

Análisis de la variabilidad climática utilizando producto satelital MERRA 2 para la microcuenca del Río Chazo Juan-Bolívar Ecuador

*Analysis of climate variability using MERRA-2 Satellite product for the
Chazo Juan river microbasin, Bolívar-Ecuador*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7930679>

AUTORES: Numa Inaín Gaibor Velasco^{1*}

Oswaldo Ernesto López Bravo²

María Transito Vallejo Ilijama³

Moisés Arreguín Samano⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: numa.gaibor@ueb.edu.ec

Fecha de recepción: 11 / 01 / 2023

Fecha de aceptación: 08 / 03 / 2023

RESUMEN

El registro de datos meteorológicos es una actividad que no requiere procesos complejos, sin embargo, no siempre se puede obtener información o registros completos de sitios específicos debido a la poca cobertura de estaciones meteorológicas de instituciones responsables. Por tal razón esta investigación analizó la variabilidad climática mediante la estimación de los factores meteorológicos con registro de 41 años provenientes del producto MERRA 2. La metodología utilizada fue: recopilación de datos, procesamiento de la información, relleno de datos, validación, análisis de datos y presentación de resultados mediante modelo estadístico de doble masa, correlación, análisis de confiabilidad lo cual permitió establecer un grado de relación de acuerdo con la homogeneidad de los datos de una estación base de las estaciones meteorológicas

^{1*} Universidad Estatal de Bolívar, numa.gaibor@ueb.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-4295-1969>

² Universidad Estatal de Bolívar, olopez@ueb.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-2809-1330>

³ Universidad Estatal de Bolívar, mvallejo@ueb.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-8757-2452>

⁴ Universidad Estatal de Bolívar, marreguin@ueb.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0001-9324-9400>

(INAMHI) cercanas al sitio de estudio. Este análisis se aplicó relacionando los datos obtenidos de la plataforma Prediction of Worldwide Energy Resource utilizando el producto satelital MERRA 2 (NASA), con estaciones del INAMHI donde se demuestra que se puede utilizar el producto satelital para estimar las variaciones en los patrones meteorológicos por su grado de correlación con la información interpolada de las estaciones cercanas. Una vez analizado los resultados se determinó que sí existen comportamientos anómalos en la precipitación como en la temperatura mínima, media y máxima de la microcuenca del río Chazo Juan.

Palabras Clave: INAMHI, MERRA 2, microcuenca, NASA, precipitación, temperatura, variabilidad climática.

ABSTRACT

The meteorological recording data is an activity that does not require complex processes; however, complete information or records from specific sites cannot always be obtained due to the limited coverage of meteorological stations from responsible institutions. For this reason, the objective of this research was to perform an analysis of climate variability using estimates of meteorological factors from the MERRA-2 product. To achieve this objective, a methodological process was defined, including data collection, information processing, data filling, validation, data analysis, and presentation of results. Data from meteorological stations (INAMHI) near the study site were classified according to data availability and year of record, and then a correlational analysis and reliability analysis were performed, which allowed us to establish a degree of relationship according to the homogeneity of the data from a base station. This analysis was applied by relating the data obtained from the Prediction of Worldwide Energy Resource platform using the MERRA-2 satellite product (NASA) with INAMHI stations. The results of this research demonstrate that the MERRA-2 product can be used to estimate variations in meteorological patterns due to its degree of correlation with interpolated information from nearby stations. Once the results were analyzed, it was determined that there are anomalous behaviors in precipitation as well as minimum, average, and maximum temperatures in the Juan Chazo microbasin during the analyzed period (41 years).

Keywords: INAMHI, MERRA 2, microbasin, NASA, precipitation, temperature, climate variability.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática tiene que ver los cambios naturales que ocurren en el clima de la Tierra a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden ocurrir en escalas de tiempo muy cortas, como durante una temporada o un año, o en escalas de tiempo mucho más largas, como durante varias décadas o siglo. Estos cambios están influenciados por condiciones atmosféricas extremas que superan ampliamente los promedios convencionales. Los fenómenos responsables de estos contrastes pueden incluir frentes fríos, células secas y estacionarias, perturbaciones tropicales y células con niveles de humedad desproporcionados. Con el tiempo, la actividad humana ha contribuido a modificar constantemente el clima, lo que hace que la variabilidad climática sea uno de los mayores desafíos ambientales que enfrentamos en la actualidad, debido a que la actividad humana ha acelerado y magnificado este fenómeno a través de la emisión de gases de efecto invernadero y la deforestación, entre otros factores. (Serrano, Zuleta, Moscoso, & Jácome, 2012).

Desde el año de 1995 se registra evidencias de que la tierra se está calentando debido a las actividades humanas, la temperatura es uno de los factores meteorológicos que ha tenido un mayor incremento paulatino. El crecimiento incontrolable de las poblaciones va de la mano con el crecimiento económico y el cambio climático esto hace que nos enfrentemos a una serie de eventos como por ejemplo la intensificación de sequías, inundaciones, fuertes precipitaciones, heladas, deshielos de nevados, etc. (Zambrano, 2007). Existe evidencia científica en el que corrobora que la actividad humana ha contribuido al incremento de las concentraciones de gases en la atmósfera que se ha venido originando desde el año 1750 y que en la actualidad excede los valores preindustriales. Por lo tanto, se espera que en las próximas dos décadas el calentamiento aumente en 0.2°C por cada década debido a los gases de efecto invernadero. (IPCC, 2015) Ecuador se ha evidenciado una serie de eventos naturales como, inundaciones, sequías, incendios forestales, deslizamientos, etc.; los mismos que han desencadenado desastres en varios sectores del país. (Noriega & Marco, 2015), los cambios o variaciones en los factores meteorológicos temperatura, humedad, precipitación, viento, radiación etc.; provocan que los ecosistemas como páramos, bosques tropicales resulten vulnerables y provoquen cambios y/o afectaciones en la agricultura, fertilidad de suelos, erosiones, salud, fuentes de agua, etc.; Así como también el aumento del índice de las emergencias

de inundaciones, sequias, deslizamientos, vientos fuertes, etc.; la cual se ha duplicado en los últimos siete años, resultado de nuestra región vulnerable al cambio climático. Cada dos a siete años en Ecuador y la provincia Bolívar se generan eventos relacionados con la variabilidad climática denominado Fenómeno del Niño (ENOS), provocando impactos negativos en el sector socio-económico, causando pérdidas económicas por la destrucción de caminos, carreteras, puentes, viviendas, redes de agua potable y demás elementos esenciales de la población producto de las inundaciones por las fuertes precipitaciones (SGR, 2018).

Con base en datos del PDOT de la parroquia de Salinas, la microcuenca del río Chazo Juan se registran datos de precipitación media anual los cuales varían constantemente de una zona a otra, siendo en la parte alta de la microcuenca valores entre 750 a 200 mm, en cambio en la zona subtropical los valores medios anuales se encuentran en rango de 200 a 2500 mm, de la misma manera los valores de temperatura varían de acuerdo a la zona en estudio la misma que esta categorizada como una zona Meso Térmico Ecuatorial Húmedo con temperaturas que oscila entre los 12 a 22°C. (Guaranda, 2015)

Si bien es cierto, que para la medición de los factores meteorológicos no se requiere procesos o tareas complejas debido a que se realiza a partir de estaciones monitorizadas de superficie las cuales registran y miden datos de diversas variables meteorológicas de manera automatizada en la zona en donde se situó la estación, esto no siempre permite obtener datos o disponer de registros en sitios específicos debido a la cobertura y disponibilidad de las estaciones que cada zona posee. Por tal razón en este documento se propone la utilización de productos satelitales tomando en cuenta los avances en los resultados que se puede obtener mediante la teledetección para medir las variables meteorológicas de cualquier sitio que se desee analizar, las mismas que contienen grandes cantidades de datos con una buena continuidad temporal y homogeneidad de los datos si deseamos comparar con estaciones físicas. El producto satelital MERRA 2 de NASA utilizado y para este estudio incorpora diversos aspectos climáticos con un gran conjunto de datos proporcionando información a 2m de altura. El objetivo de este estudio fue utilizar el producto satelital MERRA 2 para analizar la variabilidad climática durante el periodo de 1981 – 2021 de la microcuenca del río Chazo Juan; la investigación aportará con un modelo para la evaluación de los factores meteorológicas para cualquier zona de

estudio que se requiera contribuyendo a demás en estrategias para la toma de decisiones y establecimiento de medidas de adaptación para el cambio climático.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en la microcuenca del río Chazo Juan perteneciente a la provincia Bolívar ubicada al oeste del cantón Guaranda y al norte del cantón Echeandía, forma parte de la cuenca del río Guayas; ocupando un área de 147.87 km² aproximadamente (cálculo obtenido en Arcgis 10.8), posee una topografía irregular con pisos altitudinales que van desde los 240 msnm hasta los 3820 msnm. Dentro de la microcuenca se encuentran poblaciones como: La Palma, Chazo Juan, Mulidiaguan, San José de Camarón.

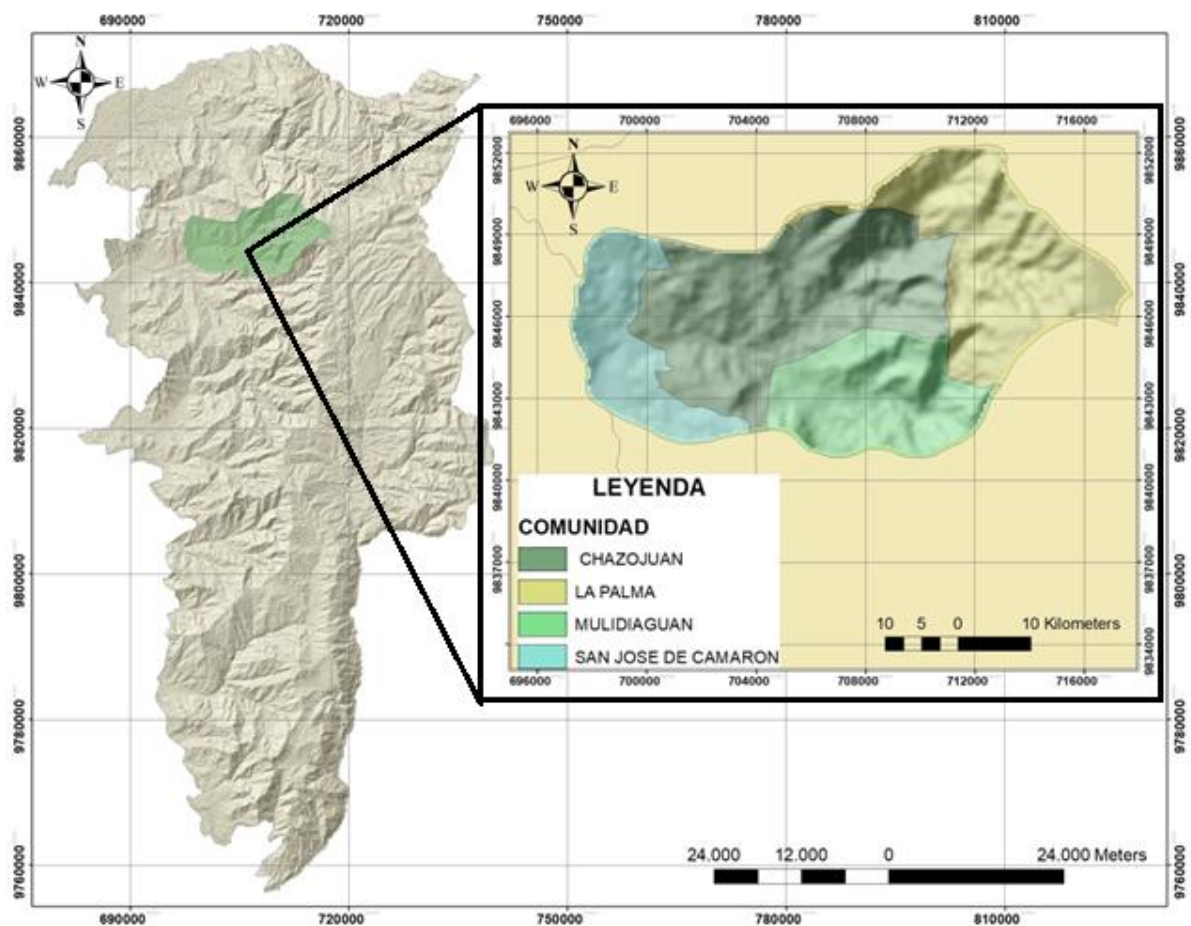


Figura 1. Ubicación de la microcuenca del río Chazo Juan

Fuente: (IGM, 2007).

Elaborado por: Gaibor Numa, 2023

Esta investigación definió el siguiente proceso metodológico que describe las siguientes fases: Recopilación de datos, preparación de datos, análisis de confiabilidad, relleno de información, procesamiento análisis y presentación de resultados.

1 FASE: Recopilación de datos meteorológicos

Para obtener los datos de los factores meteorológicos mensuales y anuales (precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura promedio, precipitación, humedad relativa, velocidad dirección del viento) se procedió a utilizar la plataforma *Prediction of Worldwide Energy Resource* utilizando el producto satelital *MERRA2* (NASA), durante el periodo enero de 1981 a diciembre del 2021. A demás se consideró utilizar los datos de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022) cercanas al área de estudio, esto con el fin de validar los datos provenientes de la plataforma de la NASA. Las estaciones cercanas utilizadas para realizar la correlación de la información fueron (M0051 Babahoyo, M0123 El Corazón, M0129 Caluma, M0385 Salinas-Bolívar, M0465 Ventanas, M0383 Echeandía, M0794 Las Naves, M1107 Laguacoto). Para poder utilizar los datos climatológicos de las estaciones del (INAMHI, 2022), se procedió a clasificar según la disponibilidad de datos y el año de los registros, descartando aquellas estaciones cuya base de datos contengan un mayor porcentaje de vacíos o su periodo de registro de información sea menor a 5 años.

2 FASE: preparación de datos

Antes de proceder a la correlación y relleno de datos, analizaremos la cantidad y el vacío en cada una de las bases de datos, descartando aquellas estaciones meteorológicas que no cumplan con los criterios de calidad de acuerdo al número considerable de vacíos. Para realizar el análisis de datos se utilizó el criterio de clasificación de (Horna & Luisa, 2016), basados en la disponibilidad de datos.

Clase	Años de registro
A	Base de datos mayor a 20 años
B	Base de datos entre 10 y 20 años
C	Base de datos entre 5 y 10 años
D	Base de datos menor a 5 años

Tabla 1. Criterio de clasificación de estaciones por disponibilidad de datos

Fuente: (Horna & Luisa, 2016)

Para la clasificación, con base en los criterios de calidad de (Horna & Luisa, 2016) se asignó una clase para cada una de las estaciones según el año de registro.

Código	Estación	Año de registro	Clase
M0051	Babahoyo	1981 – 2014	A
M0123	El Corazón	1964 – 2017	A
M0129	Caluma	1964 – 2015	A
M0385	Salinas-Bolívar	1970 – 2015	A
M0465	Ventanas	1964 – 2015	A
M0383	Echeandía	1968 – 2015	A
M0794	Las Naves	1987 – 1995 / 2006 – 2015	B
M1107	Laguacoto	1993 – 1994 / 2003 – 2004 / 2007 – 2015	B

Tabla 2. Clasificación según la calidad de información

Fuente: (INAMHI, 2022)

Elaborado por: (autores, 2023)

Una vez realizado la clasificación de las estaciones de acuerdo a la calidad de información, calculamos el total de datos registrados, el total de vacíos y el porcentaje, como se muestra a continuación:

Código	Periodo		Año de registro		% vacíos	Valor máx	Valor mín	Media	SD
	Desde	Hasta	Total	Vacíos					
M0051	1981	2014	30	7	18.29%	5172.2	849.2	2187.31	569.21
M0123	1964	2017	54	5	9.26%	96247	1103.2	2628.2	562.34
M0129	1964	2015	36	10	27.78%	6580.6	1222.2	2706.1	368.52
M0385	1970	2015	37	16	43.24%	2567	358.1	1233.8	516.28
M0465	1964	2015	38	14	36.84%	6124.1	898.1	2448.6	563.30
M0383	1968	2015	30	18	60%	4824.6	557.5	2242.1	486.68
M0794	1987-2006	1995-2015	20	8	40%	2939.2	487.7	2217.1	399.42
M1107	1993-2003 -2007	1994-2004 - 2015	13	4	30%	1117.1	483.3	788.0	357.07

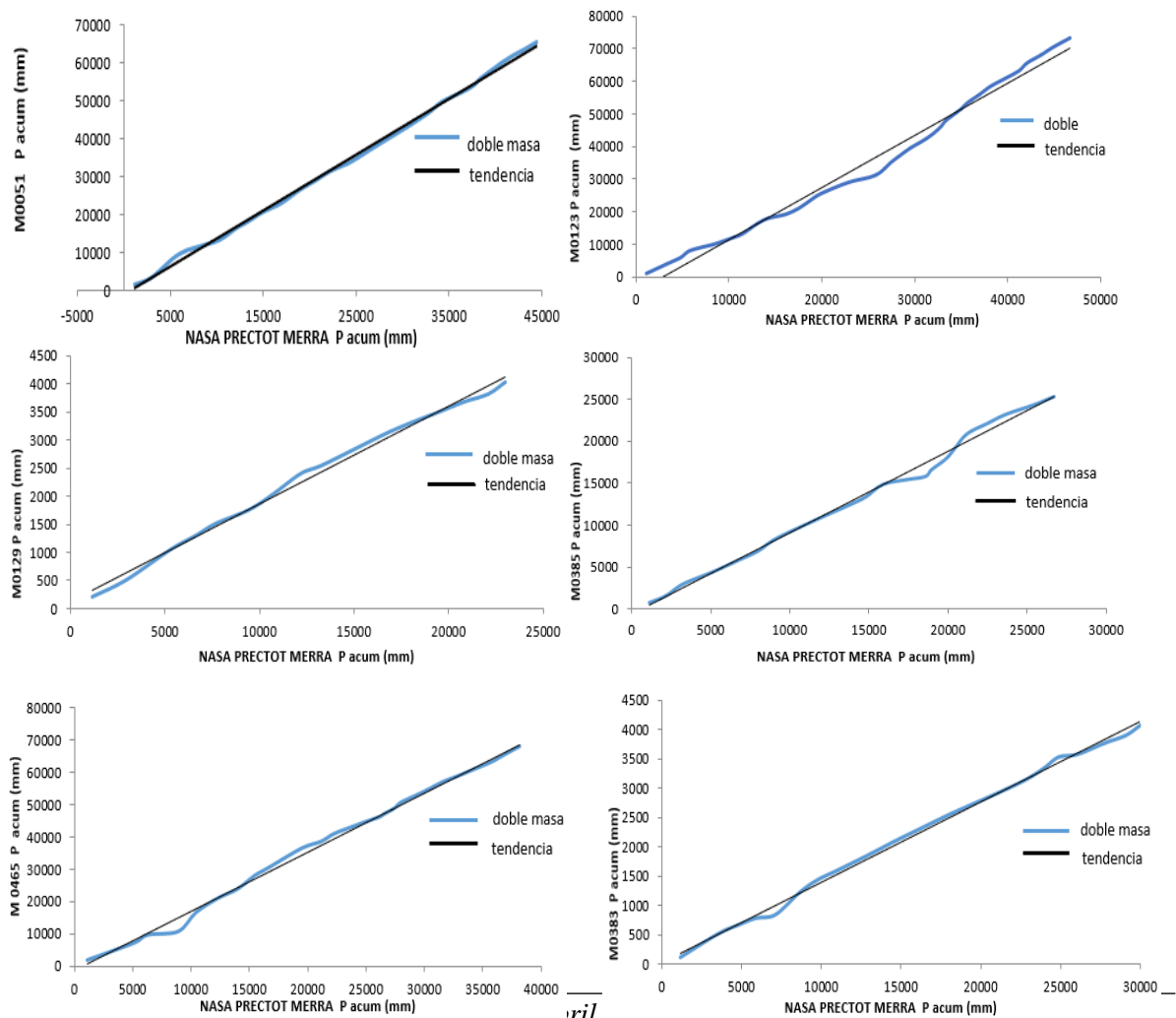
Tabla 3. Estaciones meteorológicas con datos mensuales seleccionadas para el estudio con un rango temporal apropiado

Fuente: (INAMHI, 2022)

Elaborado por: (autores, 2023)

3 FASE: Análisis de confiabilidad de información

Una vez establecido los porcentajes faltantes de información realizamos el proceso de confiabilidad de datos proporcionado por las estaciones en estudio, para lo cual mediante un análisis de doble masa establecemos el grado de relación de acuerdo con la homogeneidad de los datos de una estación base (INAMHI), para posterior corregir datos en caso de que se presente un cambio en la pendiente con relación a la tendencia, para lo cual se debe restablecer la homogeneidad bajo las condiciones del tramo más confiable. Este análisis se aplicó relacionando los datos obtenidos de la plataforma **Prediction of Worldwide Energy Resource** (NASA, 1958), con las estaciones del (INAMHI, 2022) que se encuentran cerca del área en estudio. Este análisis temporal permite determinar a cuál de las estaciones que disponemos se debe rellenar la información, tomando en cuenta a los pares de las estaciones de tiempos coincidentes, graficando los valores acumulados de precipitación, temperatura, velocidad dirección del viento, humedad etc; proceso que se realiza por cada una de las estaciones base con los datos de la (NASA, 1958).



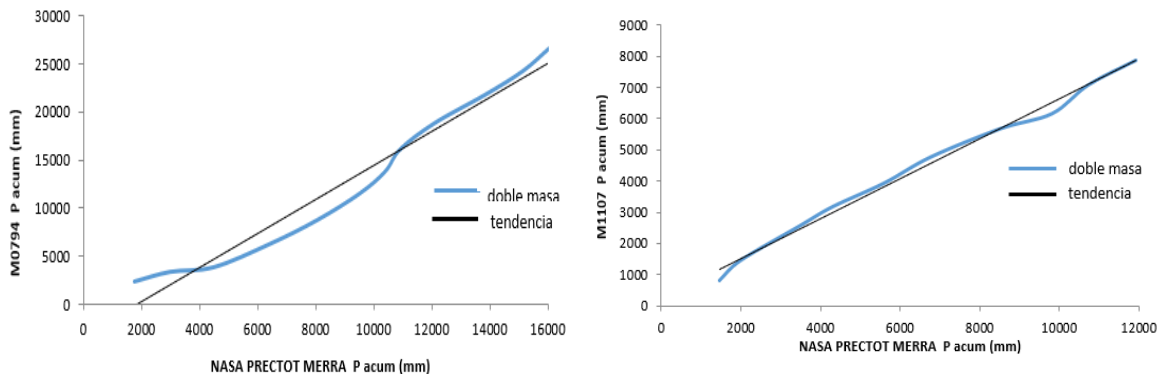


Figura 2. Curva de doble masa para cada una de las estaciones base INAMHI - estación satelital NASA MERRA

Fuente: (INAMHI, 2022), (NASA, 1958) **Elaborado por:** (autores, 2023)

4 FASE: Relleno de información

Una vez realizado el análisis de homogeneidad por el método de la doble masa se evidenció que, si existe una relación entre las bases de datos del INAMHI y la base de datos de la NASA, a excepción de las estaciones **M0123 – M0794**, dado que no demuestra una buena relación de los datos con la estación base, por lo que se debe calcular el valor R, con el fin de conocer el grado de correlación y utilizar la base de datos, caso contrario de no ser un valor alto positivo se desechara la información. Por lo consiguiente se aplicó un análisis estadístico a las estaciones para determinar el coeficiente de correlación (R), este análisis nos va a permitir definir un grado de asociación entre la base de datos por cada uno de los factores meteorológicos de la NASA, con los factores meteorológicos de las estaciones del INAMHI. Este coeficiente de correlación mantiene una estimación que varían entre -1 y 1, siendo estos valores considerados como una correlación perfecta entre las variables en estudio.

Código	Estación	Valor R (no corregido)	Valor R (corregido)
M0051	Babahoyo	0.8	0.8
M0123	El Corazón	0.3	0.4
M0129	Caluma	0.8	1.0
M0385	Salinas - Bolívar	0.5	0.7
M0465	Ventanas	0.5	0.7
M0383	Echeandía	0.7	0.8

M0794	Las Naves	0.1	0.7
M1107	Laguacoto	0.5	0.9

Tabla 4. Valor de (R) para las estaciones meteorológicas INAMHI

Fuente: (INAMHI, 2022) **Elaborado por:** (autores, 2023)

Una vez que se estableció el valor de R para cada una de las estaciones y se obtuvo el análisis de la doble masa se procede aplicar la ecuación correspondiente a la recta de acuerdo a la relación lineal entre las estaciones conocidas, con la estación considerada como estación base:

$$y = a + bx$$

Una vez aplicada la fórmula para las estaciones seleccionadas se obtiene como resultado que para la estación **M0123**, no superó el valor de 0.7, por lo cual se descarta la información disponible de esta estación.

5 FASE: Procesamiento análisis

Durante esta fase se realiza mapas temáticos sobre la dinámica de los factores climáticos que tienen incidencia en la microcuenca, tanto en la parte alta, media y baja de la misma. Así como también gráficos Ombrotérmicos que demuestran los periodos secos y los periodos lluviosos del área en estudio. Para procesar la información se procedió a ordenar y clasificar la información obtenida de los factores climáticos en estudio utilizando sistemas de información geográficos como ARCGIS, GLOBAL MAPPER, SASPLANET, los mismos que sirvieron para realizar la interpolación, modelamiento y zonificación climática en la microcuenca del río Chazo Juan, así como también software estadísticos como EXCEL, R-Studio, SPSS, para calcular y determinar los índices de variabilidad climática, mensual, anual y por década.

RESULTADOS

1.1. Variación de Temperatura

A través del estudio realizado en la Microcuenca del río Chazo Juan, se evidencia un incremento de la temperatura en la zona, mediante el análisis de las variaciones de la temperatura se ha encontrado un incremento de 0.27 °C por década y un incremento de 0.03 por año. Por lo tanto, se puede afirmar que la zona en estudio experimenta un incremento de la temperatura.

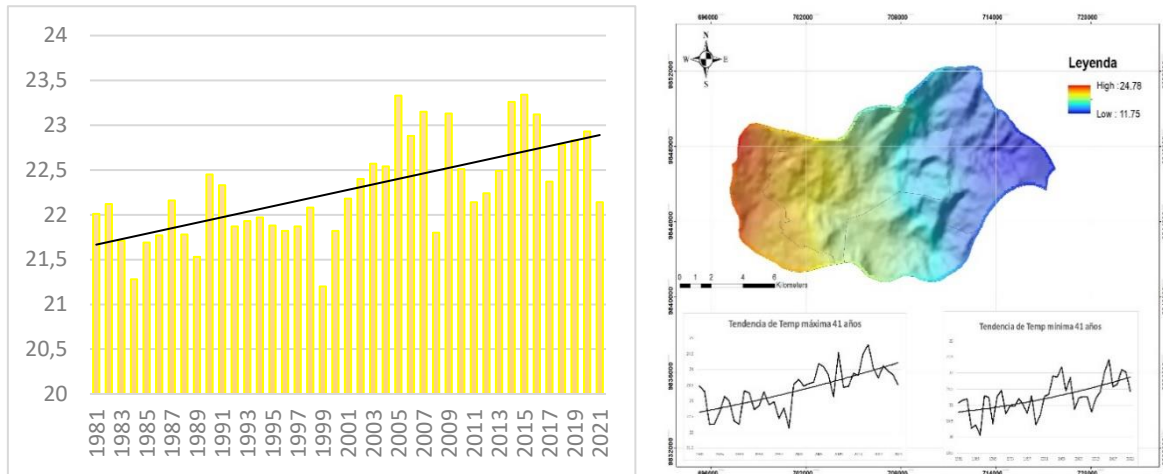


Figura 3. Temperatura anual 1981 - 2021 NASA

Fuente: (INAMHI, 2022), (NASA, 1958)

Elaborado por: (autores, 2023)

1.2. Variación de precipitación

En cuanto a los valores analizados de precipitación se observa una tendencia negativa con respecto a los promedios mensuales. Sin embargo, se pone en evidencia el comportamiento irregular de los valores extremos de precipitación en los meses considerados como períodos lluviosos los cuales fluctúan desde los 0,44 mm valores mínimos a 0,83 mm como valores máximos.

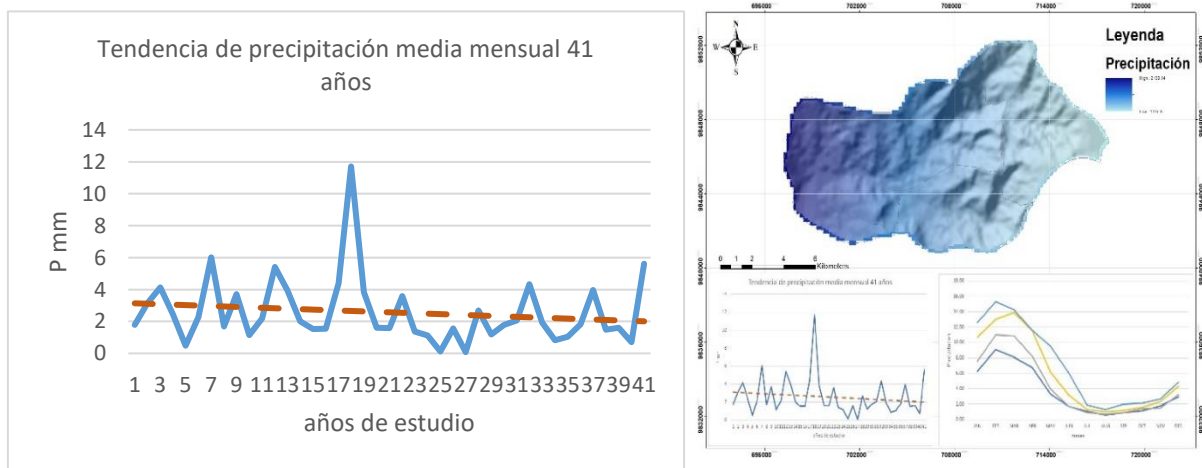


Figura 3. Precipitación mensual 1981 - 2021 NASA

Fuente: (INAMHI, 2022), (NASA, 1958)

Elaborado por: (autores, 2023)

DISCUSIÓN

América Latina es una de las regiones más vulnerables al cambio climático, debido a su alta dependencia de los recursos naturales, su exposición a eventos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, y su Falta de capacidad para adaptarse a los impactos del cambio climático (Carrión & Cisneros, 2022). Según Armesto (2021) la región es conocida por su clima variado, con regiones que van desde el trópico hasta la tundra, y está expuesta a una amplia variedad de eventos climáticos extremos, como huracanes, sequías, inundaciones y deslizamientos de tierra. Para Parada-Molina et al (2022) y Rojo-Gutiérrez & Bonilla, (2020) Se espera que el cambio climático tenga un impacto significativo, incluyendo el aumento de la frecuencia y la intensidad de los eventos climáticos extremos, la disminución de la disponibilidad de agua y la reducción de los patrones de precipitación, incluyendo también afecciones en otros aspectos como sociales, económicos y salud.

En cuanto al Ecuador, es importante mencionar que es un país que se encuentra en la zona intertropical y se caracteriza por tener una gran diversidad climática debido a su variada topografía, lo que resulta en diferentes tipos de clima en el país. Las regiones costeras y las tierras bajas son generalmente cálidas y húmedas, mientras que las regiones de montaña son más frescas y tienen una mayor necesidad climática debido a las diferencias de elevación (Palacios & Vincenti, 2011). Aportando con más características climáticas Yáñez et al (2011) argumentan que, el país se caracteriza por tener dos temporadas de lluvias al año, siendo la más intensa entre febrero y mayo y la segunda entre septiembre y diciembre. Sin embargo, la cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo y el espacio varía mucho en diferentes regiones del país, adicional, también influenciado por dos corrientes oceánicas: la corriente fría de Humboldt que afecta las regiones costeras y la cálida corriente del Niño que trae lluvias y temperaturas más cálidas a la región

Otro aspecto importante es, el análisis de los climas necesarios, debido a que es esencial para entender los patrones climáticos a lo largo del tiempo y su impacto en diferentes regiones del mundo (Parada-Molina et al., 2022). Para llevar a cabo este análisis, se requiere información confiable y precisa sobre las variables climáticas, como la temperatura y la precipitación. En este sentido, el producto satelital MERRA-2 se ha convertido en una herramienta útil para estimar estas variables en diferentes regiones del mundo (Jiménez-Jiménez et al., 2021).

MERRA-2 es un reanálisis global del clima que utiliza información de diferentes fuentes, como satélites, estaciones meteorológicas y modelos climáticos, para generar una estimación completa y coherente de las variables climáticas (Cuadros et al., 2019). Este producto satelital ha demostrado ser una herramienta útil para estimar la precipitación y la temperatura en áreas donde no se cuenta con registros locales, o donde la información disponible es limitada o incompleta (Méndez et al., 2018).

Además, MERRA-2 ha sido utilizado para analizar las condiciones climáticas necesarias a lo largo del tiempo y en diferentes regiones del mundo (Nayak & Takemi, 2019). Por ejemplo, se ha utilizado para estudiar los efectos de los eventos de El Niño y La Niña en la hidrología y la vegetación de diferentes regiones, así como para analizar la selección climática en regiones polares y tropicales (Arango & Poveda, 2018).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de MERRA-2 tiene sus limitaciones y no debe ser utilizado como la única fuente de información climática (Rodríguez-Ballesteros et al., 2020). Es importante validar los resultados obtenidos a través de MERRA-2 con información de estaciones locales y otros productos satelitales para asegurar su precisión y confiabilidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio mediante el uso del producto satelital MERRA 2, se considera a este medio como un modelo con buenos resultados para estimar variaciones en los patrones de las variables de precipitación y temperatura por su grado de correlación con la información interpolada de las estaciones cercanas, resultados que concuerdan con la investigación de Rosales (2020) que determina que la temperatura diría proveniente de MERRA-2 permite estimar, de manera confiable, la temperatura de superficie en el área Nogalera de las provincias de Catamarca y La Rioja en caso de no contar con registros.

CONCLUSIONES

La combinación de datos satelitales de la NASA y datos de estaciones del INAMHI, junto con la validación de los datos obtenidos, permitió obtener información detallada sobre los factores meteorológicos en un área determinada un período de 40 años. La metodología utilizada en este puede ser aplicada en futuros análisis climáticos para obtener información precisa y confiable estudio sobre los factores meteorológicos a nivel local y regional. Además, la selección rigurosa de estaciones meteorológicas y la corrección de

datos a través del análisis de doble masa son procesos fundamentales para garantizar la fiabilidad y precisión de los datos utilizados en estudios climáticos y ambientales.

El análisis de homogeneidad y el cálculo del coeficiente de similitudes son herramientas fundamentales para evaluar la relación entre las bases de datos de diferentes estaciones y determinar su confiabilidad y utilidad en estudios climáticos y ambientales. La aplicación de estas herramientas permitió identificar las estaciones que demostraron una buena relación con la estación base y descartar aquellas que no cumplieron con los criterios de calidad. Mientras que, la creación de mapas temáticos y gráficos ombrotérmicos es una herramienta valiosa para visualizar y comprender la dinámica de los factores climáticos en un área determinada o microcuenca. La aplicación de estas herramientas permitió obtener información detallada y visualmente atractiva sobre los factores climáticos en el área de estudio,

En cuanto a los resultados obtenidos sobre la variación de la temperatura y la precipitación en la microcuenca del río Chazo Juan, en el cual se evidencia un incremento de la temperatura de 0.27 °C por década y 0.03 por año, de la misma manera se determinó fluctuaciones en los valores de precipitación de 0,44 mm a 0,83 mm. Demostrando así un incremento de la temperatura y una tendencia negativa en los valores de precipitación en los promedios mensuales. Estas conclusiones son importantes para comprender los cambios en los factores climáticos en la microcuenca, lo que puede ser de gran utilidad en la planificación y gestión ambiental de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, E., & Poveda, G. (2018). Efectos de El Niño y La Niña sobre la hidrología de la Amazonía Colombiana . 26.
- Armesto, A. (2021, January 1). Preocupación por el cambio climático, condiciones económicas individuales y priorización del medioambiente en América Latina. *Opinio Publica*, 27(1), 1–27. <https://doi.org/10.1590/1807-019120212711>
- Carrión, A., & Cisneros, P. (2022, November 21). Cambio climático: políticas públicas y acción climática en América Latina. *Estado & Comunes*,

- Revista de Políticas y Problemas Públicos*, 1(16), 15–18.
https://doi.org/10.37228/estado_comunes.v1.n16.2023.295
- Cuadros, H. D., Cuellar, Y., Chiriví, J. S., & Guevara, M. (2019). GHG diffuse emissions estimation, and energy security to ENSO using MERRA-2 for largely hydroelectricity-based system. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 91, 70–82.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.n91a07>
- Guaranda, G. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Salinas . Guaranda : Guaranda.
- Horna, K., & Luisa, N. (3 de marzo de 2016). Evaluación hidrometeorológica y de sedimentos en la cuenca del río coca en la zona de influencia del proyecto coca codo sinclair. Evaluación hidrometeorológica y de sedimentos en la cuenca del río coca en la zona de influencia del proyecto coca codo sinclair. Quito, Pichincha, Ecuador: Quito, 2016.
- IGM. (2007). Cartografía temática del Ecuador (shapefile). Cartografía temática del Ecuador (shapefile). Quito, Pichincha , Ecuador : Insituto Geográfico Militar .
- In, E. (2018). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 30. INAMHI. (2022).
- IPCC. (2015). Global Warming of 1.5°C. IPCC.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., Inzunza-Ibarra, M. A., & Marcial-Pablo, M. de J. (2021). Analysis of the NASA-POWER system for estimating reference evapotranspiration in the Comarca Lagunera, Mexico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 201–226.
<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.03.050>
- Méndez, J. F., Pinto Herrera, L. C., & Belalcázar Cerón, L. C. (2018). Estudio de una intrusión de polvo sahariano en la atmósfera de Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 17(32), 17–34.
<https://doi.org/10.22395/rium.v17n32a1>
- NASA. (1958).
- Nayak, S., & Takemi, T. (2019). Dependence of extreme precipitable water events on temperature. *Atmosfera*, 32(2), 159–165.
<https://doi.org/10.20937/ATM.2019.32.02.06>

- Noriega, R., & Marco, V. (1 de Mayo de 2015). Implementación de medidas de adaptación al cambio climático en la comunidad Minas Chupa, Parroquia San José de Minas. Implementación de medidas de adaptación al cambio climático en la comunidad Minas Chupa, Parroquia San José de Minas. Quito, Pichincha, Ecuador .
- Palacios, E., & Vincenti, S. (2011). Validación de los Modelos de Cambio Climático hidrostáticos y no hidrostáticos sobre la climatología de Ecuador en las variables de precipitación y temperaturas extremas. *LA GRANJA Revista de Ciencias de La Vida*, 21–30. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047397004>
- Parada-Molina, P. C., Pérez-Silva, A., Cerdán-Cabrera, C. R., & Soto-Enrique, A. (2022, May 1). Condiciones climáticas y microclimáticas en sistemas de producción de vainilla (*Vanillaplanifolia* Jacks. ex Andrews) en México. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2). <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.48682>
- Rodríguez-Ballesteros, J. E., Rodríguez-Loaiza, D. C., & Peñuela-Mesa, G. A. (2020). Comparison of in Batch Aerobic and Anaerobic Processes for the Degradation of Organic Matter in a Tropical Reservoir. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(54). <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10892>
- Rojo-Gutiérrez, M. A., & Bonilla, D. M. (2020, May 25). COVID-19: La necesidad de un cambio de paradigma económico y social. *CienciAmérica*, 9(2), 77–88. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i2.288>
- Rosales, J. S. (2020). Evaluación de datos obtenidos del producto MERRA-2 (NASA) con estaciones meteorológicas de las provincias de Catamarca y La Rioja (Argentina) para estimar temperaturas en zonas nogaleras. *SEDICI*, 10
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., & Jácome, P. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el distrito Metropolitano de Quito. *La Granja*, 25.
- SGR. (12 de 05 de 2018). Secretaría de Gestión de Riesgos Salas de Situación y Monitoreo. Obtenido de Secretaría de Gestión de Riesgos Salas de

Situaciin y Monitoreo: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/reportes-de-monitoreo-de-amenazas-y-eventos-peligrosos-2022/>

Yáñez, P., Nuñez, M., Carrera, F., & Martínez, C. (2011). Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la zona andina de Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida*, 14(2), 24–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047398004>

Zambrano, E. (2007). Breves apuntes sobre el cambio climático. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, (pág. 14). Guayaquil