

Caracterización climática y análisis de mecanismos moduladores del descenso de las lluvias en la vertiente Caribe de América Central durante septiembre-octubre

Climatic characterization and the analysis of the mechanisms that modulate the rainfall decreases during September-October in the Central American Caribbean slope

Eric J. Alfaro Martínez¹, Luis F. Alvarado Gamboa², Berny G. Fallas López³,
Natali P. Mora Sandí⁴, Hugo G. Hidalgo⁵

[Recibido: 8 de marzo 2023, Aceptado: 31 de mayo 2023, Corregido: 10 de julio 2023, Publicado: 19 de septiembre 2023]

Resumen

[**Introducción**]: La vertiente Caribe de América Central se encuentra a barlovento de los vientos alisios asociados con la Alta Subtropical del Atlántico Norte y presenta un ciclo anual de precipitación bimodal, donde se observa un mínimo relativo en los meses de septiembre y octubre. [**Objetivo**]: Caracterizar el descenso observado en las lluvias en esta región en ese bimestre, estimando, para cada evento, las variables asociadas con los valores del día del inicio, día del mínimo, día del final, duración, intensidad y magnitud, en el periodo 1979-2010. [**Metodología**]: Se usaron 31 registros diarios de estaciones pluviométricas. Se examinó, en cada una de ellas, los meses de julio a noviembre, para encontrar los valores del mínimo, la fecha del mínimo, del inicio y del final, duración e intensidad. Se exploró la ocurrencia de alguna tendencia temporal o espacial en las características de los eventos. Por último, se revisaron diferentes índices climáticos y fuentes documentales para identificar las posibles causas sinópticas de los descensos más fuertes en las lluvias. [**Resultados**]: El inicio de los eventos se observó alrededor del 3 de septiembre, su mínimo el 23 de septiembre y el final 12 de octubre, con una duración aproximada de 39 días. Los eventos tienden a suceder primeramente en las estaciones ubicadas al noroeste del istmo. Los eventos más secos sucedieron bajo condiciones propicias para la ocurrencia de vientos con componente suroeste-oeste sobre la región. [**Conclusiones**]: El conocimiento sobre estas características de la precipitación ayuda en la planificación de sectores socioeconómicos claves en América Central ante eventuales eventos hidrometeorológicos adversos.

Palabras clave: Climatología; impactos; mares Intra-Americanos; precipitación; variabilidad climática.

- 1 Investigador, Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), profesor catedrático, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. erick.alfaro@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0001-9278-5017>
- 2 Meteorólogo, Departamento de Climatología e Investigación Aplicada, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. luis@imn.ac.cr; <https://orcid.org/0009-0002-1661-3517>
- 3 Investigador, Departamento de Hidrología, Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica. befall@ice.go.cr; <https://orcid.org/0000-0002-6725-2347>
- 4 Investigadora, Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. natali.morasandi@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0001-9511-7727>
- 5 Investigador, Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Centro de Investigación en Matemática Pura y Aplicada (CIMPA), profesor catedrático, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. hugo.hidalgo@ucr.ac.cr; <https://orcid.org/0000-0003-4638-0742>



Abstract

[Introduction]: The Caribbean slope of Central America is located windward about the trade winds associated with the North Atlantic Subtropical High and the rains present a bimodal annual cycle, observing a relative minimum in the months of September and October. **[Objective]:** Characterize the observed decrease in rainfall in this region for this bimester, estimating for each event, the variables associated with the values of the onset day, minimum day, demise day, duration, intensity, and magnitude, in 1979-2010. **[Methodology]:** A set of 31 daily records from rain gauge stations was used. In each of them, the months from July to November were examined to find the values of the minimum, the date of the minimum, the onset and the demise, duration, and intensity. The occurrence of any temporal or spatial trend in these characteristics of the events was explored. Finally, different climatic indices and documentary sources were reviewed to identify the possible synoptic causes of the strongest decreases in rainfall. **[Results]:** The beginning of the events was observed around September 3rd, their minimum on September 23rd and the end on October 12th, with an approximate duration of 39 days. Events tend to happen earlier at stations located northwest on the isthmus. The driest events occurred under favorable conditions for the occurrence of winds with a southwest-west component over the region. **[Conclusions]:** Knowledge about these characteristics of precipitation helps in the activity planning of key socioeconomic sectors in Central America in case of adverse hydrometeorological events.

Keywords: Climatology; impacts; intra American Seas; precipitation; climate variability.

1. Introducción

La vertiente Caribe (VC) de América Central (AC) posee, en términos generales, un clima tropical húmedo, tipo Af según la clasificación de Köppen, cuyas características son: lluvia regular todos los meses, no hay estación seca bien definida, la temperatura media es superior a 18 °C todos los meses, no se manifiesta el invierno astronómico y la lluvia anual es abundante y excede a la evaporación (Fallas y Oviedo, 2003). Sin embargo, al utilizar otras clasificaciones climáticas como las de Thornthwaite o Hargreaves (Pérez-Briceño *et al.*, 2017), esta vertiente puede presentar variaciones espaciales importantes, debido principalmente a la topografía.

La VC se encuentra a barlovento con respecto a los vientos alisios asociados con la Alta Subtropical del Atlántico Norte o NASH por sus siglas en inglés (Taylor y Alfaro, 2005). Estos vientos alisios están presentes todo el año y tienen sobre el istmo una componente noreste-este que interactúa con la compleja topografía de la región (Alfaro *et al.*, 2018; Amador *et al.*, 2016; 2006; Durán-Quesada *et al.*, 2020; Sáenz y Amador, 2016). Además, transportan humedad desde el Mar Caribe (MC) hacia el Pacífico Tropical del Este (PTE) (Durán-Quesada *et al.*, 2017). Mucha de esta humedad es usada por diferentes mecanismos productores de precipitación, asociados con lluvias en la VC, así como también en la Vertiente Pacífica (p.ej., Hidalgo *et al.*, 2015).

A lo largo del ciclo anual, la magnitud del viento alisio es más débil durante el otoño boreal (Alfaro *et al.*, 2018; 2002; Amador *et al.*, 2016; Sáenz y Amador, 2016; Taylor y Alfaro, 2005). Durante esta época del año, podrían observarse incluso vientos con componente del suroeste-oeste, debido a la incursión de los vientos alisios asociados a la Alta Subtropical del Pacífico Sur, que convergen en el PTE con los de la NASH en la llamada Zona de Convergencia Intertropical o



ZCIT (Amador *et al.*, 2016; 2006; Durán-Quesada *et al.*, 2020). Estos se denominan comúnmente como *oestes ecuatoriales* (Muñoz *et al.*, 2002). La ocurrencia de estos vientos se ve favorecida debido a que la piscina de agua cálida del MC alcanza su pico de desarrollo durante estos meses y la del PTE se debilita (Wang y Enfield, 2003). La temperatura superficial del mar (TSM) en esta piscina es superior a los 28.5°C e induce una baja presión relativa en el MC respecto al PTE, lo que también debilita el viento alisio (Amador *et al.*, 2016; 2006; Durán-Quesada *et al.*, 2020; Enfield y Alfaro, 1999).

También, en los meses de septiembre y octubre (SO), es cuando tenemos la mayor ocurrencia de ciclones tropicales en el MC cerca de AC (Alfaro y Quesada, 2010). Estos sistemas de baja presión inducen una circulación desde el PTE hacia el MC, especialmente al sur del istmo (Hidalgo *et al.*, 2020; 2022), en donde el aire cálido y húmedo transportado desde el PTE (Durán-Quesada *et al.*, 2017) interactúa con el sistema montañoso y provoca precipitaciones sobre la vertiente del Pacífico, algunas por periodos de varios días llamados *temporales* (Amador *et al.*, 2016; 2006; Fallas y Oviedo, 2003); este aire más seco alcanza luego la VC. Los vientos con componente zonal asociados a estas circulaciones se conocen como *oestes sinópticos* (Muñoz *et al.*, 2002).

Según Hidalgo *et al.* (2022; 2020), algunas posiciones de ciclones tropicales en el PTE pueden también inducir oestes sinópticos sobre la región, pero son menos frecuentes que aquellos asociados con los sistemas que ocurren en el MC. También, Poleo *et al.* (2014) observaron que en la VC se presenta una menor cantidad de días con lluvia durante las fases 1, 2 y 8 de la Oscilación de Madden Julian (MJO, por sus siglas en inglés), debido a condiciones asociadas con un debilitamiento del viento alisio en AC e incluso la ocurrencia de vientos de componente oeste.

Obsérvese que el debilitamiento del viento alisio y las incursiones de oestes ecuatoriales y sinópticos, que incluso podrían inducir un efecto tipo foehn o föhn sobre el istmo, no favorecen el transporte de humedad hacia la VC en AC (Durán-Quesada *et al.*, 2017), usado por los mecanismos productores de precipitación (Hidalgo *et al.*, 2015), lo que provoca una disminución de las lluvias durante el bimestre de SO, que podríamos definir como un *Mid-Autumn Decrease* o MAD en inglés. Esta disminución ha sido reportada en AC anteriormente por trabajos como los de Alfaro (2002), Maldonado *et al.* (2021), Martínez *et al.* (2019), Sáenz y Amador (2016).

En este trabajo se plantea, como objetivo, la caracterización del descenso de las lluvias, observado a lo largo de la VC de AC durante el bimestre de SO del periodo 1979-2010, además de determinar las causas físicas de dicha disminución, utilizando, para ello, datos diarios de precipitación de 31 estaciones meteorológicas, para los cuales se estimará en cada evento, las variables asociadas con los valores del día del inicio, día del mínimo, día del final, duración, intensidad y magnitud. La importancia de esta caracterización radica también en que Martínez *et al.* (2019) demostró que, sinópticamente en la región de AC y el Caribe, los mecanismos físicos de los forzantes climáticos asociados a la disminución de las precipitaciones en la costa Caribe de AC en SO son distintos a los asociados con la disminución de las lluvias en la vertiente del Pacífico durante julio-agosto, ya que uno no es la consecuencia o la extensión del otro.



2. Metodología

2.1 Datos

En este estudio se utilizó un conjunto de 31 registros diarios de estaciones pluviométricas, ubicadas en la VC de AC. Los datos se obtuvieron de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos de AC. Los metadatos de las estaciones se incluyen en el **Anexo 1** y sus ubicaciones geográficas se muestran en la **Figura 1**.

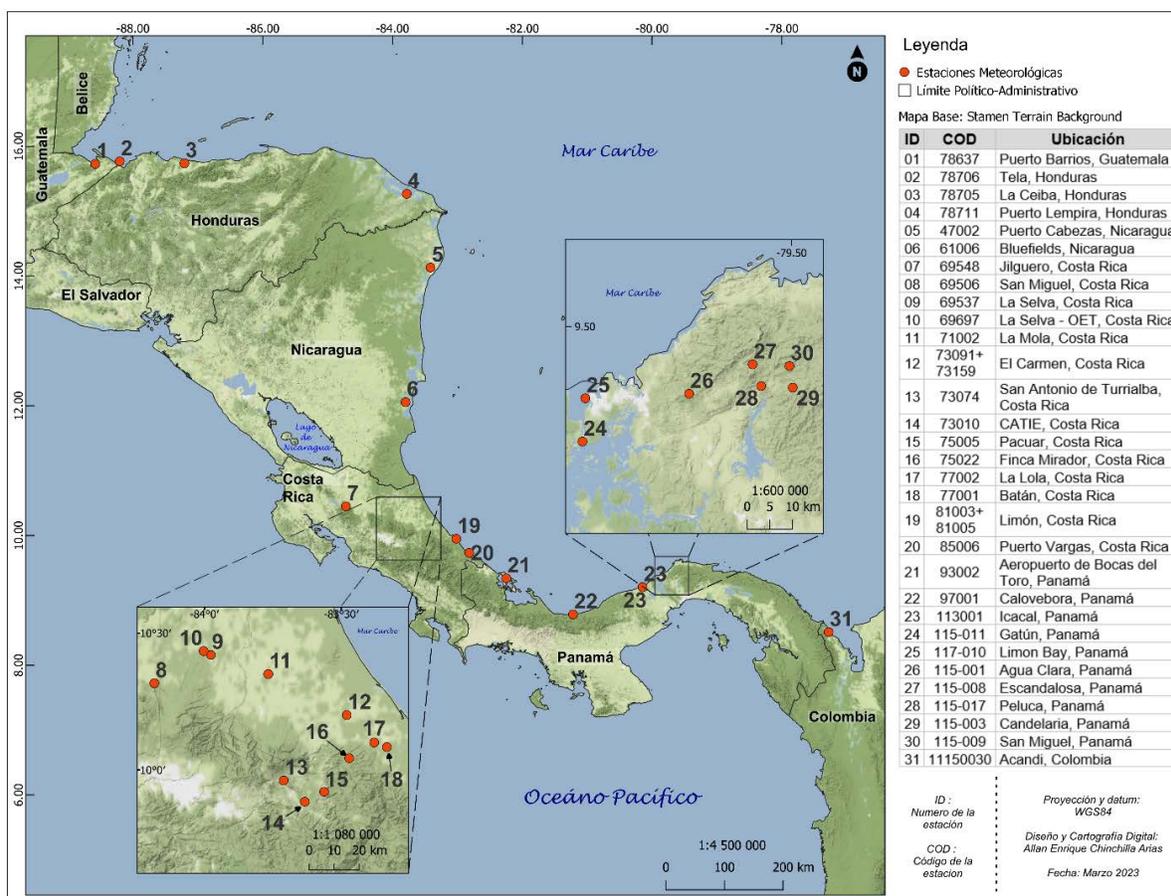


Figura 1. Ubicación de las 31 estaciones utilizadas. Se consideraron solo las estaciones que presentaron una disminución de las lluvias entre agosto y noviembre de acuerdo con su ciclo anual (ver **Figuras 2 y 3**). Los metadatos de las estaciones se incluyen en la **Anexo 1**.

Figure 1. Location of the 31-gauge stations used. We considered only stations that showed a precipitation decrease between August and November, according to their annual cycle (see **Figures 2 and 3**). Station metadata is included in **Annex 1**.



Se seleccionaron, por inspección visual, solo aquellas estaciones que presentaron un mínimo de lluvias entre los meses de agosto y noviembre de acuerdo con su ciclo anual, basado en los acumulados climáticos mensuales. Una condición adicional fue tener al menos un 85 % de datos en sus registros entre 1979 y 2010, sin embargo, para lograr una mayor cobertura espacial y contribuir con el proceso de rellenado de datos faltantes, se consideraron también las estaciones de La Selva en Costa Rica y Bluefields en Nicaragua, con 24.2 y 23.6 % de datos faltantes, respectivamente (**Anexo 1**). El conjunto de estaciones escogidas y el periodo seleccionado fue una solución de compromiso para lograr una buena cobertura espacial en la VC de AC y registros diarios con la mayor cantidad de datos disponibles, ya que 24 de estas estaciones tienen menos del 5 % de sus registros incompletos durante ese periodo (**Anexo 1**).

Algunas de las fuentes de variabilidad climática que pueden modular las lluvias en la región de interés en la VC son: El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), Atlántico Tropical Norte (ATN) y la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe o CLLJ por sus siglas en inglés (*Amador 2008; Enfield y Alfaro, 1999; Hidalgo et al., 2015*). Para el 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. 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>. En el caso del ATN (ATN, 5.5° N - 23.5° N), se utilizó el índice disponible en el sitio web <https://psl.noaa.gov/data/correlation/tna.data>.

Se calculó el índice referente a la CLLJ a partir de datos de viento zonal a la altura de 925 hPa utilizando el reanálisis de NCEP/NCAR (*Kalnay et al., 1996*) y según las características de la CLLJ descritas en *Amador (2008)* y *Amador et al. (2010)*. 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 y las longitudes 85° O - 75° O a una altura de 925 hPa. El trabajo de *Amador (2008)* describe la CLLJ como una corriente de movimiento rápido sobre el MC, principalmente zonal, en donde 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.

2.2 Proceso metodológico

Como se muestra en el **Anexo 1**, algunos de los registros de precipitación de las estaciones meteorológicas presentaban datos faltantes, por ello, se rellenaron utilizando la metodología propuesta por *Ureña et al. (2016)*, que combina modelos autorregresivos y componentes principales. Luego, basado en la metodología desarrollada para el análisis de los eventos del veranillo o canículas en *Alfaro (2014)*, y también aplicada por *Alfaro e Hidalgo (2017)*, las series de tiempo de precipitación diaria se filtraron utilizando un promedio móvil de peso triangular con una ventana de 31 días (*Soley, 1994*). Lo anterior, para evitar o minimizar las interrupciones en la disminución de la precipitación debido a posibles fortalecimientos de corta duración de los vientos alisios durante los eventos.



Utilizando las series suavizadas del paso anterior, se examinaron, en cada una de ellas y para todos los años, los meses de julio a noviembre para encontrar el mínimo de precipitación en ese periodo, el cual se tomó como la fecha (en días julianos) del mínimo de precipitación del evento durante ese año en particular. Para cada año, la fecha del inicio del evento se definió como el día en donde la precipitación empieza a disminuir y la del final de cada uno cuando esta serie deja de aumentar. La duración de este se estimó como la fecha del final menos la del inicio en días julianos. La intensidad de cada evento se asoció a la precipitación promedio diaria durante los eventos y la magnitud de cada uno de ellos se definió como el valor de precipitación localizado en la fecha del mínimo del valle de cada evento en particular. La **Figura 2** muestra, como ejemplo, la caracterización del año 1985 en la estación de Limón. De acuerdo con esta figura, el evento del año 1985 inició el 3 de septiembre y finalizó el 12 de octubre, para una duración de 40 días. El mínimo se ubicó el 22 de septiembre con una precipitación asociada de 1.6 mm (magnitud). La precipitación promedio (intensidad) estimada entre las fechas del inicio y final fue de 6.2 mm día⁻¹.

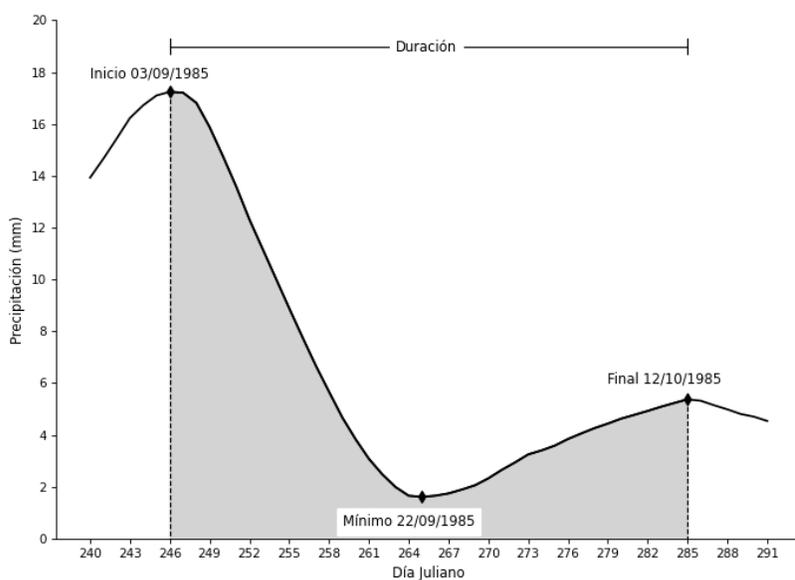


Figura 2. Caracterización de evento para el año 1985 en la estación de Limón. De acuerdo con esta figura, el evento del año 1985 inició el 3 de septiembre y finalizó el 12 de octubre, para una duración de 40 días. El mínimo se ubicó el 22 de septiembre con una magnitud de 1.6 mm y una intensidad de 6.2 mm día⁻¹.

Figure 2. Characterization of the 1985 event at Limon station. According to this figure, the event started on September 3rd and ended by October 12th, with a duration of 40 days. Its minimum was located on September 22nd, with a magnitude of 1.6 mm and an event intensity of 6.2 mm day⁻¹.

Del procedimiento anterior, se obtuvieron entonces seis series anuales para cada estación de 32 años cada una, lo anterior también para atender la recomendación de la Organización



Meteorológica Mundial (OMM) de usar al menos de 24 a 30 años de datos al calcular valores medios climáticos (OMM, 2017). Se calcularon seis índices regionales de 32 años, correspondientes a las series de tiempo de la mediana para los valores observados en cada estación durante un año determinado. Se estimaron modelos de regresión usando los valores medios de las seis series anuales en cada estación como variables dependientes y el tiempo, la latitud y la longitud, como variables independientes, con el fin de observar alguna tendencia temporal o espacial.

De los índices climáticos, se analizó el mes de septiembre, debido a que es cuando suelen presentarse los mínimos de precipitación de los eventos analizados (ver **Figuras 3, 4** y **Anexo 1** de la sección 3 más adelante). Se calculó también el dipolo entre las TSM del Atlántico Tropical Norte y el Pacífico ecuatorial usando los índices N3.4 y ATN, ya que, [Maldonado et al. \(2013\)](#) observaron que la configuración de los océanos circundantes a AC modula también la precipitación en la VC durante esta época del año. Para la comparación de ambos índices, se obtuvieron las anomalías normalizadas de las series del N3.4 y ATN, es decir, a cada dato de la serie se le restó su media y se dividió entre su desviación estándar del periodo 1979-2010, luego simplemente se realizó la resta de los índices normalizados, es decir, ATN-N3.4 del mes de setiembre.

Por último, se consultaron los Boletines Meteorológicos Mensuales producidos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica para examinar los posibles fenómenos meteorológicos que influyen la disminución de las precipitaciones en la costa Caribe durante SO, especialmente al sur del istmo. Los años consultados fueron aquellos catalogados por debajo del primer cuartil (Q_1) de las series anuales de magnitud o intensidad. También se revisó el año en que se presentó en términos generales el evento más tardío y el de mayor duración.

3. Resultados y discusión

3.1 Ciclo anual de las estaciones

En la **Figura 3** se presenta el ciclo anual promedio de las estaciones mostradas en la **Figura 1**, el cual es de tipo bimodal, aunque tiene características distintas (o incluso inversas en algunas temporadas del año) al observado en la vertiente del Pacífico (p.ej., [Alfaro, 2002](#); [Alfaro e Hidalgo, 2021](#)) y coincide en términos generales con lo mostrado por [Alfaro \(2002\)](#), [Maldonado et al. \(2021\)](#), [Martínez et al. \(2019\)](#), [Sáenz y Amador \(2016\)](#), para la VC de AC.

Este ciclo anual estima acumulaciones anuales medias entre 2570 y 4758 mm. Obsérvese también de esta figura, que no se podría definir una estación seca de manera clara, ya que prácticamente en todos los meses la precipitación supera el umbral de los 5 mm día⁻¹, el cual es un valor típico de evapotranspiración en los trópicos ([Gray, 1993](#)).

Esta climatología muestra dos máximos, uno en noviembre y otro secundario en julio, con un valor mínimo absoluto durante el mes de marzo de 4.8 mm día⁻¹. Este valor mínimo de marzo ocurre en ambas vertientes del istmo, Pacífico y Caribe (p.ej., [Alfaro, 2002](#); [Alfaro e Hidalgo, 2021](#)), explicado en parte por la poca convergencia de humedad observada en la región



entre los meses de enero y mayo (Alfaro, 2002). Los meses más lluviosos son los de noviembre y diciembre, con valores de 14.3 y 12.6 mm día⁻¹, respectivamente. Durante estos meses inicia el incremento en la magnitud del viento alisio sobre la región (Alfaro *et al.*, 2018; Amador *et al.*, 2016) y también inicia la incursión de frentes fríos en el mar Caribe (Amador *et al.*, 2016; 2006; Chinchilla *et al.*, 2017; 2016; Zárate-Hernández *et al.*, 2013), lo cual favorece la ocurrencia de lluvias y eventos extremos en la VC. El mes de julio presenta un máximo secundario de 12.8 mm día⁻¹, en concordancia con un máximo en la convergencia de humedad en el mar Caribe (Alfaro, 2002) y el máximo absoluto del CLLJ (p.ej., Amador 2008; Hidalgo *et al.*, 2015; Maldonado *et al.* 2018), lo cual favorece el mecanismo propuesto por Hidalgo *et al.*, (2015) que es productor de precipitaciones sobre la VC de AC. Se observa también un mínimo secundario durante los meses de septiembre y octubre, con valores de 9.3 y 11.4 mm día⁻¹. Durante estos meses la magnitud del viento alisio es mínima (Alfaro 2002; Alfaro *et al.*, 2018; Sáenz y Amador 2016; Amador *et al.*, 2016; Taylor y Alfaro 2005) lo cual no favorece el transporte de humedad hacia el istmo centroamericano (Durán-Quesada *et al.*, 2017), observándose también la ocurrencia de oestes ecuatoriales (alisios del hemisferio sur) con componente suroeste sobre el PTE. Durante este bimestre de SO es también cuando se presenta la mayor probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales en el MC, cerca de AC (Alfaro y Quesada, 2010), lo cual favorece la ocurrencia de oestes sinópticos sobre la región, debido a la circulación inducida del PTE hacia el MC por la baja presión del sistema (Hidalgo *et al.*, 2020; 2022), que no favorece las lluvias en la VC, especialmente al sur del istmo. Esta circulación también puede ser inducida por la posición de algunos ciclones tropicales en esta región (Hidalgo *et al.*, 2020; 2022), y es septiembre el mes de mayor ocurrencia de ciclones tropicales con nombre en el PTE (Amador *et al.*, 2016). Los meses de marzo y julio fueron los meses de menor y mayor variabilidad climática, respectivamente.

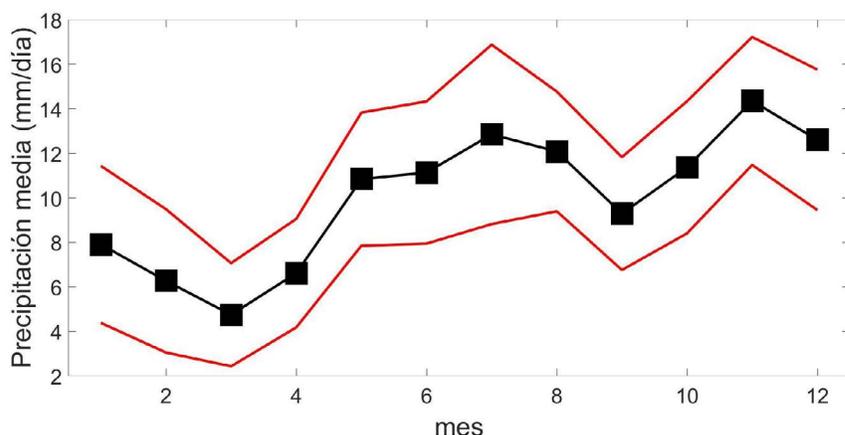


Figura 3. La línea negra con cuadrados corresponde al promedio del ciclo anual de precipitación de las estaciones utilizadas (Figura 1 y Anexo 1). Las líneas rojas muestran una desviación estándar a partir del valor medio como referencia.
Figure 3. Average of the station's precipitation annual cycle (black squared line) (Figure 1 and Annex 1). As a reference, solid red lines are one standard deviation from the mean value.



3.2 Características medias de los eventos

El **Cuadro 1** resume los valores de las medias y la desviación estándar de las seis variables consideradas para todos los valores observados en las 31 estaciones meteorológicas durante los 32 años, como referencia. Los valores de las medias y la desviación estándar de las seis variables consideradas para cada una de las estaciones del **Anexo 1** y **Figura 1**, se muestran en los Cuadros de los **Anexos 2 y 3**.

Cuadro 1. Valores de las medias y desviaciones estándar para las características asociadas al descenso de las precipitaciones durante SO en la VC de AC.

Table 1. Mean and standard deviation values for the rainfall decrease observed during September and October in the Caribbean slope of Central America.

	Media	Desviación estándar
Inicio	3 de setiembre	22.82 días
Fecha del mínimo	23 de setiembre	21.22 días
Final	12 de octubre	23.13 días
Duración	39 días	14.73 días
Intensidad	9.80 mm día ⁻¹	3.64 mm día ⁻¹
Magnitud	5.52 mm	2.95 mm

Los valores del **Cuadro 1** muestran la importancia del uso de datos diarios para el estudio de estos eventos. Sus valores medios y su variabilidad muestran que estos pueden iniciar entre mediados o finales de agosto y la tercera semana de setiembre. También que estos pueden finalizar desde la tercera semana de setiembre hasta principios de noviembre.

La **Figura 4** muestra los resultados obtenidos usando estadísticos robustos para las seis variables consideradas del descenso de las precipitaciones en la VC de AC durante SO. De acuerdo con el ámbito intercuartil (Q_3-Q_1 , 50 % de los casos), se observa que el inicio de los eventos tiende a darse entre 28 de agosto y el 7 de setiembre, su mínimo entre el 17 y el 24 de setiembre y el final entre el 6 y el 12 de octubre. El año 1986 tuvo un inicio, una fecha del mínimo y un final muy tardío del evento (7, 27 de octubre y 12 de noviembre, respectivamente). La fecha del mínimo del evento se presentó tardíamente también para el año 1991 y 2007, en donde el evento también terminó tardíamente para ese año. La fecha del mínimo del evento se observó en forma temprana en el año 1999 y finales tempranos se observaron para los eventos de los años 1979, 1993 y 1996. Nótese que la variabilidad observada entre las fechas de los eventos no fue muy alta, lo que contrasta con lo obtenido por Alfaro (2014) para los eventos del veranillo en las cuencas de los ríos Tempisque y Tárcoles de Costa Rica.



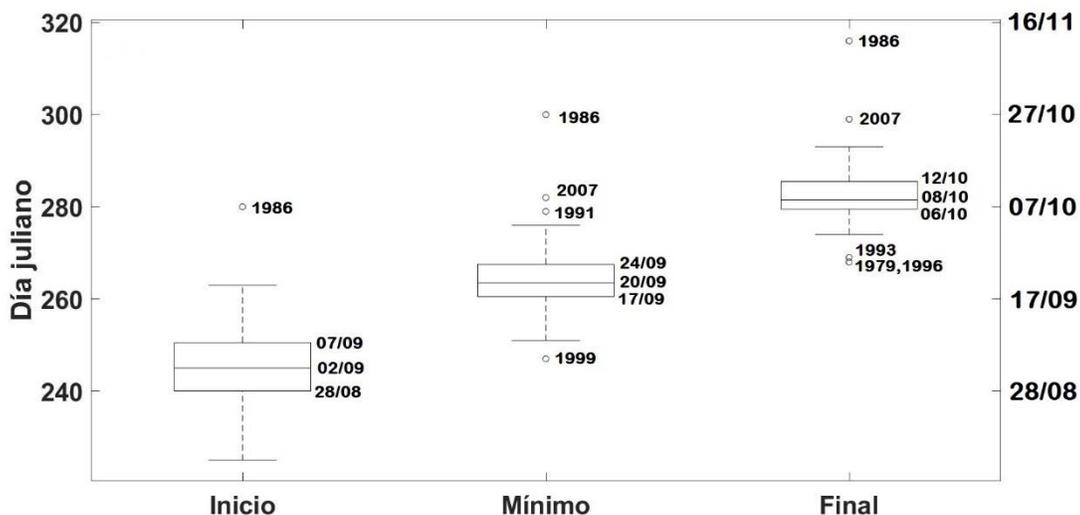


Figura 4. Gráficos de cajas para las fechas del inicio, mínimo y final de los eventos. Los bigotes se calcularon como $Q_3 + 1.5 * (Q_3 - Q_1)$ y $Q_1 - 1.5 * (Q_3 - Q_1)$, con Q_1 y Q_3 el primer y tercer cuartil, respectivamente. Se etiquetan los años fuera del rango de estos bigotes. En el eje y se dan las fechas julianas (izquierda) y gregorianas (derecha).
Figure 4. Box plots for the Start, Timing and End of the events. Whiskers are for $Q_3 + 1.5 * (Q_3 - Q_1)$ and $Q_1 - 1.5 * (Q_3 - Q_1)$, with Q_1 and Q_3 the first and third quartiles, respectively. Years outside the whiskers range are labeled. Julian and Gregorian dates are in the left and right y-axes.



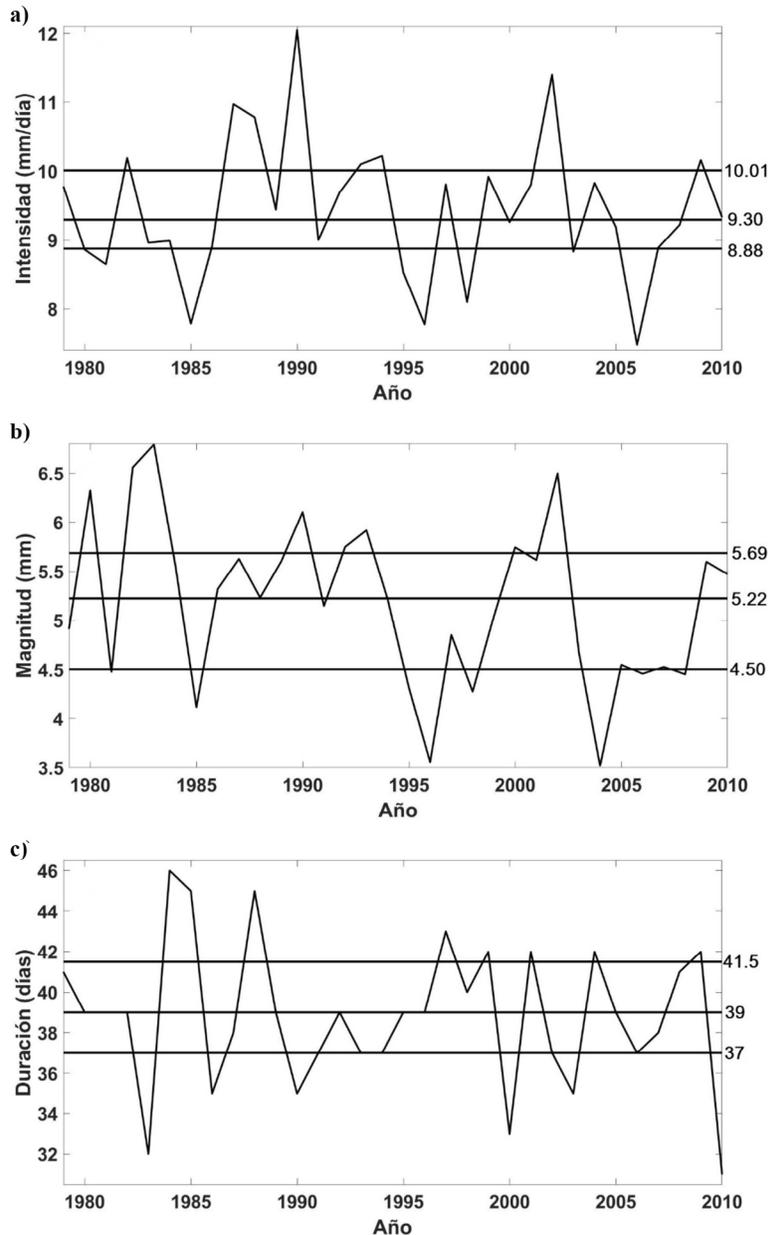


Figura 5. Características del descenso de las precipitaciones en la vertiente Caribe de América Central durante septiembre y octubre. a) Intensidad, b) Magnitud y c) Duración de los eventos, las líneas horizontales son para los cuartiles Q₁, Q₂ (mediana) y Q₃.

Figure 5. Characteristics of the decrease in rainfall on the Caribbean slope of Central America during September and October. a) Intensity, b) Magnitude and c) Duration of the events, the horizontal lines are for the Q₁, Q₂ (median) and Q₃ quartiles.



El 50 % de las observaciones de la duración de los eventos se ubicaron entre los 37 y 42 días (**Figura 5c**), las intensidades de los eventos se observaron entre 8.9 y 10 mm día⁻¹ y entre 4.5 y 5.7 mm para las magnitudes de estos (**Figuras 5a y 5b**). Dentro de los años que presentaron condiciones más secas al tomar en cuenta estos dos últimos aspectos están 1981, 1985, 1995, 1996, 1998, 2004, 2006 y 2008. El **Cuadro 2** muestra los valores de los índices climáticos durante los meses de septiembre para estos años. El análisis también mostró al año 1984 como el evento de mayor duración con 46 días (**Figura 5c**), iniciando en los primeros días de septiembre y finalizando en la tercera semana de octubre.

Los resultados de los modelos de regresión solo mostraron una tendencia negativa de -0.03 mm año⁻¹, significativa al 95 % ($\alpha < 0.05$), lo que indica que los valores medios de lluvia observados en las fechas del mínimo del evento fueron cada vez menores en el periodo estudiado. Espacialmente, se encontraron tendencias negativas entre el inicio del evento, la fecha del mínimo y la latitud de la estación (-0.77 y -0.75 día juliano °N⁻¹, respectivamente), significativas al 99 % ($\alpha < 0.01$). También hubo tendencias negativas entre estas dos características de los eventos y la longitud de la estación (-0.53 y -0.44 día juliano °O⁻¹, respectivamente), significativas al 95 % ($\alpha < 0.05$). Las fechas del final de los eventos mostraron el mismo patrón que las anteriores, pero solo presentaron tendencias marginalmente significativas con la latitud y la longitud de las estaciones (-0.48 día juliano °N⁻¹ y -0.35 día juliano °O⁻¹), con un α de 0.09 y 0.14, respectivamente. Lo anterior sugiere que los eventos tienden a presentarse en fechas más tempranas en las estaciones ubicadas al noroeste del istmo. La duración, magnitud e intensidad no mostraron tendencias espaciales estadísticamente significativas.

3.3 Valores de los índices climáticos durante los eventos más secos

Los valores de las anomalías de los índices climáticos usados mostraron que, durante el mes de setiembre, las condiciones más secas, de acuerdo con las **Figuras 5a y 5b**, se observaron cuando el océano ATN está relativamente más cálido que el N3.4 o con anomalías de viento oeste para el CLLJ (**Cuadro 2**). Lo anterior favorece el debilitamiento del viento alisio e incluso la ocurrencia de oestes ecuatoriales en el istmo (*Muñoz et al., 2002*). Esto concuerda también con los resultados de *Maldonado et al. (2013)*, quienes observaron que esta configuración de los océanos circundantes a AC coincide con anomalías negativas de precipitación en la mayoría de las estaciones ubicadas en la VC durante el trimestre de agosto a octubre. Por otro lado, esta condición observada en el CLLJ, no favorece las precipitaciones en la VC del istmo de acuerdo con el mecanismo propuesto por *Hidalgo et al. (2015)*.



Cuadro 2. Valores observados de las anomalías en el mes de septiembre para los índices climáticos durante los años en que la magnitud y la intensidad mostraron los valores más bajos. ATN-N3.4, se refiere a la diferencia de los valores normalizados en estos dos índices. CLLJ se refiere a la anomalía normalizada de los valores de este índice.

Table 2. September anomaly observed values in the climatic indices for the years in which the intensity and the magnitude of the events were low. ATN-N3.4 is the normalized index difference. CLLJ is the normalized anomaly of the index values.

Año\Índice	ATN (°C)	N3.4 (°C)	ATN-N3.4	CLLJ
1981	0.14	-0.2	0.02	0.14
1985	-0.16	-0.71	-0.33	0.24
1995	0.4	-0.84	1.58	1.5
1996	0.15	-0.46	0.35	0.5
1998	0.51	-1.27	2.43	0.88
2004	0.59	0.8	0.28	2.39
2006	0.69	0.59	0.84	-0.86
2008	0.57	-0.26	1.45	2.27

3.4 Reportes sinópticos de los boletines meteorológicos mensuales

A continuación, se revisan aquellos boletines meteorológicos emitidos por el IMN de Costa Rica, con el fin de encontrar situaciones sinópticas, especialmente al sur de la región de AC, que pudieron favorecer principalmente la ocurrencia de oestes sinópticos y ecuatoriales durante los meses de setiembre y octubre de los años listados en el **Cuadro 2** y que no favorecen las precipitaciones en la VC. Se hizo el análisis para los eventos más secos debido a que estos son los que podrían tener repercusiones en distintos sectores socioeconómicos como suministro de agua potable o agricultura. También se comentó lo relacionado con el evento de mayor duración y el más tardío.

El **IMN (1981)** señaló que, durante la tercera semana de septiembre de 1981, se reportaron vientos con componente oeste sobre la región. Agrega que en octubre se observó también una disminución considerable en la velocidad y frecuencia de los vientos alisios, en donde se observaron vórtices ciclónicos en el MC durante la tercera semana del mes. Esta circulación favoreció la escasa lluvia acumulada sobre la VC. En la estación de Limón, por ejemplo, la precipitación mensual acumulada se redujo en un 54 %, respecto a la media mensual.

IMN (1984a) señaló que, en septiembre de 1984, hubo flujo del suroeste persistente hasta por días continuos asociado con oestes ecuatoriales, lo que disminuyó la precipitación en el Caribe. Esta situación persistió durante octubre, ya que **IMN (1984b)** reportó que la característica más importante de ese mes fue la aparición de días consecutivos de viento del oeste en una capa considerable de la atmósfera superior que en ocasiones se extendió hasta casi la superficie.

De acuerdo con **IMN (1985)**, durante octubre de 1985, hubo un fuerte empuje de oestes sinópticos por el anticiclón semipermanente del sur, registrado por barcos en el MC en los alrededores de la isla de San Andrés, debido a áreas de baja presión a lo largo de AC y el MC que favorecieron el paso sobre el territorio del flujo de gran escala del suroeste, lo cual no favoreció las precipitaciones en la VC del istmo.



Durante el evento tardío de 1986, IMN (1986a) señala que las condiciones atmosféricas de octubre presentaron una característica especial que es relevante destacar. Se observó en los primeros días del mes que la circulación general fue muy zonal. Esto quiere decir que el viento en el área de AC circuló siguiendo aproximadamente los paralelos. Este tipo de circulación está asociada con un aumento de las áreas con baja presión en el MC, las cuales favorecieron la situación especial que se presentó a partir del día 8. En ese día, aire frío de niveles superiores de la atmósfera (entre 15 ~ 20 km de altura), que se desprendió de la zona de vientos de alta velocidad ubicada a 30° N (corriente en chorro), se desplazó hacia el sur y alcanzó nuestro país el día 10. Como resultado se generó una circulación ciclónica en esos niveles y asociado a esta un campo nuboso denso, producto de la inestabilidad térmica de la atmósfera. Esta nubosidad afectó la mayor parte del territorio nacional durante los días 10, 11 y 12 al causar un “temporal” sobre la vertiente pacífica y disminuir las lluvias en la VC, lo cual gatilló el inicio tardío del evento al establecer oestes sinópticos sobre la región. Este sistema evolucionó luego en el huracán Roslyn. Durante los primeros días del mes de noviembre, IMN (1986b) señala que se observó, además, un “bloqueo omega” al norte del MC, lo que provocó subsidencia sobre AC y no favoreció las lluvias, ya que formó inversiones térmicas, con una prevalencia de viento alisio moderado.

Alvarado y Zúñiga (1995) identificaron que una de las regiones en donde llovió menos durante setiembre de 1995, fue en la costa Caribe de Costa Rica, explicado en parte por la alta ocurrencia de vientos con componente sur sobre el istmo desde superficie hasta los 400 hPa. Además, tres vórtices ciclónicos indujeron oestes sinópticos sobre la región, incluidos los de los huracanes Luis y Opal. Este último extendió su influencia hacia los primeros días de octubre y fue sucedido por el ciclón tropical Roxanne, con condiciones secas en el Caribe del istmo hasta cerca del día 20 (Katchan, 1995).

Alvarado *et al.* (1996) señalaron que, durante septiembre de 1996, las mayores anomalías climáticas en Costa Rica se registraron en la VC y la Zona Norte, donde imperaron condiciones secas, con un déficit del 50 % en la estación de Limón. En promedio, se observaron vientos con componente del sur desde superficie hasta los 400 hPa. Esta meridionalidad no contribuyó a las lluvias en la VC. Al final del mes y cerca de Costa Rica, el flujo manifestaba la existencia de oestes sinópticos, en parte debido al vórtice ciclónico al oeste de Nicaragua y un anticiclón al sur de Costa Rica. Según Alvarado (1996), el déficit de precipitaciones en la VC se extendió al mes de octubre (-46 % en Limón). En este mes hubo ocurrencia de oestes sinópticos al sur del istmo debido al huracán Lilly durante la segunda mitad del mes, lo que inhibió la ocurrencia de precipitaciones en la costa Caribe.

GO (1998) señala que, durante septiembre de 1998, las lluvias en la VC de Costa Rica fueron escasas, particularmente en las zonas costeras, con un déficit del 76 % en la estación de Limón. Agrega que el viento alisio sobre el país en general fue débil y se observó subsidencia de aire sobre la costa Caribe, lo cual incidió en la supresión de lluvia. Según IMN (1998), estas condiciones secas se extendieron también a octubre. Además, el huracán Mitch indujo oestes sinópticos sobre el sur del istmo durante la segunda mitad de octubre, lo cual no favoreció la ocurrencia de precipitaciones en la VC.



Alvarado (2004) mostró que, durante septiembre de 2004, prevalecieron condiciones secas en la costa del Caribe sur de Costa Rica, observándose además muchos días secos en toda la VC y Zona Norte. Estas condiciones fueron más evidentes la segunda y tercera semana de este mes. Además, el paso de los ciclones tropicales huracán Iván y Jeanne indujeron oestes sinópticos sobre la región, al igual que el paso de tres ondas tropicales, cuatro vaguadas de altura y una zona de divergencia en altura cerca de Cuba, lo que no favoreció las lluvias en la VC de AC. Agrega Stolz (2004) que, en octubre, sobre el MC se observó una ligera ondulación en el flujo del viento, lo que refleja que no hubo actividad en lo que a ondas tropicales se refiere, ello no favoreció la producción de lluvias sobre el Caribe. Menciona también que la anomalía de la circulación del flujo en 500 hPa muestra que sobre gran parte de AC existió un flujo anticiclónico proveniente del Golfo de México, lo que estaría relacionado con subsidencia sobre la mayor parte del istmo centroamericano que no favorece la aparición de sistemas precipitantes.

Según Alvarado (2006), el Caribe costarricense fue una región con cantidades bajas de lluvia durante septiembre de 2006, lo cual pudo estar influenciado por la Oscilación de Madden-Julian (OMJ). Stolz (2006) reportó también que octubre fue un mes deficitario, en cuanto a lluvias se refiere, en la Zona Norte y región Caribe de Costa Rica, en donde la OMJ y el paso de ondas tropicales indujeron circulaciones de vientos oestes en superficie favorables para las lluvias en la vertiente del Pacífico, pero no en la VC.

Según GAP (2008), durante setiembre de 2008, la VC y la Zona Norte de Costa Rica presentaron menos lluvias que las normales (-35 % y -29 %, respectivamente) y el istmo tuvo la influencia indirecta de dos huracanes (Hanna y Ike) durante las dos primeras semanas de setiembre. Estos ciclones indujeron oestes sinópticos sobre la región, con lluvias sobre la vertiente del Pacífico, pero no favorecieron estas en la VC. Uno de los factores sinópticos más relevantes en la dinámica atmosférica de este mes fue el constante flujo de viento sinóptico proveniente del oeste hacia la costa pacífica centroamericana. El sistema sinóptico conocido como “vaguada invertida” fue uno de los responsables de dicha circulación. Localizada en el MC, esta vaguada se observó en todos los niveles atmosféricos, desde superficie hasta la atmósfera alta. Según Chinchilla (2008), en el periodo del 1-25 de octubre se observó una capa de vientos oeste más amplia de lo normal que alcanzó los 750 hPa sobre AC. El sector Caribe en Costa Rica presentó un déficit de precipitación de -21 % durante este mes, favorecido por un sistema de baja presión a inicios del mes que indujo oestes sinópticos. Estos también ocurrieron debido a la depresión tropical #16 a mediados del mes frente al caribe hondureño.

4. Conclusiones

El mínimo de las precipitaciones observadas durante SO en la VC de AC, que podríamos definir como un *Mid-Autumn Decrease* o MAD en inglés, está asociado con un debilitamiento del viento alisio que disminuye el transporte de humedad desde el MC hacia el istmo, y afecta los mecanismos productores de precipitación en dicha vertiente. Las intensidades de los eventos se observaron entre 8.9 y 10 mm día⁻¹ y entre 4.5 y 5.7 mm para las magnitudes de estos, en el periodo 1979-2010.



Los resultados mostraron la importancia del uso de datos diarios para la caracterización de estos eventos, ya que su inicio tiende a darse entre el 28 de agosto y el 7 de septiembre, su mínimo entre el 17 y el 24 de septiembre y el final entre el 6 y el 12 de octubre. La duración de los eventos estuvo entre los 37 y 42 días. Estos tendieron a presentarse en fechas más tempranas en las estaciones ubicadas al noroeste del istmo y la precipitación observada en la fecha del mínimo del evento tendió a disminuir durante el periodo de estudio.

Los valores de las anomalías de los índices climáticos usados mostraron que, durante el mes de setiembre, las condiciones más secas de este estudio en la VC se observaron cuando el océano Atlántico está relativamente más cálido que el Pacífico ecuatorial o con anomalías de viento oeste para el CLLJ. Lo anterior favorece el debilitamiento del viento alisio e incluso la ocurrencia de oestes ecuatoriales en el istmo. Adicionalmente, en la mayoría de estos eventos, diversos sistemas meteorológicos, como la ocurrencia de ciclones tropicales cerca de la costa Caribe centroamericana, favorecieron oestes sinópticos, principalmente al sur del istmo. Todo lo anterior, propició condiciones de precipitación deficitaria en la VC de AC.

El conocimiento sobre estas características de la precipitación ayuda en la planificación de sectores socioeconómicos claves en esta región como son el agrícola (p.ej., bananero), generación hidroeléctrica, defensa civil (p.ej., atención de sequías) y turismo (p.ej., suministro de agua potable), ante eventuales eventos hidrometeorológicos adversos. También, obsérvese que la metodología desarrollada en este trabajo es aplicable al estudio de impactos locales, si se usa para una estación o un grupo de estaciones meteorológicas representativas de una unidad administrativa en particular, como un cantón o un distrito.

5. Agradecimientos

Eric Alfaro agradece a la Escuela de Física y Vicerrectoría de Docencia de la UCR, ya que este trabajo se realizó durante su periodo de Licencia Sabática. Se agradece a los siguientes proyectos inscritos en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR: B9454, B0810, C2806, C3991, A4906 y A5-719. A Blanca Calderón del CIGEFI y a los estudiantes Pablo Ureña, Yirleny Arias y Sebastián Ruiz por su ayuda con el procesamiento de los datos utilizados. Al CIGEFI y CIMAR, UCR, por su apoyo logístico durante la realización de la investigación. A los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos de AC por facilitar los datos usados en la investigación. A la revista y las personas revisoras anónimas, por sus útiles comentarios que mejoraron la versión final del escrito.

6. 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 completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.



7. Referencias

- Alfaro, E. J. & Hidalgo, H. G. (2017). Propuesta metodológica para la predicción climática estacional del veranillo en la cuenca del río Tempisque, Costa Rica, América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 16(1), 62-74. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20010>
- Alfaro, E. J. & Hidalgo, H. G. (2021). Inicio de la temporada de lluvias en América Central. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 20(1), 16-28. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86830>
- Alfaro, E. J. & Quesada, A. (2010). Ocurrencia de ciclones tropicales en el Mar Caribe y sus impactos sobre Centroamérica. *Revista Intersedes*, 11(22), 136-153. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/76464>
- Alfaro, E. J. (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. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/15428>
- Alfaro, E. J. (2014). Caracterización del “veranillo” en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical*, 62 (Supl. 4), 1-15. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20010>
- Alfaro, E. J., Chourio, X., Muñoz, Á. G., & Mason, S. J. (2018). Improved seasonal prediction skill of rainfall for the first season in Central America. *International Journal of Climatology*, 38(1), e255-e268. <https://doi.org/10.1002/joc.5366>
- Alvarado, L. F. (1996). Resumen meteorológico del mes de octubre. *Boletín Climatológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Alvarado, L. F. (2004). Comentario meteorológico de setiembre de 2004. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Alvarado, L. F. (2006). Comentario meteorológico de setiembre de 2006. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Alvarado, L. F. & Zúñiga, B. (1995). Resumen meteorológico del mes de setiembre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Alvarado, L. F., Pacheco, R., & Solera, M. (1996). Comentario meteorológico de setiembre de 1996. *Boletín Climatológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Amador J. A., Alfaro, E. J., Lizano, O. G., & Magaña, V. O. (2006). Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 101-142. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.007>



- 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
- Amador, J. A., Durán-Quesada, A. M., Rivera, E. R., Mora, G., Sáenz, F., Calderón, B., & Mora, N. (2016). The easternmost tropical Pacific. Part II: Seasonal and intraseasonal modes of atmospheric variability. *Revista de Biología Tropical*. 64 (Supl. 1), S23-57. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i1.23409>
- Chinchilla, G. (2008). Comentario meteorológico de octubre de 2008. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14627/OCTUBRE>
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J. y Zárate, E. (2016). Eventos extremos de lluvia ocasionados por empujes fríos que han llegado a Costa Rica en el periodo invernal (NDEF) del año 2000 al 2010: Líneas de cortante. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 15(2), 48-62. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/revista-topicos-meteorologicos-vol-15-2/>
- Chinchilla, G., Gutiérrez, J. y Zárate, E. (2017). Análisis sinóptico de casos de eventos extremos de lluvia asociados a líneas de cortante de empujes fríos que han llegado a Costa Rica en el periodo invernal. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 16(2), 5-18. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/revista-topicos-meteorologicos-vol-16-2-2017/>
- Durán-Quesada, A. M., Gimeno, L., & Amador, J. (2017). Role of moisture transport for Central American precipitation. *Earth System Dynamics*, 8, 1-15. <https://doi.org/10.5194/esd-8-147-2017>
- Duran-Quesada, A. M., Sorí, R., Ordoñez, P., & Gimeno, L. (2020). Climate Perspectives in the Intra-Americas Seas. *Atmosphere*, 11(9), 959. <https://doi.org/10.3390/atmos11090959>
- Enfield, D. B. & Alfaro, E. J. (1999). The dependence of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical *Atlantic and Pacific Oceans*. *Journal of Climate*, 12, 2093-2103. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012%3C2093:TDOCRO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012%3C2093:TDOCRO%3E2.0.CO;2)
- Fallas, J. C. y Oviedo, R. (2003). Fenómenos atmosféricos y cambios climáticos. *Visión Centroamericana*, 38. Instituto Meteorológico Nacional: San José, Costa Rica. <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc231/doc231.htm>
- Gestión de Análisis y Predicción [GAP]. (2008). Comentario meteorológico de setiembre de 2008. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14627/SEPTIEMBRE>



- Gestión Operativa [GO]. (1998). Comentario meteorológico de setiembre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Gray, C. (1993). Regional meteorology and Hurricanes. In: Maul, G. (Ed.) *Climate Change in the Intra Americas Sea* (pp. 87-99). Edward Arnold.
- Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Hernández-Castro, F., & Pérez-Briceño, P.M. (2020). Identification of Tropical Cyclones' Critical Positions Associated with Extreme Precipitation Events in Central America. *Atmosphere*, 11(10), 1123. <https://doi.org/10.3390/atmos11101123>
- Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Valverde, K. T., & Bazo, J. (2022). Probability of induced extreme precipitation events in Central America due to tropical cyclone positions in the surrounding oceans. *Natural Hazards*, 116, 2917-2933. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05790-1>
- 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), 41-59. <https://doi.org/10.1111/geoa.12085>
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1981). Comentario-setiembre y octubre 1981. *Boletín Climatológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1984a). Resumen sinóptico setiembre 1984. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1984b). Resumen sinóptico del mes de Octubre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1985). Resumen sinóptico del mes de octubre 1985. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1986a). Resumen de las condiciones meteorológicas del mes de octubre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1986b). Resumen de las condiciones meteorológicas del mes de noviembre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (1998). Comentario meteorológico de octubre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., & Reynolds, R., (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)





- Katchan, I. (1995). Resumen meteorológico del mes de octubre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Maldonado T., Alfaro E. J., & 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(Suppl. 1): S153-S175. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.33294>
- Maldonado, T., Alfaro, E. J., & Hidalgo, H. G. (2021). Análisis de los conglomerados de precipitación y sus cambios estacionales sobre América Central para el período 1976-2015. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 28(2), 337-362. <https://doi.org/10.15517/rmta.v28i2.42322>
- Maldonado, T., Alfaro, E. J., 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/10.5194/adgeo-33-41-2013>
- Martínez, C., Goddard, L., Kushnir, Y., & Ting, M. (2019). Seasonal Climatology and Dynamical Mechanisms of Rainfall in the Caribbean. *Climate Dynamics*, 53, 825-846. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04616-4>
- Muñoz, A. C., Fernández, W., Gutiérrez, 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. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20021/offline/download.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas (OMM/TD-No. 1203)*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167
- Pérez-Briceño, P. M., Amador-Astúa, J. A. y Alfaro, E. J. (2017). Dos propuestas de clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense según el sistema de Thornthwaite. *Revista de Climatología*, 17, 1-16. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75981>
- Poleo, D., Solano, E. y Stolz, W. (2014). La oscilación Madden-Julian y las precipitaciones extremas en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 13(2), 5-18. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20142/offline/download.pdf>
- Sáenz, F. y Amador, J. A. (2016). Características del ciclo diurno de precipitación en el Caribe de Costa Rica. *Revista de Climatología*, 16, 21-34. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/75970>
- Soley, F. J. (1994). Suavizamiento de series cronológicas geofísicas con ruido blanco y rojo aditivo. *Revista Geofísica*, 41, 33-58. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/590>





- Stolz, W. (2004). Resumen meteorológico octubre. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Stolz, W. (2006). Comentario meteorológico de octubre de 2006. *Boletín Meteorológico Mensual*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/14623/OCTUBRE>
- Taylor, M. A. & Alfaro, E. J. (2005). Central America and the Caribbean, Climate of. In: Oliver, J. E. (Eds), *Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_37
- Ureña, P., Alfaro, E. J., & 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>
- Wang, C. & Enfield, D. B. (2003). A further study of the tropical Western Hemisphere warm pool. *Journal of Climate*, 16, 1476-1493. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1476:AFSOTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1476:AFSOTT>2.0.CO;2)
- Zárate-Hernández, E. (2013). Climatología de masas invernales de aire frío que alcanzan Centroamérica y el Caribe y su relación con algunos índices Árticos. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 12(1), 35-55. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20131/offline/download.pdf>

