



Obtención de precipitación para diversos periodos de retorno utilizando los conjuntos de datos CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE en la cuenca hidrográfica Ocoña.

Obtaining precipitation for various return periods using the CHIRPS, ERA5-Land and RAIN4PE datasets in the Ocoña watershed.

Flavio Jossepith Tejada-Díaz¹, Jani Kaori Nacira Rojas-Bicerra², Abel Carmona-Arteaga³
^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Lima - Perú

Recibido: 10 de septiembre de 2024.

Aceptado: 30 de enero de 2025.

Publicado: 01 mayo de 2025.

Resumen- El Perú enfrenta diversos fenómenos naturales debido a su relieve accidentado, entre los cuales se incluyen las inundaciones causadas por intensas precipitaciones en ciertas regiones, como sucede en la cuenca del río Ocoña, que ha sido afectada durante los últimos años por estos eventos, volviendo vulnerables a los centros poblados situados en ella. Por este motivo es que esta investigación tiene como propósito estimar y analizar la distribución de las magnitudes y ubicaciones de las precipitaciones en dicha cuenca para los períodos de retorno de 10, 100 y 1000 años, utilizando tres productos satelitales: CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE. Posteriormente, los resultados de precipitaciones máximas fueron correlacionados con los datos históricos de la estación climática Salamanca, evidenciando una tendencia similar entre los productos ERA5-Land y RAIN4PE con respecto a dicha estación. En conclusión, esta investigación es de gran importancia porque ofrece información básica para posteriores investigaciones relacionadas al análisis de tormentas y para entidades que buscan salvaguardar tanto las vidas de las personas como sus recursos.

Palabras clave: cuenca hidrográfica, google earth engine, periodo de retorno, precipitación, producto grillado.

Abstract— Peru faces various natural phenomena due to its rugged relief, including floods caused by intense rainfall in certain regions, as is the case in the Ocoña River basin, which has been affected in recent years by these events, making the population centers located in it vulnerable. For this reason, this research aims to estimate and analyze the distribution of the magnitudes and locations of rainfall in this basin for the return periods of 10, 100 and 1000 years, using three satellite products: CHIRPS, ERA5-Land and RAIN4PE. Subsequently, the results of maximum rainfall were correlated with the historical data of the Salamanca climatic station, evidencing a similar trend between the ERA5-Land and RAIN4PE products with respect to that station. In conclusion, this research is of great importance because it offers basic information for subsequent research related to storm analysis and for entities that seek to safeguard both people's lives and their resources.

Keywords: watershed, google earth engine, return period, precipitation, grid product.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: N00298857@upn.pe (Flavio Jossepith Tejada Diaz).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Como citar este artículo: F. J. Tejada-Díaz, J. K. N. Rojas-Bicerra y A. Carmona-Arteaga, "Obtención de precipitación para diversos periodos de retorno utilizando los conjuntos de datos CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE en la cuenca hidrográfica Ocoña", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 2, pp. 01-14 2025, doi: [10.15649/2346030X.4443](https://doi.org/10.15649/2346030X.4443)

I. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los años, el Perú ha experimentado diversas afectaciones de fenómenos naturales debido a su geomorfología compleja, la cual es característica de varias regiones del país. Esto se debe a que una porción significativa del área abarca la Cordillera de los Andes, atribuyéndole un rasgo orográfico más prominente [1].

Uno de los eventos naturales que tienen lugar en el país de manera periódica son los geohidrológicos, los cuales comprenden las inundaciones y su posterior erosión fluvial [2]. Estos procesos traen consigo cuantiosas pérdidas económicas, lamentables pérdidas humanas, problemas sociales, entre otras, que se intensifican cuando las regiones afectadas no cuentan con planes estratégicos de contingencia y mucho menos con planes de prevención ante dichos eventos.

Por lo general, las inundaciones se producen en los meses de verano y/o ante la presencia del fenómeno del Niño, causado por precipitaciones pluviales intensas [3]. Debido a la gran cantidad de cuencas hidrográficas en el Perú afectadas por este fenómeno natural, resulta difícil mencionarlas todas. Por lo tanto, este trabajo de investigación se centra en una de ellas: la cuenca hidrográfica Ocoña.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), por medio de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en su informe publicado el 24 de enero del 2017, la cuenca hidrográfica Ocoña, que atraviesa las regiones de Apurímac, Arequipa y Ayacucho, afectó a dichas regiones por la ocurrencia de intensas precipitaciones. Esto incrementó el caudal y volvió vulnerables ciertos centros poblados como Chiguay, Mollebamba, Hualla y El Arrozal, ubicados en la cuenca baja del río Ocoña [4].

Un evento reciente, provocado por las lluvias intensas en la cuenca hidrográfica Ocoña ocurrió el 4 de marzo del 2024. En esta ocasión, la región Arequipa sufrió grandes estragos resultado del desborde del río en mención, según indicó la Agencia Peruana de noticias (ANDINA) [5].

En ese sentido, la figura 1 muestra una de las consecuencias que genera el desborde de un río, la cual son las pérdidas de cultivos de varios agricultores. Esto demuestra la ineficiente gestión de prevención por parte de las autoridades responsables. Cabe destacar que el estancamiento del agua producto de las intensas lluvias, genera otros tipos de consecuencias relacionadas a la salud humana, como es la proliferación de mosquitos y otros insectos que pueden ocasionar diversas enfermedades infecciosas, tales como el dengue y la malaria [6].

Asimismo, dicha situación se debe a la escasez de información hidrológica en el Perú, lo cual dificulta la realización de estimaciones precisas de ciertos factores, siendo uno de los más significativos la precipitación a diferentes periodos de retorno, ya que es la principal causa de inundaciones durante eventos de lluvia intensas. En este contexto, la ausencia de esta información dificulta la implementación de medidas preventivas que contribuyan a reducir los efectos que tales eventos puedan provocar.

Arequipa: desborde del río Ocoña afectó más de 20 hectáreas de arroz

Precipitaciones pluviales provocaron el incremento del caudal del río ubicado en la provincia de Camaná



Más de 20 hectáreas de cultivos de arroz fueron afectadas en la provincia de Camaná a consecuencia del desborde del río Ocoña que incrementó su caudal a causa de las lluvias intensas que se registran en Arequipa.

Figura 1: Pérdidas de cultivos por desborde del río Ocoña debido a intensas lluvias.
Fuente: ANDINA (2024).

Por consiguiente, la finalidad del estudio se centra en estimar y analizar la distribución de las magnitudes y ubicaciones de las precipitaciones en la cuenca del río Ocoña para los siguientes periodos de retorno: 10, 100 y 1000 años, empleando tres productos grillados de base satelital: CHIRPS, RAIN4PE y ERA5-Land, a fin de que sirvan como información básica para futuros estudios sobre la estimación de caudales extremos y el análisis de inundaciones, las cuales son de gran calado para el diseño de obras hidráulicas.

II. MARCO TEÓRICO

a. Localización

La cuenca hidrográfica Ocoña, perteneciente a la vertiente del Pacífico, se ubica geográficamente en la zona 18 del sistema de coordenadas UTM, abarcando tres departamentos: gran parte de Arequipa, Ayacucho y una pequeña región de Apurímac. Además, colinda con la cuenca Pampas e Intercuenca Alto Apurímac por el norte; la cuenca Camaná por el este; las cuencas Yauca, Chaparra y Caravelí por el oeste; y el océano Pacífico por el sur. El colector común de la cuenca discurre de Norte a Sur, como se visualiza en las figuras 2 y 3.

b. Factores geomorfológicos de la cuenca

La cuenca del río Ocoña es considerada una de las más extensas del Perú, puesto que presenta un área aproximada de 15 998.2 km² y un perímetro de 883 km. En suma, el colector común tiene una longitud aproximada de 372.51 km.

El relieve es uno de los aspectos más influyentes en las características hidrológicas de una cuenca, por lo que su representación es indispensable. Por ello, en la figura 2 se muestra el rango de altitudes de la cuenca del río Ocoña, evidenciando un relieve muy accidentado, con una altitud máxima de 6403 m.s.n.m. y una altitud mínima de 0 m.s.n.m., ya que, como se mencionó anteriormente, el río Ocoña desemboca en el océano Pacífico.

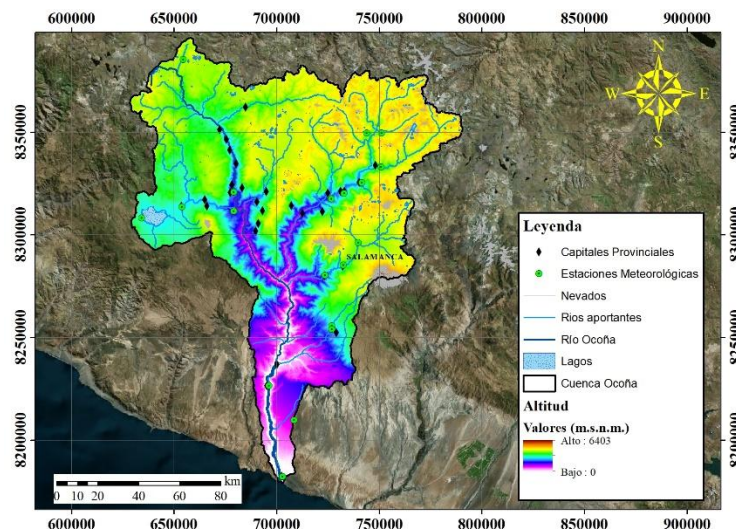


Figura 2: Representación gráfica de altitudes de la cuenca Ocoña.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que la representación de altitudes, las pendientes son un aspecto fundamental del escurrimiento superficial producto de las precipitaciones pluviales ya que a mayor pendiente se facilita su desplazamiento. Por ello, en la figura 3 se muestra el rango de pendientes de la cuenca del río Ocoña, con pendientes muy pronunciadas de hasta 79.02°. Dichas pendientes se ubican principalmente a lo largo de las laderas de las montañas; sin embargo, se evidencian pendientes bajas en las áreas cercanas al río Ocoña.

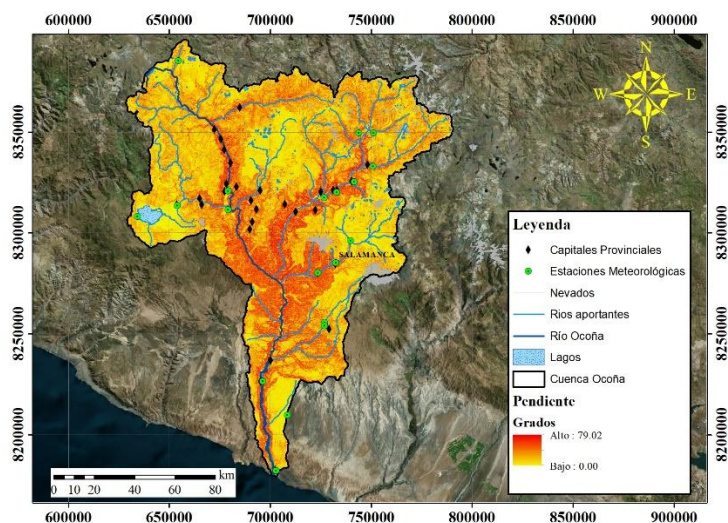


Figura 3: Representación gráfica de pendientes de la cuenca Ocoña.

Fuente: Elaboración propia.

Es relevante señalar que, para el tratamiento y análisis de la información geográfica, se empleó el software ArcGIS [7], utilizando particularmente la herramienta ArcMap [8], con la cual se elaboraron los mapas de altitud y pendiente, así como los mapas de precipitaciones correspondientes a diferentes períodos de retorno, los cuales se presentan en secciones posteriores.

c. Base de datos CHIRPS

CHIRPS es un conjunto de datos climáticos de alta resolución espacial y temporal que permite estudiar las precipitaciones a escala casi global desde 1981 hasta el presente año. La combinación de datos satelitales y de estaciones terrestres lo convierte en un recurso fundamental para la investigación y el monitoreo climático. Además, genera series de tiempo de precipitaciones organizadas en una cuadrícula, facilitando el análisis de tendencias y patrones a lo largo del tiempo, así como el monitoreo de eventos extremos como sequías en diferentes regiones del planeta [9]. La figura 4 se presenta un esquema general del proceso y validación que emplea CHIRPS.

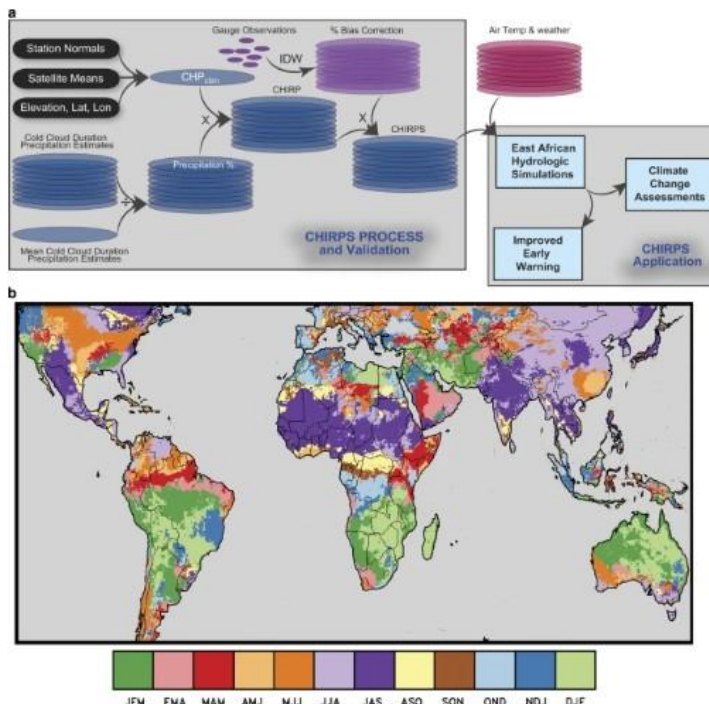


Figura 4: Descripción general del proceso y validación de CHIRPS. Fuente: Funk et al. (2015).

d. Base de datos ERA5-Land

ERA5-Land es un conjunto de datos de reanálisis que ofrece una representación consistente de la evolución de variables terrestres desde 1950 hasta la actualidad con una resolución mejorada, utilizado para describir de manera precisa el clima del pasado y es especialmente útil para aplicaciones relacionadas con la corteza terrestre, como la predicción de desbordamientos o escasez de agua [10]. En la figura 5 se visualiza el diagrama de algoritmo que emplea ERA5-Land para la producción de datos.

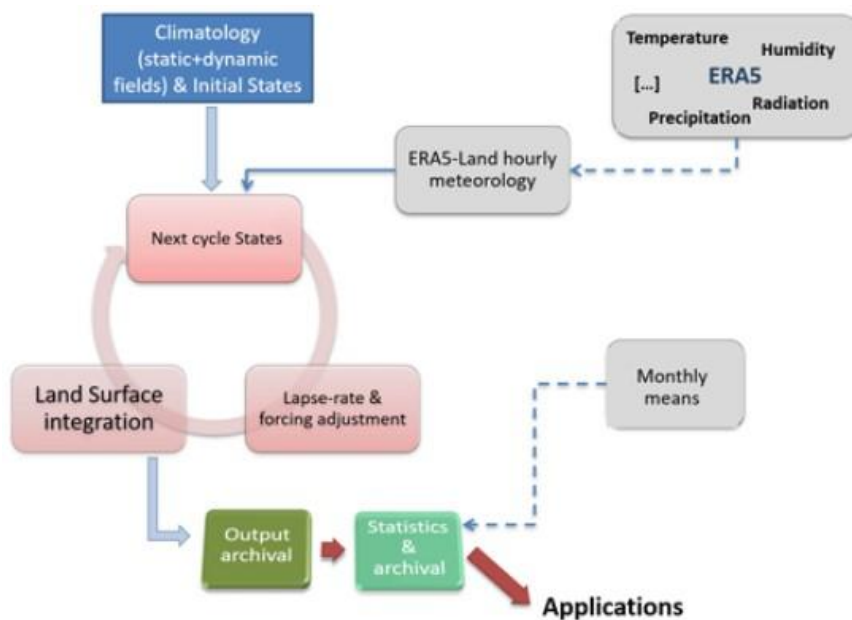


Figura 5: Diagrama del algoritmo utilizado en la producción de ERA5-Land. Fuente: Muñoz et al. (2021).

e. Base de datos RAIN4PE

RAIN4PE es un conjunto de datos de precipitación cuadrículada diaria para Perú y Ecuador, que abarca desde 1981 hasta 2015. Se obtiene al combinar datos de Precipitación infrarroja del Climate Hazards Group basado en satélites, CHIRP, reanálisis ERA5 y precipitación terrestre, utilizando el método de regresión de bosque aleatorio para obtener valores más precisos. Este conjunto de datos emplea la hidrología inversa, comenzando con datos de precipitación en la cuenca de análisis y luego calibrando los resultados con otra fuente de registro [11]. En la figura 6 se muestra el esquema del producto grillado RAIN4PE.

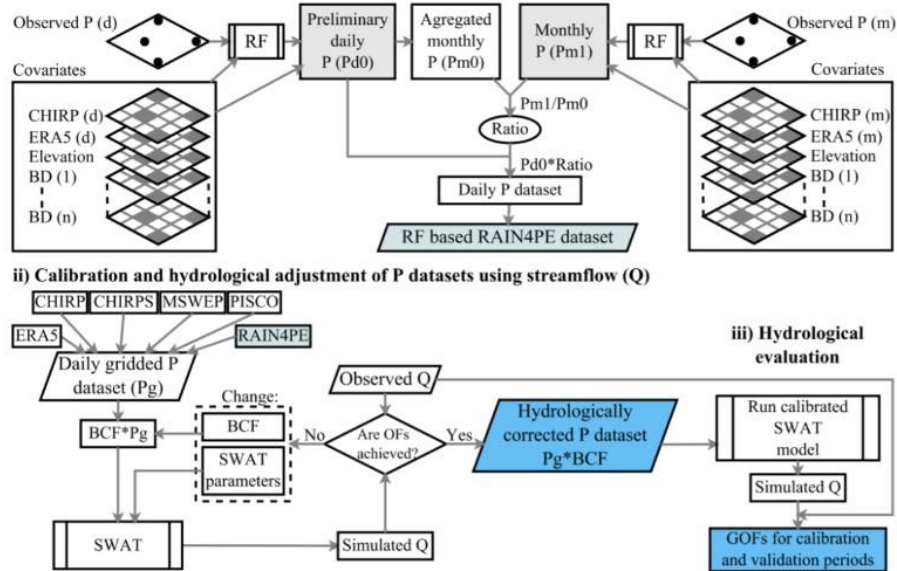


Figura 6: Marco esquemático del producto grillado RAIN4PE. Fuente: [12].

f. Método de interpolación Kriging

Es un procedimiento determinístico de interpolación que aprovecha la autocorrelación espacial para generar superficies de predicción más precisas que otros métodos. Esto se debe a que se asume que la variable a interpolar puede definirse como una variable regionalizada [13]. En suma, Paredes et al. [14] mencionan que este método es una forma de determinar la magnitud de una variable en una posición del espacio, basándose de la información de dicha variable en otras posiciones del espacio y utilizando exclusivamente las características físicas de las muestras de elevación.

g. Caracterización de la estación meteorológica Salamanca

En la figura 7 se muestra la ubicación de la estación Salamanca a través de la interfaz del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos. Este observatorio fue desarrollado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), organismo rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos [15].

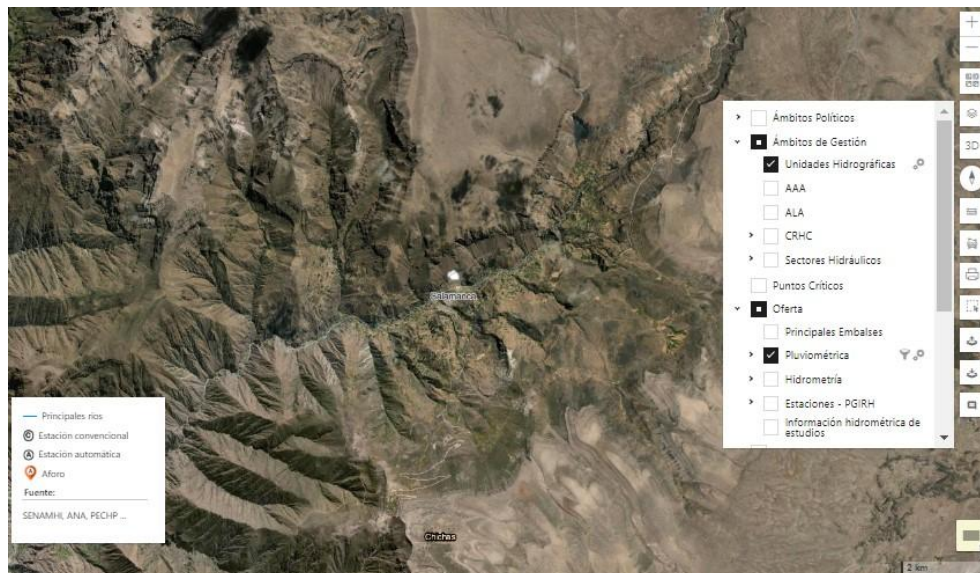


Figura 7: Interfaz del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos. Fuente: [16].

Asimismo, en la figura 8 se presenta la base de data histórica de precipitaciones diarias que presenta dicha estación.

Estación Climática Salamanca (000801)							
Convencional, Climática (000801) Salamanca							
AAA: Caplina Ocoña			ALA: Ocoña Pausa				
Coordenadas		Longitud: -72.8333, Latitud: -15.5000					
Unid. Hidrográfica		Medio Bajo Chichas					
Tipo		Convencional		Fotografías		No disponible	
Tipo Data		Datos primarios sin control de calidad, sujetos a variación según el criterio del operador.					
Información Climática							
Variable		Fuente	Periodo	Gráf. Análisis	Data Hist.	Des. datos	Ver cuadro
Datos primarios (Datos registrados por los órganos desconcentrados)							
Precipitación ACU 1DIA		SENAMHI	1964-2014				

Figura 8: Base de data histórica de 1964 al 2014 de la estación Salamanca.
Fuente: [16].

h. Estimación de precipitaciones con el método de Weibull

Para la estimación de eventos extremos, como precipitaciones de magnitud muy intensa, se emplea el período de retorno como parámetro clave para evaluar su probabilidad de ocurrencia. Este se calcula a partir de registros históricos de precipitación, permitiendo identificar con qué frecuencia un evento de determinada magnitud podría repetirse en un intervalo dado [17]-[18].

En este estudio, dicha estimación se realizará mediante el método de distribución de valores extremos de Weibull, ampliamente utilizado en el análisis de eventos excepcionales. Esta metodología permite evaluar la magnitud de sucesos impredecibles y determinar sus intervalos de reaparición [19]. Por lo tanto, la evaluación de los períodos de retorno se realizará mediante la siguiente ecuación [20].

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (1)$$

Donde:

T: Período de retorno.

n: Número total de años de la base de datos.

m: Número de orden de clasificación de las intensidades de precipitación.

III. METODOLOGÍA

La obtención de lluvias máximas anuales fue obtenida utilizando los productos grillados CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE a través de la herramienta geoespacial en la nube Google Earth Engine (GEE) [21], lo que facilitó el procesamiento de información espacial a gran escala [22]. Posteriormente, estos datos fueron procesados en el software ArcGIS, con la correspondiente validación y correlación frente a los registros de precipitaciones proporcionados por la estación meteorológica Salamanca, administrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), entidad pública responsable de recolectar y reportar datos meteorológicos e hidrológicos en el Perú [23].

Para facilitar la comprensión del proceso de desarrollo de la investigación, se muestra en la figura 9 el diagrama de flujo que presenta de manera detallada y sistematizada la estimación de precipitaciones para los periodos de retorno de 10, 100 y 1000 años, empleando los productos grillados mencionados anteriormente.

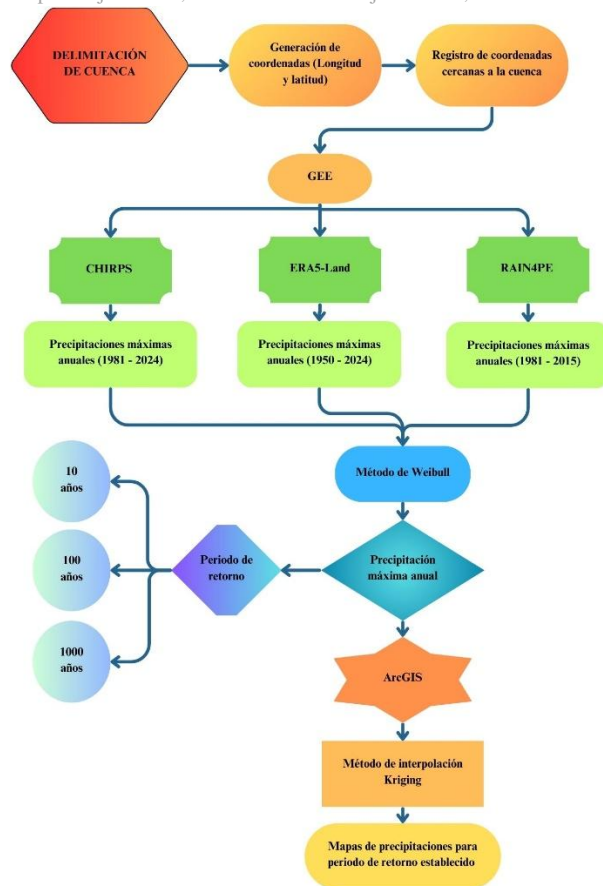


Figura 9: Diagrama de flujo de obtención de generación de precipitación para distintos periodos de retorno. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 10 se presenta el diagrama de flujo que muestra el proceso de validación y correlación de los datos obtenidos con los productos grillados y los datos registrados por la estación Salamanca.

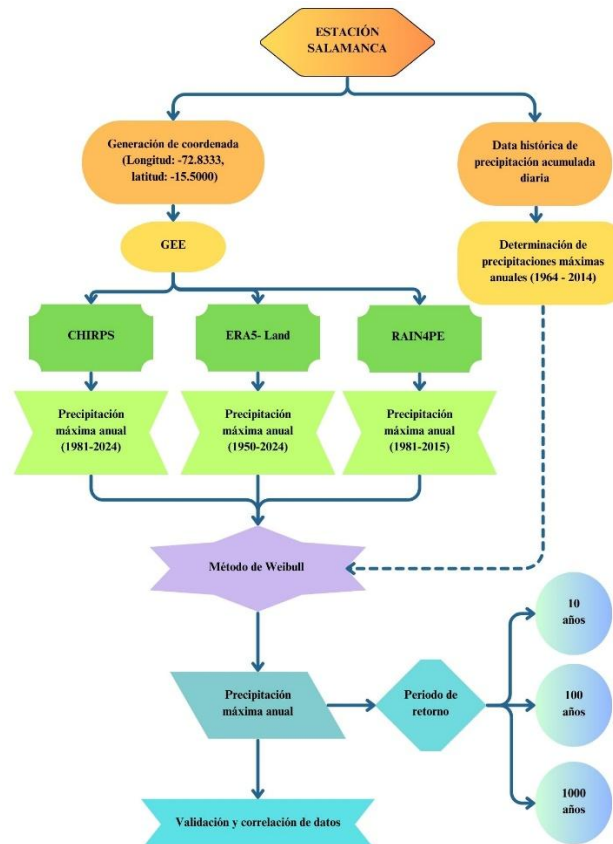


Figura 10: Diagrama de flujo de validación y correlación de datos obtenidos de la estación Salamanca con los productos grillados. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta en la figura 11 el diagrama de flujo que detalla la aplicación del método de Weibull para la estimación de las precipitaciones máximas anuales (PMA) en distintos períodos de retorno.

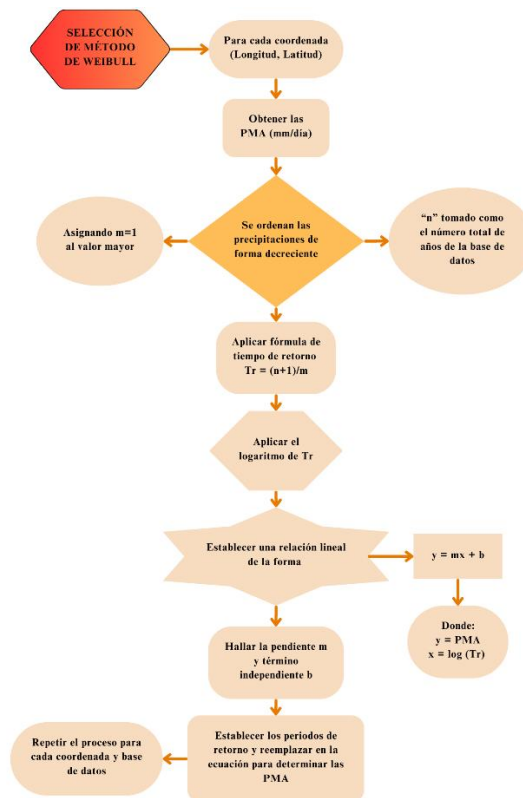


Figura 11: Diagrama de flujo del proceso de aplicación del método de distribución Weibull para la obtención de PMA para distintos periodos de retorno Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, debido a la gran extensión de los códigos empleados, estos se comparten a continuación.

CHIRPS_Lluvias Máximas Anuales se encuentra disponible en [24].

ERA5-Land_Lluvias Máximas Anuales se encuentra disponible en [25].

RAIN4PE_Lluvias Máximas Anuales se encuentra disponible en [26].

IV. RESULTADOS

a. Periodo de retorno de 10 años para los productos CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE

En la figura 12 se muestra la distribución de la precipitación para un periodo de retorno de 10 años según CHIRPS. Se visualiza que las lluvias se intensifican en la llanura costanera, alcanzando valores de hasta 86.89mm/día. No obstante, estas disminuyen en dirección norte, presentando un valor mínimo de 15.69mm/día, con la excepción de la zona central de la cuenca, donde hay un ligero incremento de la precipitación.

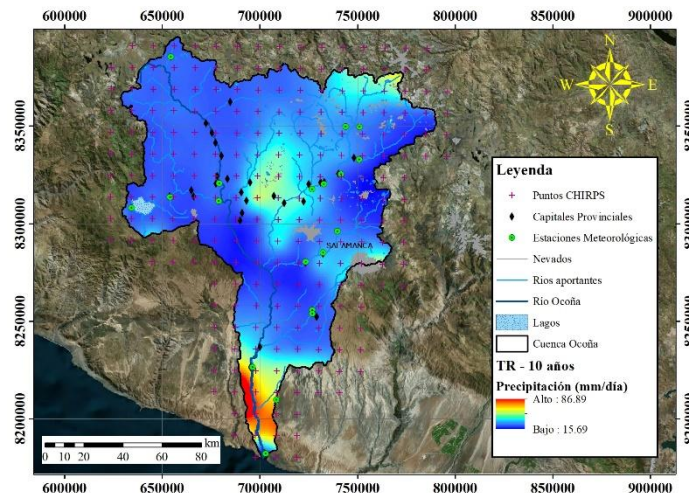


Figura 12: Producto grillado CHIRPS, intervalo de retorno de 10 años.

Fuente: Elaboración propia.

Según ERA5-Land, la distribución de la precipitación para la cuenca del río Ocoña se presenta en la figura 13. En este caso, las precipitaciones máximas ocurren en la cordillera occidental, en la región de Arequipa, alcanzando un valor máximo de 54.02mm/día. Empero, las precipitaciones mínimas se registran en la cordillera de la costa, con zonas cercanas al mar en las que la precipitación es de 0.00mm/día.

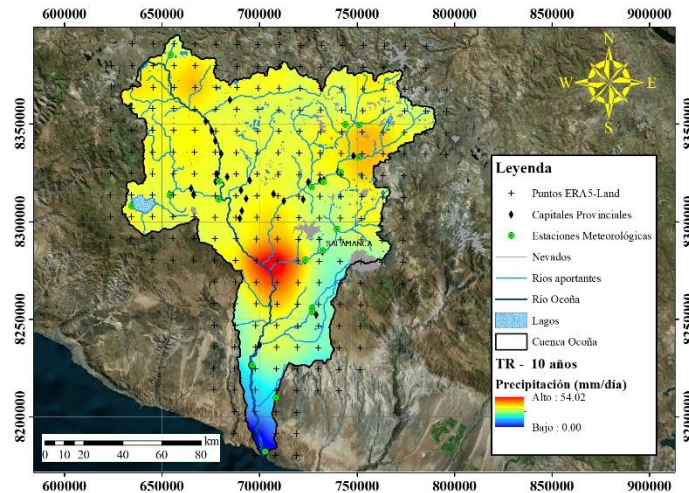


Figura 13: Producto grillado ERA5-Land, intervalo de retorno de 10 años.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con RAIN4PE, la distribución de la precipitación se muestra en la figura 14. El rango de precipitación es ligeramente similar al de ERA5-Land; no obstante, las precipitaciones más intensas se registran en la zona del altiplano, al norte de Arequipa, en el límite con Apurímac, alcanzando valores máximos de hasta 42.00mm/día. Además, los valores de precipitación disminuyen hacia el sur, en dirección a la cordillera de la costa, presentando valores mínimos de hasta 2.28mm/día.

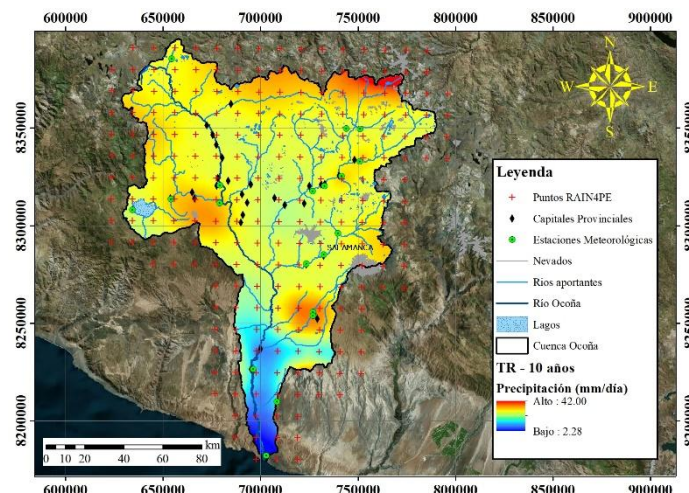


Figura 14: Producto grillado RAIN4PE, intervalo de retorno de 10 años.
Fuente: Elaboración propia.

b. Periodo de retorno de 100 años para los productos CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE

En la figura 15 se muestra la distribución de la precipitación según CHIRPS para un periodo de retorno de 100 años. En esta, las precipitaciones más intensas alcanzan hasta 159.55mm/día en la llanura costera de Arequipa, disminuyendo gradualmente en la zona norte y en dirección a la cordillera de la costa hasta llegar a un mínimo de 25.27mm/día.

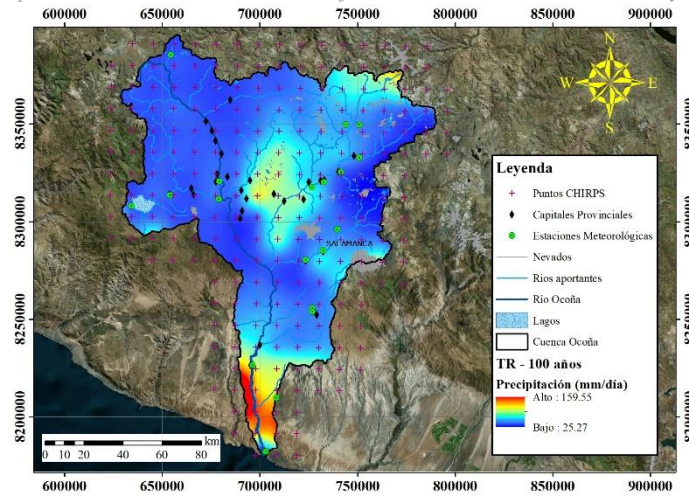


Figura 15: Producto grillado CHIRPS, intervalo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia.

Según ERA5-Land, conforme se aprecia en la figura 16, las precipitaciones más intensas tienen lugar en la cordillera occidental. No obstante, los valores máximos no alcanzan la misma magnitud que los registrados por CHIRPS, representando aproximadamente la mitad de su valor máximo, esta es de 77.68mm/día. Además, las precipitaciones decrecen en dirección este (englobando áreas del distrito de Salamanca) y hacia el océano Pacífico, alcanzando valores mínimos de hasta 1.38mm/día.

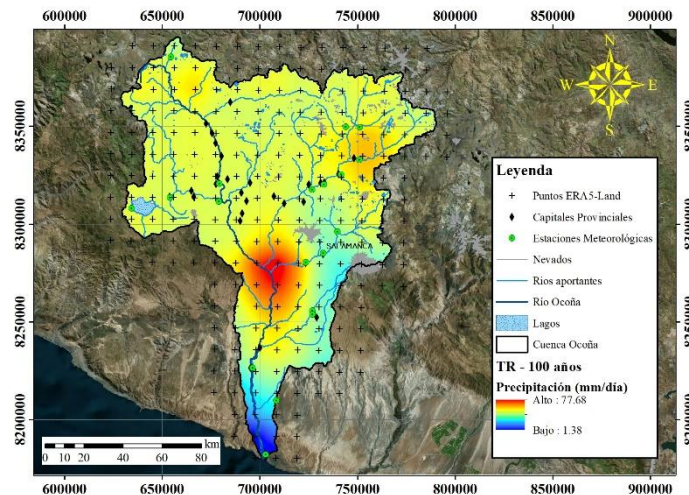


Figura 16: Producto grillado ERA5-Land, intervalo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a RAIN4PE, se observa en la figura 17 que en ciertas áreas específicas de la cuenca las precipitaciones son más intensas, como se evidencia por tonos amarillos más pronunciados. Estas regiones abarcan los departamentos de Ayacucho y Arequipa. Sin embargo, las precipitaciones más significativas se registran en el norte de Arequipa, en los límites con Apurímac y Cuzco, alcanzando magnitudes de hasta 68.34mm/día, mientras que en la cuenca baja del río Ocoña se registran precipitaciones mínimas de 5.66mm/día.

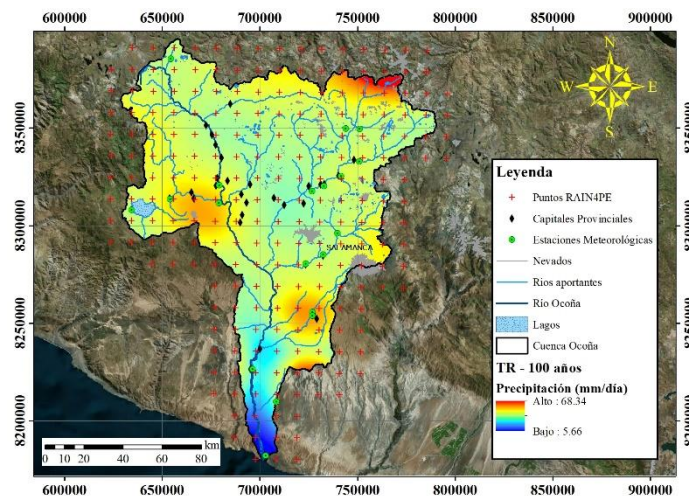


Figura 17: Producto grillado RAIN4PE, intervalo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración propia.

c. Periodo de retorno de 1000 años para los productos CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE

La figura 18 presenta la distribución de la precipitación según CHIRPS para un periodo de retorno de 1000 años. En esta representación, las precipitaciones más intensas alcanzan hasta 232.01mm/día en la llanura costera de Arequipa, disminuyendo gradualmente hacia el norte y en dirección a la cordillera de la costa, alcanzando un mínimo de 35.26mm/día. Se observa una excepción en la parte central de la cuenca, caracterizada por tonos celestes más claro, que abarca regiones de Arequipa y Ayacucho.

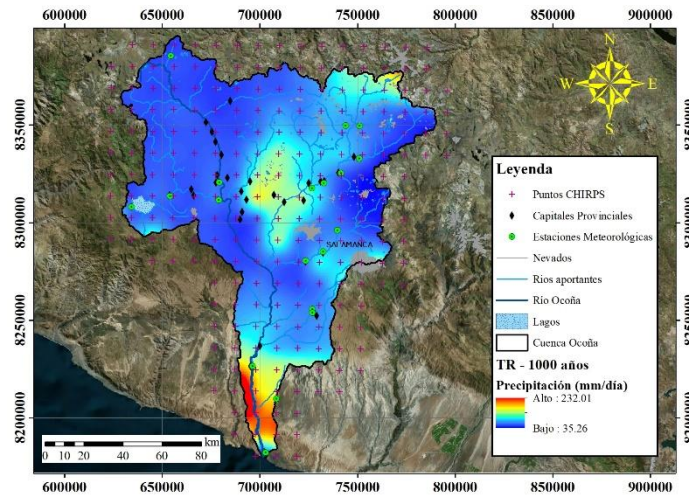


Figura 18: Producto grillado CHIRPS, intervalo de retorno de 1000 años.
Fuente: Elaboración propia.

Según ERA5-Land, como se muestra en la figura 19, las precipitaciones máximas alcanzan valores de hasta 102.53mm/día (menor al valor máximo proporcionado por CHIRPS). Es importante destacar que la región donde se registran mayores precipitaciones comprende áreas de cultivo, lo que podría generar diversos problemas. Sin embargo, las precipitaciones mínimas alcanzan hasta 2.63mm/día.

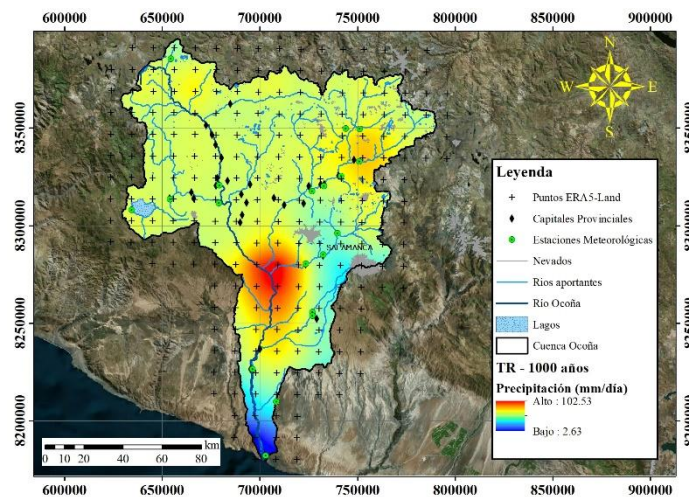


Figura 19: Producto grillado ERA5-Land, intervalo de retorno de 1000 años.
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a RAIN4PE, se observa en la figura 20 que en ciertas áreas específicas de la cuenca las precipitaciones son más elevadas, como se evidencia por tonos amarillos más pronunciados. Estas regiones abarcan los departamentos de Ayacucho y Arequipa. Sin embargo, las precipitaciones más significativas se registran en el norte de Arequipa, en los límites con Apurímac y Cuzco, alcanzando magnitudes de hasta 94.76mm/día. En contraste, en la cordillera de la costa se registran precipitaciones mínimas de 9.63mm/día.

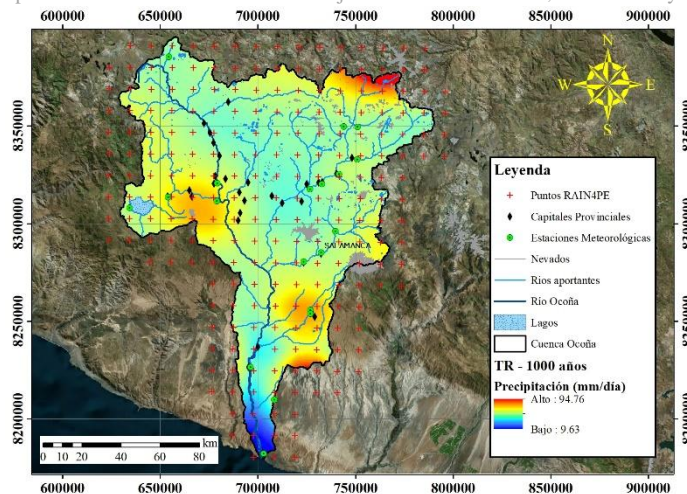


Figura 20: Producto grillaado RAIN4PE, intervalo de retorno de 1000 años.
Fuente: Elaboración propia.

d. Tabla de resumen de datos máximos obtenidos con CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE

En la tabla 1 se presenta un resumen que recopila los datos máximos de precipitaciones obtenidos mediante los diferentes productos grillaados y para diversos periodos de retorno. Es importante destacar que se incluyeron varios periodos de retorno adicionales con el objetivo de analizar el incremento gradual de las precipitaciones.

Tabla 1: Resultados de datos máximos de CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE para diversos periodos de retorno.

Periodo de retorno	CHIRPS	ERA5-Land	RAIN4PE
2	35.80	33.21	21.26
5	64.90	45.01	32.95
10	86.89	54.02	42.00
25	115.85	65.94	53.02
50	137.71	74.95	63.01
75	150.49	75.89	65.10
100	159.55	77.68	68.34
500	210.21	93.81	86.75
1000	232.01	102.53	94.76

Fuente: Elaboración propia.

e. Tabla de periodos de retorno para CHIRPS, ERA5-Land, RAIN4PE y Estación Salamanca

Gracias a la ubicación de las coordenadas de la estación climática Salamanca, así como datos históricos que proporciona, se procedió a evaluar las precipitaciones máximas a diferentes periodos de retorno y su correspondiente correlación con los tres productos grillaados. Los resultados se detallan en la tabla 2, en la cual se incluyeron otros periodos de retorno para analizar con mayor detenimiento el continuo incremento de precipitaciones.

Tabla 2: Resultados de datos máximos de CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE para diversos periodos de retorno.

Periodo de retorno	Estación Salamanca	CHIRPS	ERA5-Land	RAIN4PE
2	19.61	24.24	19.98	14.33
5	27.36	45.31	23.51	18.59
10	33.23	61.25	26.17	21.81
25	40.98	82.32	29.70	26.07
50	46.85	98.26	32.37	29.29
75	50.28	107.59	33.93	31.18
100	52.71	114.21	35.03	32.51
500	66.33	151.22	41.22	40.00
1000	72.20	167.16	43.89	43.22

Fuente: Elaboración propia.

f. Gráfica de periodos de retorno para CHIRPS, ERA5-Land, RAIN4PE y Estación Salamanca

La figura 21 presenta de manera gráfica los resultados de precipitación obtenidos de la tabla 2, con el propósito de facilitar el análisis de las tendencias de crecimiento y la correlación de estos resultados con los productos grillaados en relación con la estación Salamanca.

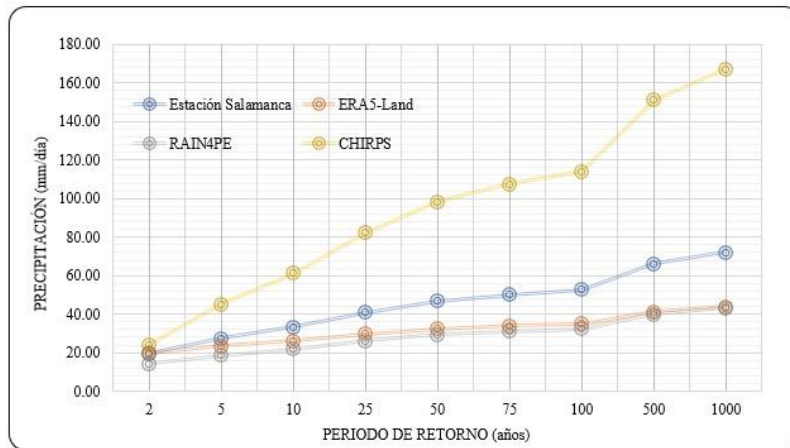


Figura 21: Representación gráfica de los resultados expuestos en la tabla 2.
Fuente: Elaboración propia.

Con la gráfica anterior se evidencia una tendencia de crecimiento similares para los resultados obtenidos de los productos ERA5-Land y RAIN4PE con respecto a la estación Salamanca, no obstante, la de ERA5-Land se encuentra ligeramente más cercana a dicha estación.

V. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de estimaciones de precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno empleando los productos grillados CHIRPS, ERA5-Land y RAIN4PE en la cuenca hidrográfica Ocoña, se puede concluir que dicha información hidrológico es de gran relevancia porque facilita la comprensión de las variaciones de magnitud y permite la identificación de las áreas de máximas precipitaciones.

Además, se realizó una correlación de datos entre los productos grillados y la estación climática Salamanca con la finalidad de averiguar la existencia de tendencias similares, es por ello que se podría mencionar que los productos ERA5-Land y RAIN4PE se ajustan mejor a las condiciones climáticas en la región de la cuenca del río Ocoña proporcionando resultados menos distantes en comparación con CHIRPS, lo cual pone de manifiesto una baja correlación de datos entre este último producto grillado y la estación.

Adicionalmente, se constata que a medida que el periodo de retorno se incrementa, los datos de precipitación de los productos ERA5-Land y RAIN4PE tienden a converger hacia valores análogos, y estos a su vez se van distanciando gradualmente de los resultados de la estación Salamanca.

Cabe mencionar que dependiendo de la zona de estudio un producto se adaptará mejor a las condiciones terrestres específicas.

La selección pertinente de algún producto grillado en función del grado de correlación con la estación meteorológica contribuye notablemente para futuros estudios de análisis de inundaciones y caudales extremos.

Finalmente, esta investigación será de gran calado para posteriores investigaciones y para entidades que busquen salvaguardar tanto las vidas de las personas como sus recursos, como es el caso agrícola, frente a inundaciones generadas por intensas lluvias. En otras palabras, la investigación proporciona información previa al diseño de estructuras hidráulicas, tales como muros de encauzamiento y sistemas de drenaje, que contrarrestan el potencial daño que podría generarse durante eventos de inundaciones.

VI. REFERENCIAS

- [1] O. Palacios, A. Sánchez, y F. Herrera, "Geología del Perú", INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, vol. 55, pp. 177, 1995. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/176>.
- [2] L. Medina, H. Gómez, B. Santos, J. Moreno, y W. Pari, "Estudio geoambiental en la cuenca del río Ocoña", INGEMMET, Boletín, Serie N: Línea de Base Geoambiental, vol. 2, pp. 222, jul. 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3167>.
- [3] A. Cuya, "Escenarios de riesgo sísmico y lluvias intensas en el área urbana de Chosica" (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Geógrafo), Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú, 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/3059>.
- [4] Autoridad Nacional del Agua, "Supervisan sectores de cuenca del río Ocoña por crecida de caudal", 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/noticia/supervisan-sectores-de-cuenca-del-rio-ocona-por-crecida-de-caudal>.
- [5] Agencia Peruana de Noticias (ANDINA), "Arequipa: desborde del río Ocoña afectó más de 20 hectáreas de arroz", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-arequipa-desborde-del-rio-ocona-afecto-mas-20-hectareas-arroz-976706.aspx>.
- [6] H. Manchay, A. Aponte, y A. Carmona, "Precipitation generation for different return times using the Rain4pe and PISCOp V2.1 gridded products in the Zaña River basin", LACCEI, 2023. Disponible en <https://laccei.org/LEIRD2023-VirtualEdition/meta/fp195.html>.
- [7] ArcGIS Resource Center, "¿Qué es ArcGIS?", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>. (Accedido el: 20 de mayo de 2024).
- [8] G. Perilla y J. Mas, "Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube", Investigaciones Geográficas, no. 101, doi: [10.14350/ig.59929](https://doi.org/10.14350/ig.59929), 2020.
- [9] C. Funk, P. Peterson, M. Landsfeld, et al., "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes", Sci Data, vol. 2, no. 150066, 2015, doi: [10.1038/sdata.2015.66](https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66).

- [10] J. Muñoz et al., "ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications", *Earth System Science Data*, vol. 13, no. 9, pp. E4349-E4383, 2021, 2021, doi: [10.5194/essd-13-4349-2021](https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021).
- [11] C. Fernández et al., "A novel high-resolution gridded precipitation dataset for Peruvian and Ecuadorian watersheds – development and hydrological evaluation", *Journal of Hydrometeorology*, vol. 23, no. 3, pp. 309-336, 2022, doi: [10.1175/jhm-d-20-0285.1](https://doi.org/10.1175/jhm-d-20-0285.1).
- [12] H. Llauca, "Datos hidrometeorológicos cuadrículados del Perú", Hllauca, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hllauca.github.io/posts/2023-06-04-quarto-blogs/>. (Accedido el: 20 de mayo de 2024).
- [13] ArcGIS Pro, "Cómo funciona Kriging", [En línea]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>. (Accedido el: 20 de mayo de 2024).
- [14] C. Paredes, W. Salinas, X. Martínez, y S. Jiménez, "Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación", *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, vol. 2013, no. 82, pp. 118-130, 2013, doi: [10.14350/ig.35906](https://doi.org/10.14350/ig.35906). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461113727900>.
- [15] Autoridad Nacional del Agua, "La Autoridad Nacional del Agua", [En línea]. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/contenido/la-autoridad-nacional-del-agua>. (Accedido el: 20 de mayo de 2024).
- [16] Autoridad Nacional del Agua, "Observatorio Nacional de Recursos Hídricos", [En línea]. Disponible: <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>. (Accedido: 20 de mayo de 2024).
- [17] M. Villón, *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2002. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=JjGDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- [18] J. Gutiérrez, V. Vargas, M. Romero, J. Plácido de la Cruz, M. Aguirre y H. Silva, "Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México", *Investigaciones Geográficas*, vol. 76, pp. 20-33, may. 2011. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112011000300003&lng=es&tlng=es.
- [19] A. Ferrera, *Análisis Weibull: Ejemplos Básicos de cómo usarlo para los Análisis de Confiabilidad*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://predictiva21.com/analisis-weibull-ejemplos/>.
- [20] W. Chereque, *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989. Disponible en: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>.
- [21] I. Santiago, *Fundamentos de ArcGis. Versión ArcView, 9.1*. San Juan, Puerto Rico: Oficina de Gerencia y Presupuesto, 2007. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/552144014/Fundamentos-de-ArcGis-Tutorial-de-Ejercicios-Ivan-Santiago>.
- [22] Google, "Google Earth Engine", [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/intl/es_in/earth/education/tools/google-earth-engine/. (Accedido el: 20 de octubre de 2024).
- [23] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, "¿Quiénes somos?", [En línea]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>. (Accedido el: 20 de mayo de 2024).
- [24] A. Carmona, "Código en Google Earth Engine Extracción de lluvias máximas anuales con CHIRPS", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://code.earthengine.google.com/527aee73358d6c8393ef99336be19fa3>.
- [25] A. Carmona, "Código en Google Earth Engine Extracción de lluvias máximas anuales con ERA5-Land", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://code.earthengine.google.com/ad971e75c496750691f93be5a7174f7b>.
- [26] A. Carmona, "Código en Google Earth Engine Extracción de lluvias máximas anuales con RAIN4PE", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://code.earthengine.google.com/b64630c08a4a8f4ae1539176fbafca4>.