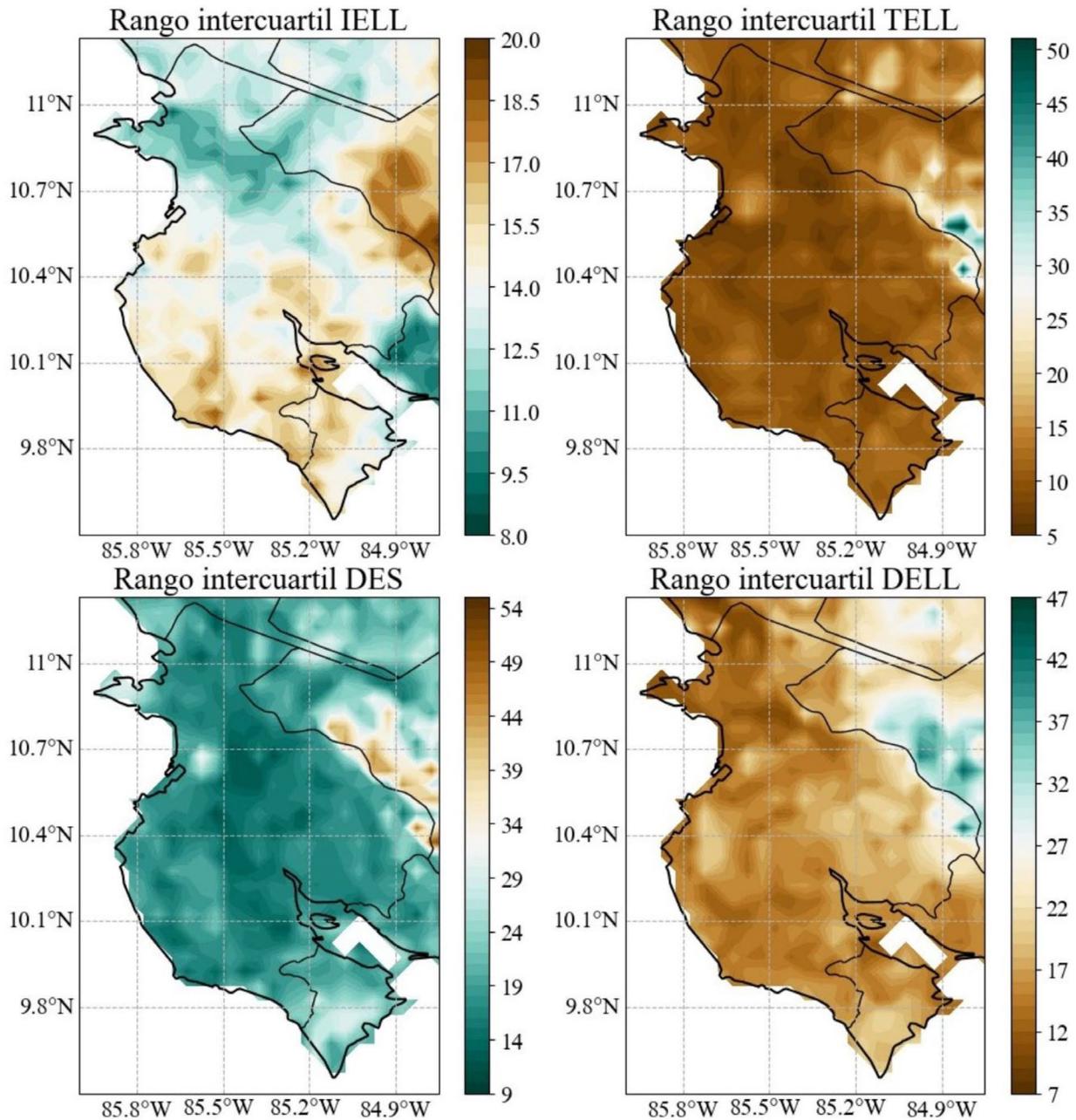


Figura 6. Rango Intercuartílico para las series del IELL, TELL, DES y DELL de la base de datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981-2020.

En la figura 7 se muestran las tendencias, las cuales representan qué tanto se adelantan o se atrasan los eventos; por ejemplo, si alguna región tuviera tendencia de un IELL de 1 se entendería que los IELL se atrasarán un día por cada año transcurrido, mientras una tendencia de -1 representaría un adelanto. De la figura 7 se puede apreciar una

tendencia del IELL hacia valores negativos sobre toda la región, lo que indicaría que en general se esperan IELL más tempranos. Las tendencias con mayor magnitud y más significativas se ubican más cerca de la costa en cantones como Santa Cruz, Nicoya, Hojanca, Nandayure, Abangares y la región de Puntarenas en la península. Por otro

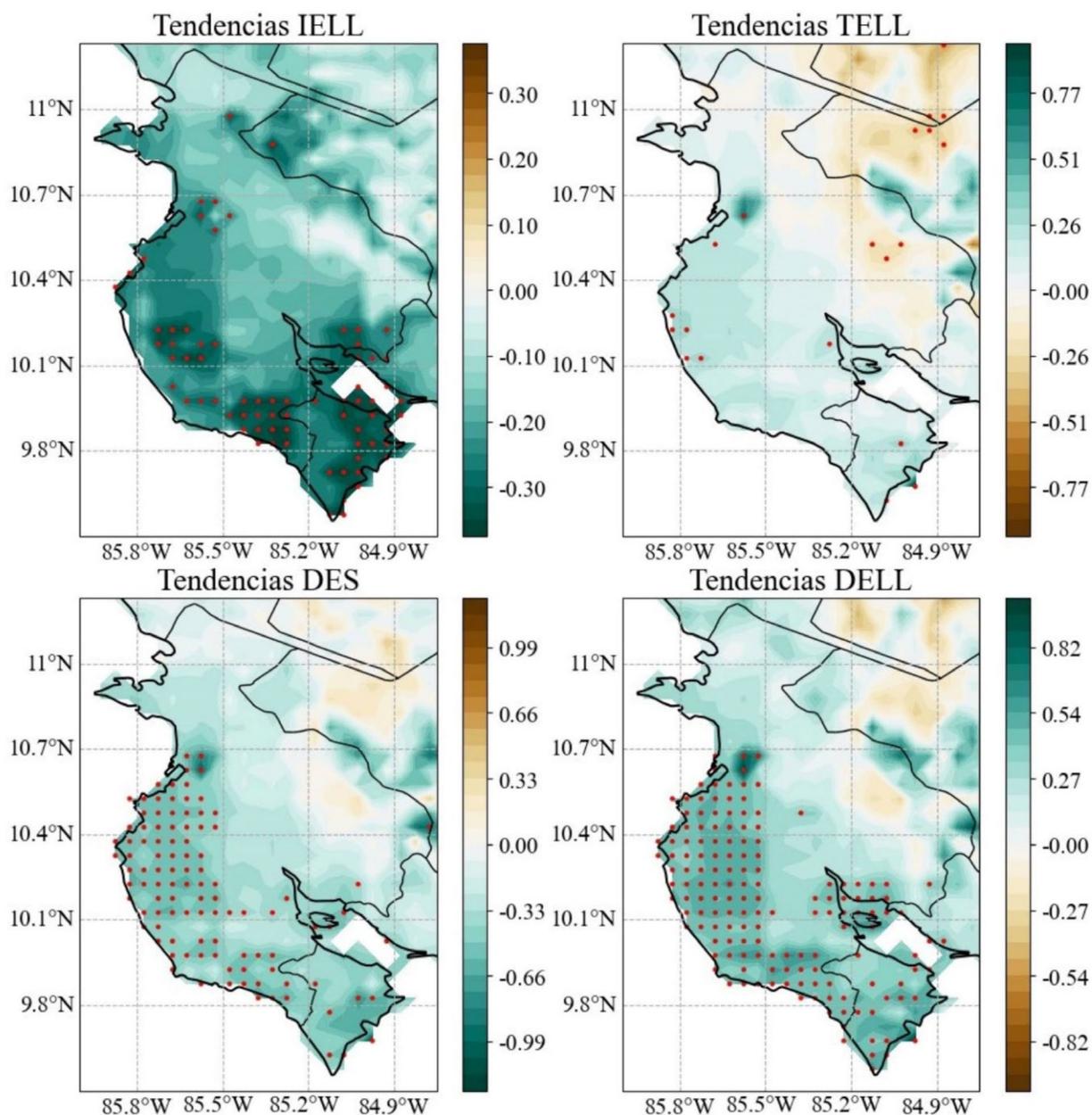


Figura 7. Tendencias para las series del IELL, TELL, DES y DELL de la base de datos de CHIRPS en la región de Guanacaste para el periodo 1981-2020. Los puntos rojos representan zonas con significancia estadística del 95%.

lado, el TELL muestra pocos puntos con tendencias significativas.

Sobre toda la península de Nicoya se observan tendencias negativas (positivas) para el índice DES (DELL), significativas sobre la parte oeste de la península y algunos puntos al sur sobre

la provincia de Puntarenas en la península. El índice DELL también presenta algunos puntos de significancia cerca la región de desembocadura del río Tempisque, indicando en esas regiones tendencia hacia condiciones húmedas: DES más cortos y DELL más largos.

En el cuadro 5 se presenta un resumen numérico para las figuras 4-7 con los percentiles 25, 50 y 75 (P25, P50 y P75 respectivamente), lo que permite visualizar los umbrales entre los cuales se encuentra el 50% de los datos de la región. Estos resultados muestran un comportamiento interesante, ya que la mediana del IELL, DES y DELL tiende a mantener el 50% de sus valores en un rango de unos 7-8 días, pero para el TELL apenas son dos días indicando su uniformidad en Guanacaste.

4. CONCLUSIONES

La alta resolución de los datos de CHIRPS usados en la provincia de Guanacaste, permitieron caracterizar la época seca y lluviosa determinando las fechas del IELL, el TELL, la DES y la DELL. Además, los datos de CHIRPS demostraron representar adecuadamente la precipitación en Guanacaste al compararse con observaciones.

Al trabajarse con datos de alta resolución sobre Guanacaste, se pudo determinar cómo se distribuye el IELL, TELL, DES y DELL en Guanacaste. El IELL tiende a ocurrir antes en la región central, sur y sureste del Pacífico Norte, durante la primera semana de mayo y alrededor de los días 5 y 7 de mayo, y ocurre más tarde al norte de la región, alrededor de los días 19 y 20 de mayo. Por otro lado, el TELL presenta una distribución muy uniforme en toda la región ocurriendo cerca del 4 y 5 de noviembre, con algunas zonas de ocurrencia más tardía al sur. Mientras, la DES y DELL presentan un comportamiento bastante simétrico, con unos 180 días de duración, con zonas más secas al norte (DELL cortas y DES largas) y las más húmedas al sur (DELL largas y DES cortas). A pesar de que los eventos tienden a ocurrir en las fechas antes mencionadas, las dispersiones tienden a ser de unos 10 a 15 días, lo cual puede ser bastante relevante según las actividades productivas que se llevan a cabo en la región.

Los cuatro índices muestran tendencias hacia condiciones húmedas, lo que indica que se esperan IELL más tempranos, DES más cortas y DELL más largas; sin embargo, no toda la región es estadísticamente significativa (figura 7), por ejemplo, el TELL a pesar de que muestra tendencias hacia condiciones húmedas no se determinaron regiones significativas. Estos resultados se complementan en la segunda parte de este estudio, donde se analiza la influencia de diversas fuentes de variabilidad climática en el IELL, TELL, DES y DELL. Tales resultados cobran importancia en Costa Rica ya que, la región Pacífico Norte que cubre la zona noroeste del país, se caracteriza por ser una de las regiones con menor riqueza hídrica; el caudal de sus principales ríos puede ser afectados notablemente si se prolonga la estación seca.

Por otro lado, Costa Rica es un país que genera gran parte de su energía eléctrica a partir de fuentes renovables, las represas hidroeléctricas son altamente dependientes de las precipitaciones, por lo que el conocimiento de las fechas del IELL y TELL es muy importante, especialmente en una zona con condiciones secas predominantes, esto se aplica de igual forma para actividades productivas como la agricultura y ganadería, cuya dependencia de los recursos hídricos es muy alta, así como también el abastecimiento de agua potable para consumo humano. Según indica el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE, 2019), para diciembre de 2017 hasta un 66% de la energía eléctrica se produjo a través de plantas hidroeléctricas, el resto se produce con plantas térmicas (16%), geotérmicas (6%), de biomasa (1%), eólicas (11%) y solares (0,2%), estas dos últimas también son muy dependientes de las condiciones climáticas. Por lo que es importante destacar que alrededor de dos tercios de la energía producida en el país necesita disponibilidad de recursos hídricos, y su productividad podría verse afectada ante eventuales extensiones de la estación seca.

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. Al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica por proporcionar los datos de las estaciones meteorológicas.

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), 88-103.
- 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), 1-15. <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), 1-13.
- 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), 16-28.
- 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), 62-74.
- Bombardi, R. J., Pegion, K. V., Kinter, J. L., Cash, B. A., & Adams, J. M. (2017). Sub-seasonal Predictability of the Onset and Demise of the Rainy Season over Monsoonal Regions. *Frontiers in Earth Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/feart.2017.00014>
- Centella, A., Bezanilla-Morlot, A., Taylor, M. A., Herrera, D. A., Martínez-Castro, D., Gouirand, I., Sierra-Lorenzo, M., Vichot-Llano, A., Stephenson, T., Fonseca, C., Campbell, J., & Alpizar, M. (2020). Evaluation of Sixteen Gridded Precipitation Datasets over the Caribbean Region Using Gauge Observations. *Atmosphere*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/atmos11121334>
- 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>
- Durán-Quesada, A. M., Sorí, R., Ordoñez, P., & Gimeno, L. (2020). Climate Perspectives

- in the Intra-Americas Seas. *Atmosphere*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/atmos11090959>
- 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>
- García-Franco, J., Chadwick, R., Gray, L., Osprey, S., & Adams, D. (2022). *Revisiting mechanisms of the Mesoamerican Midsummer drought*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1351433/v1>
- Gouirand, I., Moron, V., & Sing, B. (2020). Seasonal atmospheric transitions in the Caribbean basin and Central America. *Climate Dynamics*, 55(7), 1809-1828. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05356-6>
- Gramzow, R. H., & Henry, W. K. (1972). The Rainy Pentads of Central America. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 11(4), 637-642. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1972\)011<0637:TRPOCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1972)011<0637:TRPOCA>2.0.CO;2)
- Gray, C. (1993). *Regional meteorology and Hurricanes*. In: Maul, G. (Ed.) *Climate Change in the Intra Americans Sea*. Edward Arnold, 87-99.
- Hernández, K. M., & Fernández, W. (2015). Estudio de la evaporación para el cálculo del inicio y conclusión de la época seca y lluviosa en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 14(1), 18-26.
- Instituto Costarricense de Electricidad [ICE]. (2019). *Plan de Expansión de la Generación Eléctrica*. San José, Costa Rica. <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE/electricidad/proyectos-energeticos/plan-de-expansion>
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (2008). *Segunda Comunicación Nacional de Costa Rica. Estudio sobre Clima, Variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica*. San José, Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publicaciones/el-clima-su-variabilidad-y-cambio-climatico-en-costa-rica/>
- Kling, H., Fuchs, M., & Paulin, M. (2012). Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 424-425, 264-277. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.011>
- 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., Rutgersson, A., Alfaro, E., Amador, J. A., & 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. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-35-2016>
- Martinez, C., Muñoz, Á. G., Goddard, L., Kushnir, Y., & Ting, M. (2022). An adaptive approach to quantify weather-within-climate rainfall characteristics. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06193-5>
- McCuen, R. H., Knight, Z., & Cutter, A. G. (2006). Evaluation of the Nash-Sutcliffe Efficiency Index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(6), 597-602. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2006\)11:6\(597\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:6(597))
- Mora, N., Amador, J. A., Rivera, E. R., & Maldonado, T. (2020). A Sea Breeze Study during Ticosonde-NAME 2004 in the Central Pacific

- of Costa Rica: Observations and Numerical Modeling. *Atmosphere*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/atmos11121333>
- Muñoz, A. C., Fernández, W., Gutierrez, J. A., & Zarate, E. (2002). Variación estacional del viento en Costa Rica y su relación con los regímenes de lluvia. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(1), 1-13.
- Nakaegawa, T., Arakawa, O., & 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(7), Article 7. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00243.1>
- Orrego León, E. A., Hernández Quevedo, M. P., & Gómez Jordán, R. del C. (2021). Variabilidad del inicio, final y duración de la época lluviosa en Guatemala y su tendencia. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático—Yu'am*, 5(1), 4-24.
- Quesada-Hernandez, L. (2019). *Respuesta de la hidrología superficial de la cuenca del río Tempisque a la variabilidad climática y cambio de cobertura de la tierra*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22256.20485>
- Quirós, E., & Hidalgo, H. G. (2016a). Interacción de la Zona de Convergencia Intertropical del Pacífico Este con Sistemas tropicales. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 33-47.
- Quirós, E., & Hidalgo, H. G. (2016b). Variabilidad y conexiones climáticas de la zona de convergencia intertropical del Pacífico Este. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(1), 21-36.
- Ramírez, P. (1983). *Estudio Meteorológico de los Veranillos en Costa Rica* (Nota de Investigación 5). Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Estudio+sobre+veranillos+en+Costa+Rica>
- 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.
- Stewart, I. T., Maurer, E. P., Stahl, K., & Joseph, K. (2022). Recent evidence for warmer and drier growing seasons in climate sensitive regions of Central America from multiple global datasets. *International Journal of Climatology*, 42(3), 1399-1417. <https://doi.org/10.1002/joc.7310>
- 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>
- Ureña, P., Alfaro, E., & Soley, F. J. (2016). *Propuestas metodológicas para el rellenado de datos ausentes en series de tiempo geofísicas. Guía Práctica de uso*. Documento Técnico. Centro de Investigaciones Geofísicas, Escuela de Física y Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/28888>
- Ureña-Mora, P., & Alfaro, E. (2022). Comparación de métodos de detección del inicio y término de la estación lluviosa basado en datos de precipitación (Comparison of detection methods for the onset and demise of the rainy season based on precipitation). *Revista Tecnológica en marcha. En prensa*.
- Wilks, D. S. (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (4.a ed.). Elsevier Science.
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 1295-1320. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>

8. ANEXO

Cuadro A1. Error Medio Absoluto (*EMA*) entre los datos de estaciones meteorológicas (**Cuadro 1**) y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	4,25	4,38	6,11	6,67
Bagaces	9,97	10,69	14,87	15,21
Liberia	7,44	5,22	9,78	10,56
Finca las Huacas	7,91	9,18	13,52	14,31
Peñas Blancas	5,65	6,82	9,55	9,32
Nicoya	11,79	7,28	15,03	15,97
Santa Elena	7,00	10,69	11,08	17,25
Finca la Ceiba	5,60	6,75	10,47	8,83
Paquera	6,95	8,00	12,76	12,27
Mojica	9,75	7,95	15,10	14,63

Cuadro A2. Sesgo (β) entre los datos de estaciones meteorológicas y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	1,00	1,01	1,01	0,99
Bagaces	1,04	1,02	1,00	1,01
Liberia	0,96	1,00	1,04	0,97
Finca las Huacas	0,96	1,01	1,04	0,96
Peñas Blancas	1,01	1,01	1,01	1,00
Nicoya	1,08	1,00	0,94	1,06
Santa Elena	0,95	1,01	1,04	0,95
Finca la Ceiba	0,97	1,01	1,04	0,97
Paquera	0,98	1,00	1,01	0,99
Mojica	0,93	1,01	1,07	0,93

Cuadro A3. Variabilidad (γ) entre los datos de estaciones meteorológicas y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	0,88	0,86	0,97	0,84
Bagaces	0,60	0,60	0,58	0,64
Liberia	0,85	0,76	0,76	0,88
Finca las Huacas	0,78	0,66	0,71	0,62
Peñas Blancas	1,17	0,74	0,85	0,86
Nicoya	0,69	0,87	0,85	0,70
Santa Elena	1,13	0,42	0,59	0,72
Finca la Ceiba	1,02	0,82	0,71	0,96
Paquera	0,72	0,94	0,77	1,01
Mojica	0,68	0,67	0,47	0,76

Cuadro A4. Índice Kling-Gupta Efficiency (*KGE*) entre los datos de estaciones meteorológicas y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	0,80	0,82	0,87	0,81
Bagaces	0,43	0,22	0,30	0,39
Liberia	0,50	0,70	0,63	0,73
Finca las Huacas	0,66	0,33	0,58	0,52
Peñas Blancas	0,64	0,54	0,68	0,57
Nicoya	0,17	0,45	0,31	0,27
Santa Elena	0,67	0,03	0,55	0,08
Finca la Ceiba	0,67	0,48	0,40	0,70
Paquera	0,55	0,51	0,46	0,43
Mojica	0,41	0,31	0,15	0,43

Cuadro A5. Índice de Nash-Sutcliffe Efficiency (*NSE*) entre los datos de estaciones meteorológicas (Tabla 2.1) y CHIRPS para el IELL, TELL, DELL y DES.

Estación	IELL	TELL	DELL	DES
Santa Cruz	0,70	0,76	0,74	0,79
Bagaces	0,24	-0,10	0,17	0,24
Liberia	-0,06	0,65	0,37	0,46
Finca las Huacas	0,39	0,07	0,34	0,38
Peñas Blancas	0,18	0,33	0,48	0,28
Nicoya	-0,98	0,06	-0,51	-0,40
Santa Elena	0,02	-0,07	0,44	-0,59
Finca la Ceiba	0,21	0,09	-0,15	0,23
Paquera	0,39	0,09	0,17	-0,16
Mojica	-0,47	0,02	-0,42	-0,72

El EMA (cuadro A1) del IELL y TELL varía alrededor de siete días con excepciones en estaciones como Nicoya y Bagaces que alcanzan hasta los diez días. En los índices DELL y DES, el EMA varía alrededor de los diez días con casos particulares que rondan los 15 días como Nicoya o Santa Elena.

Los resultados de β (cuadro A2) son muy cercanos a 1 en todos los casos con muy pequeñas desviaciones. Para el caso de γ (cuadro A3) los resultados son más diversos, muchas estaciones muestran índices que rondan el valor de 1; sin embargo, muchos otros presentan desviaciones que pueden variar entre 0,5 y 1. A pesar de esto, el índice KGE (cuadro A4) es alto en la mayoría de

estaciones, aunque existen casos de estaciones con KGE bajos.

El cuadro A5 muestra los resultados para el índice NSE, a diferencia de los parámetros analizados anteriormente el NSE no muestra resultados tan alentadores, algunos valores son positivos, pero no cercanos a uno y se tienen muchos valores cercanos a cero e incluso negativos. En general, los resultados del NSE indicarían una mala representación de los datos en rejilla, siendo el parámetro menos confiable para validar los datos de CHIRPS contra observaciones para los índices del IELL, TELL, DELL y DES.



Instituto Meteorológico Nacional

Sitio web:
www.imn.ac.cr

Teléfono: (506) 2222 5616

Apartado postal: 5583-1000
San José
Costa Rica

