

Evaluación de la Agresividad Climática y Concentración de Precipitaciones en la Cuenca Chancay-Lambayeque, Perú

Arriola, Guillermo^{1,*} ; Villegas, Luis¹ ; Marín, Noe¹ ; Idrogo, César¹ ; Piedra, José² ; Arbulú, José³ 

¹Universidad Señor de Sipán, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Pimentel, Perú

²Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Civil, Jaén, Perú

³Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura, Lambayeque, Perú

Resumen: El comportamiento de las precipitaciones en el norte peruano se caracteriza por presentar lluvias con pocos meses lluviosos y muchos meses secos, por lo cual, surge la necesidad de abordar el estudio de la regularidad de las lluvias en esta zona del país con fines de pronóstico y prevención. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la agresividad climática y concentración de precipitaciones empleando los índices de Fournier (IF), Fournier modificado (IFM), Fournier-Maule modificado (IFMM) y concentración de precipitaciones (ICP), estos parámetros permiten estimar la agresividad y concentración pluvial empleando precipitaciones mensuales y anuales con correlaciones respecto a la altitud y la precipitación media. Para este caso, se usaron registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas de la cuenca Chancay-Lambayeque ubicada en el norte de Perú agrupadas mediante su vector regional. Los resultados indican una buena correlación entre la altitud y la precipitación media ($R^2 = 0,69$), además el índice de agresividad climática que mejor desempeño muestra es el IFMM respecto a la altitud ($R^2 = 0,62$) y precipitación media ($R^2 = 0,87$), también el ICP indica buenas correlaciones en cuanto a la altitud ($R^2 = 0,69$) y precipitación media ($R^2 = 0,62$). En consecuencia, los hallazgos de la investigación manifiestan que el IFMM y ICP son los mejores estimadores para la cuenca estudiada ya que explican su agresividad climática variable y un comportamiento estacional según la concentración de precipitaciones.

Palabras clave: Agresividad climática; altitud; concentración de precipitación; cuenca; estaciones meteorológicas

Assessment of Climatic Aggressiveness and Precipitation Concentration in the Chancay-Lambayeque Basin, Peru

Abstract: The behavior of precipitations in northern Peru is characterized by having rains with few rainy months and many dry months, which is why there is a need to address the study of the regularity of rains in this area of the country for forecasting and prevention purposes. The objective of this research was to evaluate the climatic aggressiveness and precipitation concentration using Fournier (IF), modified Fournier (IFM), modified Fournier-Maule (IFMM) and precipitation concentration (ICP) index, since these parameters allow estimating the aggressiveness and pluvial concentration using monthly and annual precipitations with correlations with respect to altitude and mean precipitation, which for this case pluviometric records from meteorological stations of the Chancay-Lambayeque basin located in northern Peru were used grouped by their regional vector. The results indicate a good correlation between altitude and mean precipitation ($R^2 = 0,69$), in addition climatic aggressiveness index that shows the best performance is IFMM with respect to altitude ($R^2 = 0,62$) and mean precipitation ($R^2 = 0,87$), ICP also indicates good correlations in terms of altitude ($R^2 = 0,69$) and media precipitation ($R^2 = 0,62$). Consequently, the research findings show that IFMM and ICP are the best estimators for the studied basin as they explain its variable climatic aggressiveness and seasonal behavior according to precipitations concentration.

Keywords: Climatic aggressiveness; altitude; precipitation concentration; basin; meteorological stations

1. INTRODUCCIÓN

La agresividad climática permite analizar el comportamiento de las precipitaciones desde un nivel diario hasta varios años en una región específica tanto a nivel de país como a nivel de

una cuenca hidrográfica (Camarasa et al., 2020), respecto a ello se puede indicar que existe además un aumento de la variabilidad estacional de las lluvias en los diversos climas a nivel mundial, por ello es importante abordar su estudio (Burt et al., 2016). Así mismo, la aparición o no de días con lluvias

*garriola@crece.uss.edu.pe

Recibido: 15/09/2021

Aceptado: 21/06/2022

Publicado en línea: 04/08/2022

10.33333/rp.vol50n2.02

CC 4.0

puede generar cambios en la secuencia hidrológica volviéndolo aleatorio (Benhamrouche & Martín-Vide, 2012), entonces la finalidad de la aplicación de los índices que determinan la agresividad climática de una zona es la de evaluar la probable erosividad que producen las lluvias ante un cambio de sus patrones estacionales y además la susceptibilidad a los eventos de sequía y fenómenos de desertificación (Nunes et al., 2016; Diodato et al., 2020). En cuanto a la concentración de precipitaciones, se pueden estimar en distribuciones estacionales y anuales, considerando las variaciones y tendencias tanto en cortos como en amplios ciclos de lluvias (Mondol et al., 2018). El Perú no es ajeno a esta realidad pues el problema es latente en todas las regiones, esto debido a la aleatoriedad de los componentes hidrológicos de una cuenca hidrográfica (Arriola et al., 2020) y la falta de información es muchas veces un limitante para su evaluación hidrológica (Asurza et al., 2018).

Estudios actuales señalan que a diferencia de los modelos de intensidad y modelos de volumen que sólo se basan en la cuantificación unitaria de un valor numérico sin ningún rango de clasificación, los índices de agresividad climática y concentración identifican adecuadamente los patrones de lluvias evaluados por medio de categorías clasificables, por ende son una gran herramienta para estudios hidrológicos (García-Barrón et al., 2018; Ilbay et al., 2019) y estimación de indicadores ambientales (Rahman & Islam, 2019). Otro aspecto importante a tener en cuenta es la densidad de estaciones para una mejor estimación de la agresividad y concentración de precipitaciones pues dicho análisis servirá para mejorar la homogenización de valores promedios y máximos cuando se presentan ciertas tendencias y correlaciones temporales (Gubler et al., 2017; Amara et al., 2020).

Existen diversos estimadores de la agresividad y concentración de precipitaciones y los más usados según las referencias a nivel mundial son el índice de Fournier (Valdés et al., 2016), el índice de Fournier empleando sistemas de información geográfica (Fernandez et al., 2020), el índice modificado de Fournier (Ilbay et al., 2019), el índice modificado de Fournier-Maule (Pizarro et al., 2008), el índice de Fournier anual para períodos decadales o índice decadal de Fournier (Castelán et al., 2014), el índice de concentración de precipitaciones (Oliver, 1980) y a nivel diario (Kaboli et al., 2021), el índice pluviométrico de Angot (Dumitraşcu et al., 2017), el índice de concentración con la curva de Lorenz (Roblero et al., 2018), el índice de concentración diaria de clase cinco milímetros (Benhamrouche et al., 2015) o llamado también índice de concentración COIN (Patel & Shete, 2015). También existen investigaciones donde se ha analizado al índice de concentración de precipitaciones a nivel estacional (Caloiero et al., 2019), a nivel de condiciones secas y húmedas (Ezenwaji et al., 2017; Sarricolea et al., 2019), con el uso de imágenes y datos satelitales (Zubieta et al., 2019; Patel et al., 2021), y para el estudio de sequías (Guo et al., 2020).

La cuenca Chancay-Lambayeque al ubicarse en una zona costera y que llega hasta los 4000 m.s.n.m. en la zona sierra, se conforma por varias altitudes lo que produce un efecto variable y estacional de las lluvias que es característico de las cuencas ubicadas en el norte de Perú. Los principales riesgos

a los que se encuentra expuesta la cuenca en la situación actual son los problemas de sedimentación en las principales áreas agrícolas e inundaciones en los asentamientos poblacionales por ubicarse en zonas planas y con poco drenaje. Debido a la gran importancia ambiental y económica de esta cuenca es necesario conocer el comportamiento de las precipitaciones a través de su agresividad y concentración.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la agresividad climática y concentración de precipitaciones en la cuenca Chancay-Lambayeque, perteneciente a la vertiente del Pacífico del norte peruano, empleando el índice de Fournier (IF), el índice de Fournier modificado (IFM), el índice de Fournier-Maule modificado (IFMM) y el índice de concentración de precipitaciones (ICP), ya que estos índices son los más adecuados para la zona de estudio, pues se tienen como antecedentes de investigaciones a nivel de Sudamérica casos aplicados en Ecuador, Chile y Argentina que han mostrado muy buenos resultados, por lo que su aplicación en el Perú sería válida y apropiada. Además, el uso de estos cuatro índices se justifica debido a su simplicidad, alta confiabilidad en los resultados y que no requieren uso de softwares especializados, en comparación a los demás métodos existentes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación del área de estudio

La cuenca Chancay-Lambayeque se ubica en el norte de Perú, entre las coordenadas 78°38' a 80°00' longitud oeste y de 6°20' a 6°56' latitud sur y comprende parte de las regiones de Lambayeque y Cajamarca (Figura 1), con una extensión territorial de 5555,49 km², el área corresponde desde las nacientes de la Quebrada Shugur hasta la descarga al Océano Pacífico, cuyo principal afluente es el río Chancay. La cuenca tiene en su ámbito político siete provincias y cuarenta y siete distritos. Las principales actividades son las del tipo agrícola, pecuario, generación de energía eléctrica y turismo. La población económicamente activa representa el 48,40% en la parte alta y media de la cuenca para la región Cajamarca, y 49,80% para la parte baja de la cuenca correspondiente a la región Lambayeque.

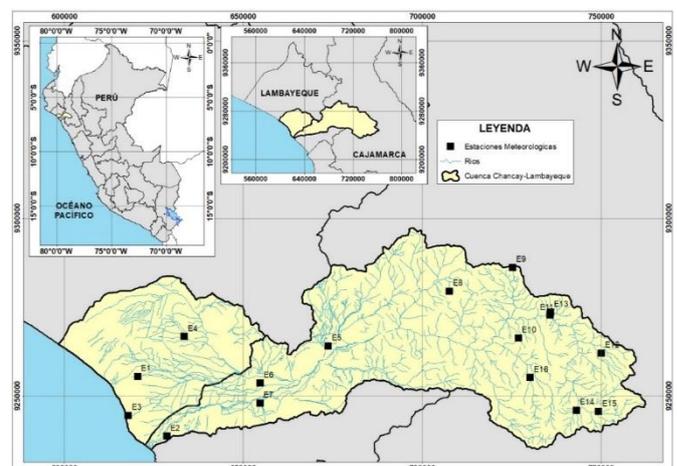


Figura 1. Ubicación del área de estudio

2.2 Recolección de datos

La recolección de datos permitió establecer que la cuenca Chancay-Lambayeque tiene 16 estaciones del tipo convencional - meteorológica cuyos registros a nivel diario se encuentran disponibles en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Perú, considerándose para la investigación el período completo de 1969 al 2017, es decir una longitud de registro de 49 años (Tabla 1).

Así mismo, a los datos de precipitación se aplicó un control de calidad para determinar posibles valores erróneos que podrían resultar de algún problema operacional, sistemático o de observación (Luna-Romero et al., 2018). En ese sentido, se pudo aplicar una evaluación gráfica para la identificación de casos atípicos, siendo muy usual los diagramas de cajas al 95% de probabilidad, excluyéndose los meses que difirieron en más de tres desviaciones estándar respecto al promedio mensual de la estación respectiva (Lavado et al., 2013).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas del área de estudio (período 1969-2017)

Código de estación	Nombre de estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud Sur	Longitud oeste
E1	Lambayeque	18	6°44'04"	79°54'35"
E2	Reque	21	6°53'10"	79°50'08"
E3	Pimentel	14	6°49'60"	79°55'60"
E4	Ferreñafe	64	6°37'56"	79°47'32"
E5	Tinajones	23	6°39'18"	79°25'40"
E6	Pucalá	85	6°45'00"	79°36'00"
E7	Sipán	110	6°48'05"	79°36'00"
E8	Llama	2134	6°30'52"	79°07'21"
E9	Huambos	2294	6°27'13"	78°57'47"
E10	Santa Cruz	2026	6°37'59"	78°56'51"
E11	Chancay Baños	1677	6°34'30"	78°52'02"
E12	Chugur	2744	6°40'15"	78°44'14"
E13	Hacienda Chancay	1849	6°34'01"	78°52'01"
E14	Quilcate	3100	6°49'00"	78°48'00"
E15	Quilcate 2	3100	6°49'00"	78°44'38"
E16	Santa Catalina de Pulán	1900	6°44'01"	78°55'01"

Otro aspecto importante es el análisis del vector regional para el agrupamiento de estaciones climáticas según el patrón de precipitaciones. La aplicación de este método en la zona de estudio se justifica, ya que a diferencia de otras metodologías, tiene la particularidad de considerar una estación ficticia (vector) como si fuera el promedio de todas las demás, de esta manera se logra caracterizar mucho mejor a un grupo de estaciones como homogéneas en referencia a su altitud y precipitación dentro de la cuenca.

Se aplicó entonces el vector regional a la cuenca Chancay-Lambayeque, pues esta presenta una distribución estacional de las precipitaciones (Figura 2a y Figura 2b), determinándose

dos regiones. La primera que llega cerca a los 24 mm cuyos índices de vector son muy variables (Figura 2c) debido a que las estaciones climáticas están cercanas a la costa en un rango promedio de distancia de 50 km, esto explica los patrones temporales de las lluvias en esta zona de la cuenca. Para la segunda región que llega hasta los 40 mm, sus índices de vector tienen un rango similar pues las estaciones climáticas de esta parte de la cuenca están ubicadas en las zonas más altas (Figura 2d).

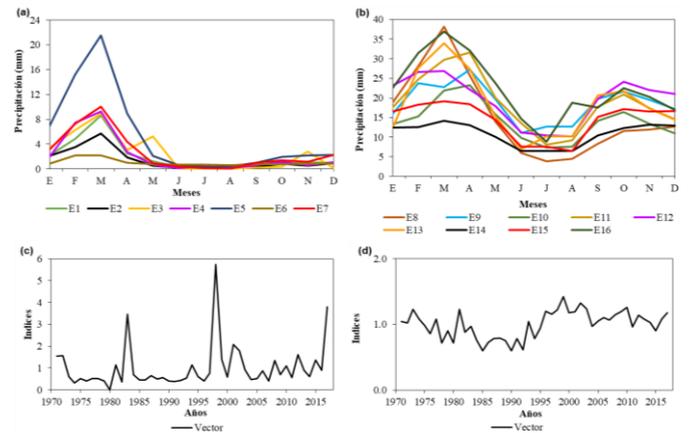


Figura 2. Distribución de las precipitaciones y vector regional para las 16 estaciones climáticas. a) Distribución estacional de las precipitaciones mensuales para las 7 estaciones homogéneas de la primera región. b) Distribución estacional de las precipitaciones mensuales para las 9 estaciones homogéneas de la segunda región. c) Vector regional para 7 estaciones donde destacan los extremos correspondientes al Fenómeno de El Niño. d) Vector regional para 9 estaciones ubicadas en la zona alta de la cuenca

2.3 Metodología

La metodología desarrollada se compone de dos etapas: la primera corresponde a la determinación de la agresividad climática y concentración de precipitaciones, y la segunda etapa consiste en determinar la correlación de los índices con respecto a las altitudes y precipitaciones medias de las estaciones. Esta secuencia metodológica se sustenta en las investigaciones realizadas a nivel de Europa (Vyshkvarkova et al., 2018; Bessaklia et al., 2018; Huang et al., 2018) y Sudamérica (Valdés et al., 2016; Zubieta et al., 2017; Llano, 2018; Ilbay et al., 2019; Back et al., 2019).

2.3.1 Agresividad climática y concentración de precipitaciones

La agresividad climática se determinó aplicando tres índices de agresividad basados en los estimadores de Fournier con sus respectivas modificaciones (Castelán et al., 2014; Valdés et al., 2016; Ilbay et al., 2019). El índice de Fournier (IF) es definido según la ecuación 1.

$$IF_j = \frac{p_{maxj}^2}{P} \quad (1)$$

Donde IF_j es el índice de Fournier para el año j , p_{max} es la precipitación media del mes más lluvioso del año j , y P es la precipitación media anual. Luego, se aplicó el índice de Fournier modificado (IFM) que se estima aplicando la ecuación 2.

$$IFM_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{ij})^2}{P} \quad (2)$$

Donde IFM_j es el índice de Fournier modificado para el año j , p_{ij} es la precipitación mensual del mes i en el año j , y P es la precipitación media anual. Así mismo, se estimó el índice de Fournier-Maule modificado (IFMM) que se expresa en la ecuación 3.

$$IFMM_j = \frac{(\sum_{i=1}^{12} p_{ij})^2}{P} \quad (3)$$

Donde $IFMM_j$ es el índice de Fournier-Maule modificado, p_{ij} es la precipitación mensual del mes i en el año j , y P es la precipitación media anual.

El índice de concentración de precipitaciones (ICP) que usualmente se utiliza a una escala mensual y anual se recomienda aplicarlo para evaluar las lluvias anuales si se concentran transitoriamente en un mes o si se distribuyen de forma homogénea en todo un año, ambas en función del tiempo de la estación lluviosa (Ilbay et al., 2019); en ese sentido se aplicó este índice considerando la ecuación 4.

$$ICP_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{ij}^2}{P_j^2} \quad (4)$$

Donde ICP_j es el índice de concentración de precipitación (ICP) para el año j expresado en porcentaje, p_{ij} es la precipitación mensual del mes i en el año j , y P_j es la precipitación anual del año j . La Tabla 2 muestra las clasificaciones cuantitativas y cualitativas de cada índice empleados en la presente investigación.

Tabla 2. Índices que determinan la agresividad climática y concentración de precipitaciones

Parámetro	Clasificación		Referencia
	Cuantitativa	Cualitativa	
Índice de Fournier (IF)	< 50	Muy bajo	Ilbay et al. (2019)
	50 - 100	Bajo	
	100 - 150	Moderado	
	150 - 200	Alto	
	> 200	Muy alto	
Índice de Fournier modificado (IFM)	< 100	Muy bajo	Ilbay et al. (2019)
	100 - 200	Bajo	
	200 - 300	Moderado	
	300 - 400	Alto	
Índice de Fournier-Maule modificado (IFMM)	> 400	Muy alto	Pizarro et al. (2008)
	< 400	Muy bajo	
	400 - 1000	Bajo	
	1000 - 1800	Moderado	
	1800 - 2800	Alto	
Índice de concentración de precipitación (ICP)	> 2800	Muy alto	Ilbay et al. (2019)
	< 8,30%	Uniforme	
	10% - 15%	Moderadamente estacional	
	15% - 20%	Estacional	
	20% - 50%	Fuertemente estacional	
	50% - 100%	Irregular	

2.3.2 Correlación de los índices con respecto a la altitud y precipitación media

Se aplicó la correlación que permite identificar si una variable depende de otra y que se establece por medio de una ecuación, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación, que por lo general en el campo de la hidrología es del tipo lineal, es decir debe haber una razón de correspondencia homogénea lo cual se logra a partir de graficar la dispersión de valores de ambas variables con la mayor cantidad posible de datos (Herrera et al., 2017; Liu et al., 2018). La ecuación 5 es la que determina la correlación de dos variables.

$$r = \frac{n * \sum_{i=1}^n xy - \sum_{i=1}^n x * \sum_{i=1}^n y}{\sqrt{(n * \sum_{i=1}^n x^2 - (\sum_{i=1}^n x)^2) * (n * \sum_{i=1}^n y^2 - (\sum_{i=1}^n y)^2)}} \quad (5)$$

Donde r es el coeficiente de correlación, n es el número de datos, x es la variable de las abscisas, y es la variable de las ordenadas. Los valores, rangos y clasificación del coeficiente de correlación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Rangos del coeficiente de correlación y su clasificación

Rangos del coeficiente	Clasificación	Referencia
$r = 1,00$	Perfecta	Herrera et al. (2017)
$0,80 < r < 1,00$	Muy alta	
$0,60 < r < 0,80$	Alta	
$0,40 < r < 0,60$	Moderada	
$0,20 < r < 0,40$	Baja	
$0,00 < r < 0,20$	Muy baja	
$r = 0,00$	Nula	

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la Figura 3ª, se puede interpretar que existe una buena correlación entre la altitud y la precipitación media ($r = 0,83$; $R^2 = 0,69$), por lo que se deduce que en toda la cuenca Chancay-Lambayeque existe un patrón de fuertes lluvias entre los cinco primeros meses del año, mientras que en los demás meses la precipitación disminuye hasta en un 65% respecto a los meses más lluviosos en la primera región homogénea (Figura 2a). En el caso de la segunda región homogénea (Figura 2b), la variabilidad de la precipitación fue de 35% de los primeros meses de mayor precipitación en relación a los meses de menores lluvias.

De los índices aplicados a la cuenca Chancay-Lambayeque, el que muestra mejor ajuste en función al coeficiente de correlación y de determinación según la Figura 3d es el índice de Fournier-Maule modificado (IFMM) en relación a la variable altitud ($r = 0,79$; $R^2 = 0,62$) cuya correlación fue alta y según la Figura 3h con la variable precipitación media ($r = 0,93$; $R^2 = 0,87$) la correlación fue muy alta. Respecto a los valores del IFMM y precipitación media, Valdés et al. (2016) obtuvieron los valores de $r = 0,9976$ y $R^2 = 0,9953$, confirmando en ese sentido la aceptación del IFMM con lo estimado en la presente investigación.

En relación al IFMM y la altitud fue todo lo contrario pues Valdés et al. (2016) estimaron $r = 0,0373$ y $R^2 = 0,1931$, valores muy por debajo de los obtenidos, esto se puede deber a que su investigación consideró mayor cantidad de estaciones

y con diversas altitudes; o como en el caso de Castelán et al. (2014) que el comportamiento de las precipitaciones se concentra en los meses de junio a octubre lo cual hace que el comportamiento de la agresividad de las precipitaciones sea diferente a la cuenca Chancay-Lambayeque.

En el caso de la investigación de Ilbay et al. (2019), determinaron que el índice de Fournier (IF) en función a la altitud y a la precipitación media si se relacionan en un 72% y 60% respectivamente, según los coeficientes de determinación obtenidos, sin embargo, para nuestra investigación según los resultados hallados el IF no se relaciona con ninguna de estas variables, pues los coeficientes de correlación fueron de clasificación bajos (Figura 3b) y muy bajos (Figura 3f). Sobre el índice de Fournier modificado (IFM) al correlacionarlo con la altitud y precipitación media, se obtuvo un $r = 0,61$ (Figura 3c) y $r = 0,87$ (Figura 3g) respectivamente, lo que indica una correlación alta y muy alta, pero en comparación a las correlaciones del IFMM no fue mejor su desempeño.

En cuanto al índice de concentración de precipitaciones (ICP) y en relación a la precipitación media Valdés et al. (2016) obtuvieron coeficientes de determinación 0,2249 y 0,0739 los cuales indican que no hay una correlación directa entre esas variables; para el caso estudiado por Huang et al. (2018), Ilbay et al. (2019), Sarricolea et al. (2019) y Wang et al. (2019) mencionan que no hay correlación entre el ICP con la altitud y la precipitación media lo que demuestra según sus hallazgos que los períodos de mayor precipitación anual no se corresponden con el ICP debido a que las variables estudiadas dependen directamente de las diferencias regionales.

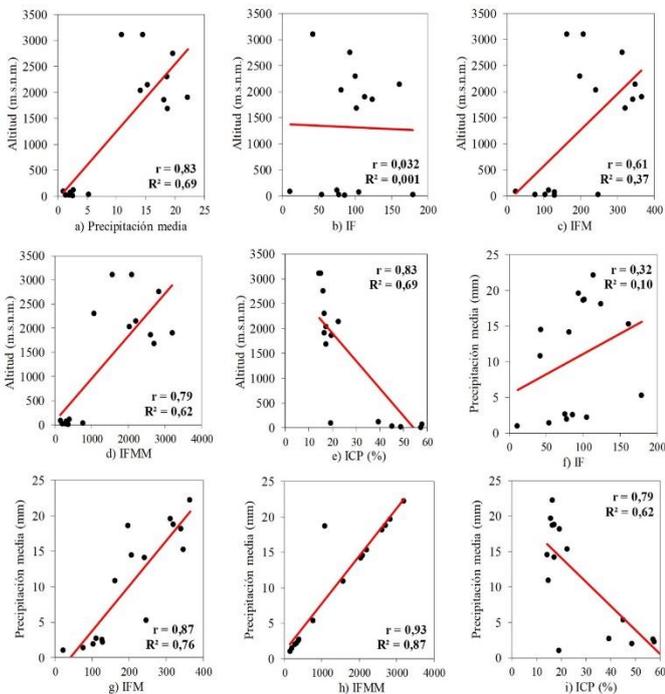


Figura 3. Coeficientes de correlación y determinación entre altitud y: a) precipitación media; b) IF; c) IFM; d) IFMM y e) ICP; y entre precipitación media con f) IF; g) IFM; h) IFMM; i) ICP

A pesar de ello, nuestros resultados indican que para la relación ICP y altitud (Figura 3e) si existe una correlación muy alta ($r = 0,83$) y en la relación ICP y la precipitación media

(Figura 3i) se mantiene una correlación alta ($r = 0,79$) con lo que se infiere que el comportamiento estacional de la cuenca se asocia en gran medida con la concentración de precipitación media de la cuenca.

Por lo expuesto, el caso analizado de la cuenca Chancay-Lambayeque nos muestra el patrón estacional de una cuenca que se ubica en la zona costera peruana y por ende en la costa del Pacífico Sur de Sudamérica, esto concuerda con los resultados conseguidos por algunas investigaciones actuales sobre la distribución de la precipitación, variaciones temporales y su concentración en Chile (Valdés et al., 2016; Sarricolea et al., 2019), Ecuador (Ilbay et al., 2019) y Argentina (Llano, 2018).

Luego, se generaron los mapas climáticos de la cuenca Chancay-Lambayeque respecto al mejor estimador de la agresividad climática y concentración de precipitaciones, empleando para ello el método de interpolación de ponderación de distancia inversa, que determina los valores de cada punto de celda sin registros y/o mediciones en función a los datos disponibles en las estaciones meteorológicas. Se justifica la aplicación de este método en la cuenca de estudio, ya que es una metodología sencilla y precisa en la interpolación de los parámetros requeridos, además no se requiere de información adicional a la disponible en cada estación.

Finalmente, luego de realizada la interpolación con respecto al IFMM (Figura 4), se puede apreciar una menor agresividad de las precipitaciones en la primera región homogénea correspondiente a las primeras siete estaciones, mientras que sucede todo lo contrario para la segunda región homogénea.

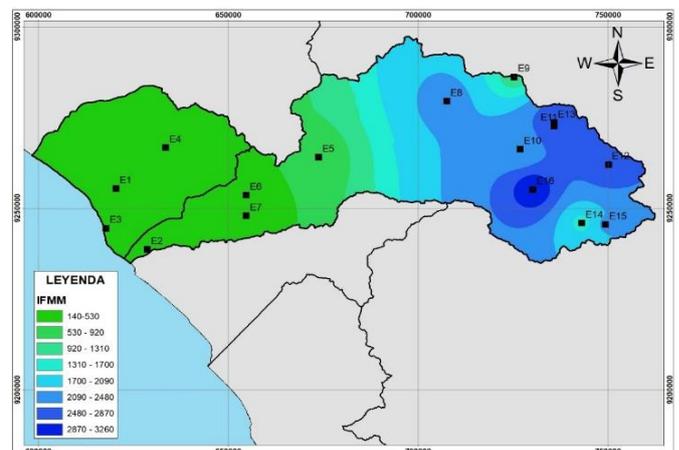


Figura 4. Mapa de la distribución de agresividad climática mediante el índice IFMM para la cuenca Chancay-Lambayeque

Respecto a la concentración de precipitaciones según el ICP (Figura 5) se muestra una mayor concentración de lluvias en la zona más cercana a la costa peruana, el cual se ha visto muy influenciado por los eventos del Fenómeno El Niño en los períodos 1982, 1998 y 2017.

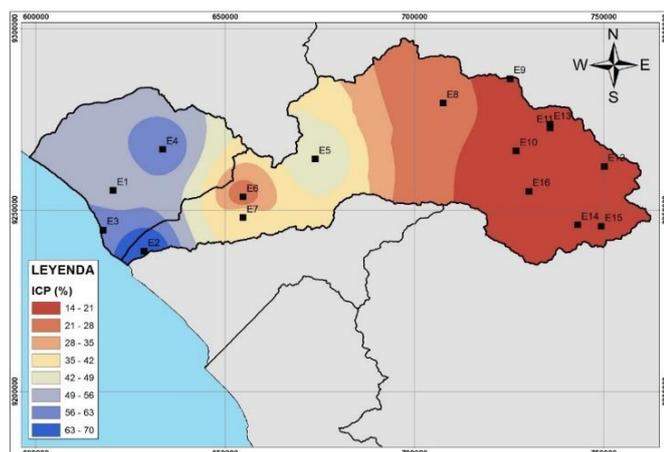


Figura 5. Mapa de la distribución de la concentración de precipitaciones mediante el índice ICP para la cuenca Chancay-Lambayeque

4. CONCLUSIONES

Se evaluó la agresividad climática en la cuenca Chancay-Lambayeque mediante tres índices (Fournier, Fournier modificado y Fournier-Maule modificado) con lo que se concluye que el índice que presenta mejores resultados de correlación y determinación es el índice de Fournier-Maule modificado (IFMM), debido a ello, la cuenca se clasifica en rangos desde muy bajo hasta muy alto.

La concentración de lluvias usando el índice de concentración de precipitaciones (ICP) indica altas correlaciones significativas concluyéndose en que la cuenca Chancay-Lambayeque se clasifica entre los rangos desde moderadamente estacional hasta irregular, cuyo comportamiento climático se ha visto influenciado en esta parte de Perú por el Fenómeno El Niño.

REFERENCIAS

- Amara, D., Ullah, K., & Yushu, Z. (2020). Rainfall erosivity estimation for Sierra Leone using non-parametric indices. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1-2), 221-236. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02960-3>
- Arriola, G., Villegas, L., & Sotomayor, G. (2020). Análisis de las curvas de infiltración para determinar caudales máximos en zonas de escasa información ante eventos extremos. *Revista Científica Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(1). <https://doi.org/10.26495/icti.v7i1.1352>
- Asurza, F., Ramos, C., & Lavado, W. (2018). Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 53-62. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.06>
- Back, Á., Gonçalves, F., & Fan, F. (2019). Spatial, seasonal, and temporal variations in rainfall aggressiveness in the south of Brazil. *Engenharia Agrícola*, 39(4), 466-475. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n4p466-475/2019>
- Benhamrouche, A., Boucherf, D., Hamadache, R., Bendahmane, L., Martín, J., & Teixeira, J. (2015). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Algeria. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 15(3), 617-625. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-617-2015>
- Benhamrouche, A., & Martin-Vide, J. (2012). Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía*, 32(1), 11-27. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39306
- Bessaklia, H., Ghenim, A., Megnounif, A., & Martín, J. (2018). Spatial variability of concentration and aggressiveness of precipitation in North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 36(I-III), 3-15. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0001>
- Burt, T., Boardman, J., Foster, I., & Howden, N. (2016). More rain, less soil: Long-term changes in rainfall intensity with climate change. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(4), 563-566. <https://doi.org/10.1002/esp.3868>
- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Gaudio, R. (2019). Spatial and temporal variability of daily precipitation concentration in the Sardinia region (Italy). *International Journal of Climatology*, 39(13), 5006-5021. <https://doi.org/10.1002/joc.6123>
- Camarasa, A., Rubio, M., & Salas, J. (2020). Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo. *Investigaciones Geográficas*, 73, 11-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.CBRVSR>
- Castelán, R., Tamariz, V., Linares, G., & Cruz, A. (2014). Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*, (83), 28-40. <https://doi.org/10.14350/rig.33480>
- Diodato, N., Ljungqvist, F., & Bellocchi, G. (2020). Fingerprint of climate change in precipitation aggressiveness across the central Mediterranean (Italian) area. *Scientific Reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78857-3>
- Dumitraşcu, M., Dragotă, C., Grigorescu, I., Dumitraşcu, C., & Vlăduţ, A. (2017). Key pluvial parameters in assessing rainfall erosivity in the south-west development region, Romania. *Journal of Earth System Science*, 126(60). <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0834-y>
- Ezenwaji, E., Nzoiwu, C., & Chima, G. (2017). Analysis of precipitation concentration index (PCI) for Awka urban area, Nigeria. *Hydrology: Current Research*, 8(4). <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000287>
- Fernandez, H., Martins, F., & Isidoro, J. (2020). Mapping rainfall aggressiveness from physiographical data: application to the Grândola Mountain Range (Alentejo, Portugal). *Physical Geography*, 41(5), 451-466. <https://doi.org/10.1080/02723646.2019.1674557>
- García-Barrón, L., Morales, J., & Sousa. (2018). A new methodology for estimating rainfall aggressiveness risk based on daily rainfall records for multi-decennial periods. *Science of The Total Environment*, 615, 564-571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.305>
- Gubler, S., Hunziker, S., Begert, M., Croci, M., Konzelmann, T., Brönnimann, S., Schwierz, C., Oria, C., Rosas, G. (2017). The influence of station density on climate data homogenization. *International Journal of Climatology*, 37(13). <https://doi.org/10.1002/joc.5114>

- Guo, E., Wang, Y., Jirigala, B., & Jin, E. (2020). Spatiotemporal variations of precipitation concentration and their potential links to drought in mainland China. *Journal of Cleaner Production*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122004>
- Herrera, C., Campos, J., & Carrillo, F. (2017). Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 25(71), 34-44. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201771598>
- Huang, Y., Wang, H., Xiao, W., Chen, L., Yan, D., Zhou, Y., Jiang, D., & Yang, M. (2018). Spatial and temporal variability in the precipitation concentration in the upper reaches of the Hongshui river basin, Southwestern China. *Advances in Meteorology*, 2018, 1-19. <https://doi.org/10.1155/2018/4329757>
- Ibay, M., Zubieta, R., & Lavado, W. (2019). Regionalization of precipitation, its aggressiveness and concentration in the Guayas River basin, Ecuador. *Granja*, 30(2), 57-76. <https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>
- Kaboli, S., Hekmatzadeh, A., Darabi, H., & Haghghi A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(1-2), 507-520. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03553-9>
- Lavado, W., Labat, D., Ronchail, J. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965-2007). *Hydrological Processes*, 27(20), 2944-2957. <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>
- Liu, W., Zhang, Q., Fu, Z., Chen, X., & Li, H. (2018). Analysis and estimation of geographical and topographic influencing factors for precipitation distribution over complex terrains: A case of the northeast slope of the Qinghai-Tibet Plateau. *Atmosphere*, 9(9), 349. <https://doi.org/10.3390/atmos9090349>
- Llano, M. (2018). Spatial distribution of the daily rainfall concentration index in Argentina: Comparison with other countries. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(3-4), 997-1007. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2236-0>
- Luna-Romero, A., Ramírez, I., Sánchez, C., Conde, J., Agurto, L., & Villaseñor, D. (2018). Distribución espacio-temporal de la precipitación en la cuenca del río Jubones, Ecuador: 1975-2013. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 63-70. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.07>
- Mondol, M., Al-Mamun, A., Iqbal, M., & Jang, D. (2018). Precipitation concentration in Bangladesh over different temporal periods. *Advances in Meteorology*, 2018, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2018/1849050>
- Nunes, A., Lourenço, L., Vieira, A., & Bento, A. (2016). Precipitation and erosivity in southern Portugal: Seasonal variability and trends (1950-2008). *Land Degradation and Development*, 27(2), 211-222. <https://doi.org/10.1002/ldr.2265>
- Oliver, J. (1980). Monthly precipitation distribution: A comparative index. *The Professional Geographer*, 32(3), 300-309. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>
- Patel, A., Goswami, A., Dharpure, J., & Thamban, M. (2021). Rainfall variability over the Indus, Ganga and Brahmaputra river basins: A spatio-temporal characterisation. *Quaternary International*, 575-576, 280-294. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.06.010>
- Patel, N., & Shete, D. (2015). Analyzing precipitation using concentration indices for North Gujarat agro climatic zone, India. *Aquatic Procedia*, 4, 917-924. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.115>
- Pizarro, R., Cornejo, F., González, C., Macaya, K., & Morales, C. (2008). Análisis del comportamiento y agresividad de las precipitaciones en la zona central de Chile. *Ingeniería Hidráulica en México*, 23(2), 91-109. Obtenido de la base de datos de SCOPUS
- Rahman, M., & Islam, A. (2019). Are precipitation concentration and intensity changing in Bangladesh overtimes? Analysis of the possible causes of changes in precipitation systems. *The Science of The Total Environment*, 690, 370-387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.529>
- Roblero, R., Chávez, J., Ibáñez, L., Palacios, O., Quevedo, A., & González, J. (2018). Índice de concentración de la precipitación diaria en la cuenca del Río Grande de Morelia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9(5), 170-197. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-07>
- Sarricolea, P., Meseguer, Ó., Serrano, R., Soto, M., & Martín, J. (2019). Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile. *Atmospheric Research*, 215, 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.005>
- Valdés, R., Pizarro, R., Valdés, J., Carrasco, J., García, P., & Olivares, C. (2016). Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36-49°S). *Hydrological Sciences Journal*, 61(11), 2110-2132. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1085989>
- Vyshkvarkova, E., Voskresenskaya, E., & Martin-Vide, J. (2018). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Southern Russia. *Atmospheric Research*, 203, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.12.003>
- Wang, R., Zhang, J., Guo, E., Zhao, C., & Cao, T. (2019). Spatial and temporal variations of precipitation concentration and their relationships with large-scale atmospheric circulations across Northeast China. *Atmospheric Research*, 222, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.02.008>
- Zubieta, R., Saavedra, M., Espinoza, J., Ronchail, J., Sulca, J., Drapeau, G., & Martín, J. (2019). Assessing precipitation concentration in the Amazon basin from different satellite-based data sets. *International Journal of Climatology*, 39(7). <https://doi.org/10.1002/joc.6009>
- Zubieta, R., Saavedra, M., Silva, Y., & Giráldez, L. (2017). Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro river basin: central Andes of Peru. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(6), 1305-1318. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1235-5>

BIOGRAFÍA



Guillermo Gustavo Arriola Carrasco, Ingeniero Civil de la Universidad Señor de Sipán, con estudios concluidos de Maestría en Ingeniería Vial en la Universidad Ricardo Palma. Proyectista y consultor en proyectos de ingeniería civil con énfasis en hidrología e ingeniería hidráulica. Cuenta con experiencia en el cálculo y

diseño de obras de arte para carreteras, puentes, obras hidráulicas, modelamiento hidrológico e hidráulico. Investigador y asesor de tesis en ingeniería hidráulica, hidrología y ramas afines para pregrado.



Luis Mariano Villegas Granados, Ingeniero Civil de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, con Maestría en Gestión pública y Educativa de la Universidad César Vallejo. Con experiencia en Supervisión y Residencia de obras de Construcción Civil, Proyectista y consultor en proyectos de ingeniería civil con énfasis en

edificaciones y obras viales. Cuenta con experiencia en el sector público como subgerente en el área de Urbano Rural. Investigador, asesor y jurado de tesis de pre y post grado en ingeniería vial, saneamiento y construcción.



Noe Humberto Marín Bardales, Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil con mención en Estructuras. Profesor de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil (USS)**. Me desempeño en labores de diseño de cálculo de estructuras de concreto armado y asesoría de tesis de investigación. Actualmente

egresado del programa de Doctorado en Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional de Trujillo.



César Antonio Idrogo Pérez, Ingeniero Civil de la Universidad Señor de Sipán, Maestro en Ciencias de la Educación con Mención en Docencia y Gestión Universitaria de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Licenciado en Educación, Especialidad Ciencias Naturales de la Universidad Nacional

Pedro Ruiz Gallo. Docente de tiempo completo de la Universidad Señor de Sipán.



José Luis Piedra Tineo, Ingeniero Civil. Magister en Gestión Pública. Estudios concluidos de Maestría en Transportes y Conservación Vial. Doctorando en Ingeniería Civil. Catedrático ordinario y miembro de la Comunidad de Investigación Científica Universitaria (CICU) en la

Universidad Nacional de Jaén (UNJ), catedrático en Universidades públicas y privadas, ingeniero proyectista y consultor en la rama de la ingeniería civil. He desempeñado el cargo de Coordinador de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil (UNJ) y actual investigador y jurado, asesor de trabajos de investigación a nivel de pregrado.



José del Carmen Arbulú Ramos, Ingeniero Civil con Maestría en Ingeniería Ambiental y Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Profesor principal de hidráulica en pre grado y profesor de la Maestría en Ingeniería Hidráulica en la UNPRG. Con más de 35 años de

experiencia académica y profesional, como ingeniero de diseño de la central hidroeléctrica de Carhuaquero y del Proyecto Hidráulico Tinajones. Director de Obras del Proyecto Hidráulico Olmos. Miembro del Directorio del Proyecto Especial Olmos-Tinajones. Investigador y asesor de tesis en ingeniería hidráulica, hidrología y ramas afines para pre y posgrado.