

ANÁLISIS COMPARATIVO DE BASES DE DATOS DE PRECIPITACIONES PARA LA PROVINCIA DE MANABÍ

COMPARATIVE ANALYSIS OF RAINFALL DATABASES FOR THE PROVINCE OF MANABÍ

Edgar Jimenez^{1*}

¹ Estudiante del Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7856-6245>. Correo: ejimenez5610@utm.edu.ec

Anthony Murillo²

² Estudiante del Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5890-5753>. Correo: amurillo8810@utm.edu.ec

Daniel Delgado³

³ Docente del Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Red de Desarrollo Urbano Sostenible de Manabí. Portoviejo, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5251-8037>. Correo: daniel.delgado@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: ejimenez5610@utm.edu.ec

Resumen

La lluvia es el principal causante de graves problemas sociales si no se cuentan con medidas efectivas para mitigar sus efectos. Pese a esto, existe un limitado conocimiento sobre la calidad de las bases de datos disponibles en Manabí. El objetivo principal de la investigación es realizar un análisis comparativo de bases de datos de precipitaciones en la provincia de Manabí-Ecuador, para determinar una fuente fiable en la generación de estimaciones de lluvia dentro de la zona de estudio. La metodología se basó en la identificación de las fuentes de precipitaciones disponibles para posteriormente realizar un análisis estadístico y cualitativo entre las bases de datos seleccionadas. Las bases de datos satelitales GPM y GPCC fueron obtenidas desde sus servidores web; la base de datos del INAMHI se obtuvo desde la institución correspondiente; en análisis estadístico se validó mediante la consideración del Coeficiente R² de Pearson; el análisis cualitativo evaluó las principales ventajas y desventajas de la información proporcionada por cada base de datos. Los resultados mostraron que las distintas fuentes de información tuvieron una distribución espacial similar, identificando a

la ciudad de El Carmen como el sector con mayor intensidad de precipitaciones. El rango de precipitaciones obtenidas de cada base de datos tuvo diferencias significativas. GPM sobrestimó fuertemente las precipitaciones en tierras bajas, pese a mostrar mejores cualidades en las características de la información proporcionada. GPCC mostró la mejor compatibilidad entre las fuentes seleccionadas, pero presentó ciertas limitaciones en sus cualidades. INAMHI fue la base de datos que registró mayores limitaciones desde el punto de vista estadístico y cualitativo. Se recomienda la utilización de GPCC para la estimación de las precipitaciones en tierras bajas y GPM para los demás sectores de la provincia de Manabí.

Palabras clave: Precipitaciones; información raster; lluvias; teledetección; información satelital; Manabí.

Abstract

Rainfall is the main cause of serious social problems if there are no effective measures to mitigate its effects. Despite this, there is limited knowledge about the quality of the databases available in Manabí. The main objective of this work is to carry out a comparative analysis of rainfall databases in the province of Manabí-Ecuador, to determine a reliable source for the generation of rainfall estimates within the study area. The methodology was based on the identification of the available precipitation sources to later carry out a statistical and qualitative analysis between the selected databases. The GPM and GPCC satellite databases were obtained from their web servers; the INAMHI database was obtained from the corresponding institution; in statistical analysis it was validated by considering the Pearson R2 Coefficient; the qualitative analysis evaluated the main advantages and disadvantages of the information provided by each database. The results showed that the different sources of information had a similar spatial distribution, identifying the city of El Carmen as the sector with the highest rainfall intensity. The range of precipitations obtained from each database had significant differences. GPM strongly overestimated rainfall in lowlands, despite showing better qualities in the characteristics of the information provided. GPCC showed the best compatibility between the selected sources, but it presented certain limitations in its qualities. INAMHI was the database that registered the greatest limitations from the statistical and qualitative point of view. The use of GPCC is recommended for the estimation of rainfall in lowlands and GPM for the other sectors of the province of Manabí.

Keywords: Precipitation, raster information, rainfall, remote sensing, satellite information, Manabí

Fecha de recibido: 12/11/2023

Fecha de aceptado: 08/01/2024

Fecha de publicado: 28/01/2024

Introducción

El clima es un parámetro dinámico de los sistemas ambientales que actúan en diferentes procesos (Corona et al., 2017). Especialmente en Ecuador, que tiene características muy particulares que lo que lo convierten en un área de estudio muy interesantes para realizar cualquier investigación (Romero et al., 2007). Entre sus

características se destaca su ubicación, que se distribuye en tres regiones continentales con marcados cambios de relieve (Costa, Sierra/Andes y Amazonía), la existencia de dos trópicos y la línea equinoccial (Pourrut, 1983; Pourrut, 1994). Esto hace que la distribución de las lluvias sea muy irregular en todo su territorio, identificándose sólo dos períodos, uno seco y otro húmedo (Pourrut, 1994).

Pese a ser un país pequeño, los tiempos de las estaciones seca y húmeda no son las mismas dentro de todo su territorio, lo que es producto de sus condiciones ambientales particulares. Para las cuencas que drenan hacia el Océano Pacífico, la estación húmeda inicia en diciembre y termina en mayo (6 meses), mientras que la estación seca inicia en junio y finaliza en noviembre (6 meses), mostrando un comportamiento más regular (Delgado et al., 2022). En cambio, las cuencas que drenan hacia el Amazonas tienen un comportamiento ambiental muy irregular. Su estación húmeda dura 10 meses e inicia en septiembre y finaliza en junio, mientras que la estación seca tiene una duración de tan solo 2 meses (julio y agosto, Delgado et al., 2022).

Adicionalmente, en Ecuador se registra un fenómeno hidrometeorológico muy importante, que golpea al país cada 3 o 5 años y se denomina el Fenómeno de El Niño (Pourrut, 1994). Este fenómeno ha sido el causante de grandes inundaciones que han afectado considerablemente a todos los habitantes del país, en especial a los ubicados en la región costa (El Comercio, 2009).

Determinar de manera correcta la distribución espacial y temporal de las lluvias, permite generar modelos geospaciales que son aplicados en varias líneas de acción, como la gestión de riesgos y la gestión de recursos hídricos, así como el uso y manejo del suelo (Delgado et al., 2021; Mendoza et al., 2023; Párraga et al., 2023).

Lamentablemente en Ecuador, los estudios relacionados a problemas de erosión hídrica o gestión de las cuencas del país son muy escasos, principalmente por la carencia de una correcta base de datos de precipitaciones (Delgado et al., 2022).

Pese a que, en Ecuador, el Instituto de Hidrología y Meteorología (INAMHI) es el encargado de generar los registros de precipitaciones desde hace más de 50 años, la calidad de datos y la distribución de las estaciones de medición de lluvias no son las correctas, lo que no permite considerar a esta fuente como una base de datos fiable para generar estudios hidrológicos de calidad (Delgado et al., 2022).

En la actualidad, para poder hacer frente a esta visible y alarmante falta de información, es posible utilizar fuentes satelitales que permiten obtener registros de precipitaciones de gran calidad, como el Global Precipitation Measurement (GPM), Global Precipitation Climatological Center (GPCC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), entre otros (Nowosad & Stepinski, 2022).

Por esta razón, el objetivo principal de la presente investigación es analizar tres bases de datos distintas (incluida la del INAMHI) para determinar cuál de ellas es la más adecuada para utilizarse en la provincia de Manabí, con la finalidad de generar información sólida que permita hacer frente a los problemas generados por factores hidrológicos.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Manabí (Fig. 1). Manabí es parte de las 24 provincias que conforman el territorio ecuatoriano y a la vez se divide en 24 cantones y su capital es

Portoviejo. La provincia tiene una extensión de 18958 km² (según el mapa de división política de SIGTIERRAS Ecuador).

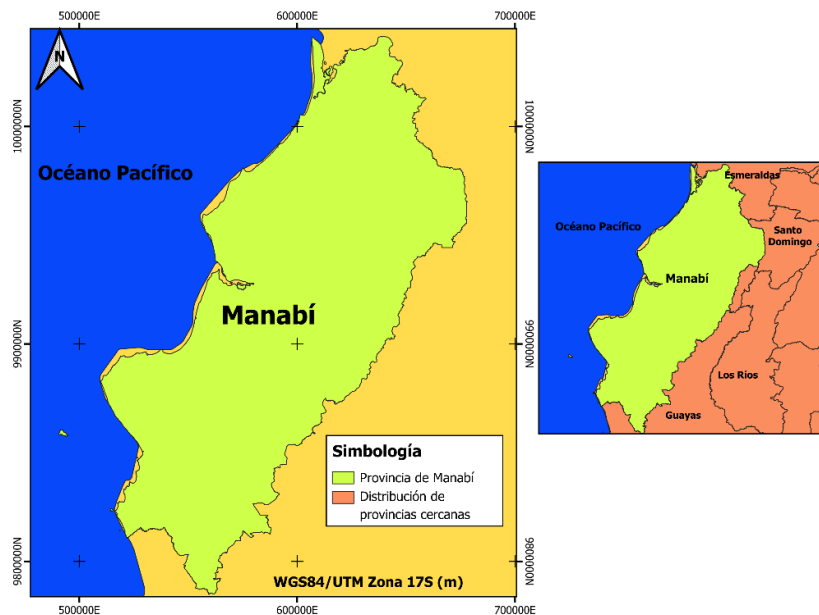


Figura 1. Área de estudio (provincia de Manabí)

Una vez determinada el área de estudio, se procedió a escoger las bases de datos de precipitaciones que serán evaluadas. Su elección se basó considerando la cobertura completa de la zona de estudio, un rango de información disponible de mínimo 15 años y una escala temporal mínima mensual. Mediante estas consideraciones se escogieron las siguientes bases de datos:

- 1) Global Precipitation Measurement (GPM): Es un producto satelital realizado por la NASA y JAXA que mide las precipitaciones y los nevados. Esta base de datos genera información desde junio del año 2000 hasta la actualidad y presente 3 calidades de ráster. El más importante y que presenta la mejor calidad (a nivel de investigación de alto impacto) es GPM Final Run, que aparece 3.5 meses después de obtenida la imagen satelital, debido a que es procesada, validada y corregida mediante algoritmos automáticos denominados IMERG. Por tanto, la información a emplear en la presente investigación será GPM Final Run, la cual se descargó a una escala nativa de 10 km para posteriormente llevarla a 1 km (escala de trabajo).
- 2) Global Precipitation Climatology Centre (GPCC): Corresponde a un producto satelital que proporciona información basada en indicadores de alta calidad sobre el clima de casi toda la superficie terrestre. Ofrece información desde el año 1900 hasta la actualidad. La escala espacial es variada, iniciando desde los 25 km. Para la presente investigación se consideraron únicamente los datos de precipitaciones para la zona de estudio, en su escala nativa de 25 km.
- 3) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Es una entidad gubernamental del Ecuador que se encarga de generar información hidrometeorológica del país mediante

observaciones en sitio obtenidas de estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio ecuatoriano desde 1965.

Una vez escogidas las bases de datos, se procedió a determinar un intervalo común de análisis considerando la disponibilidad de información de cada una de las fuentes (2001-2015). Los datos obtenidos de información satelital fueron descargados desde sus páginas web oficiales y posteriormente fueron tratadas por los Softwares R y QGIS que permitieron modificar el grupo de coordenadas (a WGS 84 zona 17S) y su escala espacial (a 1 km).

La base de datos del INAMHI recibió un tratamiento especial debido a que esta información es proporcionada mediante estaciones de aforo físicas. Inicialmente se escogieron las estaciones que tuvieran una carencia de datos de máximo el 30% para posteriormente realizar el relleno de información mediante el método de Regresión Lineal, empleando información de estaciones de aforo que presentaron condiciones ambientales similares y cuyas series de datos generaran un coeficiente de correlación R mayor o igual a 0.70. Mediante estas consideraciones y de manera general, el 18% de los datos fueron completados mediante la metodología de relleno. El resultado de este procesamiento permitió contar con una base de datos final a una resolución temporal mensual considerando la información de 6 estaciones de aforo durante el período 2001-2015 (Fig. 2). Se procuró que las estaciones identificadas estén dentro de la provincia de Manabí. Sin embargo, la zona norte tenía como punto más cercano la estación Chone, por lo que se escogió una estación adicional que está muy próxima a la provincia de Manabí en su sector norte, que es la estación la Concordia. Es decir, 5 estaciones dentro de la provincia de Manabí (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones de aforo utilizadas para la estimación de precipitaciones en la provincia de Manabí.

Nombre de estación	Código	X	Y	Z
PORTOVIEJO-UTM	M0005	560132,1	9885320	46
ROCAFUERTE	M0165	561103	9897664	20
OLMEDO-MANABI	M0166	588224,1	9845829	50
LA_CONCORDIA	M0025	680258,7	9997260	379
CHONE-U_CATOLICA	M0162	607210,1	9926582	36
24_DE_MAYO	M0447	564464	9858269	115

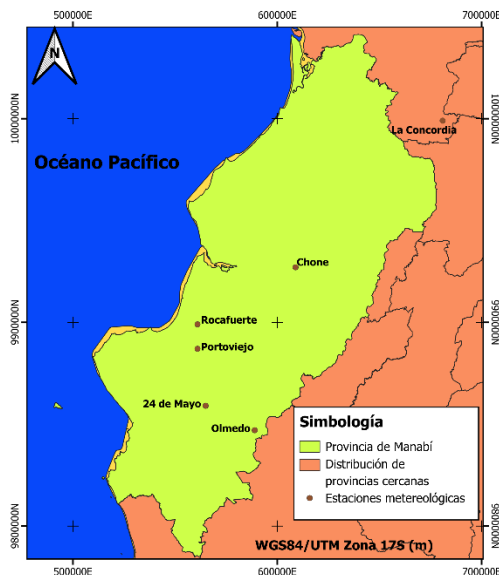


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones de aforo empleadas en la generación de las precipitaciones (INAMHI)

Para estimar las precipitaciones mediante este grupo de datos, se empleó el método de interpolación espacial multinivel B-Spline (Lee et al., 1997) dentro del software QGIS.

Posterior a la recolección y procesamiento de información de cada una de las bases de datos mencionadas, se modeló espacialmente la distribución de las precipitaciones en el territorio manabita, para luego identificar las zonas donde se registraron mayores intensidades de lluvia y comparar si existen similitudes o no en la distribución de lluvias entre las bases de datos analizadas.

Una vez mapeadas las precipitaciones por cada metodología, se aplicaron métodos estadísticos que permitieron identificar las cualidades, beneficios y restricciones de cada una de las fuentes analizadas. Entre los métodos estadísticos se aplicará el Coeficiente de Pearson simple y al cuadrado.

Estos resultados permitieron determinar qué base de datos es la más adecuada (considerando los beneficios y limitaciones de cada una de ellas) para realizar simulaciones hidrológicas dentro de la provincia de Manabí, considerándose un excelente aporte para la gestión y utilización de los recursos hídricos en nuestra provincia.

Resultados y discusión

Precipitaciones obtenidas mediante GPM

GPM es una base de datos satelital ampliamente validada a nivel mundial y que ha sido utilizado en estimaciones dentro del territorio nacional (Delgado et al., 2022), obteniendo excelentes resultados. Mediante el análisis de la Fig. 3 se puede observar que las precipitaciones dentro de la provincia han tenido una distribución espacial homogénea, registrando mayores intensidades al este de la zona de estudio y disminuyendo mientras se acercan al océano. Estas precipitaciones registraron lluvias mínimas de 890.78

mm/año y máximas de 1734.60 mm/año, con una media de 1283.26 mm/año. En especial, las mayores precipitaciones (>1500 mm/año) se identificaron dentro de las localidades de El Carmen y Flavio Alfaro, al noreste de la provincia, muy próximo a la provincia de Santo Domingo de Los Tsáchilas. Al contrario, las precipitaciones más bajas (<900 mm/año) se identificaron al sur de la ciudad de Manta, cerca de la localidad de San Lorenzo (cercano a las inmediaciones donde se desarrollaría a Refinería del Pacífico).

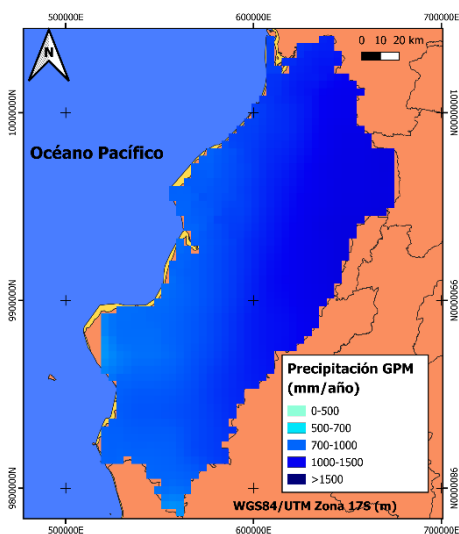


Figura 3. Distribución espacial de las precipitaciones (2001-2015) en la provincia de Manabí mediante la base de datos GPM

Precipitaciones obtenidas mediante GPCC

GPCC es una base de datos satelital que valida su información mediante estaciones de aforo físicas. Dentro de su amplia gama de beneficios está poder acceder a datos de precipitaciones de todo el Ecuador desde el año 1901, a una escala temporal mensual. Este programa es liderado por agencias alemanas de cooperación, destacando la gran calidad y veracidad con la que cuenta la información proporcionada.

Mediante el análisis de la Fig. 4 se puede observar que la distribución espacial de las precipitaciones sigue un patrón de desplazamientos, que registra las mayores intensidades de lluvia al noreste de la provincia y va disminuyendo conforme se acerca al océano (que corresponde a las partes más bajas de las cuencas, sus desembocaduras). Mediante esta base de datos se pudo observar que la precipitación anual mínima registrada fue de 353.76 mm/año, con una máxima de 2128.54 mm/año, y una media de 842.02 mm/año. Las intensidades más altas (>2000 mm/año) se registraron en El Carmen, mientras que las precipitaciones que oscilaron entre 1000 y 2000 mm/año se concentraron en la franja noreste de la provincia, cubriendo las localidades de Flavio Alfaro, La Concordia y parte de Pedernales.

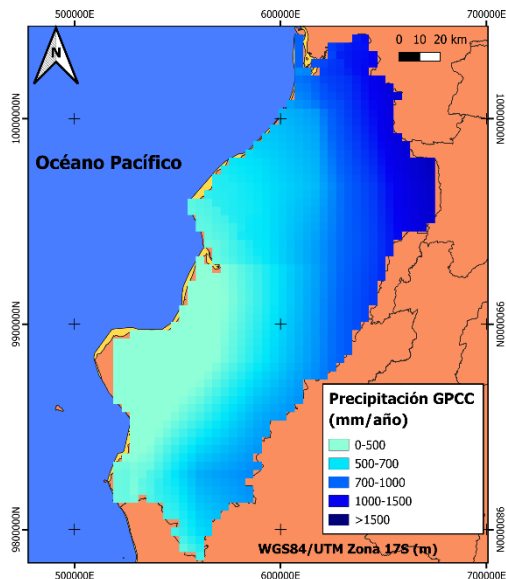


Figura 4. Distribución espacial de las precipitaciones (2001-2015) en la provincia de Manabí mediante la base de datos GPCC

Precipitaciones obtenidas mediante INAMHI

Como se indicó en secciones anteriores, la base de datos del INAMHI es proporcionada por entidades ecuatorianas desde los 60. Sin embargo, en la sección Metodología se pudo observar que la distribución espacial de las estaciones de aforo junto con el proceso empleado para obtener resultados (y su elevada carencia de información), solo permitió seleccionar a 6 puntos de información (estaciones meteorológicas) para poder interpolar la distribución de las precipitaciones a lo largo del territorio manabita. La elección de estas estaciones se la realizó en base a la calidad y cantidad de información disponible, siendo evaluada mediante métodos estadísticos como el Coeficiente de Pearson (r). En la Fig. 5 se puede observar la distribución de las precipitaciones a nivel provincial, donde destacan intensidades anuales máximas de lluvias de 2681.30 mm/año y mínimas de 382.32 mm/año, con valores medios de 1275.08 mm/año. En general, la distribución de las precipitaciones mantuvo un patrón muy marcado, pudiéndose observar (Fig. 5) isoyetas regulares que van perdiendo intensidad mientras se acercan al océano. Mediante esta metodología, las intensidades más altas tuvieron un mayor rango de cobertura y se extendieron desde El Carmen hasta Pedernales en toda la franja fronteriza de la provincia, llegando muy próximos a la reserva Mache-Chindúl de la provincia de Esmeraldas. Al contrario, las intensidades más bajas de las precipitaciones se situaron en Manta (desde su aeropuerto) hasta la ciudad de Bahía de Caráquez (en toda la franja costera), abordando también localidades como Rocafuerte, Crucita y pequeños sectores de Portoviejo.

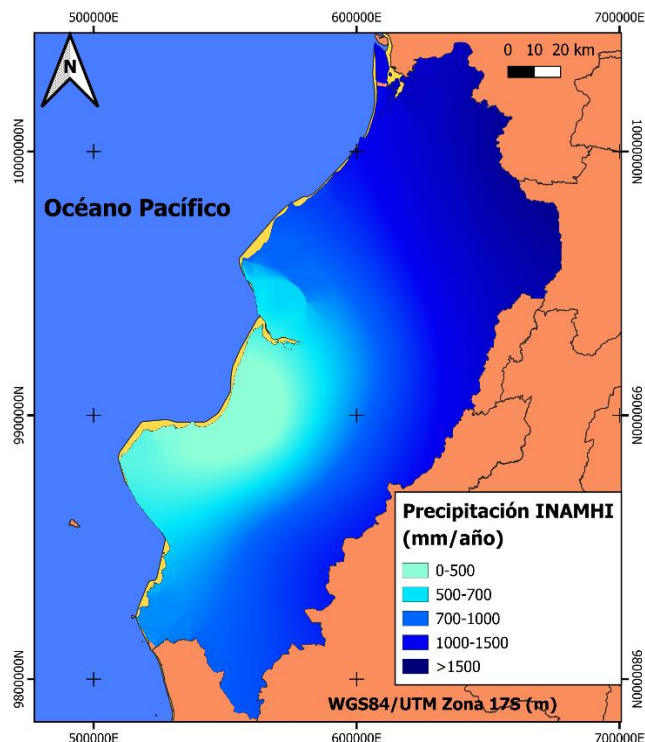


Figura 5. Distribución espacial de las precipitaciones (2001-2015) en la provincia de Manabí mediante la base de datos del INAMHI

Inter comparación entre los conjuntos de datos de precipitación

Los resultados obtenidos de las bases de datos de las precipitaciones alcanzadas. Pese a que cada una de estas generó rangos distintos de sus intensidades durante los 15 años analizados, la distribución espacial de las lluvias tuvo cierta similitud. En general, las 3 bases de datos coincidieron en identificar a la ciudad de El Carmen como la localidad que presenta mayores intensidades de lluvia, mientras que, en las inmediaciones de Manta, se registraron los valores más bajos. Cabe destacar que los rangos inferiores de las bases de datos GPCC (353.76 mm/año) e INAMHI (382.32 mm/año) tuvieron resultados muy similares, a diferencia de GPM que registró una intensidad mínima mucho mayor (890.78 mm/año). Si se consideran los valores máximos, GPCC e INAMHI también mostraron precipitaciones más elevadas (2128.54 mm/año y 2681.30 mm/año, respectivamente), mientras que, al contrario de lo ocurrido con los rangos inferiores, GPM mostró un valor máximo mucho más bajo (1734.60 mm/año).

En cuanto a los valores medios, tanto GPM como GPCC mostraron valores similares (890.78 mm/año y 842.02 mm/año, respectivamente) mientras que INAMHI registró un valor medio mucho mayor (1275.08 mm/año).

En esta última sección destaca una apreciación interesante, los resultados del INAMHI muestran un claro sesgo en las precipitaciones que se ven reflejados en sus valores medios. Esto indicaría que los datos del

INAMHI están sobrestimando fuertemente las precipitaciones dentro de la provincia, generando una distribución espacial inadecuada.

Así mismo, se puede observar que GPM sobrestima valores bajos de precipitaciones, pero los valores medios y máximos son mucho más cercanos a la realidad. En cuanto a GPCC, un análisis superficial indicaría que es una base de datos intermedia que presenta resultados interesantes, aunque sobrestima lo valores altos.

Para realizar una mejor comparación entre las bases de datos, se procederá a establecer pixeles de análisis para observar los resultados. Los puntos escogidos se pueden observar en la Figura 6 y Tabla 2.

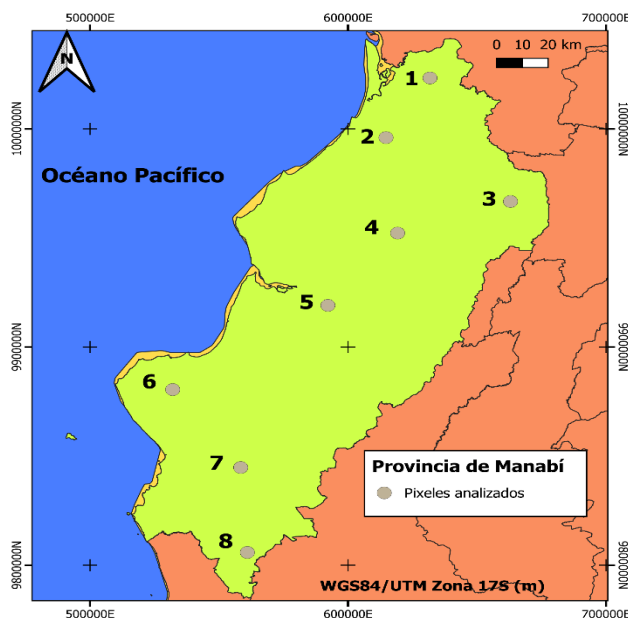


Figura 6. Distribución espacial de los pixeles analizados en la provincia de Manabí

Tabla 2. Información de los pixeles escogidos para el análisis de las precipitaciones.

Pixel N°	Coordenadas		Precipitaciones (mm/año)		
	x	y	GPM	GPCC	INAMHI
1	631777	10023330	1390,97	1345,14	2116,66
2	614723	9995980	1280,64	836,21	1704,17
3	662989	9966698	1696,44	1784,64	2432,63
4	619228	9952219	1472,75	885,68	1421,72
5	592199	9919076	1258,49	656,31	772,44
6	532027	9880463	981,41	367,3	540,77
7	558413	9844747	1107,57	668,97	1052,14
8	560987	9805812	1018,17	736,72	1117,7

La Tabla 2 permite observar que, en general, GPM mantiene siempre similitud con una de las dos bases de datos y, también se observa que GPM sigue sobrestimando las intensidades bajas, que se dan especialmente en las regiones cercanas al océano.

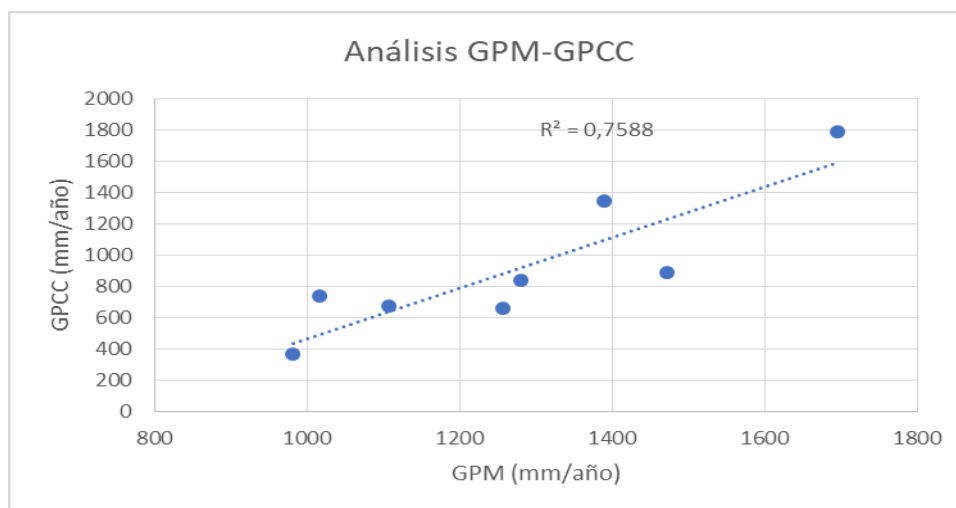


Figura 7. Análisis de las precipitaciones entre GPM y GPCC

Mediante la Figura 7 se puede observar la comparación estadística entre las precipitaciones obtenidas de las bases de datos GPM y GPCC. Esta presenta un Coeficiente de Correlación de Pearson al cuadrado (R^2) de 0.7588. Este valor es considerado fiable dentro de los rangos estadísticos, lo que indicaría que ambas bases de datos representan con gran similitud la distribución espacial y magnitud de las precipitaciones en Manabí.

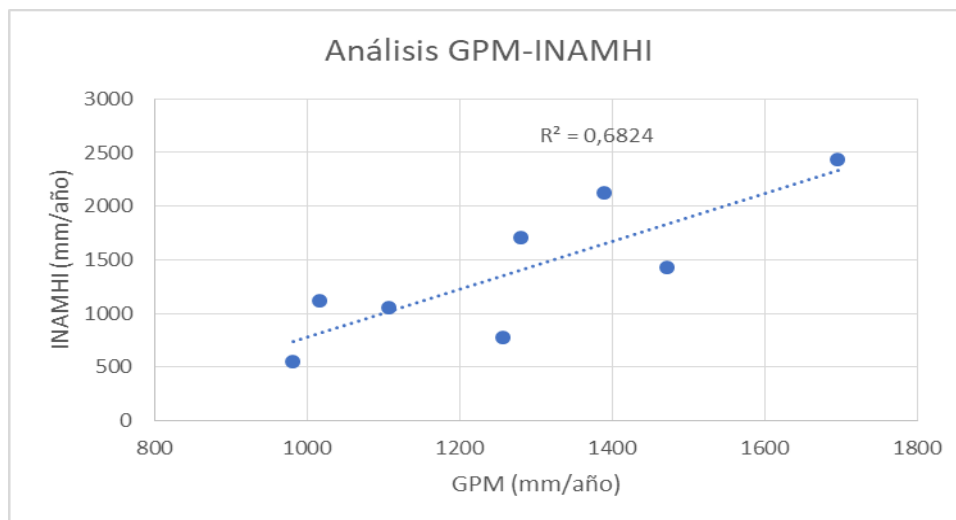


Figura 8. Análisis de las precipitaciones entre GPM e INAMHI

La Figura 8 muestra la comparación estadística entre las precipitaciones obtenidas mediante GPM e INAMHI. Aquí se puede identificar un R2 mucho menor (0.6824) en relación a la comparación mostrada en la Fig. 7. Esto demuestra que la correlación entre ambas bases de datos es débil, lo que indica una menor compatibilidad entre ambas, generada por un mayor sesgo observado entre los resultados de sus pixeles.

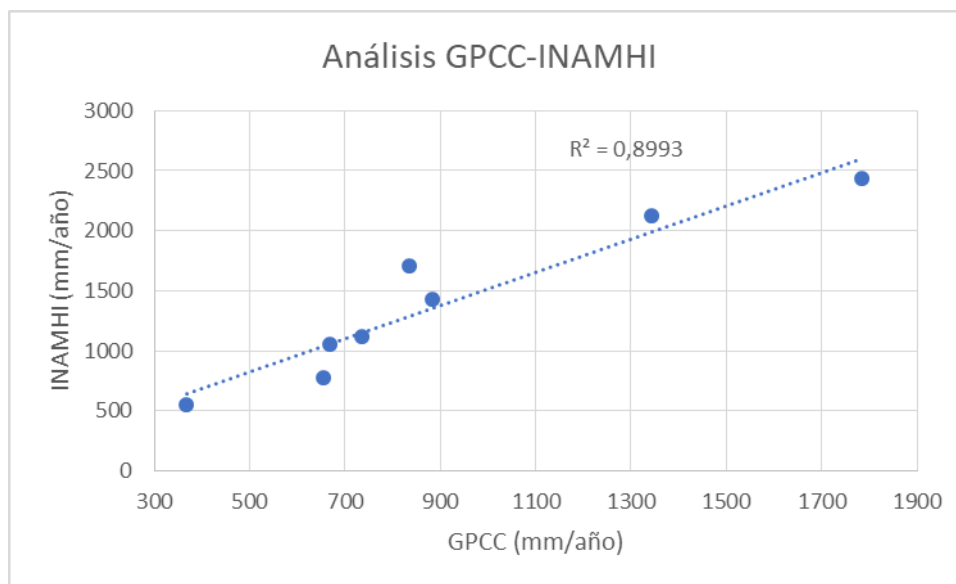


Figura 9. Análisis de las precipitaciones entre GPCC e INAMHI

Por último, la Figura 9, muestra un análisis estadístico entre las precipitaciones obtenidas de GPCC e INAMHI. Aquí destaca la mayor compatibilidad entre bases de datos, que es respaldada por un R2 de 0.899, considerado sumamente fuerte desde el punto de vista estadístico. Esto demuestra también la gran compatibilidad entre bases de datos y supondría una correcta distribución espacial entre ambas.

Partiendo de este enfoque, resulta lógico identificar que la base de datos GPCC es la más adecuada para determinar las precipitaciones dentro de la provincia de Manabí, por la mejor compatibilidad mostrada entre las 3 fuentes analizadas. Es decir, es la que mejor R2 mostró en ambas comparaciones, lo que demuestra que sus magnitudes y distribución espacial quedan mayormente validadas.

Sin embargo, es importante analizar las ventajas y desventajas entre estas bases de datos, y se detalla en la siguiente sección.

Ventajas y desventajas de cada fuente de información analizada

Una vez analizados los resultados de las precipitaciones obtenidas desde las 3 bases de datos escogidas, se puede observar que cada una de ellas presenta características particulares que las diferencian entre estos grupos de información. Por tanto, identificar qué base de datos es mejor puede tener un componente subjetivo alto. Considerando esto último, se identificarán los puntos positivos y negativos más importantes para que, en base a esto, establecer qué base de datos presenta más beneficios en relación a las demás.

- **GPM:** Entre las principales ventajas, GPM es la base de datos analizada que mejor escala temporal presenta, con un detalle máximo de 30 minutos (a diferencia de la escala mensual de las demás bases de datos). Es decir, GPM analiza información de las precipitaciones cada media hora durante los 365 días del año, lo que lógicamente generaría una mejor aproximación a la realidad. Además, la escala espacial nativa también resultado relativamente buena, debido a que los 10 km² que abarca cada pixel de información, representa con más detalle lo que puede generar una estación de aforo colocada cada 30 o 40 km de manera lineal. Como aspectos negativos, GPM notablemente sobreestimó las intensidades bajas de las precipitaciones, mientras que las intensidades medias y altas fueron correctamente identificadas.
- **GPCC:** El análisis estadístico mostró que esta base de datos es la que tuvo mayor compatibilidad con las demás, lo que demuestra que sus estimaciones pueden tener una mayor validación. Sin embargo, su escala espacial nativa inicia en 25 km, lo que generaliza en gran medida las precipitaciones en cada pixel. Es decir, los valores de GPCC indicarían que la lluvia es similar dentro de un área de 25 km², lo que, por las condiciones ambientales de Manabí, es poco probable. Como una limitante adicional, GPCC muestra datos a escalas temporales mensuales, por lo que no presenta a detalle lo que puede estar lloviendo cada día. Esto también generaliza las precipitaciones y puede generar sesgos al momento de realizar un análisis por estaciones (seca y húmeda).
- **INAMHI:** La presente base de datos es la que seguramente tienen más limitaciones. Entre estas, pese a que dentro de la provincia de Manabí existen varias estaciones hidrometeorológicas, solo 5 estuvieron aptas para generar isoyetas de precipitación mediante un proceso de interpolación. Esto es producto de la elevada carencia de datos en la información proporcionada. Además, varias investigaciones ponen en duda el proceso empleado para obtener la información desde las estaciones (Pacheco et al., 2019; Eraso et al., 2019; Delgado et al., 2022), lo que debilita aún más su calidad. Entre otras limitaciones, actualmente esta base de datos tiene un costo económico, pese a que la información tenga fines investigativos o de gestión. Cabe destacar que el mayor número de meses disponibles se concentra hasta el año 2015 y, posteriormente, la carencia de datos se vuelve mucho mayor. Esto no permitió realizar un análisis abarcando un mayor número de años, pese a que GPM (desde junio del 2000 hasta la actualidad) y GPCC (desde 1901 hasta la actualidad en Ecuador) tenían una mayor cobertura temporal.

Este análisis permite identificar a la base de datos GPM como la que presenta mayores beneficios al momento de la obtención de precipitaciones en la provincia de Manabí, seguido de GPCC y, por último, INAMHI.

Conclusiones

La provincia de Manabí en una zona muy particular, cuyo clima está ampliamente condicionado por las características ambientales del país. Esto generó que la distribución espacial de las precipitaciones dentro de su territorio muestre una clara tendencia a disminuir cuando más cerca está del Océano Pacífico.

Las 3 bases de datos analizadas mostraron resultados interesantes sobre las precipitaciones, junto con una distribución espacial similar. Sin embargo, sus límites fueron diferentes. Aquí destaca GPM por sobreestimar las intensidades de precipitaciones más bajas.

Un análisis estadístico permitió identificar que GPCC fue la base de datos más compatible considerando una evaluación cruzada entre las fuentes analizadas. Esto indica que las magnitudes y distribución espacial de sus precipitaciones tuvieron mayor validez, lo que genera mejores resultados en la zona de estudio.

Sin embargo, considerando las ventajas y desventajas de cada una de las bases de datos, GPM fue la que aportó más positivamente en la calidad de información, especialmente por su buena resolución espacial (10 km) y excelente resolución temporal (30 minutos).

Tanto en el análisis estadístico como en la evaluación de ventajas y desventajas, la base de datos del INAMHI fue la más débil, lo que ha sido corroborado dentro de la literatura regional. Esto permite desincentivar la utilización de esta fuente de datos para generar investigación de gran calidad en la provincia de Manabí.

En general, la base de datos GPCC mostró una mayor compatibilidad estadística, mientras que GPM mostró mejores cualidades y robustez en su información. Esto permite recomendar la utilización de GPCC para las zonas bajas (más cercanas al océano) y GPM para los demás sectores analizados, obteniendo resultados mucho más cercanos a la realidad.

Referencias

- Aliaga Flores, O. A. (2022). Efectos del calentamiento global y su impacto en la ecología de empresas ecológicas en la región Piura.
- Carmona, J. G. (2022). África: cambio climático y resiliencia: Retos y oportunidades ante el calentamiento global (Vol. 21). Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Corona Rodríguez, A., Jiménez Brizuela, Y., Cruz Pérez, Y., & Estrada González, Y. (2017). Problemas ambientales asociados a las inundaciones por fuertes lluvias en el Consejo Popular Veguita: Propuesta de una estrategia de mitigación. *Minería y Geología*, 33(4), 489-501.
- Delgado, D., Sadaoui, M., Ludwig, W., & Méndez, W. (2022). Spatio-temporal assessment of rainfall erosivity in Ecuador based on RUSLE using satellite-based high frequency GPM-IMERG precipitation data. *CATENA*, 219, 106597.
- Delgado, D., Sadaoui, M., Pacheco, H., Méndez, W., Ludwig, W. (2021). Interrelations Between Soil Erosion Conditioning Factors in Basins of Ecuador: Contributions to the Spatial Model Construction. In: , et al. *Proceedings of the 1st International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021)*. ICoWEFS 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_94
- El Niño azotó a Ecuador. 2009. *Diario El Comercio*. Consultado el 28/10/2022 en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/nino-azoto-ecuador.html>
- Espinoza, J. I. C. (2022). Variabilidad Climática En Relación A Datos Meteorológicos En La Región De Cajamarca Del 2005 Al 2020: Análisis Estadístico. *Revista Científica: BIOTECH AND ENGINEERING*, 2(1).
- Faure, O. R., & Scheidereiter, G. D. (2022). Estudio de la varianza de los errores de Modelos ARIMA asociados a series de precipitaciones: Modelos ARCH/GARCH.

- Lee, S., Wolberg, G., & Shin, S. Y. (1997). Scattered data interpolation with multilevel B-splines. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 3(3), 228-244.
- León Alvira, J. J. (2022). Planificación y diseño paisajístico en los ejes viales estructurantes de la ciudad de Neiva como estrategia de mitigación y adaptación al calentamiento global.
- Nowosad, J., & Stepinski, T. F. (2022). Extended SLIC superpixels algorithm for applications to non-imagery geospatial rasters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102935.
- Macías, L., Loor, D., Ortiz-Hernández, E., Casanova, G., Delgado, D. (2021). Comparative Analysis of Soil Slope Stability, Using Dynamic and Pseudo-static Methods on the Garrapata - Santa Maria Road, Manabí Province, Ecuador. In: , et al. *Proceedings of the 1st International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021)*. ICoWEFS 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_55
- Méndez González, J., Návar Cháidez, J. D. J., & González Ontiveros, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones geográficas*, (65), 38-55.
- Mendoza, E. F. M., Arteaga, E. A. G., & Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento*, 8(2), 68-81.
- Romero, C. C., Stroosnijder, L., & Baigorria, G. A. (2007). Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena*, 70(2), 105-113.
- Romero García, D. (2022). El Calentamiento Global y la importancia de la Educación Ambiental.
- Pacheco, H. A., Méndez, W., & Moro, A. (2019). Soil erosion risk zoning in the Ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Earth Sciences Research Journal*, 23(4), 293-302.
- Panadero, A. N., & Ardila, O. E. M. (2022). EFECTO DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LECHE EN FINCAS DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DE ALISAL (CUNDINAMARCA). *Revista de Ciencias Agrarias*, 8(1), 34-49.
- Párraga, A. J. F., Tejena, Á. A. R., & Gutiérrez, D. A. D. (2023). Análisis de la distribución espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del Río Esmeraldas-Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(2), 82-95.
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos. ORSTOM y Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito, Ecuador.
- Pourrut, P. (1994). L'eau en Equateur: principaux acquis en hydroclimatologie. ORSTOM éditions.