

**Variabilidad espacio temporal de precipitaciones mensuales durante 1987 – 2023 en el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG), usando datos satelitales CHIRPS.
(Resumen Analítico)**

***Spatiotemporal Variability of Monthly Precipitation from 1987 to 2023 in the Galeras Flora and Fauna Sanctuary (SFFG) Using CHIRPS Satellite Data.
(Analytical Summary)***

Autores (Authors): MOLINA CASTRO Lesly Andrea
OBANDO VILLOTA Camilo Andres

Facultad (Faculty): INGENIERIA

Programa (Program): INGENIERIA AMBIENTAL

Asesor (Support): PHD.TERESITA DEL ROSIO CANCHALA NASTAR

Fecha de terminación del estudio (End of the research): 21 Noviembre 2024

Modalidad de Investigación (Kind of research): Trabajo de Grado

PALABRAS CLAVE

CHIRPS
PRECIPITACION
VARIABILIDAD CLIMATICA
FENOMENO ENSO
PIXELES

KEY WORDS

CHIRPS
PRECIPITATION
CLIMATE VARIABILITY
ENSO PHENOMENON
PIXELS

RESUMEN: Esta investigación documenta el estudio de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones mensuales en el Santuario de Flora y Fauna Galeras, localizada en Nariño en el suroeste de Colombia; utilizando datos satelitales procedentes de Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satélite Observations (CHIRPS), los cuales proporcionan registros precisos y continuos de precipitaciones a nivel global con una alta resolución temporal y espacial (Funk et al., 2015). Metodológicamente, se realizó un estudio detallado de la variabilidad climática en el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) aplicando análisis estadístico descriptivo, Análisis de componentes principales (ACP), Análisis del

índice Oceánico El Niño (ONI), Índice Estandarizado de precipitación (SPI) y Análisis de tendencia mediante el Test Mann-Kendall. Los resultados de estos análisis mostraron que el ciclo anual de las precipitaciones en el SFFG es bimodal con dos trimestres secos (Dic-Ene-Feb y Jun-Jul-Ago) y dos trimestres lluviosos (Mar-Abr-May y Sep-Oct Nov), siendo el trimestre más seco y lluvioso Jun-Jul-Ago y Sep-Oct-Nov, respectivamente. Por su parte, el ACP permitió identificar un modelo principal de las precipitaciones (CP1) el cual represento el 93.93% de la variabilidad de las precipitaciones mensuales y permite identificar los eventos extremos de precipitación de toda el área de estudio. Respecto al análisis del Índice ONI, se encontró que la mayoría de los eventos extremos negativos (disminución de precipitaciones) coinciden con eventos El Niño y los eventos positivos (incremento de precipitaciones) coinciden con eventos La Niña. Por otro lado, el Análisis de Tendencia permite realizar el estudio de los cambios que pueden surgir a largo plazo en los patrones de precipitación se logró observar que las estaciones Florida (Flo), Pasto 1 (Pas1), Nariño (Nar), Sandoná (San), Consacá 1 (Csc1), Consacá 2 (Csc 2) y Yacuanquer (Yaq) no presentan una tendencia significativa, es decir, que las fluctuaciones podrían deberse a la variabilidad natural, donde los ciclos climáticos naturales dominan los registros de datos en ciertos periodos. A su vez, pese a encontrar valores negativos al aplicar el test de la pendiente de sen's, en dichas estaciones, se evidencia una leve disminución en las precipitaciones, sin embargo, no es consistente ni lo suficientemente marcada para establecer una tendencia.

Por otro lado, las estaciones Pasto 2 (Pas2) y Tangua (Tan), quienes, si presentaron una tendencia negativa con un punto de cambio en el año 1998, la disminución de precipitaciones en estas zonas, en comparación con las otras se debe a una combinación de factores geográficos, como la sombra orográfica, y fenómenos climáticos globales. La posición de las estaciones en una zona de sotavento, protegida por el Galeras, limita la llegada de sistemas nubosos desde el Pacífico, reduciendo las lluvias en la región, que al sumarse a la fase fría de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) desde finales de los 90, ha intensificado la reducción de lluvias en estas regiones. Finalmente, para analizar en mayor detalle estos resultados se estimó Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) a escala trimestral entre diciembre de 2015 y Febrero de 2016, con una severidad de 11.85, y el exceso de precipitaciones identificado a escala anual entre Junio y Diciembre de 2022, con una severidad de 22.12.

ABSTRACT: *This research documents the study of the spatiotemporal variability of monthly precipitation in the Galeras Flora and Fauna Sanctuary, located in Nariño, southwestern Colombia, using satellite data from Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations (CHIRPS). These data provide accurate and continuous records of precipitation at a global level, with high temporal and spatial resolution (Funk et al., 2015). Methodologically, a detailed study of climate variability in the Galeras Flora and Fauna Sanctuary (SFFG) was conducted by applying descriptive statistical analysis, Principal Component Analysis (PCA), Oceanic Niño Index (ONI) analysis, Standardized Precipitation Index (SPI), and trend analysis*

using the Mann-Kendall Test.

The results of these analyses revealed that the annual precipitation cycle in the SFFG is bimodal, with two dry quarters (Dec-Jan-Feb and Jun-Jul-Aug) and two rainy quarters (Mar-Apr-May and Sep-Oct-Nov). The driest and wettest quarters were Jun-Jul-Aug and Sep-Oct-Nov, respectively. The PCA identified a primary precipitation model (PC1) that accounted for 93.93% of the variability in monthly precipitation and allowed the identification of extreme precipitation events across the entire study area. Regarding the ONI analysis, it was found that most of the extreme negative events (decreased precipitation) coincide with El Niño events, while positive events (increased precipitation) align with La Niña events.

Additionally, the trend analysis aimed to study long-term changes in precipitation patterns. It was observed that the Florida (Flo), Pasto 1 (Pas1), Nariño (Nar), Sandoná (San), Consacá1 (Csc1), Consacá2 (Csc2), and Yacuanquer (Yaq) stations showed no significant trend. This suggests that fluctuations may be due to natural variability, where natural climate cycles dominate data records during certain periods. Although applying Sen's slope test showed negative values in these stations, indicating a slight decrease in precipitation, the change was neither consistent nor pronounced enough to establish a clear trend.

On the other hand, the Pasto2 (Pas2) and Tangua (Tan) stations exhibited a negative trend with a change point in 1998. The reduction in precipitation in these areas, compared to others, is attributed to a combination of geographic factors, such as orographic shadowing, and global climate phenomena. The position of these stations in a leeward zone protected by the Galeras volcano limits the arrival of cloud systems from the Pacific, reducing rainfall in the region. This, coupled with the cool phase of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) since the late 1990s, has intensified the reduction of rainfall in these areas.

Finally, to analyze these results in greater detail, the Standardized Precipitation Index (SPI) was estimated on a quarterly scale between December 2015 and February 2016, showing a severity of -11.85, and for excess precipitation on an annual scale between June and December 2022, with a severity of 22.12.

CONCLUSIONES: En el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) en Nariño, se ha identificado un patrón bimodal de lluvias en trimestres que son considerados los períodos lluviosos Marzo a Mayo (MAM), Septiembre a Noviembre (SON) y secos Diciembre-Enero-Febrero (DEF), y Junio a Agosto (JJA). Estos períodos se definieron con base en el ciclo anual de precipitación, lo cual es típico de muchas regiones tropicales influenciadas por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). La ZCIT, al desplazarse hacia el norte y el sur a lo largo del año, provoca dos estaciones lluviosas y dos secas en el Santuario. Además, la variabilidad en estos ciclos está influenciada por fenómenos como El Niño y La Niña, que alteran la intensidad y distribución de las precipitaciones. Este patrón refleja la distribución de la precipitación y muestra cómo los fenómenos climáticos, como El Niño y La Niña

identificados mediante el Índice ONI, pueden impactar en esta distribución de lluvias. Estos eventos extremos pueden generar periodos de lluvias fuertes, propiciando inundaciones, así como periodos de sequía, cambios que se evidencian claramente en los mapas anuales y trimestrales del SFFG. El comportamiento negativo de las tendencias en las estaciones (Pas2) y (Tan) destaca la vulnerabilidad climática de la región, con un evidente impacto en la reducción de precipitaciones. Estos resultados subrayan la importancia de implementar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, especialmente en áreas como Tangua, que han experimentado sequías extremas y cambios bruscos en los patrones de precipitación. Las estaciones de monitoreo deben seguir funcionando para detectar y anticipar estos eventos, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos hídricos y la prevención de desastres naturales. Además, el análisis de componentes principales (ACP) destaca que solo CP1 tiene un valor superior a 1, representando casi el 94% de la variabilidad de los datos. El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) evidencia que el Santuario de Flora y Fauna Galeras (SFFG) ha experimentado eventos climáticos extremos, tanto de sequía como de exceso de precipitaciones. Sequías como las de 1991, 2001, 2009 y 2016, así como excesos de precipitación en 2000, 2011 y 2022 destacan la vulnerabilidad del ecosistema a las fluctuaciones climáticas, además tienen un impacto significativo en la región, afectando tanto al recurso hídrico como los ecosistemas del SFFG. Los eventos extremos de precipitación, identificados con el (SPI), revela fluctuaciones significativas entre sequías y excesos de lluvia en el (SFFG). Estos eventos están estrechamente relacionados con fenómenos climáticos globales como El Niño y La Niña. Los eventos más severos incluyen la sequía a escala trimestral entre Diciembre de 2015 y Febrero de 2016, con una severidad de 11.85, y el exceso de precipitaciones identificado a escala anual entre Junio y Diciembre de 2022, con una severidad de 22.12. Además, se observó que las sequías más prolongadas se extendieron por hasta seis meses en 1992, mientras que los eventos húmedos más largos duraron siete meses, coincidiendo con episodios de La Niña. La identificación de estos eventos extremos en el SFFG subraya la vulnerabilidad climática de la región frente a fluctuaciones asociadas con los fenómenos de El Niño y La Niña. Estos patrones sugieren la necesidad de fortalecer las estrategias de manejo de recursos hídricos, mitigación de riesgos y planificación para mejorar la resiliencia del área frente a eventos climáticos extremos. Además, la comparación entre los eventos extremos de precipitación en el (SFFG) y los fenómenos ENSO muestra una relación directa y significativa, para eventos de El Niño los periodos como los de 1997-1998 y 2015-2016, coinciden con fuertes sequías en la región para los municipios como Tangua, Pasto y Consacá. Durante estos eventos, el SPI mostró valores negativos extremos, lo que indica una reducción significativa en las precipitaciones. En particular, el periodo 2015-2016 destacó por la severidad de la sequía, lo que generó impactos adversos sobre la agricultura, el suministro de agua y los ecosistemas locales. Estos eventos de sequía prolongada reflejan el aumento de las temperaturas y la disminución de la humedad en la región, típicos de los años de El Niño. Para los eventos de La Niña Durante los episodios como en 2010-2011 y 2022, el SPI presentó valores positivos extremos, reflejando un exceso de

precipitaciones. Estos eventos están asociados con inundaciones y deslizamientos de tierra en las áreas circundantes del SFFG. En el año 2022, por ejemplo, el exceso de lluvias llevó a una saturación de los suelos y a la alteración de los ecosistemas locales, causando daños significativos en los municipios Yacuanquer, Consacá, Pasto y comunidades cercanas. Este análisis subraya la importancia de monitorear los ciclos ENSO para predecir eventos extremos y adaptar las estrategias de gestión de recursos, con el fin de reducir los riesgos asociados a estos cambios climáticos recurrentes.

CONCLUSIONS: *In the Galeras Flora and Fauna Sanctuary (SFFG) in Nariño, a bimodal rainfall pattern has been identified, with quarters considered rainy (March-May [MAM] and September-November [SON]) and dry (December-February [DEF] and June-August [JJA]). These periods are defined based on the annual precipitation cycle, typical of many tropical regions influenced by the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). As the ITCZ shifts north and south throughout the year, it creates two rainy and two dry seasons in the sanctuary. Furthermore, variability in these cycles is influenced by phenomena such as El Niño and La Niña, which alter precipitation intensity and distribution. This pattern reflects the distribution of rainfall and demonstrates how climatic phenomena, identified through the Oceanic Niño Index (ONI), impact rainfall distribution. Extreme events can result in heavy rainfall periods, leading to flooding, as well as drought periods, changes clearly observed in the annual and quarterly maps of the SFFG.*

The negative trend observed at the Pasto2 (Pas2) and Tangua (Tan) stations highlights the region's climate vulnerability, with a significant reduction in rainfall. These findings underscore the importance of implementing mitigation and adaptation strategies to climate change, especially in areas like Tangua, which have experienced extreme droughts and abrupt changes in precipitation patterns. Monitoring stations must remain operational to detect and anticipate these events, enabling more efficient water resource management and disaster prevention.

Additionally, Principal Component Analysis (PCA) highlights that only PC1 has a value greater than 1, representing nearly 94% of the data variability. The Standardized Precipitation Index (SPI) indicates that the Galeras Flora and Fauna Sanctuary (SFFG) has experienced extreme climatic events, including droughts and excessive rainfall. Droughts such as those in 1991, 2001, 2009, and 2016, as well as excessive rainfall in 2000, 2011, and 2022, highlight the ecosystem's vulnerability to climatic fluctuations, significantly impacting the region's water resources and ecosystems.

Extreme precipitation events identified with the SPI reveal significant fluctuations between droughts and excessive rainfall in the SFFG. These events are closely linked to global climatic phenomena such as El Niño and La Niña. The most severe events include a drought on a quarterly scale between December 2015 and February 2016, with a severity of -11.85, and excessive rainfall on an annual scale between June and December 2022, with a severity of 22.12. Additionally, the longest droughts lasted up to six months in 1992, while the longest wet events lasted seven months, coinciding with La Niña episodes.

The identification of these extreme events in the SFFG emphasizes the region's climatic vulnerability to fluctuations associated with El Niño and La Niña

phenomena. These patterns suggest the need to strengthen strategies for water resource management, risk mitigation, and planning to enhance the area's resilience to extreme climatic events.

Furthermore, comparing extreme precipitation events in the SFFG with ENSO phenomena reveals a direct and significant relationship. During El Niño events, periods such as 1997-1998 and 2015-2016 coincided with severe droughts in municipalities like Tangua, Pasto, and Consacá. During these events, the SPI showed extreme negative values, indicating a significant reduction in rainfall. Notably, the 2015-2016 period stood out due to the drought's severity, which adversely impacted agriculture, water supply, and local ecosystems. These prolonged drought events reflect rising temperatures and decreased humidity in the region, typical during El Niño years.

Conversely, during La Niña episodes such as 2010-2011 and 2022, the SPI presented extreme positive values, indicating excessive rainfall. These events were associated with flooding and landslides in areas surrounding the SFFG. For instance, in 2022, excessive rainfall saturated soils and disrupted local ecosystems, causing significant damage in municipalities like Yacuanquer, Consacá, Pasto, and nearby communities. This analysis highlights the importance of monitoring ENSO cycles to predict extreme events and adapt resource management strategies, aiming to reduce risks associated with these recurring climatic changes.

RECOMENDACIONES: Es importante tener estaciones institucionales activas en el área de estudio, especialmente en el Santuario de Flora y Fauna Galeras en Nariño, para garantizar la verificación constante de la información que se está utilizando a través de datos satelitales CHIRPS. Las estaciones pueden proporcionar datos complementarios a los datos satelitales, lo que ayuda a mejorar la exactitud y la precisión de los análisis climáticos. Además, contar con estaciones institucionales activas permite realizar un monitoreo constante de las condiciones climáticas lo cual es esencial para prever y responder a eventos climáticos extremos que pueden afectar negativamente a la biodiversidad y a la población local, incluyendo inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra.

RECOMMENDATIONS: *It is important to have active institutional stations in the study area, particularly in the Galeras Flora and Fauna Sanctuary in Nariño, to ensure the continuous verification of the information being used from CHIRPS satellite data. These stations can provide complementary data to satellite information, helping to improve the accuracy and precision of climate analyses. Furthermore, maintaining active institutional stations enables constant monitoring of climatic conditions, which is essential for anticipating and responding to extreme weather events that could negatively impact biodiversity and the local population, including floods, droughts, and landslides.*

