

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**PRECIPITACIONES COMO INDICADORES DEL EFECTO
DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO-
CHINCHIPE EN EL PERIODO 2002-2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autores : Bach. Wildy Maxkeith Herrera Diaz

Egr. Milton Stalin Garcia Peña

Asesora : Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga

Coasesor : PhD. Luis Felipe Duque Yaguache

Línea de investigación: Vulnerabilidad, Adaptación y Mitigación del Cambio Climático

JAÉN – PERÚ

2025

García Peña Milton Stalin Herrera Diaz Wildy Maxk...

PRECIPITACIONES COMO INDICADORES DEL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MAYOCHINCHI...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3281236448

89 Páginas

Fecha de entrega

20 jun 2025, 12:41 p.m. GMT-5

20.178 Palabras

Fecha de descarga

20 jun 2025, 12:47 p.m. GMT-5

107.522 Caracteres

Nombre de archivo

INFORME_FINAL_HERRERA_DIAZ_GARCIA_PE_A..pdf

Tamaño de archivo

3.4 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (a) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
54 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN


Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (ej) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 24 de junio del año 2025, siendo las 16:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Lupo Leonidas Varas Ponce

Secretario: Segundo Sánchez Tello

Vocal: Helder Efraín Aguirre de los Ríos, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "PRECIPITACIONES COMO INDICADORES DEL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO-CHINCHIPE EN EL PERIODO 2002-2022", presentados por los Bachilleres Garcia Peña Milton Stalin y Herrera Diaz Wildy Maxkeith, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

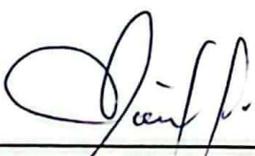
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 o menos | () |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Segundo Sánchez Tello
Secretario



Lupo Leonidas Varas Ponce
Presidente



Helder Efraín Aguirre de los Ríos
Vocal

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Wildy Maxkeith Herrera Diaz, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 70850380.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Precipitaciones como indicadores del efecto de cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe en el periodo 2002-2022”.

Asesorado por la Mg. Candy Ocaña Zúñiga.

El mismo que presento bajo la modalidad de sustentación de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 15, de agosto del 2025.


Herrera Diaz Wildy Maxkeith
DNI: 70850380

“Nombre del Año”

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Garcia Peña Milton Stalin, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74465404.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Precipitaciones como indicadores del efecto de cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe en el periodo 2002-2022”.

Asesorado por la Mg. Candy Ocaña Zúñiga.

El mismo que presento bajo la modalidad de sustentación de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 15, de agosto del 2025.



Garcia Peña Milton Stalin

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MATERIAL Y MÉTODOS	17
2.1. Ubicación del área de estudio.....	17
2.2. Tipo, nivel, método y diseño de investigación.....	19
2.2.1. Tipo de investigación	19
2.2.2. Método de investigación	19
2.2.3. Diseño de investigación	19
2.3. Materiales.....	19
2.4. Métodos	20
2.4.1. Obtención de datos de precipitación mensual del periodo 2002-2022.....	20
2.4.3. Evaluación de las tendencias temporales y distribución de la precipitación.....	24
2.4.4. Comparación de la variación de precipitaciones de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas del periodo de estudio en la cuenca del Río Mayo-Chinchipe.....	25
2.5. Proceso metodológico utilizado.....	25
III. RESULTADOS	27
3.1. Obtención de datos de precipitación del periodo 2002-2022.....	27
3.2. Índice de concentración y anomalías de precipitación como indicadores del efecto cambio climático.....	28
3.2.1 Índice de concentración de las precipitaciones (PCI).....	28
3.2.2. Anomalías de precipitación	39
3.3. Evaluación de las tendencias temporales y distribución de la precipitación.....	48
3.4. Comparación de la variación de precipitaciones de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas del periodo de estudio en la cuenca del Río Mayo-Chinchipe.....	60
IV. DISCUSIÓN	62
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67

5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones	70
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca Mayo-Chinchipe.....	17
Tabla 2. Materiales y equipos utilizados en la investigación.....	19
Tabla 3. Criterios de clasificación del PCI	23
Tabla 4. Criterios de clasificación de las anomalías de precipitación	24
Tabla 5. Datos de precipitación de las bases de datos de estaciones meteorológicas, CHELSA y GPCC	27
Tabla 6. Precipitación (mm) anual de CHELSA.....	79
Tabla 7. Precipitación (mm) anual de GPCC.....	79
Tabla 8. Precipitación (mm) anual de estaciones meteorológicas	80
Tabla 9. Índice de concentración de precipitación de CHELSA	81
Tabla 10. Índice de concentración de precipitación de GPCC	81
Tabla 11. Índice de concentración de precipitación de estaciones meteorológicas	82
Tabla 12. Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de CHELSA	83
Tabla 13. Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de GPCC	83
Tabla 14. Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de estaciones meteorológicas	83
Tabla 15. Resumen de porcentaje de años según criterios de clasificación de las tres bases de datos	84
Tabla 16. Test de Mann-Whitney anual para CHELSA	84
Tabla 17. Test de Mann-Whitney anual para GPCC	84
Tabla 18. Test de Mann-Whitney anual para estaciones meteorológicas	85
Tabla 19. Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para CHELSA	85
Tabla 20. Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para GPCC	85
Tabla 21. Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para estaciones meteorológicas	86
Tabla 22. Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de CHELSA	86

Tabla 23. Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de GPCC.....	87
Tabla 24. Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de estaciones meteorológicas	87
Tabla 25. Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de CHELSA	87
Tabla 26. Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de GPCC....	88
Tabla 27. Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de estaciones meteorológicas	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la cuenca Mayo-Chinchipe.....	18
Figura 2. Proceso metodológico empleado.....	26
Figura 3. Índice de concentración de precipitaciones, a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas	30
Figura 4. Promedio del PCI según criterios de clasificación a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	32
Figura 5. Porcentaje de años según criterios de selección de CHELSA: a) PCI <10, b) PCI 10 – 15, c) PCI 15 – 20, d) PCI >20	34
Figura 6. Porcentaje de años según criterios de selección de GPCC: a) <10, b) 10 – 15, c) 15 – 20, d) >20.....	36
Figura 7. Porcentaje de años según criterios de selección de estaciones meteorológicas: a) <10, b) 10 – 15, c) 15 – 20, d) >20	38
Figura 8. Anomalías climáticas (precipitación): a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas	41
Figura 9. Distribución espacial y porcentual de la precipitación de CHELSA según criterios de selección a) Húmedo, b) Normal, c) Seco.....	43
Figura 10. Distribución espacial y porcentual de la precipitación de GPCC según criterios de selección a) Húmedo, b) Normal, c) Seco	45
Figura 11. Distribución espacial y porcentual de la precipitación de estaciones meteorológicas según criterios de selección	47
Figura 12. Tendencia anual del PCI de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas	49

Figura 13. Significancia anual del PCI de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	51
Figura 14. Tendencia del PCI en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	53
Figura 15. Significancia del PCI de la tendencia en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	55
Figura 16. Tendencia del PCI en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	57
Figura 17. Significancia del PCI de la tendencia en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas.....	59
Figura 18. Índice de concordancia de Wilmott del PCI.....	60
Figura 19. Índice de concordancia de Willmott en Anomalías.....	61
Figura 20. Series temporales de PCI anual por estación de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas.....	89
Figura 21. Series temporales de Anomalías de precipitación por estación de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas.....	90
Figura 22. Solicitud de data a SENAMHI	91
Figura 23. Solicitud de data a INAMHI	92
Figura 24. Respuesta de SENAMHI con la data respectiva de precipitación.....	93
Figura 25. Respuesta de INAMHI con la data respectiva de precipitación	93
Figura 26. Trabajo de asesoramiento remoto con asesor de la Universidad Nacional de Loja	94
Figura 27. Imagen del entorno de desarrollo de Rstudio (versión 2025.06.0).	94

RESUMEN

El estudio analizó las precipitaciones en la cuenca del río Mayo-Chinchipe durante el período 2002-2022. Se utilizaron bases de datos climáticos (CHELSA y GPCC) y registros de seis estaciones meteorológicas locales SENAMHI (Perú) e INAMHI (Ecuador). Se utilizó estadística descriptiva e inferencial para identificar el índice de concentración de la precipitación (PCI), anomalías climáticas, tendencias, y patrones de variabilidad de la precipitación; y, el test de Man-Whinett para comparar las diferencias de medias entre los subperíodos 2002 - 2011 y 2012 – 2022. Para determinar la variación significativa en cada estación, por tipo de base, y época (seca-húmeda) se calculó la pendiente de Sen y Man-Kendall. La fiabilidad de los datos se calculó mediante el índice de concordancia de Willmott. Se obtuvo un PCI promedio para CHELSA, y para las estaciones meteorológicas de 10 a 15 unidades en todos los puntos de evaluación; por el contrario, para GPCC los valores fluctúan en el rango ≤ 10 y entre 10 a 15 unidades. Las anomalías climáticas presentaron la mayor concentración entre -1 y 1 unidades en las tres bases. Se concluye que los fenómenos climáticos afectan de forma directa a la seguridad hídrica y los indicadores hidrológicos de la cuenca Mayo-Chinchipe.

Palabras claves: Anomalías Climáticas; Índice de concentración de precipitaciones; Climatología, Seguridad hídrica.

ABSTRACT

The study analyzed precipitation in the Mayo-Chinchi River basin during the period 2002-2022. Climate databases (CHELSA and GPCC) and records from six local meteorological stations SENAMHI (Peru) and INAMHI (Ecuador) were used. Descriptive and inferential statistics were used to identify the precipitation concentration index (PCI), climate anomalies, trends, and precipitation variability patterns; and the Mann-Whitney test was used to compare the differences in means between the sub-periods 2002-2011 and 2012-2022. To determine the significant variation in each season, by base type, and season (dry-wet), the Sen and Mann-Kendall slopes were calculated. Data reliability was calculated using the Willmott concordance index. An average PCI was obtained for CHELSA, and for weather stations of 10 to 15 units at all evaluation points; in contrast, for GPCC, values fluctuate in the range ≤ 10 and between 10 and 15 units. Climate anomalies were most concentrated between -1 and 1 units at the three bases. It is concluded that climate phenomena directly affect water security and hydrological indicators in the Mayo-Chinchi basin.

Keywords: Climatic anomalies; Precipitation concentration index; Climatology, Water security.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en uno de los retos más apremiantes del siglo XXI, con modificaciones profundas y duraderas en los patrones climáticos que impactan diversas regiones globalmente. Estos cambios afectan tanto a los sistemas naturales como a las sociedades humanas, manifestándose en alteraciones significativas de la temperatura y en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos como lluvias extremas, sequías e inundaciones, aumentando la vulnerabilidad de los ecosistemas y de las comunidades, empeorando problemas existentes (Vargas Montes, 2021). Según las proyecciones del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC); asimismo, Masson-Delmotte *et al.*, (2020) menciona que se espera un aumento en la intensidad, la frecuencia y la duración de fenómenos climáticos extremos asociadas a olas de calor, sequías e intensas lluvias a nivel global.

La Autoridad Nacional del Agua, afirma que la cuenca Mayo-Chinchipe, situada en el norte de Perú y en el sur de Ecuador enfrenta desafíos críticos acuñados a la disponibilidad de agua, la estabilidad ecológica y el bienestar de las poblaciones que se encuentran dentro de este territorio. Esta cuenca es esencial no solo para la agricultura y el suministro de agua potable, sino también para la conservación de la biodiversidad y para mitigar los efectos del cambio climático en la región amazónica (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013). La cuenca representa una importante vertiente de recursos hídricos para la zona amazónica de Ecuador. En el 2013 la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de Ecuador, en su Plan Nacional para el Buen Vivir entre los años 2013-2017, la cuenca es fundamental para la seguridad alimentaria, para conservar la diversidad biológica y el incremento del turismo en esta área.

Por otro lado, la gestión compartida del agua entre Perú y Ecuador ha sido fruto de un proceso largo y progresivo que busca fortalecer la cooperación entre ambos países. Todo inició con acuerdos como el firmado en 1971 para el aprovechamiento de las cuencas Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira. Con el transcurso de los años se dio la necesidad de ampliar esta cooperación a otras cuencas compartidas, según UICN (2023), lo indicado anteriormente llevó a la creación de la Comisión Binacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), formalizada en 2017 y reforzada en 2023 con la aprobación de su reglamento. Esta comisión, tiene como objetivo coordinar acciones en nueve cuencas hidrográficas transfronterizas, entre ellas la cuenca binacional Mayo-Chinchipe. El trabajo conjunto incluye actividades como el

intercambio de información, la elaboración de planes de gestión, la creación de comités por cuenca, y la búsqueda de soluciones frente a problemáticas comunes como el cambio climático, la escasez hídrica y la presión sobre los ecosistemas. En el caso de la cuenca Mayo-Chinchipe, se han sumado proyectos impulsados por universidades y organizaciones de ambos países. Tal es el caso de la Universidad Nacional de Loja que lidera una iniciativa que busca promover el acceso al agua, fortalecer la resiliencia de las comunidades y conservar los ecosistemas, con apoyo de cooperación internacional; asimismo este proyecto contempla actividades de investigación, capacitación y trabajo con las poblaciones locales, abordando temas como los derechos humanos, el cambio climático y la seguridad hídrica. Gracias a estos esfuerzos la cuenca Mayo-Chinchipe empieza a tener una gestión con mayor coordinación y con visión al futuro. Esto demuestra que los convenios binacionales no son solo acuerdos escritos, sino herramientas que permiten unir conocimientos, recursos y voluntades para garantizar el acceso y el uso sostenible del agua, mejorando la calidad de vida de las sociedades que habitan en esta área (Benítez Carranco, 2018).

Diversos estudios han mostrado la complejidad climática de esta cuenca. Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Jaén en el 2019, orientada en la determinación de tendencias de precipitación y sequía en la cuenca Chinchipe, resalta la importancia del análisis exploratorio de las precipitaciones, pues estas describen un comportamiento marcado por periodos lluviosos, periodos secos y de transición. Este comportamiento de la precipitación en la cuenca Chinchipe se sustenta, en factores como los patrones de circulación atmosférica que ocasionan las recurrencias de lluvias en los meses de septiembre y abril (Campos Ruiz, 2022). En el 2020 un estudio realizado por la Universidad Nacional de Loja, las precipitaciones en la cuenca tienen un comportamiento variado, con periodos de lluvias intensas y períodos de sequía prolongada. Esto puede causar significativamente impactos en la disponibilidad hídrica, afectando el desarrollo de la región. Las lluvias también están ligadas con conservar la diversidad biológica en la cuenca. El Ministerio del Ambiente de Ecuador en 2017, menciona que la variación de la lluvia en la cuenca Mayo-Chinchipe afecta directamente la distribución y la calidad de los de las zonas de vida de la flora y fauna, lo que puede tener un impacto en la diversidad biológica de la región (MAATE, 2017). En el 2021, Dilas-Jiménez afirmó que la cuenca Chinchipe en el norte del Perú sirve como soporte para la realización de las actividades por la población que se encuentra presente en este espacio y regulación del clima. En ella desarrollan actividades agropecuarias siendo esta un 40% de la cuenca utilizada; asimismo, cumple un rol muy importante al aportar agua para riego, consumo y uso utilizada en las

actividades antes mencionadas. En esta cuenca se encuentran unos 158 000 ciudadanos, donde predomina San Ignacio como provincia con un 90% de población total. El planteamiento de las autoridades nacionales es velar por un uso adecuado de el recurso hídrico y la calidad de este sea sostenible en el tiempo. Por otro lado, en el (Duarte Cueva, 2014) afirma que las anomalías climáticas pueden ser un factor de crisis ambiental y económico puesto que genera cambios en el movimiento de bienes y servicios, modificaría el desarrollo de actividades, afectaría las estrategias de desarrollo social, y por ende influiría en cómo se manejan las políticas de desarrollo de los gobiernos.

El análisis de la variación en las precipitaciones es fundamental para comprender el impacto del cambio climático sobre esta cuenca binacional. Sin embargo, pese a su importancia estratégica, la región carece de estudios científicos integrales que cuantifiquen cómo se están modificando los regímenes pluviométricos. En este sentido, metodologías como el Índice de Concentración de Precipitaciones (PCI) propuesto por Oliver (1980) y las anomalías estandarizadas (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) han demostrado ser herramientas eficaces para identificar la distribución temporal de la lluvia y detectar desviaciones respecto a promedios históricos. En los últimos años se han realizado estudios basándose en el Índice de concentración de precipitación, para analizar la estacionalidad y la distribución de las lluvias en zonas tropicales y andinas. Según Sarricolea *et al.*, (2020), menciona que en estudios recientes se han utilizado el Índice de Concentración de las Precipitaciones (PCI) como un indicador de cambio climático, esto ha permitido evaluar la concentración de las precipitaciones en diversas regiones en sectores tropicales y andinas. El análisis de anomalías climáticas estandarizadas se ha empleado en múltiples estudios con la finalidad de identificar la ocurrencia de eventos extremos y conocer regiones que presentan una disminución o un aumento de las precipitaciones ente aplicado para detectar eventos extremos e identificar zonas con déficit o exceso de precipitación lo que ha permitido tener una mejor comprensión de la distribución e impactos de estos fenómenos, Aguilar *et al.*, (2020).

Se ha confirmado que el Índice de Concentración de Precipitación (PCI) en regiones andinas y climas cálidos, resulta útil en el estudio de alteraciones en los patrones de lluvia relacionados con el cambio climático, evidenciando una tendencia hacia una mayor irregularidad en la distribución temporal de las precipitaciones (Lavado-Casimiro *et al.*, 2012; Poveda *et al.*, 2020). Se han realizado diversos análisis del PCI en el país, incluyendo investigaciones de Zubieta y Cols, R. (2019); Ilbay Yupa, M. L. (2019); Zubieta Barragán, R. (2017); los que han confirmado una correlatividad frecuente de sucesos extremos a gran cantidad, los cuales han

señalado un incremento en la frecuencia de eventos extremos, abarcando tanto periodos de sequía como lluvias intensas, mientras que las anomalías estandarizadas (Z) ofrecen la posibilidad de medir desviaciones significativas del régimen pluvial común, especialmente durante eventos como El Niño (Espinoza *et al.*, 2019). En cuencas que cruzan fronteras, como la Mayo-Chinchipe, esta combinación de indicadores es fundamental para supervisar los cambios en la disponibilidad de agua y planificar estrategias de adaptación a nivel binacional, especialmente en zonas donde la variabilidad de la altitud y los microclimas generan diferencias en los patrones de precipitación en distancias cortas (Segura *et al.*, 2020). Sin embargo, estos métodos aún no se han utilizado para el análisis de precipitaciones en la cuenca Mayo-Chinchipe, lo que limita la capacidad para anticipar riesgos hidroclimáticos para desarrollar políticas de adaptación generados por el cambio climático.

El uso de bases de datos climáticas globales como CHELSA y GPCC, junto con los registros locales de las estaciones meteorológicas del SENAMHI e INAMHI, permite una evaluación más robusta de los patrones pluviométricos en la cuenca. Cada una de las bases de datos aporta ciertas particularidades en las características de los datos, ya sea por su resolución espacial, así como la cantidad de datos o el espacio que cubren en la toma de datos; es por ende compararlas entre ellas nos permite poder detectar posibles desventajas para usarlos en distintos análisis para la interpretación del cambio climático.

En áreas como la cuenca Mayo-Chinchipe, ubicada entre Perú y Ecuador los desafíos asociados al clima necesitan una alianza entre ambos países. No obstante, las diferencias en el acceso de información generan dificultad para una gestión conjunta frente a los fenómenos extremos del clima, es por ello que al realizar estudios conjuntos de las variaciones de precipitación en esta cuenca no solo tiene valor científico, sino también estratégico, al aportar evidencia que favorezca acuerdos de cooperación para la gestión del recurso hídrico compartido y la reducción del riesgo climático.

Dado el contexto, la investigación tuvo como objetivo analizar la variación de las precipitaciones como indicadores del cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe durante el periodo 2002-2022. En ese contexto el presente estudio permitió generar un diagnóstico que contribuya a la planificación sostenible y a la gestión adaptativa de los recursos hídricos en esta región.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la cuenca binacional del río Mayo-Chinchipe, ubicada entre los territorios de Perú y Ecuador. Esta cuenca se extiende por el territorio de Ecuador (sur) y Perú (norte), su cauce hídrico principal recorre unos 142 km (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2011); asimismo, cuenta con un área de 9 686 km², de las cuales 6,538 km² se encuentran en el lado peruano y 3 148 km² en lado ecuatoriano (Vásquez Peralta, 2012). El caudal de la vertiente de la cuenca aporta un promedio de 204 m³/s equivalente más de 6 430 millones de m³ por año, la temperatura y precipitación promedio anual de varía de acuerdo al piso altitudinal, en la parte alta va desde los 32 °C y 1200 mm a 3500 mm por año; en la parte media tiende a un promedio de 20°C y 800 mm al año; en la parte baja de la cuenca tienden a tener valores de 19°C y valores similares de precipitación que la parte media (Elliot, 2009).

Las estaciones meteorológicas en el espacio de la cuenca y fuera de la cuenca binacional Mayo-Chinchipe consideradas en la presente investigación se muestran en la tabla 1, donde además se visualiza seis estaciones de las cuales cinco son meteorológicas (Chirinos, Tabaconas, Namballe, San Ignacio, La Argelia) y una es hidrometeorológica, (Huallape). Estas se distribuyen a diferentes altitudes, por ejemplo, la estación Huallape se encuentra a 409 msnm siendo esta la más baja a nivel altitudinal, y la estación Loja – La Argelia, es la estación más alta a nivel altitudinal que se encuentra cercana al territorio de la cuenca binacional.

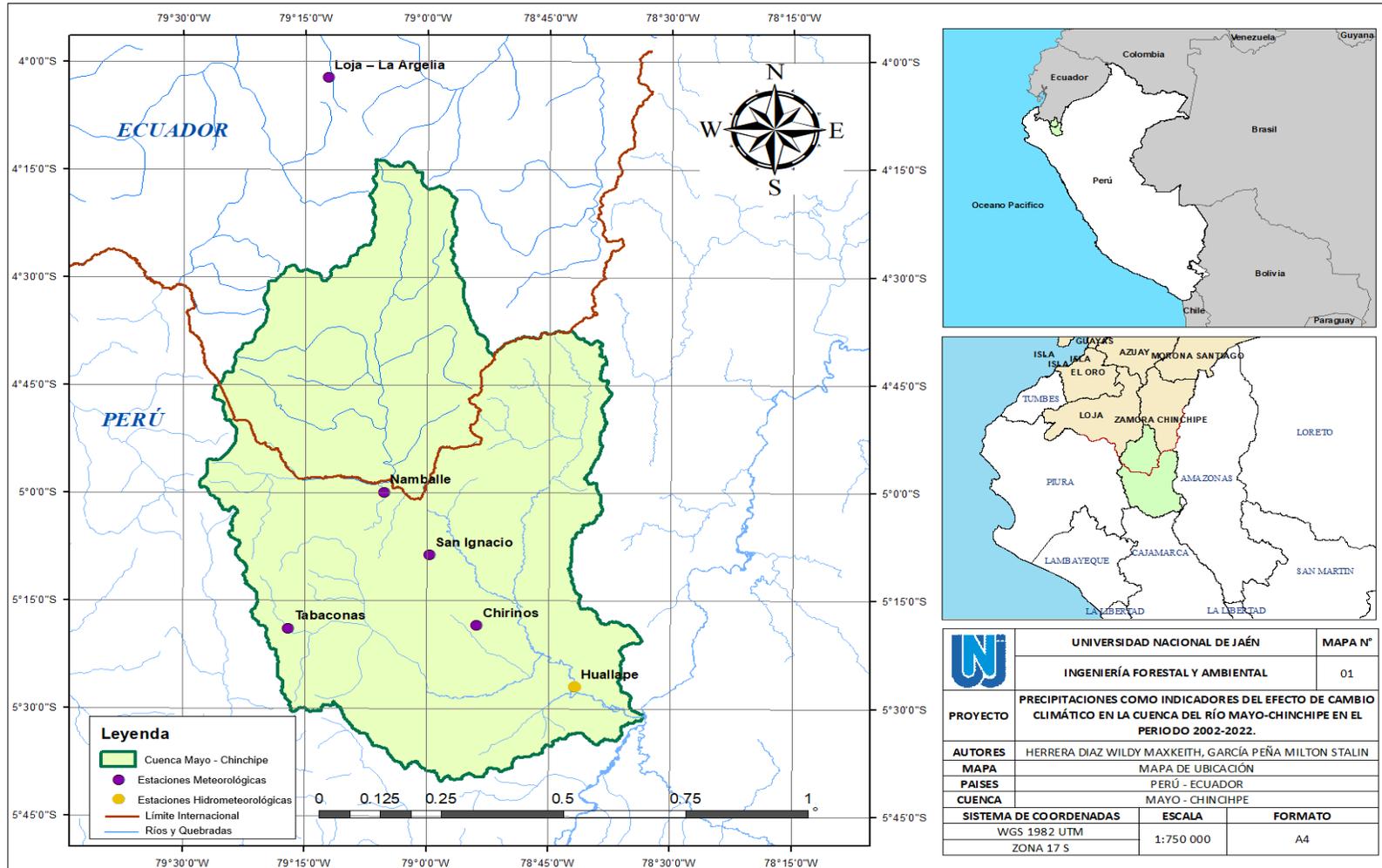
Tabla 1

Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca Mayo-Chinchipe.

N°	Estación	Tipo	Este (UTM)	Norte (UTM)	Altitud (msnm)
1	Chirinos	Convencional–Meteorológica	733000	9412839	1772
2	Tabaconas	Convencional–Meteorológica	690061	9412178	1892
3	Namballe	Convencional–Meteorológica	711924	9447088	722
4	San Ignacio	Convencional–Meteorológica	722258	9430958	1243
5	Huallape	Hidrometeorológica	755317	9397020	409
6	Loja – La Argelia	Meteorológica	699456	9553507	2160

Figura 1

Ubicación de la cuenca Mayo-Chinchipe.



Nota. Datos Obtenidos de los servidores: "<https://www.gob.pe/senamhi>" Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geográfico Nacional (IGN). Procesado en el Software ArcGis 10.8.

2.2. Tipo, nivel, método y diseño de investigación

2.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue cuantitativa – analítica, puesto que se estudió la variable de precipitación, se analizó los registros disponibles en diferentes bases de datos (SENAMHI, INAMHI, CHELSA y GPCC) para determinar el comportamiento de la temperatura y precipitación en el periodo 2002-2022. En cuanto al nivel de investigación es descriptivo, ya que se describieron las variables de estudio, por medio de mediciones, tal y conforme se presenta al momento de su obtención.

2.2.2. Método de investigación

El método de la investigación fue deductivo porque se empleó la observación de un fenómeno y la consecuente formulación de hipótesis que lo explique, para luego verificar la hipótesis. La investigación tiene un enfoque sistémico porque se empleó el método científico, debido a que en este proceso sistémico constó de etapas que no se obviaron.

2.2.3. Diseño de investigación

Esta investigación fue no experimental, durante el análisis no se ejecutó un control o manipulación sobre la variable, estas se analizaron tal y como se observaron en su contexto natural.

2.3. Materiales

Tabla 2

Materiales y equipos utilizados en la investigación.

Nº	TIPO	CANTIDAD	UTILIDAD
1 Equipos			
	Computadora de escritorio con procesador Intel Core i9 13th generación	1	Para realizar tareas procesos pesados de volúmenes de datos climáticos, ejecutar códigos en el entorno de desarrollo RStudio y correr los distintos softwares informáticos.
	Impresora Brother MFC – T4500DW	1	Imprimir documentos, mapas y gráficos generados en el estudio e informe final.
	Unidad de almacenamiento externa SD-1TB	1	Almacenamiento de información meteorológica descargada de las distintas bases de información
2 Materiales de escritorio			

Lapiceros	10	Tomar apuntes durante el proceso de análisis de información de las precipitaciones
Libreta de apuntes	2	Registrar los procesos metodológicos, formulas y observaciones claves en el proceso de desarrollo del estudio.
3 Softwares informáticos		
ArcMap versión 10.8	1	Generación de mapas de ubicación y visualización de variables de los ráster obtenidos de CHELSA y GPCC
RStudio versión 12.1	1	Cálculos de PCI, anomalías climáticas, análisis espacial de los índices, generación de mapas espaciales y gráficos
Microsoft Excel 2019	1	Organizador de datos, visualización de data, cálculos preliminares
Microsoft Word 2019	1	Redacción de texto, integración de tablas y realizar informe final
4 Base de datos meteorológicos		
CHELSA	1	Fuente de datos de precipitación de alta resolución.
GPCC	1	Fuente de datos globales para análisis de tendencias históricas de lluvia
Estaciones Meteorológicas (SENAMHI e INAMHI)	1	Fuente de datos históricos locales de precipitación de las fuentes nacionales de información meteorológica de Perú (SENAMHI) y Ecuador (INAMHI).

2.4.Métodos

2.4.1. Obtención de datos de precipitación mensual del periodo 2002-2022.

Los datos históricos de precipitación se obtuvieron de las bases de datos CHELSA (<http://chelsa-climate.org/>), Centro Global de Climatología de Precipitaciones – GPCC (<https://www.dwd.de/EN/ourservices/gpcc/gpcc.html>), del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) Ecuador. CHELSA es un conjunto de datos Climatológicos en alta resolución para la superficie terrestre de la Tierra, utilizados en varios estudios (Abatzoglou *et al.*, 2018; Karger *et al.*, 2023; Khorrami & Gunduz, 2021). GPCC es un centro especializado en investigación del clima, difunde datos globales de precipitación diaria, mensual y

anual, es operado por el Deutscher Wetterdienst bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial. SENAMHI es la entidad encargada de tomar datos de variables meteorológicas en Perú, INAMHI es la entidad encargada de coleccionar data de variables meteorológicas en Ecuador. La data utilizada para el periodo de estudio se eligió con conveniencia de las bases de datos, esto debido a que era necesario disponer toda la data disponible de precipitación mensual del periodo 2002 al 2022.

Inicialmente se planeó utilizar la data de precipitación de 8 estaciones meteorológicas; sin embargo, dos de ellas (Amaluza 1 y Zamora DJ) que se encontraban en el territorio ecuatoriano se descartaron debido a que no contaban con información meteorológica del periodo de estudio.

La data de Chelsa se obtuvo en formato mensual, y cada ráster tuvo a una resolución de 30 segundos de arco para el periodo de estudio (1km); por el contrario, la data GPCC se obtuvo en formato netCDF en una resolución de 0.25° de arco para el periodo de estudio (25 km). Con la finalidad de estandarizar el formato de los datos, se llevó a cabo los siguientes procesos:

1. La data GPCC se convirtió a formato ráster, posterior a esto, se procedió a realizar el corte del área de la cuenca utilizando un Shapefile como máscara con un Buffer de 1km con la finalidad de no perder información.
2. Una vez obtenidos los ráster cortados al tamaño de la cuenca se procedió a utilizar la herramienta “ráster calculador” en la data de CHELSA para transformar los datos valores de mm/mes debido a que esta se encuentra según (M. Imbaquingo, 2024) en unidades de $\text{kg m}^{-2} \text{mes}^{-1}/100$.

Se utilizó la siguiente ecuación de conversión:

$$Pre(mm) = \frac{raster}{100} \quad (1)$$

3. La extracción de la data de los ráster de las bases de datos globales de CHELSA y GPCC se extrajo de cada punto donde se encontraba las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca, en formato xlsx utilizando el entorno de desarrollo RStudio (versión 2025.06.0), junto con el lenguaje R (versión 4.4.0).

4. Los datos de precipitación de la cuenca de estaciones meteorológicas, se obtuvieron de las cinco estaciones del SENAMHI presentes en el territorio peruano (Cuenca Chinchipe) y una estación en el territorio ecuatoriano (Cuenca Mayo), estos datos se obtuvieron mediante solicitud emitida a estas dos entidades, esta data fue enviada por las entidades en formato diario para las estaciones lado del Perú y mensual de la estación de ecuatoriana.
5. Se estandarizó la data de las tres bases de datos (CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas), se organizó en orden cronológico (mensual), se realizó un control de los datos de precipitación, esto consistió en verificar límites físicos, consistencia interna, y consistencia espacial. Finalmente se empleó un proceso automático propuesto en la guía Técnica “Tendhis” (Tendencias históricas de precipitación y temperatura - SENAMHI), para la homogeneización y control de calidad de los datos.
6. Para completar la data faltante en las tres bases de datos, se empleó técnicas de regresión lineal y el método estadístico ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) que son ampliamente utilizados en estudios de hidrología y climatología (Valderrama, 2024; Aguado-Rodríguez, 2016), en análisis de series temporales de precipitación. Este método permite generar patrones de variabilidad y estacionalidad, garantizando la robustez de los datos (Box y Jenkins, 1970; Salas *et al.*, 1980). Todo este proceso de ejecución mediante el código mediante el paquete forecast para la estimación de parámetros y validación de los modelos

2.4.2. Cálculo del índice de precipitación como indicadores del efecto cambio climático.

Los datos obtenidos en promedios mensuales se utilizaron para el cálculo de los índices de la precipitación. Estos índices han sido utilizados como indicadores de cambio climático en varias investigaciones (Alencar da Silva Alves & Silva Nóbrega, 2017; Brown, O.; Gallardo, YLópez Silva *et al.*, 2019; Siqueira & Nery, 2021).

Para calcular el índice de la concentración de las precipitaciones (PCI) anuales se utilizó las fórmulas propuestas por Salameh, AAM (2024).

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{if}^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

PCI: índice de la concentración de precipitaciones, se expresa como porcentaje, la lluvia anual i como P_{if} en el año j y para la lluvia anual P_f .

Para el cálculo del PCI por épocas: húmeda (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril); seca: (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre) se utilizó la siguiente fórmula:

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{if}^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \times 50 \quad (3)$$

Donde:

PCI es el índice de la concentración de precipitaciones, se expresa como porcentaje, la lluvia anual i como P_{if} en el año j y para la lluvia anual P_f .

La clasificación del índice del PCI se realizó siguiendo los siguientes criterios propuestos por Oliver, JE (1980) y utilizados por Salameh, AAM (2024).

Tabla 3

Criterios de clasificación del PCI

Valor del PCI	Clasificación
PCI < 10	Distribución uniforme
10 ≤ PCI < 15	Moderadamente irregular
16 ≤ PCI < 20	Irregular
PCI ≥ 20	Altamente irregular

La anomalía estandarizada se calculó mediante la fórmula utilizada por La Adamsew Maralign (2020) y propuesta por Agnew & Chappell (1999).

$$Z = \frac{x_i - u_i}{s} \quad (4)$$

Donde:

La anomalía estandarizada (Z) es igual la precipitación anual del año (x_i) menos el promedio de precipitación del periodo estudiado, (s) es la desviación estándar de la variación de las precipitaciones anuales de precipitación.

La clasificación de las anomalías de precipitación se realizó haciendo uso de los siguientes criterios utilizados en estudios relacionados a anomalías estandarizadas, por Kousari *et al.* (2011) y Kumar *et al.* (2009).

Tabla 4

Criterios de clasificación de las anomalías de precipitación

Valor de anomalía	Clasificación
$Z < -1$	Seco
$-1 \leq Z \leq 1$	Normal
$Z > 1$	Húmedo

Los cálculos del índice de concentración de las precipitaciones y las anomalías de precipitación se calcularon y se graficaron haciendo uso del entorno el entorno de desarrollo RStudio (versión 2025.06.0), junto con el lenguaje R (versión 4.4.0). Los cálculos se realizaron para cada base de datos de información de precipitación (CHELSA, GPCC, estaciones meteorológicas)

2.4.3. Evaluación de las tendencias temporales y distribución de la precipitación.

Se empleo la prueba no paramétrica de (Mann–Whitney $p < 0,05$) para el análisis de diferencias significativas en la distribución de los valores del PCI entre los periodos (2002–2011 y 2012–2022). Para el análisis de las tendencias temporales, la distribución de las precipitaciones y la significativa de tendencias del PCI en los puntos de estudios, se aplicó las pruebas no paramétricas (Pendiente de Sen y Mann-Kendall p) con la finalidad de analizar la intensidad de las precipitaciones y su significancia en los puntos de estudio. Esto se realizó a nivel anual y por épocas, seca (noviembre – abril) y húmeda (mayo – octubre) para las tres bases de datos de información meteorológica (CHELSA, GPCC, estaciones meteorológicas). Los cálculos y mapas obtenidos como resultados se realizaron en el entorno de desarrollo RStudio (versión 2025.06.0), junto con el lenguaje R (versión 4.4.0)

2.4.4. Comparación de la variación de precipitaciones de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas del periodo de estudio en la cuenca del Río Mayo-Chinchipe.

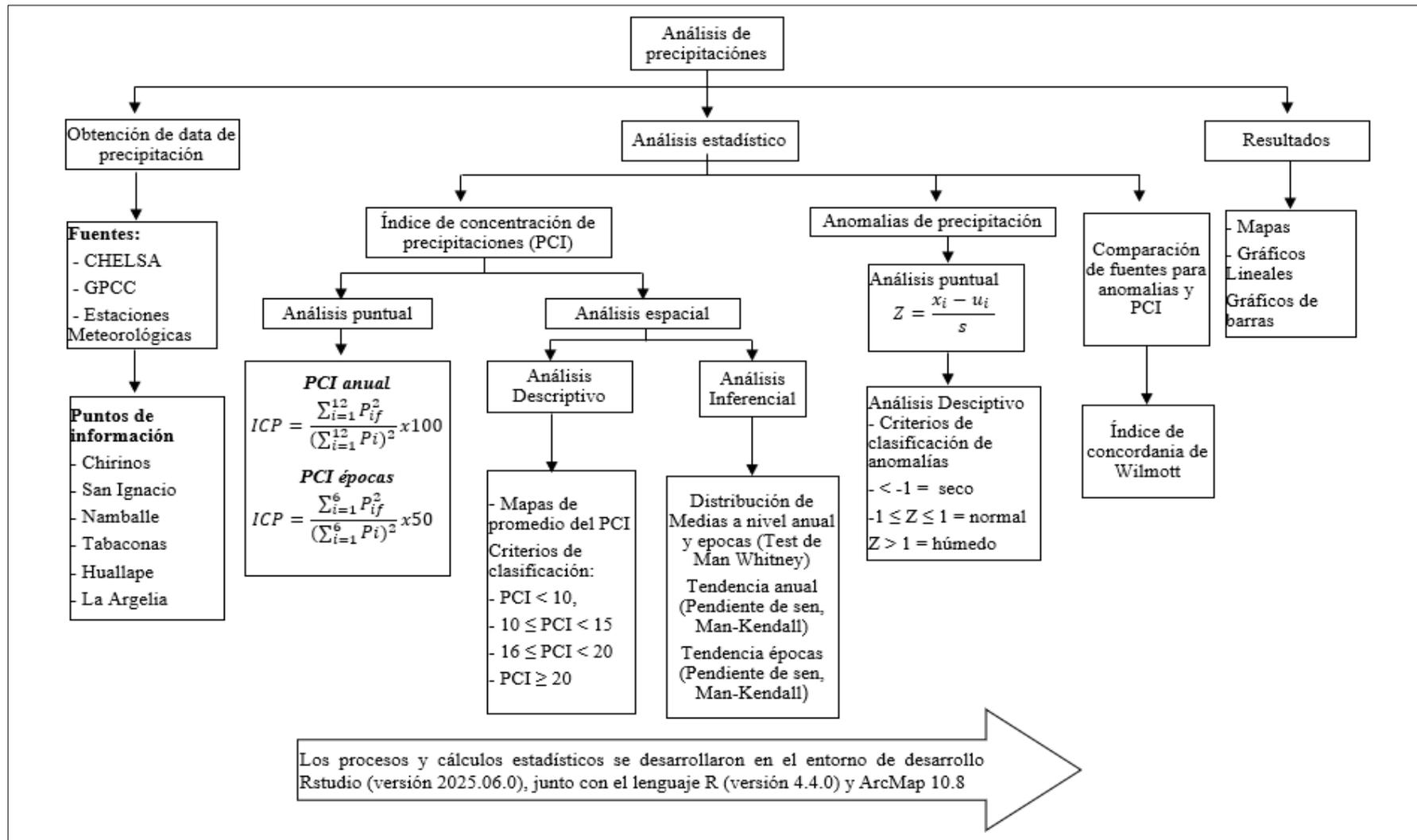
Se efectuó un análisis mediante el método comparativo de las anomalías climáticas y de los índices de concentración de las precipitaciones para las tres bases de datos de información (CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas). Se comparó estadísticamente la confiabilidad de las bases de datos a través de la correlación de Pearson y el Índice de concordancia de Willmott basado en las anomalías climáticas y el PCI.

2.5. Proceso metodológico utilizado

La figura 2 muestra las etapas del proceso metodológico utilizado para el análisis de la concentración y anomalías de las precipitaciones en el periodo 2002 – 2022 en la cuenca Mayo-Chinchipe. Se recopilaron datos de precipitación de tres bases de datos, CHELSA (resolución mensual, 2002 – 2018), GPCC (resolución mensual, 2002–2020) y de las estaciones meteorológicas (diarios y mensuales de SENAMHI e INAMHI), para las tres bases de datos se extrajo la información en seis puntos representativos donde se encuentran la ubicación de las estaciones meteorológicas (Chirinos, San Ignacio, Namballe, Tabaconas, Huallape y La Argelia). Para analizar espacialmente se generó mapas de promedio anual de PCI y se clasificaron la información según punto de extracción (seis puntos) en cuatro categorías ($PCI < 10$; $10 \leq PCI < 15$; $16 \leq PCI < 20$; $PCI \geq 20$). Paralelo a ello se ejecutó pruebas inferenciales tales como distribuciones de medias (Mann–Whitney) y detección de tendencias (pendiente de Sen y prueba de Mann–Kendall) tanto en series anuales como en épocas (húmeda – seca). Se calcularon las anomalías estandarizadas y se clasificaron los años en secos ($Z < -1$), normales ($-1 \leq Z \leq 1$) o húmedos ($Z > 1$). Finalmente se compararon las tres bases de datos cuantificando su grado de concordancia con la clasificación de Pearson y el Índice de Concordancia de Willmott. Los procesos estadísticos se realizaron en Restudio 12.1 y la cartografía en ArcMap 10.8.

Figura 2

Proceso metodológico empleado



III. RESULTADOS

3.1. Obtención de datos de precipitación del periodo 2002-2022.

Los datos de precipitación obtenidos de tres bases de datos de información meteorológica: CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas se presenta en la (tabla 4); asimismo, se muestra la disponibilidad de la data obtenida y sus características. Las estaciones meteorológicas presentan registros diarios en 5 puntos (Chirinos, Tabaconas, San Ignacio, Namballe y Huallape) provenientes del SENAMHI, y registros mensuales en 1 punto (La Argelia) proveniente del INAMHI-Ecuador. La información oscila entre los años 2002 hasta 2022, en algunos casos como Huallape, presenta información a partir del 2017, en Namballe se evidencia datos faltantes en los años 2006 y 2011. Se visualiza datos en blanco y datos sin disponibilidad (S/D); Chirinos, Tabaconas y San Ignacio presenta 135 datos en blanco, Namballe muestra 101 datos en blanco, por otro lado la estación de chirinos muestra 419 datos (S/D) y 6752 datos normales, Tabaconas 458 (S/D) y 6712 datos normales, san Ignacio 423 (S/D) y 6747 datos normales, Namballe 64 (S/D) y 5314 datos normales, Huallape solo muestra 2191 datos normales, la estación La Argelia a diferencia del resto solo se obtuvo 240 datos, debido a que el registro obtenido fue en formato mensual. Por otro lado, las bases de datos de CHELSA y GPCC muestra una mayor uniformidad en los datos, para CHELSA se obtuvo data entre los años 2002 – 2018 con un total de 204 de datos normales, y GPCC entre los años 2002 – 2020 con 228 datos, para ambas bases de datos se presenta en formato mensual.

Tabla 5

Datos de precipitación de las bases de datos de estaciones meteorológicas, CHELSA y GPCC

Base de datos	Estación	Entidad	Formato	Periodo disponible	Datos en blanco	Datos S/D	Datos normales	Total
Estaciones meteorológicas	Chirinos	SENAMHI	Diario	(2002 - 2020) - (2021-2022)	135	419	6751	7305
	Tabaconas	SENAMHI	Diario	(2002 - 2020) - (2021-2022)	135	458	6712	7305
	San Ignacio	SENAMHI	Diario	(2002 - 2020) - (2021-2022)	135	423	6747	7305
	Namballe	SENAMHI	Diario	(2002 - 2005) - (2012-2022)	101	64	5314	5479
	Huallape	SENAMHI	Diario	(2017-2022)	0	0	2191	2191
	La Argelia	INAMHI	Mensual	2002 - 2021	0	0	240	240

CHELSA	Chirinos				0	0	204	204
	Tabaconas				0	0	204	204
	San Ignacio	CHELSA	Mensual	2002 - 2018	0	0	204	204
	Namballe				0	0	204	204
	Huallape				0	0	204	204
	La Argelia				0	0	204	204
GPCC	Chirinos				0	0	228	228
	Tabaconas				0	0	228	228
	San Ignacio	GPCC	Mensual	2002 - 2020	0	0	228	228
	Namballe				0	0	228	228
	Huallape				0	0	228	228
	La Argelia				0	0	228	228

3.2. Índice de concentración y anomalías de precipitación como indicadores del efecto cambio climático.

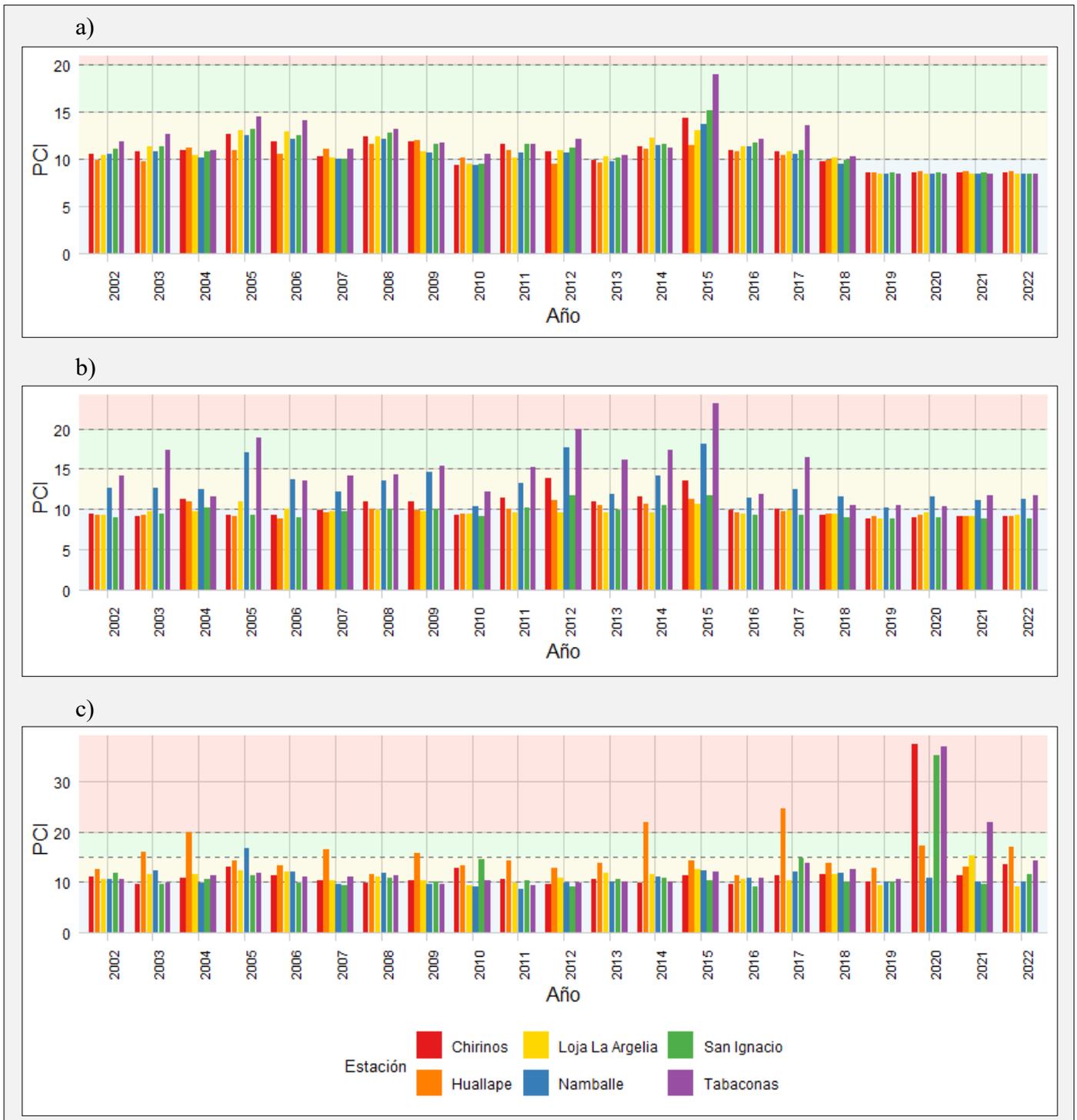
3.2.1 Índice de concentración de las precipitaciones (PCI)

El índice de concentración de precipitación (PCI) en CHELSA (figura 3a) se observa que el rango con más concentración de valores es el de moderadamente irregular (10-15) en el horizonte de tiempo analizado, en el año 2015 se tiene para el punto de Tabaconas y San Ignacio un PCI irregular (15–20); asimismo se observa que existe valores de PCI uniforme (<10), mostrándose en Huallape en el 2022, 2023, 2012, 2013 y 2018, de tal forma en 2010 los puntos de Chirinos, La Argelia, Namballe, y San Ignacio muestran PCI uniforme, en el año 2013 el punto chirinos y Namballe, en 2018 Chirinos, Namballe y San Ignacio presentan PCI uniforme, también se observa que en el periodo 2019 al 2022 todos los puntos se muestran con PCI uniforme (<10). Por otro lado, GPCC (figura 3b), presenta una distribución en su mayoría uniforme (<10) en los puntos de las estaciones de Huallape, Chirinos, La Argelia y San Ignacio; sin embargo se visualiza valores de PCI moderadamente irregular (10-15) en la mayoría de este rango en las estaciones de Namballe y Tabaconas, no obstante se observan algunos años con valores de PCI irregular (15–20) en puntos como Huallape y Tabaconas y llegando a altamente irregular (>20), en años específicos como 2015 y 2016 mostrando una mayor irregularidad interanual. Finalmente, el PCI de las estaciones meteorológicas (figura 3c) presentan una mayor dispersión de los valores del PCI a lo largo del periodo; sin embargo,

continúa siendo más frecuente un PCI moderadamente irregular (10-15), los valores con PCI uniforme (<10) se evidencia en las estaciones de Tabaconas, y Namballe en lo particular se muestra en las mismas características que CHELSA Y GPCC, a excepción de los años finales los cuales se evidencian un mayor PCI llegando a valores de PCI altamente irregular (>20) al igual que en el año 2014 y 2017 pero en este caso solo la estación Huallape, en 2020 y 2021 se muestra la estación de Tabaconas y en 2020 se repite con San Ignacio mostrando el PCI altamente irregular. Las tres bases de datos tienen coincidencias en evidenciar una concentración anual de precipitaciones moderadamente irregular, aunque los datos de las estaciones meteorológicas presentan una mayor frecuencia de años con $PCI > 20$, sin embargo, no se evidencian en todos los puntos, a su vez esta base muestra una mayor similitud con CHELSA

Figura 3

Índice de concentración de precipitaciones, a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



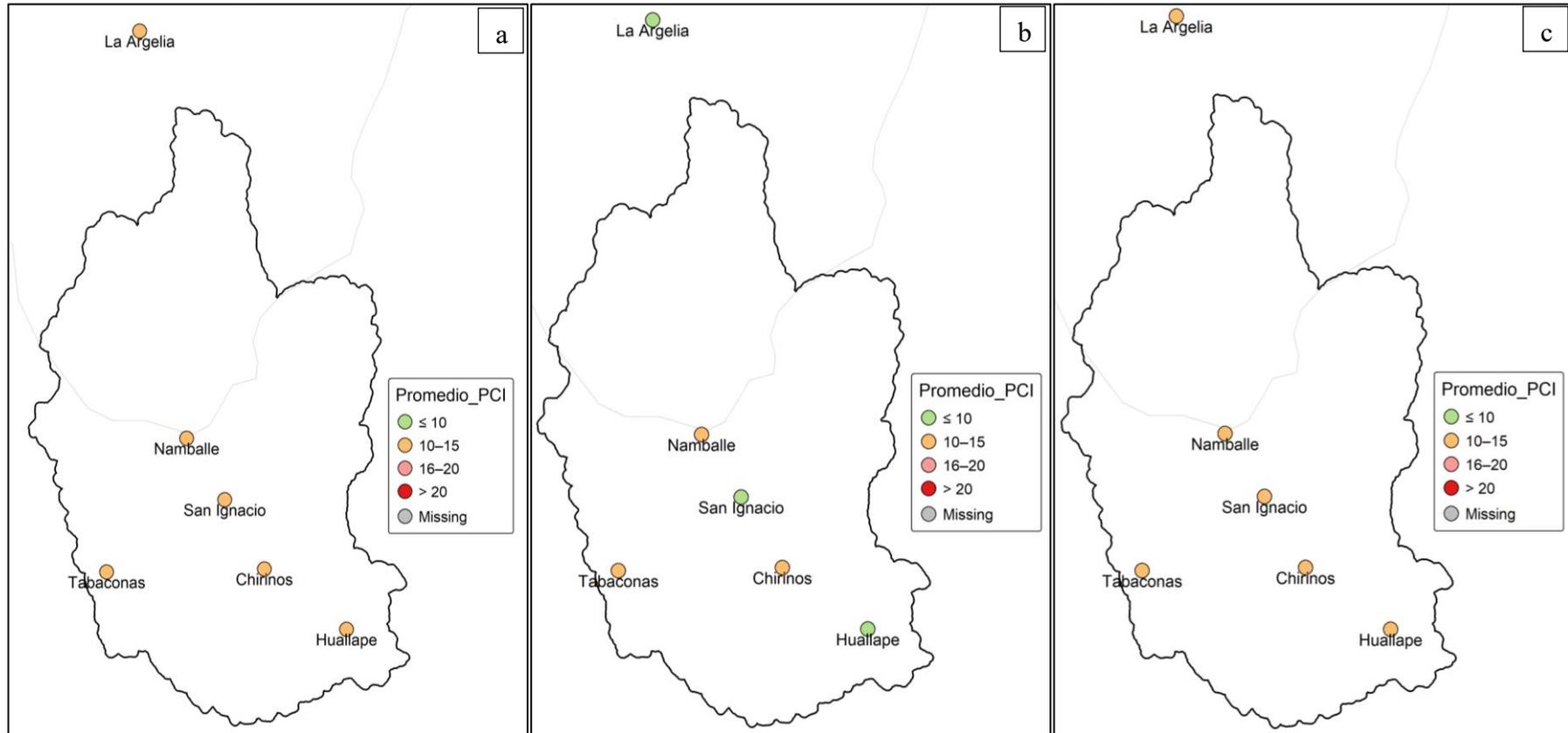
Nota. Criterios de clasificación del PCI: $PCI < 10$ (distribución uniforme), $10 \leq PCI < 15$ (moderadamente irregular), $16 \leq PCI < 20$ (irregular), $PCI \geq 20$ (altamente irregular).

3.2.1.1. Promedio del PCI

El Índice de Concentración de Precipitación (PCI) promedio de las tres bases de datos de información según la clasificación utilizada por Salameh, AAM (2024) se observa que en CHELSA (figura 4a) se evidencia a todos los puntos de información presentes en el área de estudio que presentan valores promedio de PCI moderadamente irregular (10–15) a lo largo del año. No se observan estaciones con valores extremos, solo se muestra un comportamiento homogéneo en la distribución de lluvias a nivel espacial. Los datos de PCI promedio en las estaciones meteorológicas (figura 4c) de igual forma que en CHELSA, presentan uniformidad en los puntos de las estaciones analizadas con un PCI moderadamente irregular (10–15) con valores dentro de ese rango, mostrando consistencia interanual en las series de precipitaciones observadas; a diferencia de GPCC (figura 4b) que difiere de las otras bases de datos mostrando valores menores a 10 en las estaciones La Argelia, San Ignacio y Huallape.

Figura 4

Promedio del PCI según criterios de clasificación a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



Nota. Criterios de clasificación del PCI: $PCI < 10$ (distribución uniforme), $10 \leq PCI < 15$ (moderadamente irregular), $16 \leq PCI < 20$ (irregular), $PCI \geq$ (altamente irregular)

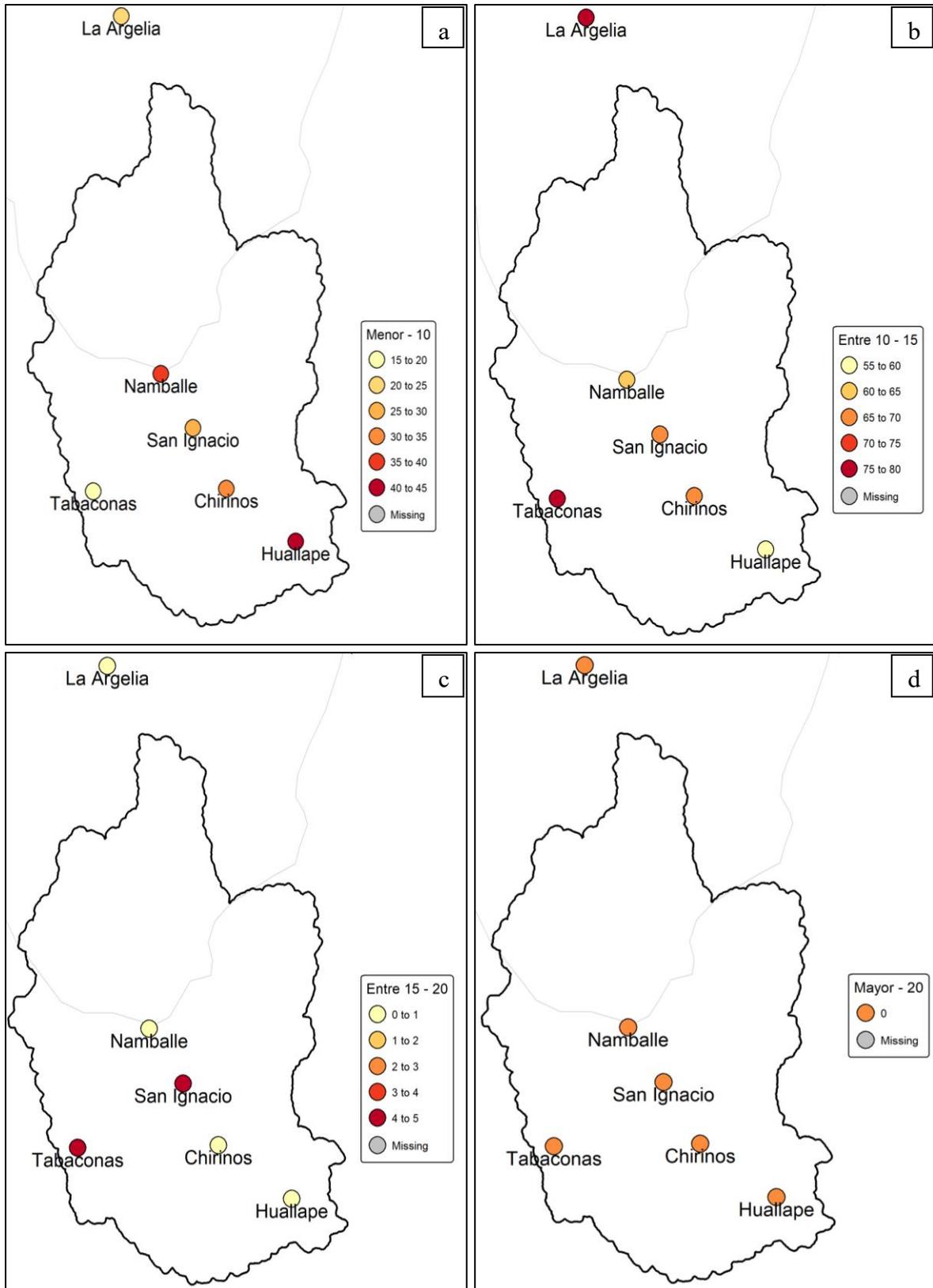
3.2.1.2. Distribución del PCI según criterios de selección por base de datos.

A. CHELSA

La distribución del porcentaje de años en que el (PCI) del periodo de estudio para CHELSA se observa que, la (figura 5a) distribución uniforme ($PCI < 10$) muestra a la estación Huallape que tiene entre el 40 al 45 % de los años con ese PCI, Namballe se encuentra entre 35% al 40 %, San Ignacio entre 25% al 30%, Chirinos entre 30% al 35%, La Argelia entre 20% al 25% y Tabaconas entre 15% al 20%. En la (figura 5b) moderadamente irregular ($PCI 10-15$) muestra a la estación Huallape que tiene entre el 55% al 60% de los años con ese PCI, Namballe se encuentra entre 60% al 65 %, San Ignacio y Chirinos entre el 65% a 70%, Tabaconas entre 70% al 75% y por ultimo La Argelia entre 75% al 80%. En la (figura 5c) irregular ($PCI 15-20$) se observa que Tabaconas y San Ignacio registran valores en este intervalo en 4% al 5% de los años; Chirinos, Huallape, Namballe y La Argelia se encuentran en 1% de los años. No obstante, en la (figura 5d) altamente irregular ($PCI > 20$) ninguna estación mostró años con PCI superior a 20.

Figura 5

Porcentaje de años según criterios de selección de CHELSA: a) $PCI < 10$, b) $PCI 10 - 15$, c) $PCI 15 - 20$, d) $PCI > 20$

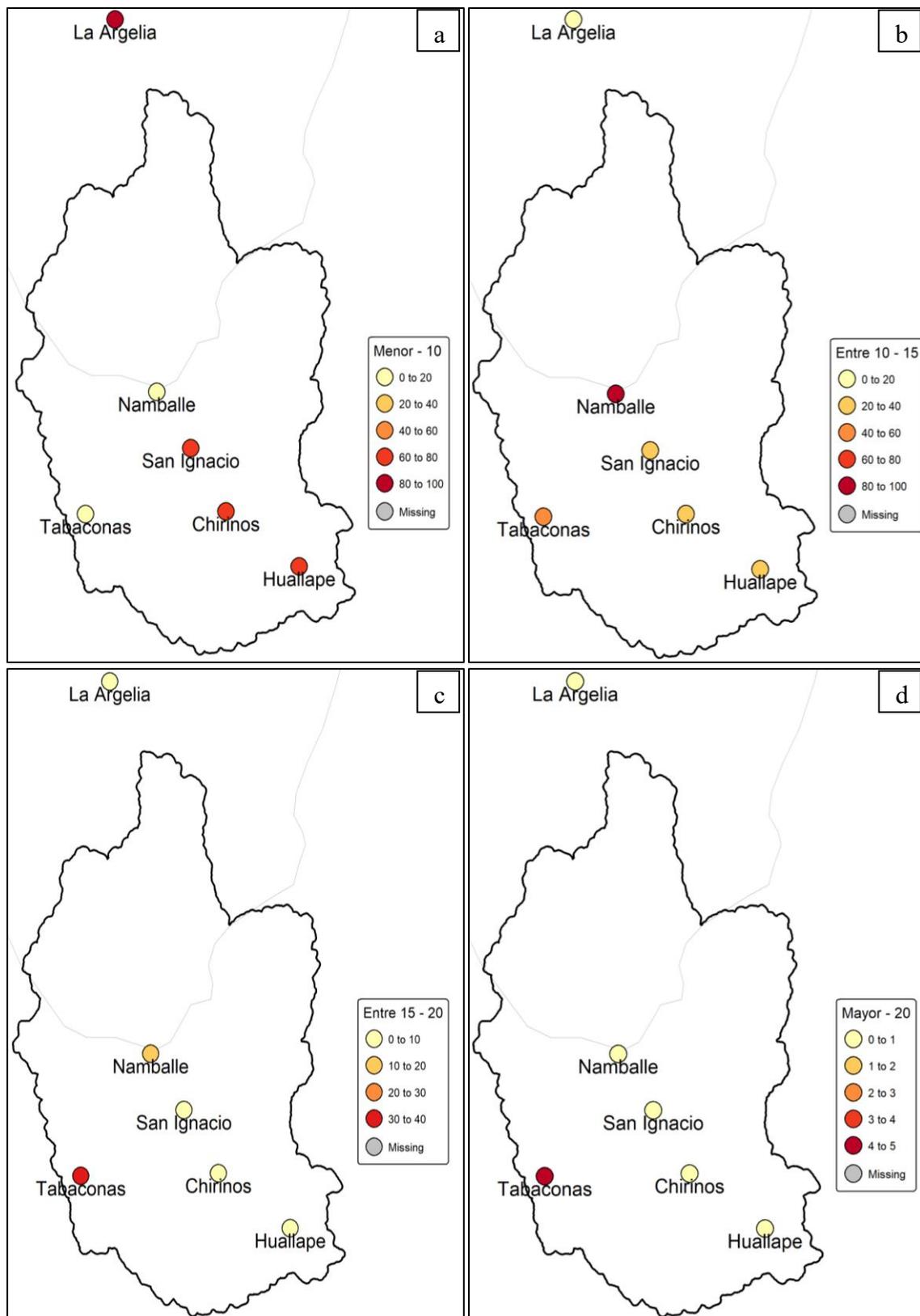


B. GPCC

En GPCC el porcentaje de años en que el PCI del periodo de estudio se encuentra según los criterios de clasificación se observa que, la (figura 6a) distribución uniforme ($PCI < 10$) evidencia a la estación Huallape, Chirinos y San Ignacio un 60 % al 80 % de los años con ese PCI, Namballe y Tabaconas tienen entre 0 % al 40 %, y La Argelia el 80 % de años en ese rango del PCI. Por otro lado, en la (figura 6b) moderadamente irregular ($PCI 10 - 15$) muestra a la estación Huallape, Chirinos y San Ignacio que tiene entre el 20% al 40% de los años con este rango de PCI, Namballe muestra 80%, Tabaconas entre 50% al 60% y por último La Argelia entre 0% al 20%. De tal manera en la (figura 6) irregular ($PCI 15-20$) se observa que Tabaconas están un 20% al 40% de años, San Ignacio, Chirinos, Huallape y la Argelia muestran entre 0% a 10% del total de años y por último Namballe y La Argelia muestra entre 10% al 20% en este rango de PCI. Finalmente, en la (figura 6d) altamente irregular ($PCI > 20$) Tabaconas se encuentran entre 4% a 5% de años y el resto de estaciones se encuentran entre 1% de años.

Figura 6

Porcentaje de años según criterios de selección de GPCC: a) <10, b) 10 – 15, c) 15 – 20, d) >20

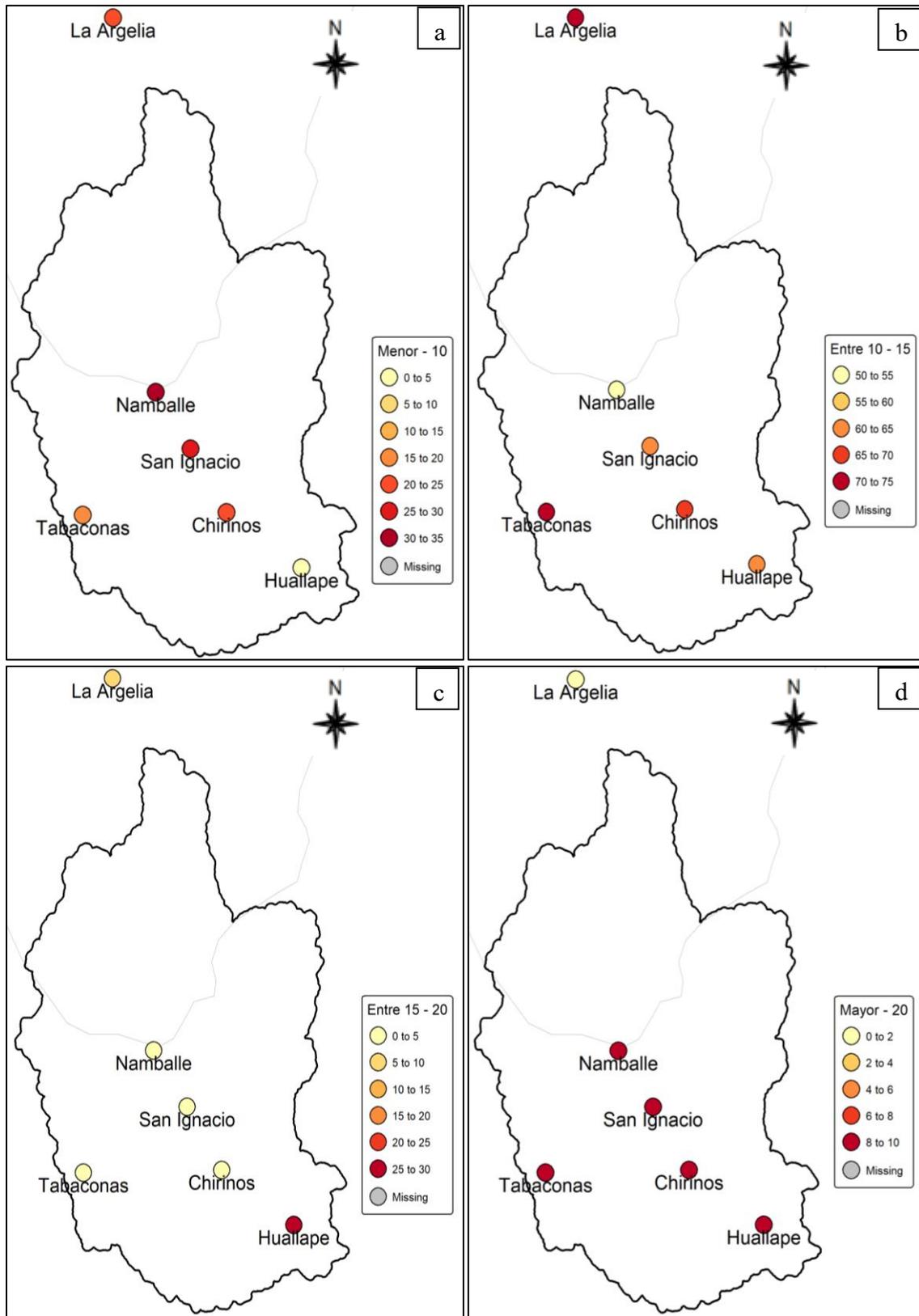


C. Estaciones meteorológicas

En las estaciones meteorológicas se visualiza que, la (figura 7a) distribución uniforme ($PCI < 10$) muestra en la estación Huallape de 0% a 5%, Tabaconas entre 10% a 15% de años, Chirinos y La Argelia entre 20% a 25%, San Ignacio presenta entre 25% a 30%, y Namballe muestra entre 30 a 35% de años de este rango de clasificación del PCI. Por otro lado, en la (figura 7b) moderadamente irregular ($PCI 10 - 15$) muestra a la estación Huallape, y San Ignacio que tiene entre el 60% al 65% de los años con este rango de PCI, Namballe muestra 50% al 55, Tabaconas y La Argelia muestran entre 70% al 75% de años y Chirinos se encuentra entre 65% al 70% de años. Por otro lado, en la (figura 7c) irregular ($PCI 15-20$) se observa que Tabaconas, San Ignacio, Chirinos y Namballe muestran un porcentaje de años de 0% al 2% en el rango irregular, La Argelia muestran entre 10% a 15% del total de años y por último Huallape tienen un 25% a 30% de años con PCI irregular. Finalmente, en la (figura 7d) altamente irregular ($PCI > 20$) La mayoría de estaciones se encuentra entre 8% al 10% de años altamente irregulares, a diferencia de La Argelia esta muestra de entre 0% a 2% de años.

Figura 7

Porcentaje de años según criterios de selección de estaciones meteorológicas: a) <10, b) 10 – 15, c) 15 – 20, d) >20



3.2.2. Anomalías de precipitación

Las anomalías de precipitación anual estandarizada (Z) de las bases de datos de información se muestra según criterios los criterios de clasificación. El PCI de CHELSA (figura 8a) muestra un marcado ciclo que va de húmedo, seco y normal; las anomalías positivas predominan entre 2002 y 2008 alcanzando su máximo en el 2005, durante el 2009 y 2010 los puntos de registros evidencian valores de anomalías negativas inferiores a -1 siendo este el periodo más seco, del 2011 al 2019, si bien se observa anomalías negativas que están dentro del rango normal, hay excepciones como Chirinos, Namballe, San Ignacio y Tabaconas en el año 2013 al igual que Chirinos Huallape y San Ignacio en el 2016 y también La Argelia en el 2018 muestran anomalías negativas en el rango seco, en el 2017 solo la Argelia muestra anomalía positiva húmeda, del 2018 al 2022 se muestra en su mayoría anomalías normales, a excepción de Namballe que en 2020 a 2022 muestra anomalía de clasificación húmeda y Huallape muestra características de anomalía seca en el año 2022. Por otro lado, GPCC (figura 8b) presenta un primer periodo seco en el 2002 al 2004 en Namballe, San Ignacio y Tabaconas, en 2008 se evidencia un año muy marcado a nivel húmedo ya que todos los puntos presentan anomalías superiores a 1, alcanzando máximos valores superiores a 2 en Huallape, Chirinos. Tabaconas y san Ignacio; también en 2011 y 2012 presenta anomalías de periodos húmedos superior a 1 en todos los puntos; del 2013 en adelante las anomalías caen evidenciándose anomalías normales de precipitaciones puesto que en su mayoría están en el rango de normales, a excepción de 2013 que presentan anomalías secas en Tabaconas, San Ignacio, Chirinos Huallape, en 2014 y 2015 la estación La Argelia muestra anomalías húmedas para caer en 2018 y 2022 en anomalías secas, chirinos en 2020 muestra anomalía seca, el resto de puntos de estaciones presentan rangos de anomalías normales. Finalmente, los datos de los puntos de las estaciones meteorológicas (figura 8b) muestran una mayor dispersión interanual que CHELSA y GPCC; las anomalías húmedas del primer periodo 2002 – 2011 se registran en la estación de Namballe durante el 2002, 2004 y 2011, también se muestra en Huallape en los años 2006, 2008 y 2009; La Argelia se evidencia aumento de lluvia en 2008 y 2011; en cambio en este periodo las anomalías negativas superior a -1 se muestran en La Argelia en 2002 y 2010, Huallape en 2005 y Namballe en 2007 y 2006 este último año superando

anomalías de -2, evidenciando un año de humedad extrema. Por otro lado, en el segundo tramo de años 2012 – 2022, las anomalías húmedas solo se registran en la Argelia, en cambio las anomalías secas se evidencian en la Argelia en el año 2018 y 2020, Chirinos muestra esta misma característica en 2020, 2021 y 2022, Tabaconas y San Ignacio en 2020 y 2021 muestran eventos extremos de anomalías. No obstante, se observa que hay mayores anomalías positivas de característica húmeda al inicio del primer periodo 2002 - 2011 en comparación con el periodo 2012 - 2022, indicando que el primer periodo es más lluvioso que el segundo.

Figura 8

Anomalías climáticas (precipitación): a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



Nota. El gráfico muestra las anomalías de precipitación de las tres bases de datos según criterios de clasificación: $Z < -1$ (seco), $-1 \leq Z \leq 1$ (normal), $Z > 1$ (húmedo).

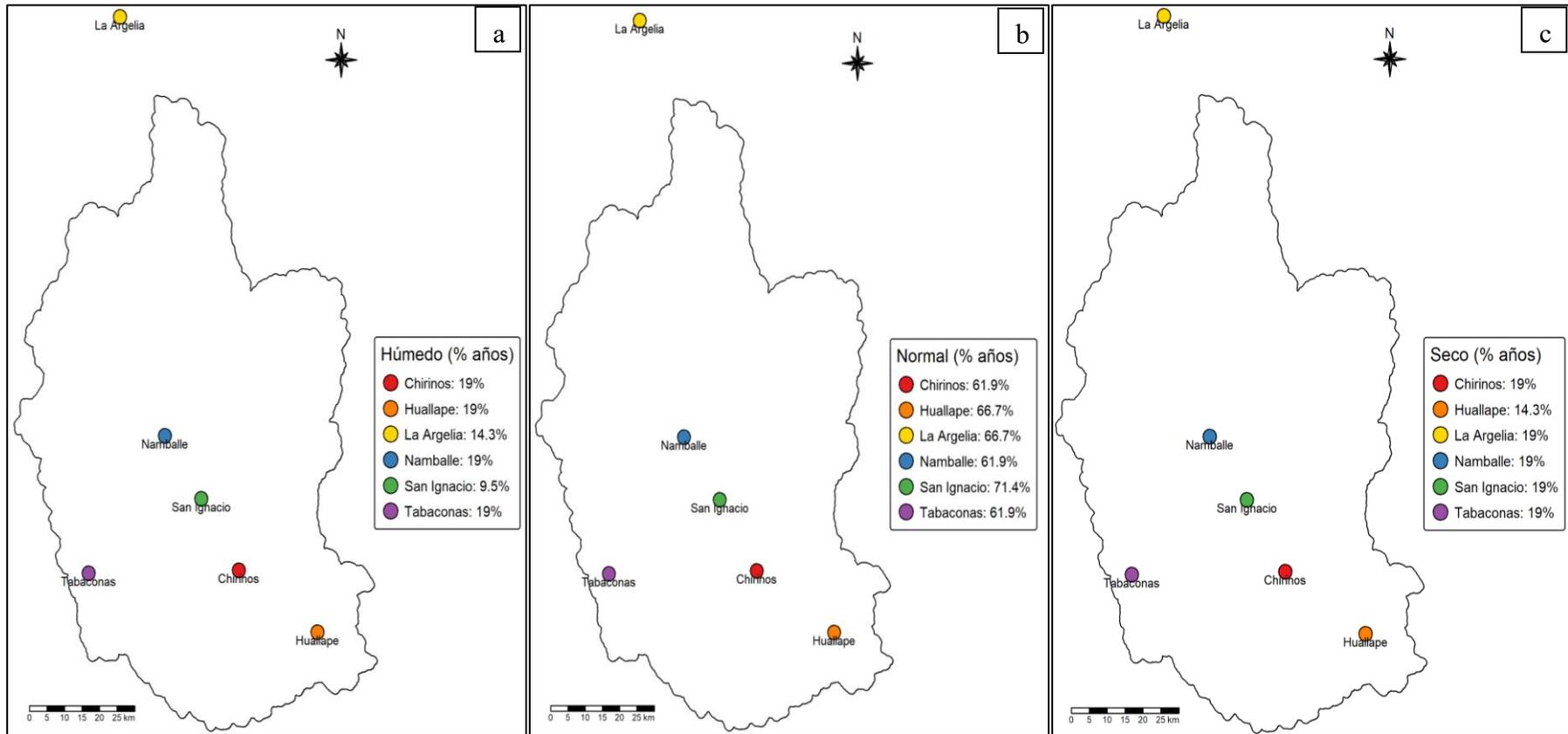
3.2.2.1. Distribución de las anomalías de precipitación según criterios de selección por base de datos.

a. CHELSA

El porcentaje de años (2002–2022) de la base de datos de CHELSA en que cada estación de la cuenca Mayo-Chinchipe presentó anomalías según criterios de clasificación muestra que, (figura 9a), se evidencia que cuatro estaciones (Chirinos, Huallape, Namballe y Tabaconas) registraron anomalías positivas en 19 % de los años, en San Ignacio se registró en 9,5 % y la Argelia lo hizo en 14,3%. En la (figura 9b) criterio ($-1 \leq Z \leq 1$), la estación que presentó la condición más frecuente de rango normal fue San Ignacio con 71,4 % de los años; Huallape y La Argelia en 66,7%; Chirinos, Namballe y Tabaconas en 61,9%. La anomalía de rango Seco ($Z < -1$) las estaciones de Chirinos, Namballe, Tabaconas, San Ignacio y La Argelia mostraron anomalías secas en 19 % de los años, solo Huallape registró años secos en 14,3 %. Finalmente, se observa que en CHELSA la mayor parte de los años se mantuvo en el rango de la variabilidad normal, con episodios moderados de anomalías húmedas y secas de ubicados de manera uniforme en la mayoría de las estaciones.

Figura 9

Distribución espacial y porcentual de la precipitación de CHELSA según criterios de selección a) Húmedo, b) Normal, c) Seco

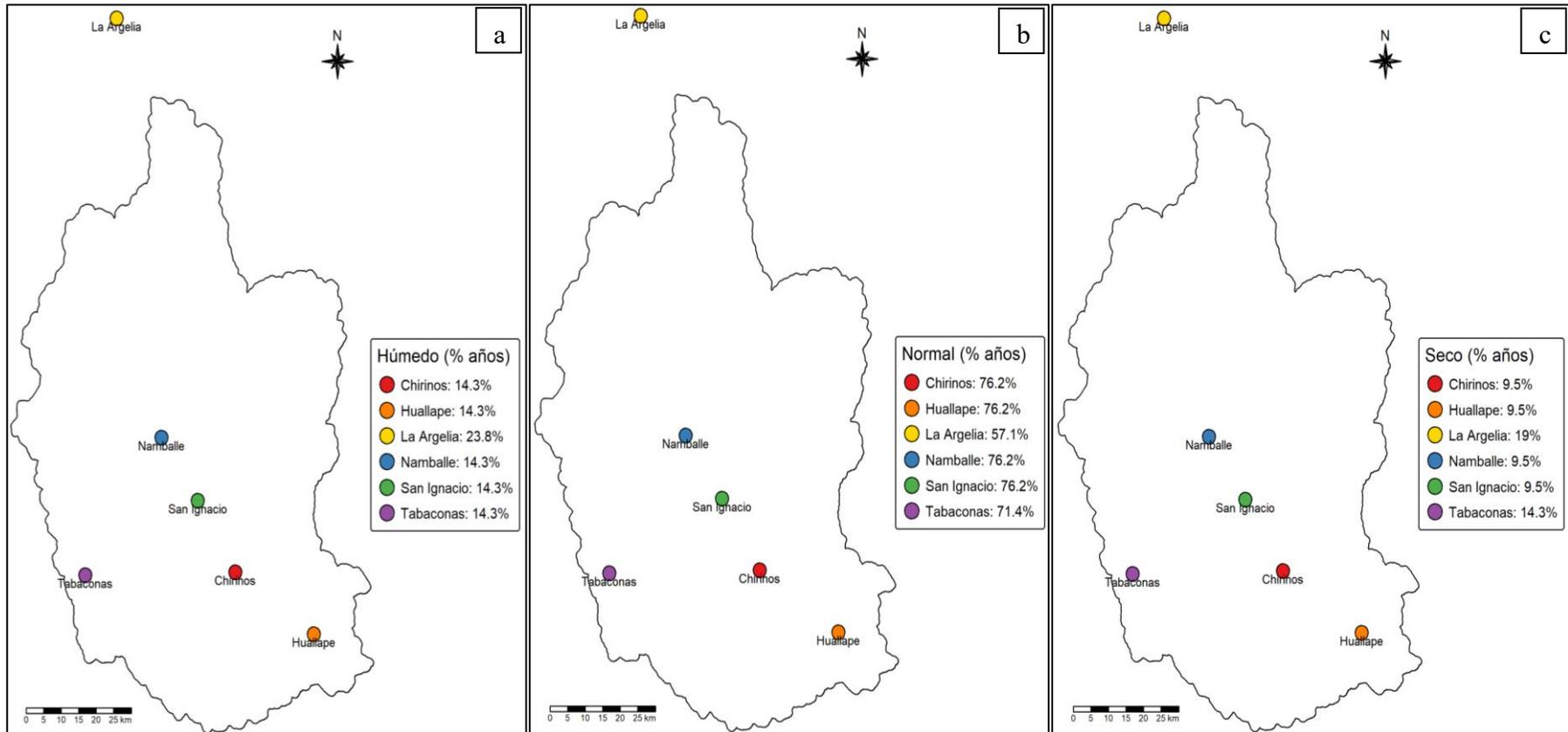


b. GPCC

En la base de datos de GPCC en que cada estación de la cuenca Mayo-Chinchipe presentó anomalías se observa que la (figura 10a) referente a Húmedo ($Z > 1$), el punto de Argelia presenta un 23.8 % de años siendo este el más alto; por otro lado, las estaciones de Chirinos, Huallape, Namballe, San Ignacio y Tabaconas registraron un 14.3% de años en este rango presentando episodios húmedos marcados, pero no frecuentes. En el rango Normal (figura 10b), la estación de Chirinos, Huallape, Namballe y San Ignacio muestran un porcentaje de 76,2 % de años de anomalía normal, lo sigue Tabaconas con 71,4 % y La Argelia con 57,1 %, esto indica que en esta base de datos la mayoría de los años la precipitación anual se mantiene en este rango de clasificación de anomalías. No obstante, en el rango Seco (figura 10c), La Argelia se presenta con 19 % de años secos, Tabaconas con 14.3% y los demás puntos 9,5 % de años en este rango, presentando mayor uniformidad en años secos en esta esta base de datos.

Figura 10

Distribución espacial y porcentual de la precipitación de GPCC según criterios de selección a) Húmedo, b) Normal, c) Seco

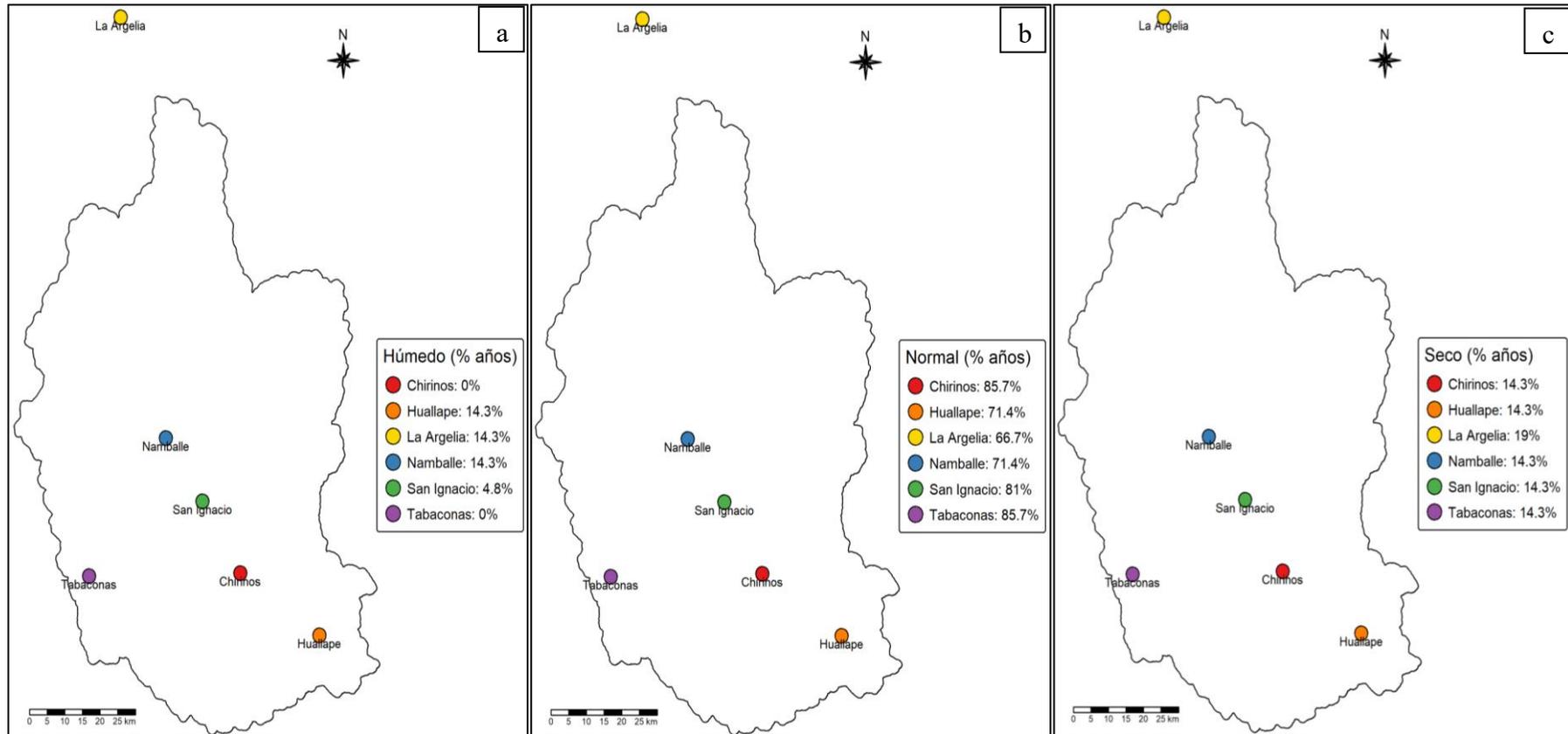


c. Estaciones meteorológicas

En las estaciones meteorológicas la (figura 11a) referente a Húmedo ($Z > 1$), las estaciones de Huallape, La Argelia y Namballe presentan el 14.3 % de años, San Ignacio muestra un 4.8 % de años; sin embargo, Chirinos y Tabaconas no muestran años en este rango. En el rango Normal (figura 11b), las estaciones de Chirinos y Tabaconas muestran un 85.7 % de años para este rango normal, mientras que Huallape y Namballe muestran un 71,4 % de años, por otro lado, San Ignacio presenta un 81 % de años y finalmente, La Argelia evidencia el 66.7% de años normales. En el rango Seco (figura 11c), La Argelia se presenta con 19 % de años secos, y los demás puntos presentan 14.3 % de años en este rango, lo que representa uniformidad de años para esta base de datos.

Figura 11

Distribución espacial y porcentual de la precipitación de estaciones meteorológicas según criterios de selección



3.3. Evaluación de las tendencias temporales y distribución de la precipitación

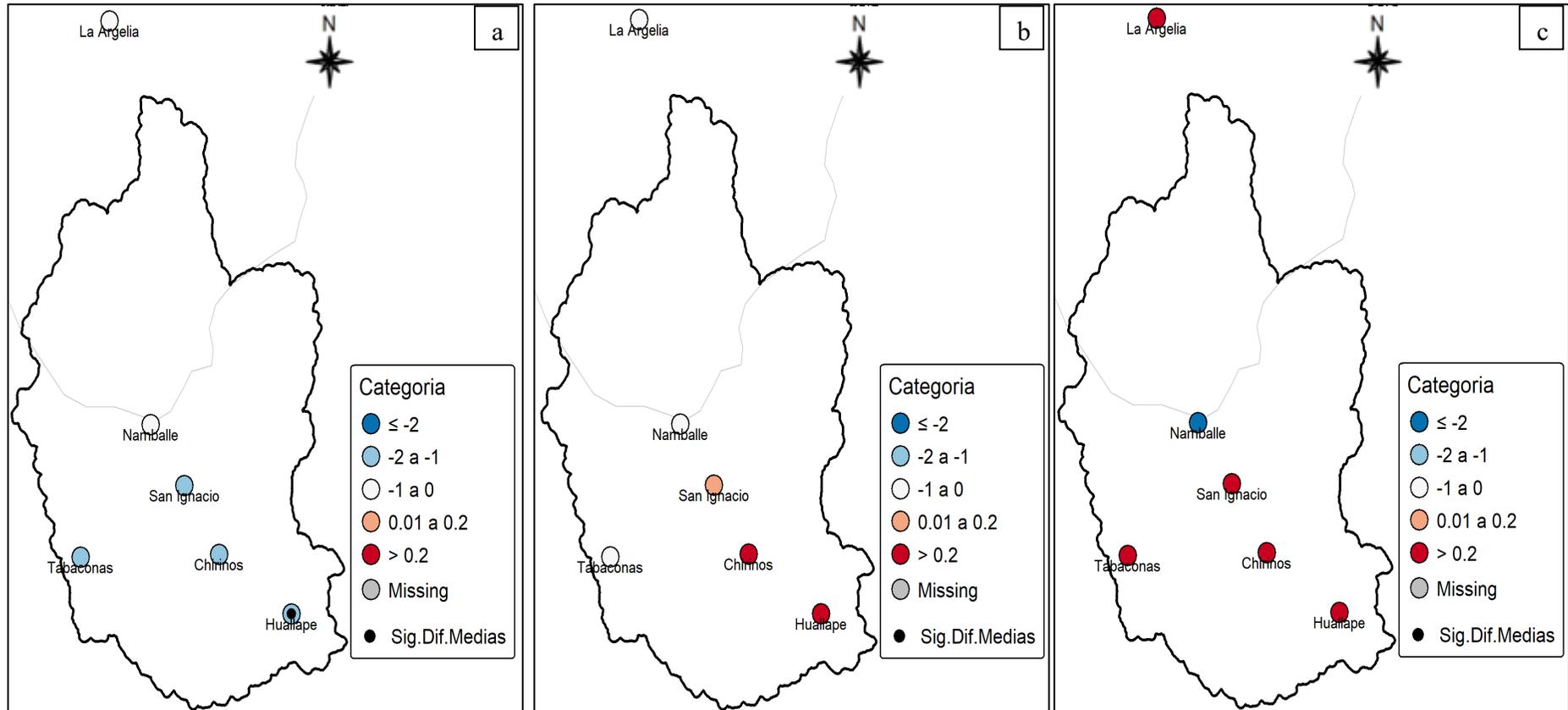
3.3.1. Tendencias del PCI anual

3.3.1.1. Análisis estadístico de Man Whinett

El análisis de Man Whinett representado se presenta la diferencia de las medias del PCI del periodo (2012 – 2022) y (2002 - 2011) para los 6 puntos de análisis de cada una de las tres bases de datos de información en la figura en la figura 12. En CHELSA (Figura a) muestra según la comparación de medias que Chirinos, Tabaconas, San Ignacio y Huallape muestran una disminución moderada del PCI entre -2 a -1, donde solo Huallape se presenta como una diferencia significativa entre los periodos, no obstante, Namballe y La Argelia se encuentran en el rango de -1 a 0. Por otro lado, GPCC (Figura b) Namballe, Tabaconas, y la Argelia presentan disminución en las medias en el rango de -1 a 0; sin embargo, San Ignacio presenta un valor de diferencia de medias superior a 0, en cambio, Chirinos y Huallape muestran que se encuentran con valores mayores a 2 y sin significancia estadística. Finalmente, en las estaciones meteorológicas (Figura c) se observa que en Tabaconas, San Ignacio, Chirinos, Huallape y La Argelia las diferencias de media presenta valores superiores a 2 lo que indica que este periodo fue más lluvioso que el primero, pero sin significancia alguna.

Figura 12

Tendencia anual del PCI de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas

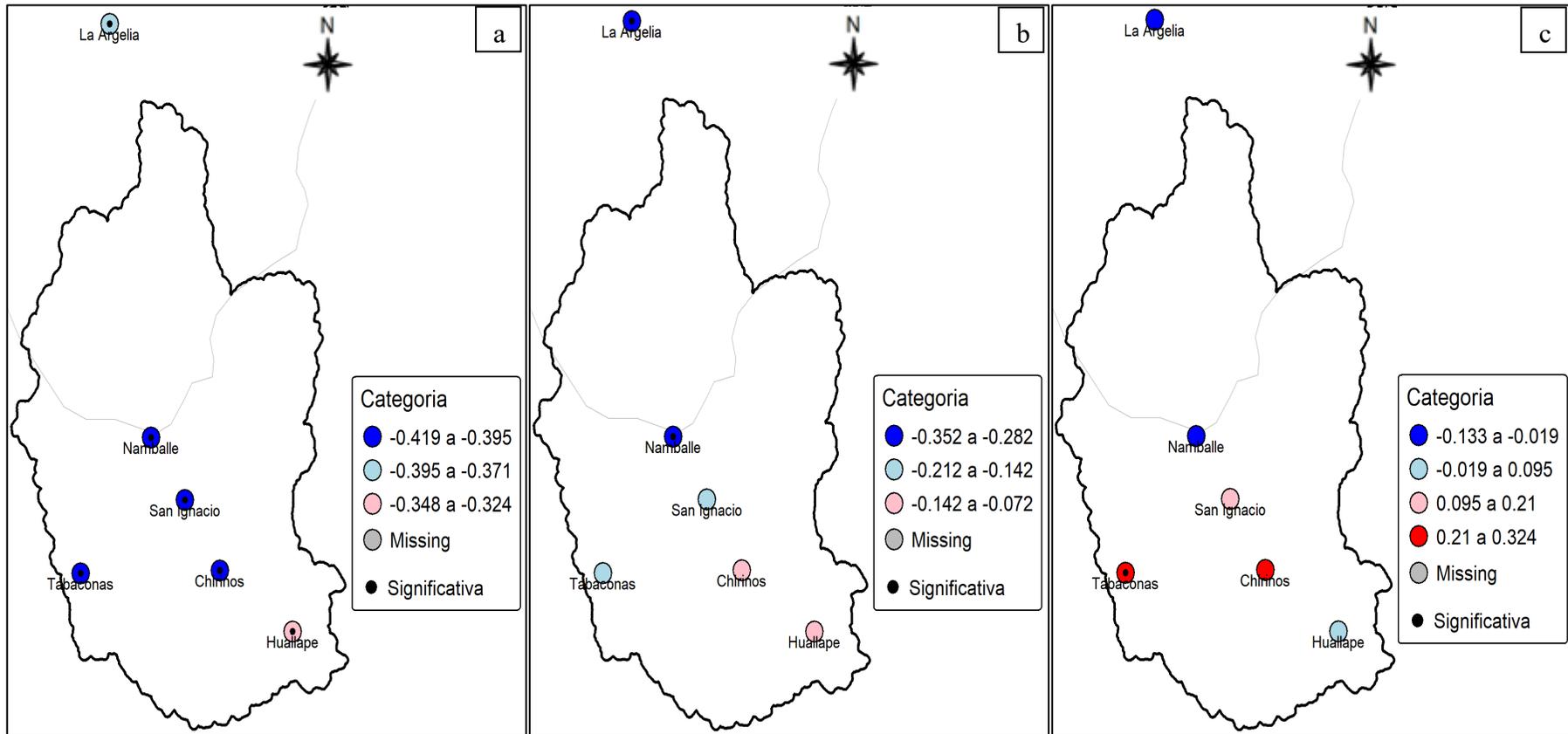


3.3.1.2. Análisis estadístico de la Pendiente de Sen y Man-Kendall

El análisis de la estimación de la pendiente de Sen y el Test de Mann-Kendall para las bases de datos de datos se presenta en la figura 13. En CHELSA (figura 13a), se observa que la estación La Argelia presenta una disminución leve que se encuentra entre -0.395 a -0.371 y estadísticamente significativa. Por otro lado, Namballe, San Ignacio, Chirinos y Tabaconas presentan una mayor disminución marcada del PCI en un rango de -0.419 a -0.395 , mostrando en todos sus puntos cambios significativos. Huallape es la estación que se encuentra en el rango de -0.348 a -0.324 también significativa. Por otro lado, GPCC (figura 13b), se evidencia que el punto de Argelia y Namballe presentan una disminución encontrándose en el rango de -0.352 a -0.282 siendo las únicas estaciones con disminuciones representativas del PCI, San Ignacio y Tabaconas está entre -0.212 a -0.142 , y por último Chirinos y Namballe se encuentra entre -0.142 a -0.072 , estos dos últimos rangos sin significancia estadística. Finalmente, en los puntos de las estaciones meteorológicas (figura 13c), presentan que La Argelia y Namballe mostraron una leve disminución del PCI en el rango de -0.133 a -0.019 , ambas no muestran significancia estadística; asimismo Huallape está en un rango de pendiente de -0.019 a 0.095 presentando un aumento del PCI sin significancia; San Ignacio presenta un ligero aumento en un rango de 0.095 a 0.21 pero sin significancia, por último las estaciones de Tabaconas y Chirinos muestra un aumento en un rango superior a todos de 0.21 a $0,324$, pero solo Tabaconas muestra significancia de aumento del PCI.

Figura 13

Significancia anual del PCI de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



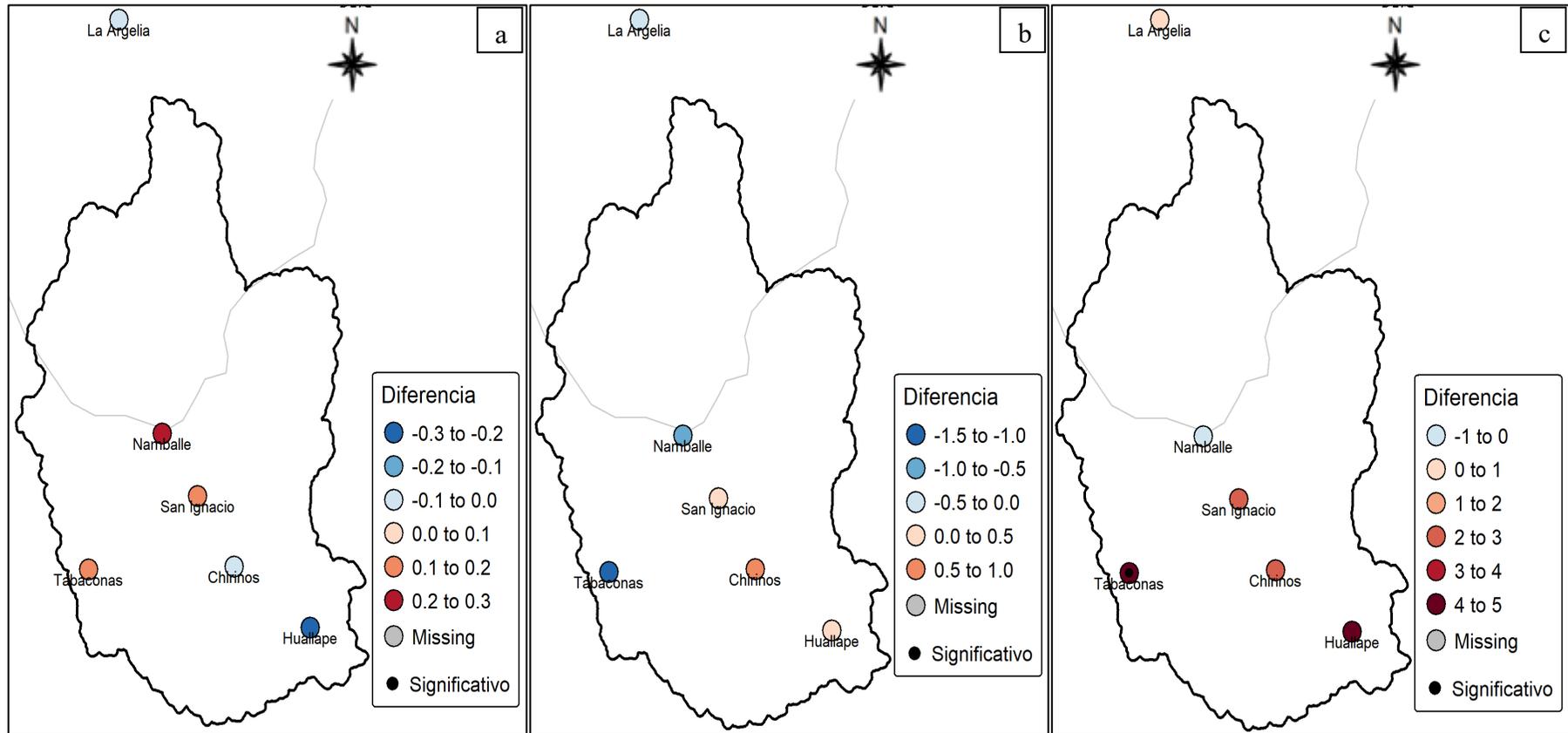
3.3.2. Tendencias del PCI según épocas (húmeda - seca)

3.3.2.1. Análisis estadístico de Man Whinett (E. Húmeda)

El test de Mann–Whitney a las tres bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas se observa la diferencia entre las medias del Índice de Concentración de Precipitación (PCI) de los periodos (2012–2022) y (2002–2011) de la época húmeda, así como la significancia estadística de las variaciones. En CHELSA (figura 14a), Namballe presenta un valor negativo (-0.3 a -0.2), lo que sugiere una ligera disminución del PCI en la época húmeda del segundo período. En contraste, la mayoría de estaciones como San Ignacio, Tabaconas, Chirinos y Huallape muestran diferencias positivas (0.1 a 0.3), indicando un incremento del PCI en el periodo reciente. Esta variación sugiere una mayor concentración de precipitaciones en menos meses durante la época húmeda, aunque ningún punto presentó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). En GPCC (figura 14b), se muestran disminución más marcadas del PCI, La Argelia esta entre -1.5 a -1, Namballe -1 a -0.5, La Argelia en 0.5 a 0, estas medias negativas representan que el PCI disminuyó, por lo tanto, muestran menos lluvias en el segundo periodo que en el primero, por otro lado, San Ignacio y Huallape se observa que están en 0 a 0.5 y Chirinos de 0.5 a 1, mostrando valores positivos, lo que permite deducir que el segundo periodo estuvo marcado por lluvias en mayor concentración que el primero para estas estaciones. Por último, en las estaciones meteorológicas (figura 14c), se destaca un patrón diferente, se visualiza que 5 estaciones evidenciaron diferencias positivas, donde La Argelia está entre 0 y 1, San Ignacio y Chirinos muestran de 1 a 2 unidades, Huallape y Tabaconas entre 4 a 5, esta última muestra valores significativos; sin embargo, también se evidencia que Namballe muestra diferencia negativa de -1 a 0 sin significancia estadística.

Figura 14

Tendencia del PCI en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



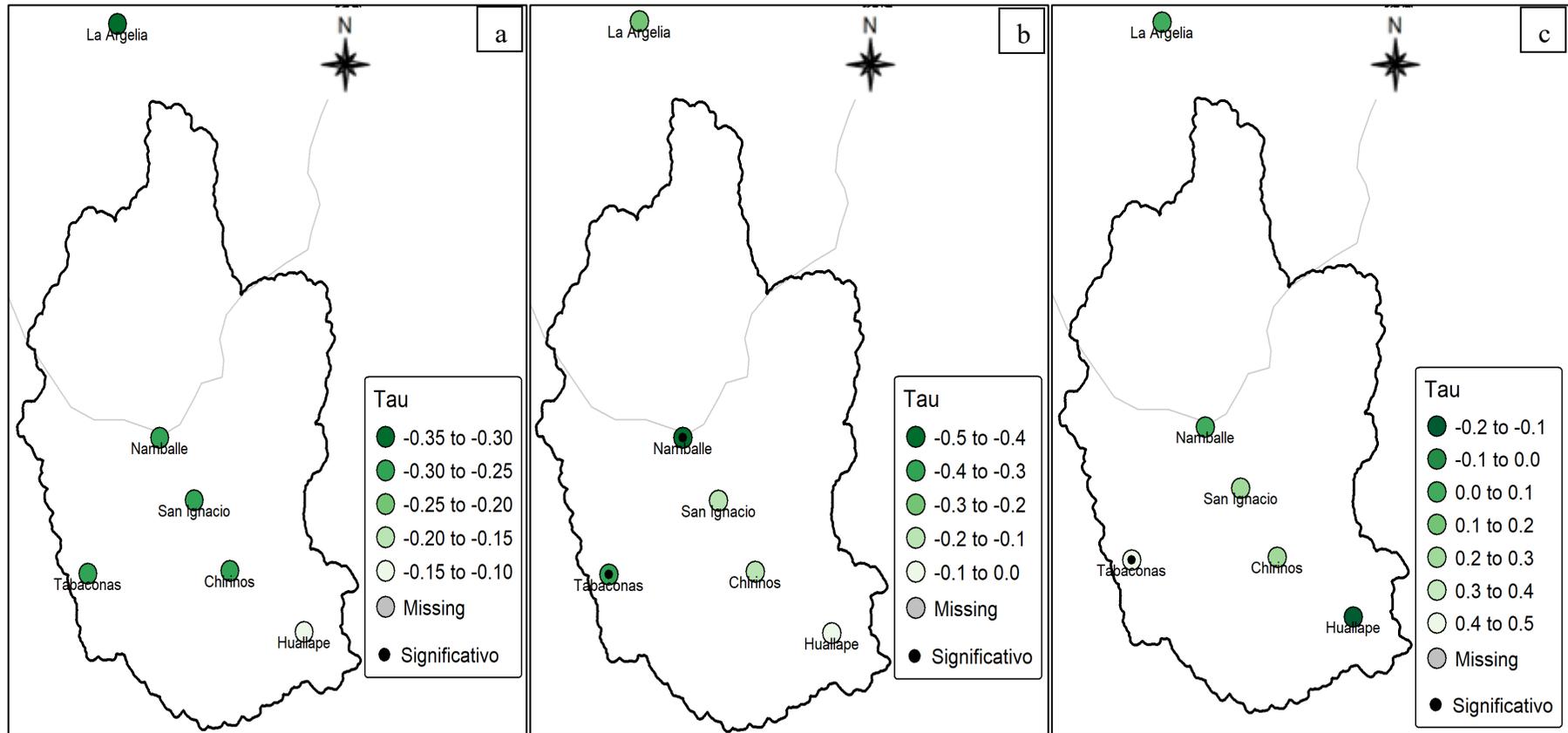
3.3.2.2. Análisis estadístico de la Pendiente de Sen y Man-Kendall (E. Húmeda)

El análisis de la estimación de la pendiente de Sen y el Test de Mann-Kendall para la época húmeda, de las tres bases de visualiza que en CHELSA (figura 15a), la estación La Argelia presenta una disminución que se encuentra entre -0.35 a -0.30 y. Por otro lado, Namballe, San Ignacio, Chirinos y Tabaconas presentan una mayor disminución marcada del PCI en un rango de -0.30 a -0.25. Huallape es la estación que se encuentra en el rango de -0.15 a -0.10, indicando disminución del PCI, pero ninguna presenta cambios significativos.

Por otro lado, GPCC (figura 15b) evidencia que todos los puntos de pendiente son negativos, tal es el caso del punto de Huallape que se encuentra en -0.1 a 0, Chirinos y San Ignacio están entre -0.2 a -0.1, La Argelia está en -0.3 a -0.2, Tabaconas en -0.4 a -0.3 esta estación se muestra con significancia al igual que Namballe que tienen -0.5 a -0.4. Finalmente, en los puntos de las estaciones meteorológicas (figura 15b) presenta que La Estación de Huallape está en el rango de -0.2 a -0.1, La Argelia esta entre -0.1 y 0.0. Namballe está en 0.0 a 0.1, Chirinos y San Ignacio entre 0.2 y 0.3, y, por último, Tabaconas entre 0.4 a 0.5, esta última se muestra significativa estadísticamente.

Figura 15

Significancia del PCI de la tendencia en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas

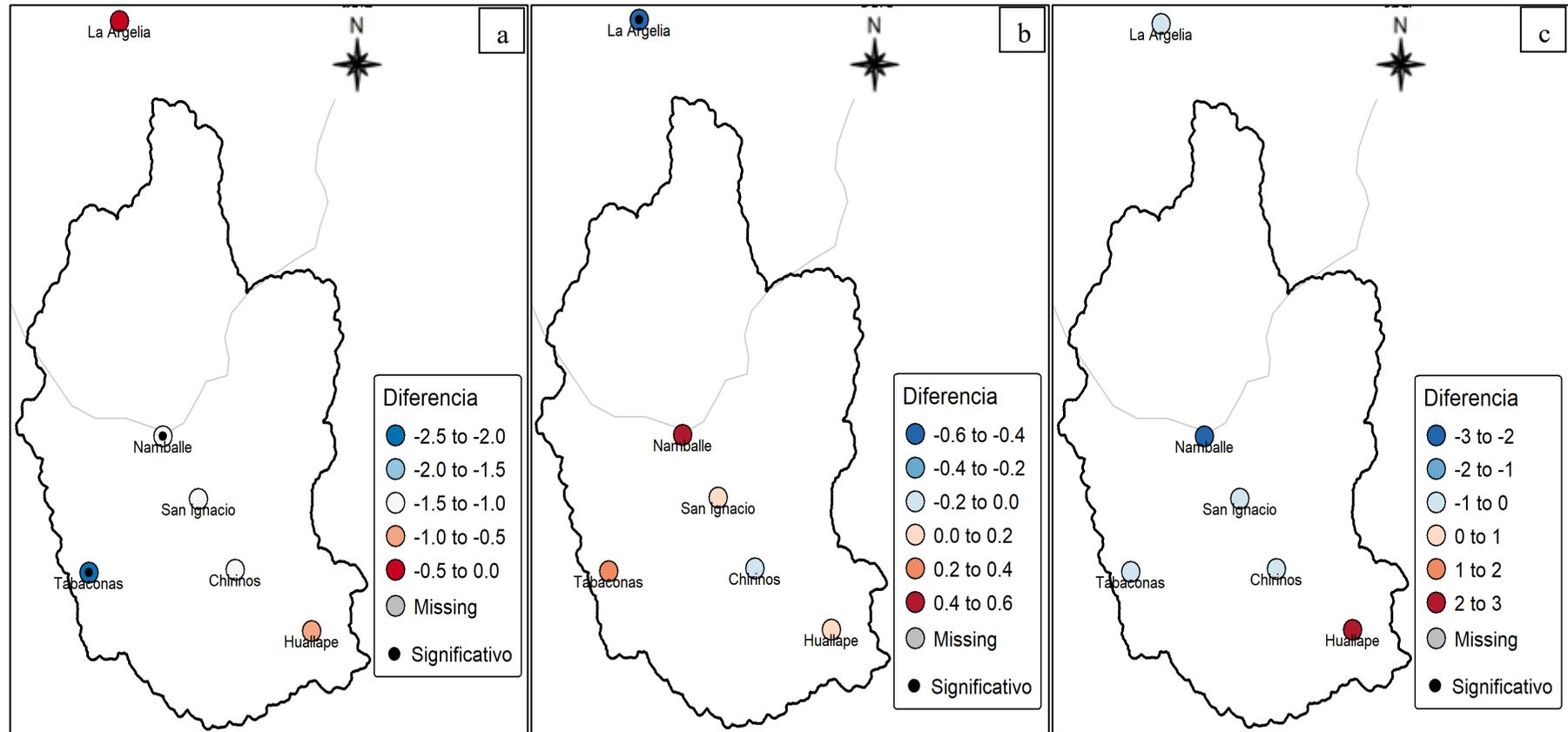


3.3.2.3. Análisis estadístico de Man Whinett (E. Seca)

En el análisis estadístico de Man Whinett referentes a las tres bases de datos se observa la diferencia entre las medias del Índice de Concentración de Precipitación (PCI) de los periodos (2012–2022) – (2002–2011) de la época seca, y la significancia de la misma. En CHELSA (figura 16a), Tabaconas presenta un valor negativo (-2.5 a -2.0) y significativa, lo que sugiere una ligera disminución del PCI en la época seca del segundo período. La Argelia se encuentra en -0.5 a 0.0 sin significancia en ningún punto, Huallape presenta -1.0 a -0.5; en tres estaciones Namballe, San Ignacio y Chirinos, presentan diferencias entre -1.5 a -1.0, donde solo Namballe muestra una disminución significativa. En GPCC (figura 16b), presenta dos patrones de cambios en aumento y disminución, La Argelia muestra la diferencia más baja encontrándose en -0.6 a -0.4 y siendo la única estación significativa, Chirinos está en -0.2 a 0, San Ignacio y Huallape se encuentran entre 0.0 a 0.2, Tabaconas entre 0.2 a 0.4, y por último Namballe presenta cambios positivos de 0.4 a 0.6, todas estas sin diferencias significativas. Por último, en las estaciones meteorológicas (figura 16c), se muestran disminución más marcadas del PCI en el segundo periodo en Namballe entre -3 a -2, Tabaconas, San Ignacio y Chirinos presentan el mismo rango referente a las diferencias de medias estando entre -1 a 0; sin embargo, la estación Huallape presenta un aumento de las medias, estando entre 2 a 3 unidades de PCI, ninguna de estos puntos presenta cambios significativos.

Figura 16

Tendencia del PCI en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas

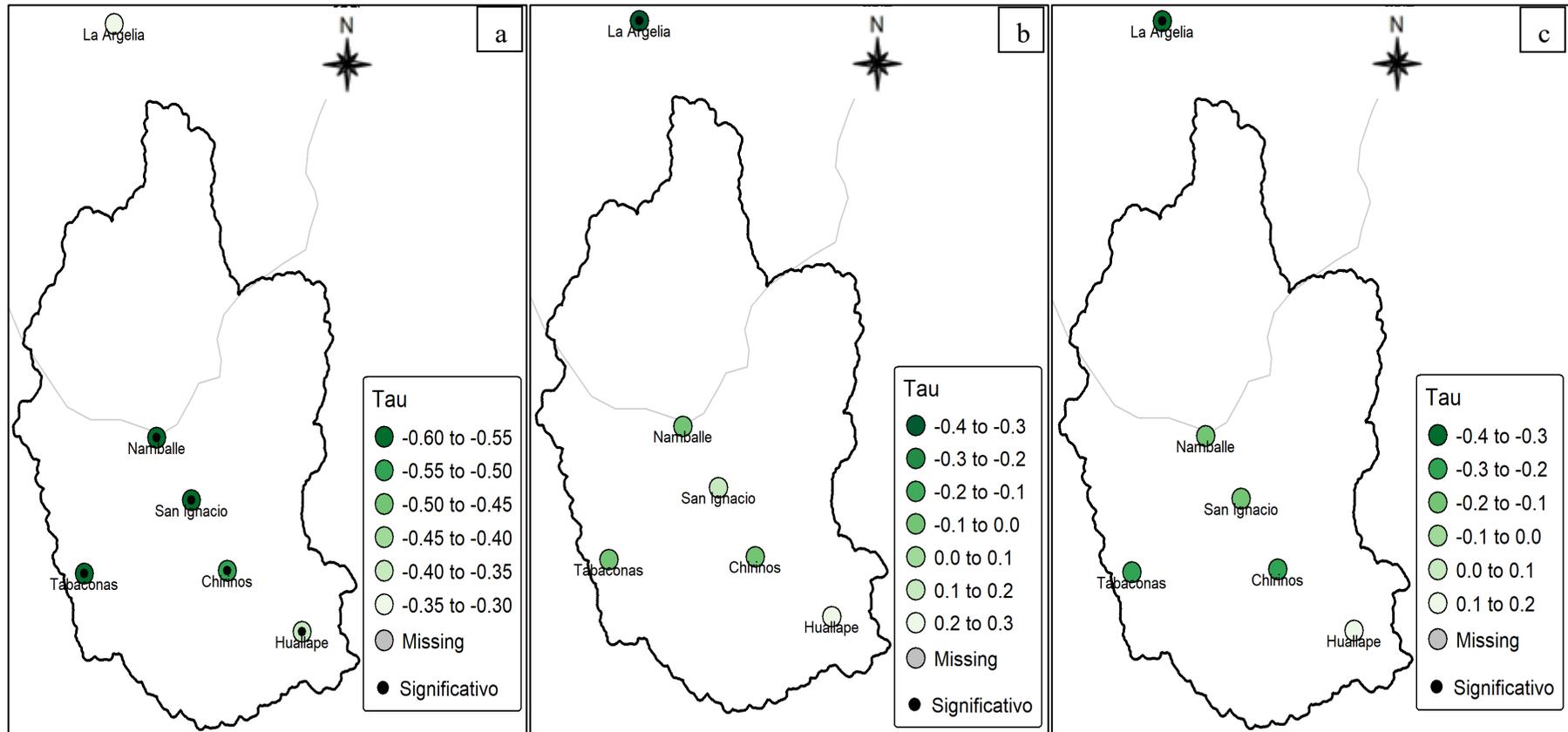


3.3.2.4. Análisis estadístico de la Pendiente de Sen y Man-Kendall (E. Seca)

El análisis de la estimación de la pendiente de Sen y el Test de Mann-Kendall para la época seca muestra que en CHELSA (figura 17a), se observa que la estación La Argelia se encuentra en un valor de -0.35 a -0.30, esta no tiene significancia alguna. Por otro lado, la estación Huallape se presenta en un rango de -0.40 a menos 0.35; asimismo, las estaciones de Tabaconas, Namballe, San Ignacio y Chirinos se encuentran en un rango de -0.60 a menos -0.55. Estas estaciones, en su totalidad, junto con la estación de Huallape, presentan medias estadísticamente significativas. Por otro lado, GPCC (figura 17b) se observa que Guayape se encuentra en un rango positivo de 0.2 a 0.3; asimismo, el punto de San Ignacio se encuentra en un rango de 0.1 a 0.2. No obstante, la estación de Tabaconas y Namballe está en un rango positivo de 0.0 a 0.1; sin embargo, la estación Chirinos y La Argelia muestran diferencias negativas. Chirinos se encuentra en un rango de 0.1 a 0.0. Y finalmente, La Argelia se encuentra en un rango de 0.4 a 0.3, no obstante, esta última presenta significancia estadística referente a las medias. Finalmente, las estaciones meteorológicas (figura 17c) se observan que Huallape se encuentra en un rango de 0.1 a 0.2. Namballe y San Ignacio se encuentran en un rango de - 0.2 a - 0.1. Por otro lado, Tabaconas y Chirinos presentan una disminución referente a las medias de entre - 0.3 a - 0.2. Y finalmente, La Argelia se muestra como la estación con una diferencia negativa más resaltante, puesto que esta se encuentra en un rango de -0.4 a -0.3; asimismo, esta estación también muestra diferencia significativa referente a las medias.

Figura 17

Significancia del PCI de la tendencia en épocas de las bases de datos: a) CHELSA, b) GPCC, c) estaciones meteorológicas



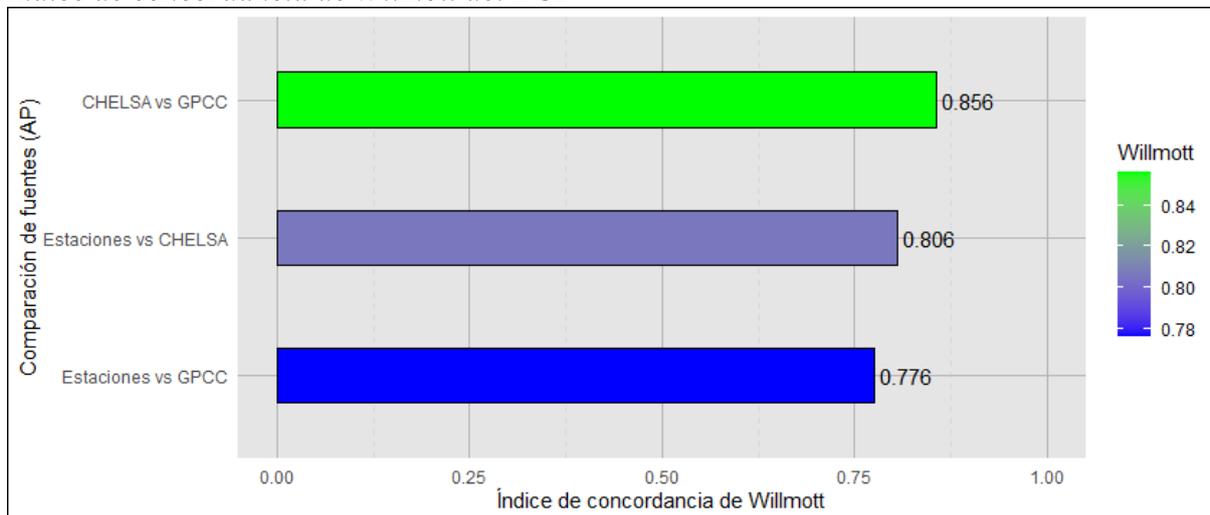
3.4. Comparación de la variación de precipitaciones de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas del periodo de estudio en la cuenca del Río Mayo-Chinchipe.

3.4.1. Comparación en el Índice de concentración de las Precipitaciones (PCI)

El Índice de Concordancia de Willmott aplicado a las precipitaciones, comparando tres bases de datos (figura 19) indican que la mayor concordancia se presenta entre CHELSA y GPCC, con un valor de 0.856, sugiriendo una fuerte similitud en los datos de precipitación estimados por estos modelos. Esto refleja consistencia en la representación de las precipitaciones a escala regional o global.

Por otro lado, la concordancia entre las estaciones meteorológicas y CHELSA es de 0.806, mientras que con GPCC es de 0.776. Aunque estas cifras también representan una buena concordancia, son ligeramente más bajas, probablemente debido a diferencias en la escala espacial y temporal de los datos recogidos por las estaciones locales en comparación con los modelos globales. Esta diferencia puede destacar la necesidad de ajustar o complementar los modelos globales con datos locales para mejorar la precisión en estudios específicos.

Figura 18
Índice de concordancia de Willmott del PCI



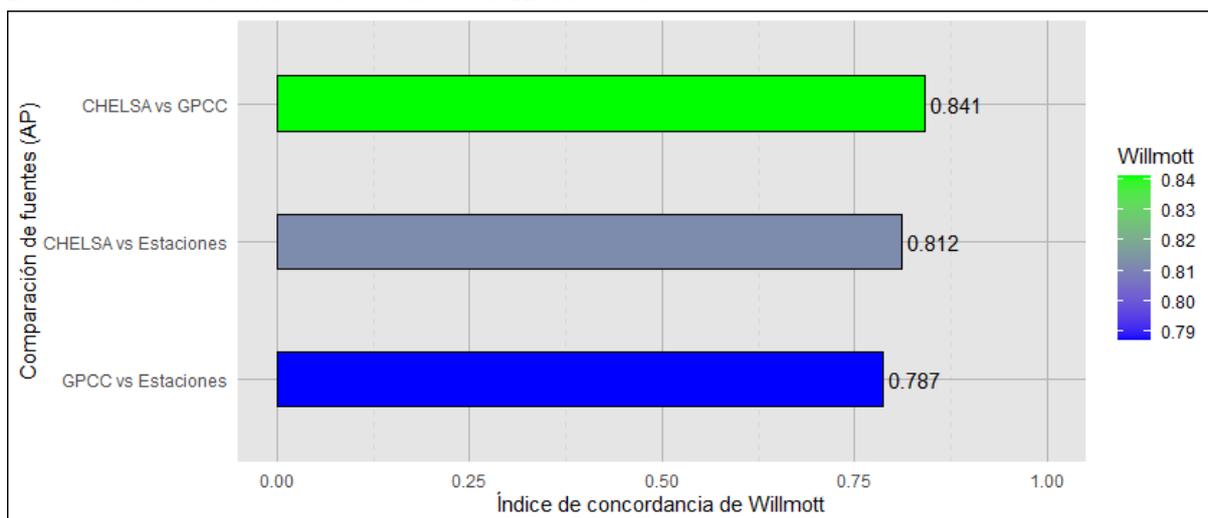
3.4.2. Comparación en anomalías de precipitación

Finalmente, el índice de concordancia de Willmott para evaluar el grado de similitud entre las anomalías de precipitación obtenidas de las estaciones meteorológicas, CHELSA y GPCC (figura 21). Se observa que la mayor concordancia se da entre CHELSA y GPCC, con un valor de 0.841, lo que sugiere que ambas bases de datos globales tienen una representación relativamente homogénea de las anomalías climáticas en la cuenca del río Mayo-Chinchipe. En segundo lugar, la comparación entre CHELSA y las estaciones meteorológicas arroja un índice de 0.812, lo que indica que la base de datos CHELSA es la que mejor se ajusta a los registros observados en campo, aunque aún con ciertas diferencias.

Por otro lado, la menor concordancia se encuentra entre GPCC y las estaciones meteorológicas, con un valor de 0.787, lo que podría indicar que esta base de datos global tiene más limitaciones en la captura precisa de los eventos de precipitación en la región de estudio. Estos resultados refuerzan la idea de que, si bien las bases de datos globales pueden proporcionar información valiosa, la validación con datos locales es esencial para mejorar la precisión en la evaluación de las variaciones de precipitación y su relación con el cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe.

Figura 19

Índice de concordancia de Willmott en Anomalías



IV. DISCUSIÓN

La obtención de datos de las tres bases de datos de información (CHELSA, GPCC, estaciones meteorológicas) se ha evidenciado que las estaciones meteorológicas tienen mayor cantidad de datos faltantes, tanto de datos en blanco como en registros sin disponibilidad (S/D), con mayor visualización en las estaciones de Chirinos, Tabaconas y San Ignacio. Esto concuerda con Correa Ortiz et al. (2021), quien también realizó la toma de la data de 16 estaciones de monitoreo a través del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) de Caldas en Colombia, donde también presentó desventajas, como la falta de datos o información en ciertos periodos de tiempo, por anomalías en la zona y falta de visualización en las estaciones. Los datos de CHELSA y GPCC mostraron una mayor suavización en los valores de precipitación, lo que podría estar relacionado con el proceso de interpolación empleado en estos modelos globales, según las investigaciones de Correa Ortiz *et al.* (2021), y Díaz, *et al.* (2020), para el análisis de precipitaciones usando datos satelitales, en la cual ambos autores fundamentan que la aplicación de datos satelitales es más uniforme a nivel de calidad porque ofrece una mayor cobertura en comparación con estaciones meteorológicas locales. Para la obtención de data fue la heterogeneidad de la data fuente debió a que estos se encontraban en distintos formatos, CHELSA en raster y de descarga manual, GPCC es formato netCDF en acumulación en grupo con variables de temperatura y evapotranspiración; asimismo, se presentó inconvenientes en la disponibilidad y continuidad de datos de estaciones meteorológicas locales. Varias estaciones presentaron series incompletas o vacíos temporales, estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos ya que se aplicó el método ARIMA para la completitud de datos.

El PCI de CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas revelan un patrón climático caracterizado principalmente por una concentración moderadamente irregular de las lluvias (PCI entre 10–15) en la cuenca Mayo-Chinchipe durante el periodo 2002–2022, esta condición de moderada concentración sugiere que las precipitaciones, se distribuyen de manera razonablemente homogénea a lo largo del año, pero con ciertos meses concentran mayor volumen de lluvia. No obstante, se observaron fluctuaciones interanuales importantes en los años 2015, 2016, 2020 y 2021, algunas estaciones (especialmente Tabaconas, San Ignacio y Huallape) registraron episodios de PCI irregular (>15) e incluso altamente irregular (>20), indicando un aumento de la concentración de

lluvias en pocos meses del año. Los cambios del patrón del PCI se pueden atribuir a la resolución espacial distinta entre bases de datos, metodología de captura de datos, variabilidad micro climática en zonas montañosas. Este comportamiento sugiere una amplificación de la variabilidad estacional, fenómeno que ha sido asociado a impactos del cambio climático en regiones montañosas tropicales (Villalobos Herrera *et al.*, 2022). Esta tendencia es consistente con estudios como el de Alfaro *et al.* (2021), quien menciona que en los andes tropicales, el cambio climático está induciendo una mayor concentración de las lluvias en eventos más intensos y cortos; patrones de circulación atmosférica tropical dominados por la Amazonía, que regulan la llegada de humedad de manera constante, pero que pueden ser alterados por variaciones térmicas y dinámicas de gran escala. Así Pizarro *et al.*, (2022) y Ramírez-Beltrán *et al.*, (2020) mismo sugieren que las variaciones detectadas son principalmente atribuibles a procesos de variabilidad climática continental y cambios de patrones regionales de humedad. Esto debido a causas de efectos orográficos en la cuenca, presencia de microclimas en zonas de transición entre selva alta y áreas montañosas; además, Garreaud (2009) menciona la menor influencia de fenómenos como El Niño es debido la ubicación de la cuenca en los andes.

El análisis de las anomalías de precipitación anual estandarizada (Z), indica una relativa estabilidad climática durante gran parte del periodo estudiado; sin embargo, también se registran episodios aislados de anomalías positivas (húmedas) y negativas (secas), reflejando la influencia de fluctuaciones interanuales en el régimen de precipitaciones. Los datos de CHELSA mostraron un ciclo claro de alternancia entre años húmedos y secos, destacándose una fase más húmeda entre 2002 y 2008, seguida por un periodo de condiciones más secas y normales entre 2009 y 2022. Este comportamiento sugiere la presencia de rasgos de humedad probablemente relacionados con dinámicas regionales de transporte de vapor de agua desde la Amazonía, modulados por patrones de circulación atmosférica a escala tropical. Por otro lado, los datos de GPCC, aunque mostraron un patrón similar, reflejaron una mayor suavización de las anomalías extremas. Se evidenció un periodo muy húmedo en 2008 (anomalías $Z > 2$) y episodios secos en años como 2018 y 2022. Esta menor sensibilidad de GPCC frente a los extremos podría atribuirse a su resolución espacial más gruesa (25 km), que tiende a diluir las señales de eventos locales de alta intensidad, un comportamiento coherente con lo documentado en otras regiones montañosas por Céleri *et al.* (2020). Finalmente, las estaciones meteorológicas captaron con mayor precisión la dispersión de las anomalías, mostrando más claramente los eventos

húmedos y secos extremos, particularmente en estaciones como Namballe, Huallape y Tabaconas. Esto se asimila con estudios como el de Espinoza *et al.* (2021), que señalan que las observaciones locales captan mejor la variabilidad extrema, mientras que las bases de datos interpoladas tienden a suavizarla. Desde un punto de vista climático, la transición observada de un primer periodo (2002–2011) más húmedo hacia un segundo periodo (2012–2022) con predominancia de condiciones normales a secas sugiere un cambio en la dinámica atmosférica regional, posiblemente vinculado a modificaciones en los patrones de circulación de humedad amazónica o a la influencia de oscilaciones multidecenales como la PDO (Pacific Decadal Oscillation). Este comportamiento es coherente con tendencias reportadas en la Amazonía andina por Ramírez-Beltrán *et al.* (2020) y Barichivich *et al.* (2021). Estos cambios se muestran como un indicio temprano de cambios asociados al efecto del cambio climático sobre la forma como se muestran las precipitaciones en zonas de transición entre la Amazonía y los Andes.

El análisis de las tendencias del (PCI) presentó tendencias predominantes no significativas; sin embargo, en varias estaciones se evidenció una disminución del PCI, lo que sugiere una menor concentración de las lluvias y una distribución más uniforme a lo largo del año. La disminución de lluvias también se presentó por Lavado *et al.* (2013) y Marengo *et al.* (2011) donde describen una tendencia de redistribución de las lluvias en regiones interiores de la Amazonía debido a cambios en la circulación atmosférica regional. Los resultados obtenidos podrían acunarse a, factores topográficos locales como la orografía marcada y la presencia de microclimas los cuales podrían estar interviniendo de manera distinta la respuesta frente al cambio climático.

El análisis comparativo entre los datos de precipitación obtenidos de las estaciones meteorológicas del SENAMHI e INAMHI y los registros de los geoservidores CHELSA y GPCC permitió evaluar la coherencia y confiabilidad de las distintas bases de datos. Se identificaron discrepancias en los valores absolutos de precipitación, aunque se mantuvieron tendencias similares en términos de variabilidad estacional y anual. Esto concuerda con lo reportado por Ortiz Díaz *et al.* (2021), quienes, al comparar bases de datos con diferentes resoluciones espaciales y temporales, identificaron variaciones en los valores de precipitación, pero patrones similares en la tendencia general. La diferencia observada entre bases de datos de datos (CHELSA, GPCC y estaciones) puede atribuirse a las características propias de cada base de datos: CHELSA, con alta resolución y

corrección orográfica, capta con mayor sensibilidad las tendencias de redistribución estacional. GPCC, con su menor resolución espacial, tiende a suavizar las variaciones locales, y, las estaciones meteorológicas reflejan respuestas micro climáticas locales, mostrando patrones de disminución o aumento según la interacción entre la topografía y la humedad.

Los resultados revelan que la cuenca Mayo-Chinchipe enfrenta una transición hidroclimática crítica, con precipitaciones cada vez más irregulares (PCI 10-15, picos >20) y eventos secos recurrentes ($Z < -1$ en 2018-2022) lo cual sugiere menos lluvias extremadamente concentradas y mayor distribución a lo largo de la época húmeda, pero también con un potencial aumento de eventos secos intercalados; asimismo, las tendencias detectadas en la época húmeda sugieren que la cuenca Mayo-Chinchipe estaría experimentando una transición hacia un régimen de lluvias menos concentradas y más distribuidas, con mayor heterogeneidad espacial debido a sus características orográficas, y la presencia de microclimas; estos cambios, que se muestran en el patrón de lluvias, implica una redistribución impredecible de las lluvias, donde la tradicional distinción entre épocas secas y húmedas se vuelve menos marcada, afectando directamente los ciclos hidrológicos naturales y las actividades agropecuarias que dependen de ellos; estos cambios influyen directamente para que los gobiernos locales tengan una gestión integral del agua más acertada y adaptativa de tal manera que esto exige tener sistemas de almacenamiento y distribución, priorizado infraestructura de captación de agua y mediante sistemas de cosecha pluvial en áreas de lluvias de alta concentración de PCI, con la finalidad de estar preparados para los eventos de escasa o nula precipitación. Por otro lado, el presente estudio es factible aplicarlo para las proyecciones climatológicas en las instituciones del sector agrícola de tal forma que este sector pueda adoptar una calendarización para sus cultivos y priorizando cultivos tolerantes a sequías, de esta manera poder tener impactos a menor escala. Los proyectos de reforestación que se encuentran en viabilidad de desarrollo pueden tomar estos análisis de tal manera que, estos puedan obtener tasas de mortalidad más bajas. Finalmente los patrones observados en la cuenca Mayo-Chinchipe reflejan los impactos del cambio climático en ecosistemas presentes en el área de estudio, donde la creciente irregularidad de las lluvias y la aparición de sequías intermitentes plantean desafíos críticos para la seguridad hídrica.

Si bien cada país tiene su propia administración de los recursos hídricos, tal es el caso para Perú que tiene a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), esta institución administra los recursos hídricos de una forma descentralizada a través de instituciones que se encuentran en áreas regionales o provinciales, estas son las autoridades administrativas del agua (AAA y las administraciones locales del agua (ALA). Esta institución ofrece los mecanismos para el uso legal del agua, tanto superficial como subterráneo para diferentes actividades. Asimismo, promueve una cultura del uso responsable y la conservación a través de campañas de sensibilización y educación social. Por otro lado, también inculca la participación ciudadana y de la población a través del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca; asimismo, Ecuador tiene a la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) la cual implanta que el agua es un derecho humano incondicional, por otro lado, esta institución promueve políticas y estrategias para la gestión sociocultural del agua bajo una política de interculturalidad en la relación con el agua la gestión de este recurso, esto implica que todos accedan al agua de forma equitativa. Asimismo, también impone políticas de participación social en la gestión del agua y plantea estrategias de participación en la ciudadanía, respaldando la responsabilidad social y pública con este recurso. Sin embargo, existe una cooperación internacional bajo un convenio de suscripción para el manejo de los recursos hídricos entre los Ministerios de Relaciones Exteriores de ambos países, para la gestión de cooperación en gestión de aguas fronterizas bajo la suscripción del reglamento de la comisión binacional de GIRH firmado el 25 de octubre de 2023. Esta acción consolida y deja evidente el trabajo conjunto alrededor del agua en beneficio de sus poblaciones, la seguridad hídrica la protección de los ecosistemas y la lucha contra el cambio climático e intereses comunes. También existe convenio firmado con la ONG PROTOS y el gobierno regional de Cajamarca para desarrollar un trabajo conjunto de cinco años en la Cuenca Binacional de los Ríos Mayo-Chinchipe. Este convenio implanta realizar un trabajo conjunto para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Cuenca Binacional, con financiamiento internacional de la cooperación Belga (Joint for Water). Todos estos proyectos y cooperaciones internacionales junto al estudio realizado en esta cuenca permiten tener un enfoque a futuro para poder generar prevención temprana, planificación a corto, mediano y largo plazo; asimismo, generar políticas para de gestión hídrica sostenible de la cuenca estudiada.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Existe una variación detectable en el régimen de precipitaciones de la cuenca Mayo-Chinchipe durante el periodo 2002–2022, reflejada en cambios en el PCI, en las anomalías de precipitación y en las tendencias espaciales y temporales, constituyendo evidencia empírica del impacto progresivo del cambio climático en ecosistemas de selva alta y montaña tropical; asimismo, los patrones detectados de disminución de la concentración de precipitaciones, incremento de años secos, y redistribución espacial de las lluvias en la cuenca Mayo-Chinchipe constituyen señales tempranas de alteraciones en el régimen pluviométrico regional, compatibles con efectos asociados al cambio climático global y regional en áreas tropicales montañosas.

El proceso de obtención y procesamiento de datos a partir de las bases de datos (CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas) evidenció diferencias sustanciales en la disponibilidad, resolución espacial y homogeneidad temporal de los registros, condicionando en parte la interpretación de la variabilidad climática en la cuenca Mayo-Chinchipe. Mientras las bases de datos satelitales mostraron mayor continuidad y cobertura homogénea, las estaciones locales reflejaron con mayor precisión la variabilidad real, aunque afectadas por vacíos de información y fallas operativas.

El análisis del Índice de Concentración de Precipitaciones (PCI) reveló un patrón general de concentración moderadamente irregular (10–15) en la mayoría de las estaciones durante el periodo 2002–2022, tanto en CHELSA, GPCC como en estaciones meteorológicas. No obstante, se identificaron variaciones espaciales y temporales significativas, particularmente hacia los años finales del período, donde surgieron eventos puntuales de concentración extrema (>20), evidenciando una mayor heterogeneidad en la distribución temporal de las lluvias; de la misma manera, las anomalías estandarizadas de precipitación mostraron una transición progresiva de un primer periodo relativamente húmedo (2002–2011) hacia un segundo periodo más seco (2012–2022), lo cual refleja una disminución en la frecuencia y magnitud de eventos extremos de lluvia.

El análisis de tendencias anuales de concentración de precipitaciones, mediante los métodos de Mann–Whitney, pendiente de Sen y test de Mann–Kendall, confirmó la

existencia de cambios moderados pero detectables en la distribución temporal de las lluvias; asimismo, se observaron tendencias robustas de disminución del PCI en estaciones como Namballe y Tabaconas, indicando una redistribución progresiva de las precipitaciones hacia patrones menos concentrados. Para la época húmeda se identificaron patrones de tendencia divergentes: algunas estaciones presentaron incrementos localizados en la concentración de lluvias (principalmente en Tabaconas y Huallape), mientras que en otras se observó una distribución más homogénea, esta heterogeneidad espacial refuerza la influencia de factores locales como la orografía, la altitud y la dinámica convectiva sobre el régimen pluviométrico de la cuenca. En la época seca algunas estaciones registraron una disminución evidenciable del Índice de concentración de precipitación, este comportamiento sugiere que el patrón habitual de concentración las lluvias durante ese periodo han disminuido, esto a raíz de cambios en la dinámica estacional de las precipitaciones.

La comparación cruzada entre las bases CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas demostró que, a pesar de las diferencias en resolución espacial y metodologías de estimación, las tendencias generales de variabilidad climática son coherentes. CHELSA mostró un desempeño superior en la representación de la concentración espacial del PCI, mientras que las estaciones meteorológicas captaron de manera más fiel los eventos extremos locales; asimismo, existe una alta concordancia entre las bases de datos, especialmente entre CHELSA y las estaciones meteorológicas, validando la utilidad de bases de datos satelitales de alta resolución para el análisis climático en zonas de difícil acceso; sin embargo, se destaca la importancia de complementar estas bases con datos de campo para robustecer las interpretaciones.

Este análisis, enfocado en la fluctuación de las lluvias como un signo del cambio climático en la cuenca de Mayo-Chinchipe, ofrece datos fundamentales que ayudan a prever problemas hídricos y mejorar la toma de decisiones para las organizaciones públicas y privadas en el sector agrícola que controlan los recursos hídricos en esta área. La detección de patrones de lluvias y el estudio de irregularidades climáticas permiten prever más eficazmente las consecuencias de fenómenos extremos, como precipitaciones fuertes o sequías duraderas, las cuales impactan directamente la producción agrícola y la seguridad alimentaria.

La presente investigación ofrece pruebas científicas sobre el comportamiento de la precipitación en la cuenca. Asimismo, brinda herramientas precisas para optimizar la gestión del agua en condiciones de cambio climático en la cuenca, además de suministrar instrumentos útiles para el diseño de sistemas de alerta temprana, la planificación de cultivos, la organización del riego y la mitigación del riesgo hídrico. Con ello, los organismos encargados de la gestión del territorio y los agentes relacionados con el desarrollo agrícola pueden aumentar su capacidad para responder y adaptarse ante el cambio climático, fomentando prácticas sostenibles y resilientes, como la reforestación con especies autóctonas, la implementación de tecnologías eficientes de riego y la protección de las fuentes de agua, todo dentro de un ambiente vulnerable.

5.2. Recomendaciones

Al SENAMHI, INAMHI, instituciones públicas y privadas a comprometerse con el monitoreo de las variables hidrometeorológicas incrementando la red de estaciones meteorológicas locales, priorizando zonas de alta variabilidad espacial y temporal. Esto permitirá mejorar la captura de eventos extremos de precipitación, reducir vacíos de información y fortalecer la base de datos disponible para estudios de variabilidad climática y adaptación al cambio climático.

A los docentes de la Universidad Nacional de Jaén especialistas en estudios de cuencas hidrográficas y climatología que incentiven a los estudiantes la realización de estudios integrados sobre relación entre patrones de variabilidad climática de gran escala y las tendencias locales observadas en la cuenca Mayo-Chinchipe para facilitar la elaboración de escenarios climáticos futuros más robustos y estrategias de adaptación específicas para la región, así como implementar estrategias de gestión hídrica adaptativa basadas en los patrones detectados de concentración y anomalías de las precipitaciones.

A los investigadores especialistas en el área de climatología complementar investigaciones sobre la influencia de factores locales como la altitud, la orografía y la dinámica convectiva interna en los patrones de precipitación de la cuenca; así mismo, realizar estudios de las variables de temperatura, evapotranspiración, y caudales para complementar el diagnóstico climático hidrológico, la incorporación de estos estudios permitiría contemplar un estudio más completo dentro de la cuenca y comprender mejor las características no homogéneas detectadas y optimizar los modelos de predicción climática en el área de estudio (cuenca Mayo-Chinchipe).

Al laboratorio de análisis de datos y sistemas remotos (LABSIRANDA) crear un convenio con el SENAMHI con la finalidad de poder obtener con mayor facilidad datos meteorológicos del territorio peruano, de esa manera poder tener un mayor alcance con los estudios de cambio climático.

A los gobiernos locales la incorporación de los resultados de este estudio en planes de gestión de riesgos y adaptación climática a nivel local y regional, así como evaluar la vulnerabilidad de cultivos, fuentes hídricas y servicios ecosistémicos para diseñar estrategias de adaptación proactivas y de esa forma mitigar los futuros impactos del cambio climático en la cuenca Mayo-Chinchipe.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agnew, CT, y Chappell, A. (1999). Sequía en el Sahel. *The Geographical Journal*, 165 (3), 318–331.
<https://doi.org/10.2307/3060523>
- Aguado-Rodríguez, G. Javier, Quevedo-Nolasco, Abel, Castro-Popoca, Martiniano, Arteaga-Ramírez, Ramón, Vázquez-Peña, M. Alberto, & Zamora-Morales, B. Patricia. (2016). Predicción de variables meteorológicas por medio de modelos ARIMA. *Agrociencia*, 50(1), 1-13. Recuperado en 17 de junio de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000100001&lng=es&tlng=es.
- Aguilar, E., Dinku, T., & de Castro, M. (2020). Monitoring extreme precipitation events using satellite-based and station data in South America. *Climate Services*, 17, 100142.
<https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100142>
- Alfaro, E. J., *et al.* (2021). Trends in extreme rainfall events in the tropical Andes during the wet season. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100309.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100309>
- Autoridad nacional del agua, (2011). Diagnóstico de problemas y conflictos en la gestión de los recursos hídricos en la cuenca Chinchipe-Chamaya. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/44>.
- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5.
<https://doi.org/10.1038/SDATA.2017.191>
- Alencar da Silva Alves, K. M., & Silva Nóbrega, R. (2017). Tendencia Pluviométrica Y Concentración Estacional De Precipitación En La Cuenca Hidrográfica Del Río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, 1(58), 295.
<https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12>.

- Barichivich, J., Briffa, K.R., & Osborn, T. J. (2021). Observed trends in precipitation in the tropical Andes during the last two decades. *Climate Dynamics*, 56(1), 245–262.
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05412-5>
- Benítez Carranco, M. B. (2018). La Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) como herramienta para contribuir al proceso de adaptación del cambio climático en la cuenca transfronteriza Catamayo-Chira (tesis de maestría). Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. Recuperado de
<http://hdl.handle.net/10644/6438>
- Célleri, R., Buytaert, W., & Feyen, J. (2020). Assessing precipitation datasets in Andean regions: A comparison between satellite and ground observations. *Hydrology Research*, 51(5), 854–869.
<https://doi.org/10.2166/nh.2020.129>
- Box, G. E. P., & Jenkins, G. M. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day.
- Brown, O.; Gallardo, Y.; Correa, A.; Barrios, S. (2015). El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(1), 88–101.
<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v36n1/riha07115.pdf>
- Campos Ruiz, S. N., & Tapia Jiménez, F. M. (2022). Tendencia de Precipitación y Sequía Meteorológica Futura en la Cuenca Chinchipe Utilizando Modelos de Circulación Global. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
<https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/449>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37-52.
<https://doi.org/10.18359/rcin.4900>
- Dilas-Jiménez, J. O. (2021). Gestión integrada para la cuenca transfronteriza del Chinchipe en el norte peruano. *Tayacaja*, 4(1), 73–85.
<https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i1.154>
- Duarte Cueva, F. (2014). Efeitos das mudanças climáticas sobre a economia, o comércio

internacional e a estratégia de negócios. *Contabilidad y Negocios: Revista Del Departamento Académico de Ciencias Administrativas*, 9(18), 75–98.
<https://doi.org/10.18800/contabilidad.201402.005>.

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Frappart, F., Lavado, W., Santini, W., & Guyot, J. L. (2019). Contrasting North-South changes in Amazon wet-day and dry-day frequency and related atmospheric features (1981–2017). *Climate Dynamics*, 53(5-6), 3411-3431.

<https://doi.org/10.1007/s00382-018-4462-2>

Elliot, J. (2009). Los bosques de la cuenca transfronteriza del Río Mayo-Chinchipe, Peru-Ecuador.

<http://biblioteca.unfv.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-etail.pl?biblionumber=59157>

Espinoza, J. C., Ronchail, J., & Guyot, J. L. (2021). Climate variability and change in the Amazon Basin: A review. *Frontiers in Earth Science*, 9, 617833.

<https://doi.org/10.3389/feart.2021.617833>

Garreaud, R. (2009). El efecto de El Niño sobre el clima en los Andes. GRID-Arendal.

<https://www.grida.no/resources/12852>

Ilbay Yupa, M. L. (2019). Tendencia espacio-temporal de la precipitación, su agresividad y concentración en la Región Interandina del Ecuador.

<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4142>

Imbaquingo Chicaiza, MF (2024). Estudio de evapotranspiración potencial y precipitación efectiva del cantón Loja. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/30020>

Karger, D. N., Lange, S., Hari, C., Reyer, C. P. O., Conrad, O., Zimmermann, N. E., & Frieler, K. (2023). CHELSA-W5E5: daily 1 km meteorological forcing data for climate impact studies. *Earth System Science Data*, 15(6), 2445–2464.

<https://doi.org/10.5194/ESSD-15-2445-2023>

Khorrani, B., & Gunduz, O. (2021). Evaluation of the temporal variations of groundwater storage and its interactions with climatic variables using GRACE data and hydrological models: A study from Turkey. *Hydrological Processes*, 35(3).

<https://doi.org/10.1002/HYP.14076>

Kousari, MR, Dinpashoh, Y., y Niazi, Y. (2011). Análisis espacio-temporal de la precipitación y la sequía en regiones semiáridas de Irán mediante anomalías estandarizadas. *Climatología Teórica y Aplicada*, 105 (3), 403–418.

<https://doi.org/10.1007/s00704-010-0374-3>

Kumar, N., Murthy, CS, Sessa Sai, MVR y Roy, PS (2009). Sobre el uso del Índice de Precipitación Estandarizado (IPS) para la evaluación de la intensidad de la sequía. *Aplicaciones Meteorológicas*, 16 (3), 381–389.

<https://doi.org/10.1002/met.136>

Lavado, W., Felipe-Obando, O., & Rau, P. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965–2007). *Hydrological Processes*, 27(6), 855–865.

<https://doi.org/10.1002/hyp.9418>

Lavado-Casimiro, W., Silvestre, E., & Bourrel, L. (2012). ENSO impact on hydrology in Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2869-2884.

<https://doi.org/10.5194/adgeo-33-33-2013>

López Silva, M., Carmenates Hernández, D., Valero Freyre, L., & López Fernández, L. (2019). Indicadores de cambio climático en las precipitaciones. *Revista Bases de La Ciencia*. e-ISSN 2588-0764, 4(2), 21.

https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i2.1566

Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Skea, J., Slade, R., Ferrat, M., Neogi, S., & Malley, J. (2020). El cambio climático y la tierra: informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

Marengo, J. A., Tomasella, J., Alves, L. M., Soares, W. R., & Rodriguez, D. A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, 38(12), L12703.

<https://doi.org/10.1029/2011GL047436>

- Oliver, JE (1980). Distribución mensual de la precipitación: Un índice comparativo. *The Professional Geographer*, 32 (3), 300–309.
<https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>
- Pizarro, J., Segura, H., & Villalobos, L. (2022). Changes in rainfall extremes in the tropical Andes and their link to atmospheric dynamics. *International Journal of Climatology*, 42(4), 2153–2171.
<https://doi.org/10.1002/joc.7351>
- Ramírez-Beltrán, N. D., Ruiz, D., & Buendía, C. (2020). Observed trends in rainfall extremes and their possible connections to climate change in the Andean Amazon. *Climatic Change*, 162(4), 2435–2453.
<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02851-3>
- Salameh, AAM (2024). Uso del índice de concentración de precipitación para caracterizar la distribución de las precipitaciones en el Levante. *Revista de Agua y Cambio Climático*, 15 (4), 1945-1958.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2024.037>
- Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V., & Lane, W. L. (1980). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications.
- Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. J., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2020). Climate variability and precipitation concentration in central Chile (1979–2015). *Water*, 12(4), 1012. [https://DOI: 10.5354/0719-5370.2013.27595](https://doi.org/10.5354/0719-5370.2013.27595)
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito: SENPLADES.
<https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2013-%E2%80%932017.pdf>
- Segura, H., Espinoza, J. C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., & Garreaud, R. (2020). *Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical Andes/western Amazon*. *International Journal of Climatology*, 40(9), 4213-4230.
<https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6>
- Siqueira, B., & Nery, J. T. (2021). Spatial and temporal variability of precipitation concentration in northeastern Brazil. *Investigaciones Geograficas*, 104.

<https://doi.org/10.14350/RIG.60091>

UICN. (2024, junio 20). La Comisión Binacional GIRH Ecuador – Perú fortalece sus mecanismos de cooperación bilateral. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucn.org/es/noticias/202406/la-comision-binacional-girh-ecuador-peru-fortalece-sus-mecanismos-de-cooperacion-bilateral>

Valderrama Balaguera, JC (2024). Estimación del pronóstico de precipitación mediante el método del punto de cambio y ARIMA. *Cogent Engineering*, 11 (1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2340191>

Vargas Montes, A. J. (2021). Estimación de índices de sequía en la cuenca del río Ichu utilizando datos generados por teledetección, Huancavelica-2019. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3792>

Vásquez Peralta, C. A. (2012). Estudio Hidrológico De La Región De Cajamarca 2012. *Repositorio Digital de Recursos Hidricos*, 1–96. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4574>

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Villalobos Herrera, A., *et al.* (2022). Rainfall trends and extremes in tropical mountainous regions under climate variability. *International Journal of Climatology*, 42(7), 3575–3592. <https://doi.org/10.1002/joc.7465>

Zubieta y Cols., R. (2019). Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: Valle del río Mantaro. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/967>

Zubieta y Cols., R. (2019). Distribución espacial del índice de concentración de precipitación diaria en los Andes centrales peruanos: Valle del río Mantaro. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2012.0022/>

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera especial a mis asesores, Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga y Luis Felipe Duque Yaguache por tener esa dedicación y paciencia al aportarnos claridad y rigurosidad durante el acompañamiento para el desarrollo de esta investigación

Agradecer a quien preside el Laboratorio de Análisis de Datos y Sistemas Remotos (LABSIRANDA) la Mg. Candy Ocaña Zúñiga por brindarnos el espacio, equipos y herramientas de hardware y software para el proceso estadístico y el proceso de datos. El acceso a la tecnología en este espacio ha sido crucial para el análisis climático en el espacio estudiado.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMH) y al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) por proporcionar los datos de las estaciones meteorológicas presentes en la cuenca para ser usados en el estudio de esta cuenca.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento y reconocimiento a todas esas persona y instituciones que de alguna forma o medio han contribuido con su apoyo, tiempo y conocimientos, haciendo posible la culminación de esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza y la determinación necesaria para seguir adelante a pesar de los inconvenientes que la vida me ha presentado.

A mis abuelos por brindarme su amor, apoyo incondicional y su sacrificio que han servido de guía del camino y la base de mi desarrollo y crecimiento a nivel personal y profesional.

A mis padres, por brindarme por su entrega, cariño y su constante respaldo siendo fundamental en mi formación.

A mi prometida por darme su paciencia, su comprensión y por ser mi más grande inspiración en los difíciles momentos para alcanzar cada una de mis metas trazadas.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron e hicieron posible el desarrollo de este trabajo y que contribuyeron de forma directa o indirectamente con su apoyo.

Herrera Diaz Wildy Maxkeith

A Dios por darme las fuerzas necesarias, la paciencia y la perseverancia para poder alcanzar mis metas.

A mi familia por brindarme su amor incondicional y su apoyo inquebrantable siendo mi inspiración en cada avance en mi camino.

A mis padres quienes con su sacrificio y su enseñaron que las metas y enseñanzas se logran con perseverancia y dedicación.

A mis seres queridos, que con su cariño y apoyo han estado presentes en cada etapa de este proceso, recordándome que nunca estoy solo en este viaje.

Y, finalmente a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido a la realización de este trabajo, ya sea con su motivación, sus consejos o su compañía, gracias por ser parte de este logro que representa años de esfuerzo y dedicación.

García Peña Milton Estalin

ANEXOS

Anexo 1: Tablas

Precipitación anual de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas

Tabla 6

Precipitación (mm) anual de CHELSA

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	1764.30	1037.17	1013.54	980.42	1454.26	1460.81
2003	1559.52	990.75	984.28	856.43	1243.89	1231.73
2004	1792.28	1077.42	1110.47	947.43	1431.62	1326.70
2005	2244.46	1312.82	1091.29	1063.29	1697.05	1543.18
2006	1765.53	1065.39	1164.71	943.01	1410.01	1474.45
2007	1286.51	888.26	1209.44	763.09	1040.38	1035.63
2008	1552.24	805.94	1691.88	980.09	1332.42	1511.67
2009	1057.61	586.46	1037.66	737.51	966.47	971.69
2010	919.87	548.26	897.22	581.41	789.27	943.43
2011	1456.96	802.26	1456.94	931.26	1267.50	1282.55
2012	1393.71	785.77	1329.02	882.20	1226.47	1257.08
2013	1024.18	560.37	1125.46	711.59	925.41	984.81
2014	1231.29	646.36	1236.38	850.24	1102.79	1182.32
2015	1253.69	717.60	1231.74	915.27	1172.19	1231.36
2016	1006.57	488.97	1217.97	769.99	967.75	1199.00
2017	1500.73	841.11	1578.76	957.10	1325.99	1351.57
2018	1341.89	791.68	1271.20	843.38	1149.37	1170.52
2019	1315.49	570.65	1266.32	1004.31	1340.34	1355.30
2020	1315.50	551.97	1299.72	1046.40	1360.61	1396.73
2021	1315.51	533.29	1333.12	1088.50	1380.87	1438.16
2022	1315.52	514.61	1366.53	1130.60	1401.13	1479.59
\bar{X}	1400.64	767.48	1233.98	903.98	1237.42	1277.54

Nota. \bar{X} es la precipitación promedio anual de los 5 puntos de información de CHELSA.

Tabla 7

Precipitación (mm) anual de GPCC

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	1247.80	1660.26	1206.17	811.31	1516.10	796.41
2003	1121.45	1574.49	1239.55	356.53	1269.75	315.35
2004	1253.20	1717.98	1314.15	444.95	1390.82	377.65
2005	1346.45	1778.62	1388.16	790.01	1568.90	626.92
2006	1402.29	1769.72	1318.10	1112.87	1709.25	906.89
2007	1129.68	1596.55	1333.11	873.45	1465.65	579.81
2008	1914.07	2241.62	1520.23	1673.88	2211.91	1532.43
2009	1510.92	1853.11	1380.43	1315.12	1863.99	1023.20
2010	1193.92	1559.46	1187.30	967.87	1532.53	750.46
2011	1714.99	2058.13	1589.04	1505.11	2071.75	1292.75

2012	1835.85	2156.71	1617.15	1600.71	2136.82	1404.70
2013	948.49	1336.61	1289.08	732.33	1288.20	487.49
2014	1245.21	1587.19	1497.24	1050.25	1621.20	783.65
2015	1202.70	1566.81	1544.03	1023.82	1576.78	730.53
2016	1248.37	1516.27	1432.41	1186.01	1726.01	824.18
2017	1271.73	1558.00	1439.16	1199.61	1678.23	1072.71
2018	1089.42	1458.44	1167.16	912.06	1459.01	676.23
2019	1101.77	1407.91	1375.37	1059.98	1538.57	771.92
2020	1020.82	1328.72	1263.93	971.25	1452.86	674.15
2021	1111.74	1429.04	1245.64	972.68	1443.11	719.87
2022	1111.74	1429.04	1188.05	948.92	1405.69	719.87
\bar{X}	1286.79	1646.89	1358.83	1024.22	1615.58	812.72

Nota. \bar{X} es la precipitación promedio anual de los 5 puntos de información de GPCC.

Tabla 8

Precipitación (mm) anual de estaciones meteorológicas

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	1308.50	498.17	785.40	1426.60	1158.30	1004.20
2003	1307.80	480.27	899.30	1053.40	987.20	886.10
2004	1137.50	688.22	1077.50	1506.40	1054.30	908.00
2005	1656.60	377.88	917.90	983.20	1256.30	1132.80
2006	1406.80	783.02	900.30	890.00	916.30	1287.40
2007	1666.80	651.88	1018.20	560.00	1280.30	1358.30
2008	1385.00	736.84	1380.30	546.80	1399.80	1144.00
2009	1571.80	771.73	911.10	908.87	1163.20	1253.70
2010	1222.30	521.01	752.70	1269.45	1001.30	1030.60
2011	1621.40	568.88	1338.60	1627.04	1036.90	1339.00
2012	1409.20	609.89	1096.40	1065.60	1039.00	1423.20
2013	1185.60	644.11	966.50	768.80	971.60	1249.10
2014	1540.00	503.11	1067.80	1093.10	1298.30	1413.50
2015	1298.50	587.33	1123.70	1076.80	1076.20	1427.70
2016	1046.80	621.80	1015.90	805.60	876.20	1070.10
2017	1439.40	486.50	1157.00	1140.70	1304.30	1235.70
2018	1457.20	524.30	751.80	1141.40	1096.90	1204.40
2019	1667.10	576.40	1065.20	1105.80	1228.80	1235.60
2020	640.00	507.00	784.40	949.00	309.30	242.10
2021	870.99	657.10	1251.17	1154.80	718.00	680.00
2022	693.80	601.10	1063.87	996.50	558.50	641.80
\bar{X}	1311.10	590.31	1015.48	1050.95	1034.81	1103.20

Nota. \bar{X} es la precipitación promedio anual de los 5 puntos de información de estaciones meteorológicas.

Índice de concentración de precipitación anual de las tres bases de datos.

Tabla 9

Índice de concentración de precipitación de CHELSA

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	10.57	9.94	10.39	10.58	11.02	11.85
2003	10.75	9.71	11.28	10.85	11.35	12.62
2004	10.99	11.24	10.47	10.20	10.82	10.93
2005	12.66	10.91	13.11	12.57	13.21	14.45
2006	11.89	10.48	12.95	12.07	12.53	14.15
2007	10.25	11.06	10.13	9.99	10.06	11.05
2008	12.33	11.54	12.37	12.07	12.83	13.21
2009	11.83	11.98	10.83	10.69	11.61	11.75
2010	9.35	10.19	9.44	9.33	9.45	10.54
2011	11.60	10.97	10.18	10.65	11.63	11.61
2012	10.81	9.49	11.00	10.68	11.26	12.06
2013	9.92	9.58	10.28	9.72	10.12	10.35
2014	11.36	11.12	12.21	11.45	11.59	11.24
2015	14.33	11.53	13.01	13.71	15.21	19.04
2016	10.90	10.83	11.32	11.32	11.75	12.09
2017	10.76	10.43	10.86	10.50	10.91	13.52
2018	9.80	9.90	10.11	9.44	9.83	10.28
2019	8.60	8.61	8.39	8.43	8.50	8.43
2020	8.60	8.62	8.39	8.43	8.50	8.43
2021	8.60	8.65	8.38	8.42	8.49	8.42
2022	8.60	8.67	8.38	8.41	8.49	8.42

Nota. El PCI se muestra como unidades relativas según sus criterios de clasificación.

Tabla 10

Índice de concentración de precipitación de GPCC

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	9.45	9.30	9.31	12.63	9.02	14.21
2003	9.12	9.23	9.79	12.57	9.41	17.42
2004	11.25	10.91	9.67	12.51	10.18	11.56
2005	9.34	9.09	10.91	17.12	9.20	18.85
2006	9.33	8.87	10.04	13.73	9.00	13.49
2007	9.95	9.55	9.70	12.20	9.72	14.14
2008	11.01	10.03	9.92	13.61	10.07	14.33
2009	10.98	9.90	9.70	14.56	10.00	15.32
2010	9.32	9.38	9.50	10.40	9.14	12.22
2011	11.43	10.11	9.53	13.19	10.18	15.19
2012	13.82	11.15	9.56	17.66	11.66	19.88
2013	11.02	10.56	9.59	11.88	9.92	16.13
2014	11.61	10.64	9.62	14.14	10.53	17.42
2015	13.59	11.24	10.68	18.06	11.72	23.09
2016	9.81	9.54	9.43	11.47	9.31	11.94
2017	9.96	9.76	9.85	12.40	9.32	16.47

2018	9.35	9.40	9.41	11.50	9.03	10.42
2019	8.81	9.13	8.79	10.14	8.79	10.44
2020	9.04	9.28	9.63	11.56	8.97	10.41
2021	9.17	9.10	9.13	11.17	8.86	11.68
2022	9.17	9.10	9.21	11.32	8.89	11.68

Nota. El PCI se muestra como unidades relativas.

Tabla 11

Índice de concentración de precipitación de estaciones meteorológicas

Año	Chirinos	Huallape	La Argelia	Namballe	San Ignacio	Tabaconas
2002	10.99	12.61	10.43	10.63	11.76	10.58
2003	9.57	16.04	11.45	12.36	9.44	9.72
2004	10.85	19.87	11.56	9.70	10.42	11.37
2005	12.98	14.30	12.38	16.73	11.32	11.82
2006	11.25	13.17	11.92	54.45	9.76	11.09
2007	10.19	16.45	10.19	45.35	9.41	11.02
2008	9.89	11.42	11.14	12.29	10.86	11.23
2009	10.26	15.62	10.23	9.64	10.15	9.67
2010	12.71	13.32	9.28	8.95	14.47	10.25
2011	10.54	14.30	9.84	8.65	10.18	9.28
2012	9.53	12.83	10.88	9.89	9.03	9.89
2013	10.44	13.62	11.85	9.93	10.44	10.10
2014	9.87	21.90	11.42	10.93	10.83	10.03
2015	11.30	14.28	12.44	12.29	10.41	12.11
2016	9.56	11.37	10.44	10.78	9.09	10.68
2017	11.30	24.46	10.39	12.04	14.70	13.78
2018	11.50	13.70	11.56	11.82	9.93	12.45
2019	10.11	12.88	10.18	10.05	10.13	10.64
2020	37.29	17.15	9.32	10.72	35.24	36.91
2021	40.85	13.09	15.31	10.16	83.86	21.86
2022	13.40	16.98	9.16	9.99	13.02	14.29

Nota. El PCI promedio se muestra como unidades relativas.

Promedio de PCI anual según criterios de clasificación del PCI

Tabla 12

Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de CHELSA

Estación	Longitud	Latitud	PCI Promedio	Desviación	Mínimo	Máximo
Chirinos	-78.8976	-5.30850	10.69	1.5	8.6	14.33
Huallape	-78.6958	-5.4507 ⁷	10.26	1.05	8.61	11.98
La Argelia	-79.2034	-4.03750	10.64	1.52	8.38	13.11
Namballe	-79.0886	-4.99945	10.45	1.45	8.41	13.71
San Ignacio	-78.9950	-5.14501	10.91	1.74	8.49	15.21
Tabaconas	-79.2849	-5.31567	11.64	2.48	8.42	19.04

Nota. El PCI promedio se muestra como unidades relativas.

Tabla 13

Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de GPCC

Estación	Longitud	Latitud	PCI Promedio	Desviación	Mínimo	Máximo
Chirinos	-78.8976	-5.30850	10.31	1.44	8.81	13.82
Huallape	-78.6958	-5.45077	9.78	0.73	8.87	11.24
La Argelia	-79.2034	-4.03750	9.67	0.47	8.79	10.91
Namballe	-79.0886	-4.99945	13.04	2.23	10.14	18.06
San Ignacio	-78.9950	-5.14501	9.66	0.85	8.79	11.72
Tabaconas	-79.2849	-5.31567	14.58	3.42	10.41	23.09

Nota. El PCI promedio se muestra como unidades relativas.

Tabla 14

Cálculo del promedio del PCI para cada punto de análisis de estaciones meteorológicas

Estación	Longitud	Latitud	PCI Promedio	Desviación	Mínimo	Máximo
	-78.8976	-5.30850	13.54	8.58	9.53	40.85
Huallape	-78.6958	-5.45077	14.99	3.38	11.37	24.46
La Argelia	-79.2034	-4.03750	11.06	1.41	9.16	15.31
Namballe	-79.0886	-4.99945	14.64	11.93	8.65	54.45
San Ignacio	-78.9950	-5.14501	14.99	16.63	9.03	83.86
Tabaconas	-79.2849	-5.31567	12.8	6.14	9.28	36.91

Nota. El PCI se muestra como unidades relativas.

Anomalías de precipitación para cada punto de análisis de las tres bases de datos

Tabla 15

Resumen de porcentaje de años según criterios de clasificación de las tres bases de datos

Estación	CHELSA			GPCC			Estaciones meteorológicas		
	Seco %	Normal %	Húmedo %	Seco %	Normal %	Húmedo %	Seco %	Normal %	Húmedo %
Chirinos	19	61.9	19	9.5	76.2	14.3	14.3	85.7	0
Huallape	14.3	66.7	19	9.5	76.2	14.3	14.3	71.4	14.3
La Argelia	19	66.7	14.3	19	57.1	23.8	19	66.7	14.3
Namballe	19	61.9	19	9.5	76.2	14.3	14.3	71.4	14.3
San Ignacio	19	71.4	9.5	9.5	76.2	14.3	14.3	81	4.8
Tabaconas	19	61.9	19	14.3	71.4	14.3	14.3	85.7	0

Resultados estadísticos de la prueba de Man Whitney a nivel anual del PCI

Tabla 16

Test de Mann-Whitney anual para CHELSA

Estación	Media 2002_2011	Media 2012_2022	p_valor	Diferencia Significativa
Chirinos	11.22113	10.20793	0.0724	No
Huallape	10.80195	9.76578	0.0265	Sí
La Argelia	11.11559	10.21123	0.2751	No
Namballe	10.90104	10.04578	0.1489	No
San Ignacio	11.45144	10.42285	0.1131	No
Tabaconas	12.21637	11.11705	0.13	No

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05.

Tabla 17

Test de Mann-Whitney anual para GPCC

Estación	Media 2002_2011	Media 2012_2022	p_valor	Diferencia Significativa
Chirinos	10.11747714	10.48486178	1	No
Huallape	9.638586639	9.899177078	0.5973	No
La Argelia	9.806706656	9.537429018	0.0845	No
Namballe	13.25074059	12.84556599	0.1927	No
San Ignacio	9.592476652	9.726533962	0.5495	No
Tabaconas	14.67216424	14.50569943	0.5973	No

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05.

Tabla 18*Test de Mann-Whitney anual para estaciones meteorológicas*

Estación	Media		Media		p_valor	Diferencia Significativa
	2002	2011	2012	2022		
Chirinos	10.92202228	15.92149327	0.6985	No		
Huallape	14.7117784	15.65949839	0.9719	No		
La Argelia	10.84116614	11.27693848	0.6232	No		
Namballe	18.87645982	10.7820464	0.8053	No		
San Ignacio	10.77675335	19.69780493	0.6472	No		
Tabaconas	10.60242173	14.79407109	0.098	No		

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Resultados estadísticos de la prueba de Man Whitney a nivel por épocas (húmeda-seca)

Tabla 19*Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para CHELSA*

Estación	Época	Media		Media		p_valor	Diferencia Significativa
		2002	2011	2012	2022		
Chirinos	Húmeda	9.774529	9.751085	0.2543	No		
Chirinos	Seca	10.50585	9.342359	0.0528	No		
Huallape	Húmeda	10.35861	10.15526	0.3233	No		
Huallape	Seca	10.16006	9.195418	0.062	No		
La Argelia	Húmeda	9.835937	9.786063	0.4033	No		
La Argelia	Seca	9.736564	9.517738	0.5974	No		
Namballe	Húmeda	9.534408	9.787431	0.3233	No		
Namballe	Seca	10.21497	9.110019	0.0378	Sí		
San Ignacio	Húmeda	9.667586	9.847059	0.3619	No		
San Ignacio	Seca	10.51652	9.228436	0.062	No		
Tabaconas	Húmeda	9.673202	9.808913	0.2875	No		
Tabaconas	Seca	11.81009	9.636047	0.0448	Sí		

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Tabla 20*Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para GPCC*

Estación	Época	Media		Media		p_valor	Diferencia Significativa
		2002	2011	2012	2022		
Chirinos	Húmeda	9.645085	10.49343	0.8197	No		
Chirinos	Seca	9.551521	9.506821	0.8602	No		
Huallape	Húmeda	9.463276	9.931612	0.5433	No		
Huallape	Seca	9.419373	9.532445	0.1696	No		
La Argelia	Húmeda	9.281602	9.24038	0.2545	No		
La Argelia	Seca	9.579358	8.980594	0.0448	Sí		
Namballe	Húmeda	11.42817	10.51055	0.2241	No		

Namballe	Seca	10.50849	10.93156	0.9159	No
San Ignacio	Húmeda	9.589012	9.832155	1	No
San Ignacio	Seca	9.117979	9.201544	0.5035	No
Tabaconas	Húmeda	13.64204	12.61649	0.3233	No
Tabaconas	Seca	10.40262	10.72688	0.7513	No

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Tabla 21

Test de Mann-Whitney para épocas (húmeda – seca) para estaciones meteorológicas

Estación	Época	Media		p_valor	Significancia
		2002	2011		
Chirinos	Húmeda	9.61938	11.70655	0.4474	No
Chirinos	Seca	10.36547	9.418363	0.2123	No
Huallape	Húmeda	12.07885	16.92056	0.8792	No
Huallape	Seca	16.43422	19.33968	0.7513	No
La Argelia	Húmeda	9.63965	10.50915	0.2875	No
La Argelia	Seca	10.63882	10.53203	0.5708	No
Namballe	Húmeda	10.39838	9.672967	0.1965	No
Namballe	Seca	12.90328	10.17715	0.4181	No
San Ignacio	Húmeda	9.521416	11.86619	0.2545	No
San Ignacio	Seca	9.850609	9.696583	0.8501	No
Tabaconas	Húmeda	9.115478	13.92982	0.0334	Sí
Tabaconas	Seca	10.50905	10.19786	0.6776	No

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Resultados estadísticos de la pendiente de Sen y Mann-Kendall a nivel anual del PCI.

Tabla 22

Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de CHELSA

Estación	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	-0.1327	-0.3962	0.0141	Significativa
Huallape	-0.0898	-0.3238	0.0431	Significativa
La Argelia	-0.1275	-0.3905	0.0144	Significativa
Namballe	-0.1178	-0.419	0.0086	Significativa
San Ignacio	-0.1428	-0.4	0.0122	Significativa
Tabaconas	-0.1887	-0.419	0.0086	Significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Tabla 23*Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de GPCC*

Estación	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	-0.0147	-0.1193	0.4684	No significativa
Huallape	-0.01	-0.0716	0.6723	No significativa
La Argelia	-0.0277	-0.3524	0.0275	Significativa
Namballe	-0.0816	-0.3333	0.0372	Significativa
San Ignacio	-0.0254	-0.2095	0.1941	No significativa
Tabaconas	-0.1604	-0.2053	0.2045	No significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Tabla 24*Test de Sen y Mann-Kendall anual para la base de datos de estaciones meteorológicas*

Estación	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	0.0849	0.2286	0.1558	No significativa
Huallape	0.0161	0.0286	0.88	No significativa
La Argelia	-0.0488	-0.0842	0.6265	No significativa
Namballe	-0.0686	-0.1333	0.4149	No significativa
San Ignacio	0.0947	0.181	0.2639	No significativa
Tabaconas	0.1282	0.3238	0.0431	Significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Resultados estadísticos de la pendiente de Sen y Mann-Kendall del PCI a nivel de épocas (húmeda – seca).**Tabla 25***Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de CHELSA*

Estación	Época	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	Húmeda	-0.0512	-0.2918	0.0792	No significativa
Chirinos	Seca	-0.121	-0.518	0.0012	Significativa
Huallape	Húmeda	-0.0295	-0.1158	0.4957	No significativa
Huallape	Seca	-0.083	-0.381	0.0171	Significativa
La Argelia	Húmeda	-0.079	-0.3053	0.0644	No significativa
La Argelia	Seca	-0.0618	-0.3048	0.0571	No significativa
Namballe	Húmeda	-0.041	-0.2842	0.0855	No significativa
Namballe	Seca	-0.136	-0.6	0.0002	Significativa
San Ignacio	Húmeda	-0.0336	-0.2737	0.098	No significativa
San Ignacio	Seca	-0.1394	-0.5905	0.0002	Significativa
Tabaconas	Húmeda	-0.0406	-0.2632	0.1119	No significativa
Tabaconas	Seca	-0.1934	-0.5714	0.0003	Significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Tabla 26*Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de GPCC*

Estación	Época	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	Húmeda	-0.0241	-0.1474	0.381	No significativa
Chirinos	Seca	-0.0086	-0.0811	0.6288	No significativa
Huallape	Húmeda	-0.0136	-0.0632	0.7212	No significativa
Huallape	Seca	0.0163	0.2434	0.1309	No significativa
La Argelia	Húmeda	-0.0305	-0.2316	0.163	No significativa
La Argelia	Seca	-0.0377	-0.3429	0.032	Significativa
Namballe	Húmeda	-0.2101	-0.4526	0.0058	Significativa
Namballe	Seca	-0.0113	-0.0667	0.6946	No significativa
San Ignacio	Húmeda	-0.0404	-0.1684	0.3145	No significativa
San Ignacio	Seca	0.0063	0.1524	0.3492	No significativa
Tabaconas	Húmeda	-0.3184	-0.3684	0.0252	Significativa
Tabaconas	Seca	-0.0284	-0.0525	0.7626	No significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05**Tabla 27***Test de Sen y Mann-Kendall a nivel de épocas para la base de datos de estaciones meteorológicas*

Estación	Época	Pendiente	Tau	P_valor	Significancia
Chirinos	Húmeda	0.0891	0.2842	0.0855	No significativa
Chirinos	Seca	-0.0848	-0.2526	0.1273	No significativa
Huallape	Húmeda	-0.0638	-0.1053	0.5376	No significativa
Huallape	Seca	0.2375	0.1238	0.4503	No significativa
La Argelia	Húmeda	0.0247	0.0947	0.5813	No significativa
La Argelia	Seca	-0.0957	-0.3474	0.035	Significativa
Namballe	Húmeda	0.0064	0.0421	0.8203	No significativa
Namballe	Seca	-0.0607	-0.1905	0.2389	No significativa
San Ignacio	Húmeda	0.0932	0.2737	0.098	No significativa
San Ignacio	Seca	-0.0326	-0.1474	0.381	No significativa
Tabaconas	Húmeda	0.1676	0.4737	0.0039	Significativa
Tabaconas	Seca	-0.0704	-0.2632	0.1119	No significativa

Nota. La significancia calculada es a un valor de 0.05

Anexo 2: Figuras

Figura 20

Series temporales de PCI anual por estación de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas

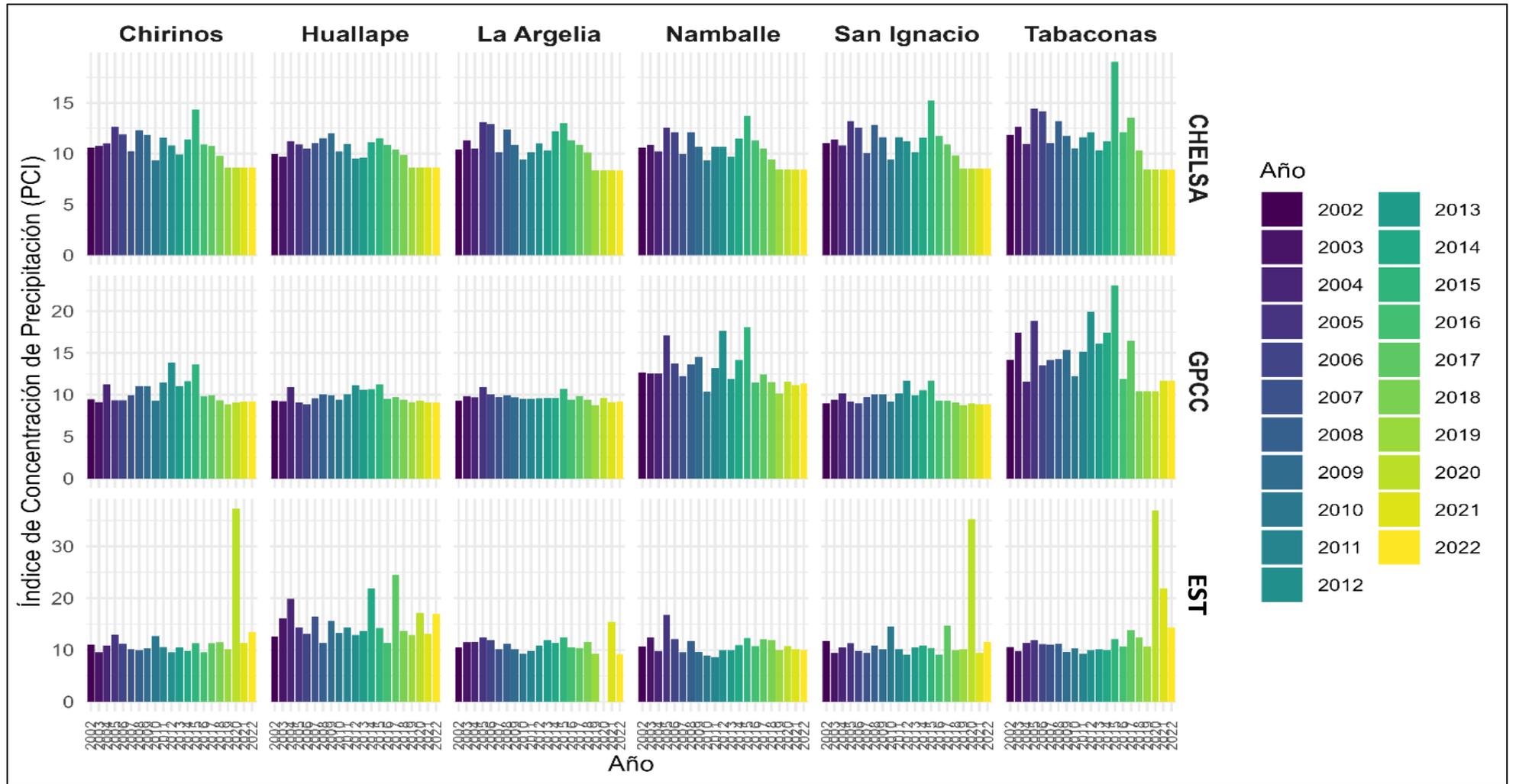
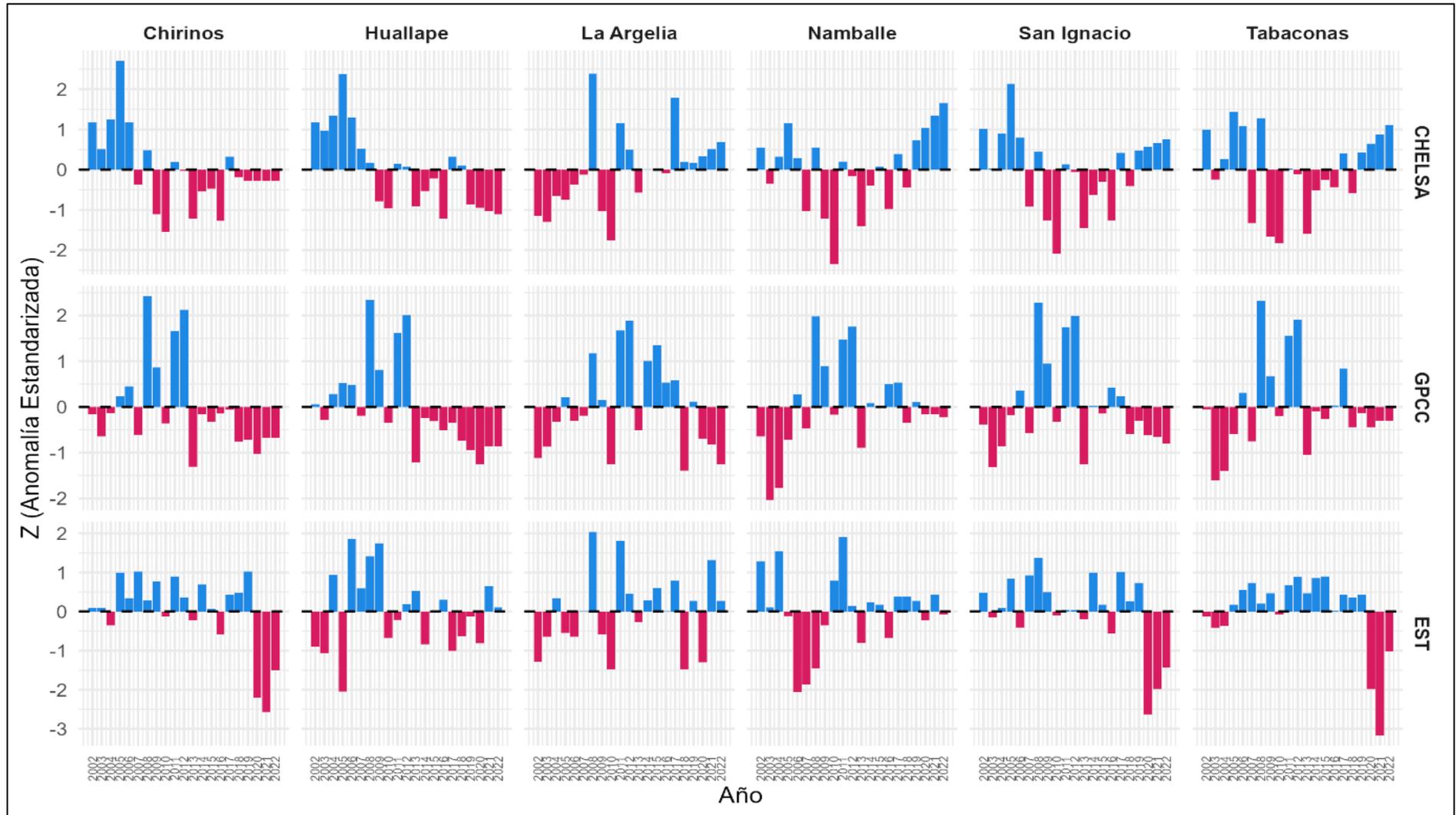


Figura 21

Series temporales de Anomalías de precipitación por estación de las bases de datos CHELSA, GPCC y estaciones meteorológicas



Anexo 3: Solicitudes y entrega de información de precipitación

Figura 22

Solicitud de data a SENAMHI



SOLICITO: Datos meteorológicos de estaciones para investigación

Señor: Juan Carlos Requejo Aleman

Gerente General del SENAMHI

Yo, Wildy Maxkeith Herrera Diaz, identificado con DNI N° 70850380, egresado de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, con correo electrónico wildy.herrera@est.unj.edu.pe, domiciliado en Calle los Delfines, Urb. Villa del Mar, Morro Solar - Jaén - Cajamarca, ante Ud. con el debido respeto me presento y expongo.

Que, estando en el proceso de desarrollo de nuestra investigación de Tesis Titulada "Precipitaciones como indicadores del efecto de cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe en el periodo 2002-2022", en la universidad antes mencionada y siendo indispensable la obtención de datos meteorológicos para el desarrollo y cumplimiento de objetivos de la Tesis de Investigación.

En ese contexto, resulta de gran importancia solicitar en la presente la información siguiente:

Estación	Parámetros	Escala	Periodos
Chirinos	Precipitación y Temperatura	Diario	2002-2022
Tebaconas			2002-2022
Namballe			2002-2022
San Ignacio			2002-2022
Huallape	Precipitación, Temperatura y Caudal (o en su defecto niveles de curvas de descarga)	Diario	2000 - hasta la actualidad
El Tigre	Caudal (o en su defecto niveles de curvas de descarga)		1963 – hasta la actualidad
La Ardilla			
Bellavista			



La información solicitada será de importancia para continuar con las investigaciones y análisis relacionados al proyecto antes mencionado, y aportará significativamente a la comprensión del impacto del cambio climático en dichas cuencas. Para cualquier coordinación o solicitud de información adicional puede comunicarse con la Ing. Candy Ocaña Zúñiga, correo candy.ocana@unj.edu.pe, telef. +51 942909360 asesora de la investigación de tesis.

Sin otro particular y conociendo de su disposición y compromiso con la investigación quedo a la espera de su amable respuesta.

Atentamente:



Wildy Maxkeith Herrera Diaz
Solicitante

Figura 23

Solicitud de data a INAMHI



Jaén, 14 de agosto de 2024

Oficio

Doctor Bolívar Erazo

Director Ejecutivo

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

En su despacho.-

De mis consideraciones

Yo, **Herrera Díaz Wildy Maxkeith**, identificado con DNI de nacionalidad peruana N° 70850380, egresado de la Universidad Nacional de Jaén – Cajamarca – Perú, solicito de la manera más comedida, autorice a quién corresponda facilitar los datos:

Diarios (X) mensuales (....)

De los parámetros (**PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA**) de las estaciones: Amaluza 1, Zamora DJ, Loja – La Argelia

N°	Estación	Parámetro	Este (UTM)	Norte (UTM)	Altitud (msnm)	Periodo
1	Amaluza 1	Precipitación, temperatura	674106	9493049	1672	2002 - 2022
2	Zamora D	Precipitación, temperatura	727809	9550921	902	2002 - 2022
3	Loja – La Argelia	Precipitación, temperatura	699456	9553507	2160	2002 - 2022

Periodo de data requerida: (01 de enero del 2002 hasta 31 de diciembre del 2022)

Información que será aplicada en la elaboración de:

Estudio de Investigación (X)

Título: "Precipitaciones como indicadores del efecto de cambio climático en la cuenca del río Mayo-Chinchipe en el periodo 2002-2022"

El suscrito se compromete a entregar un ejemplar del documento final sin costo al INAMHI.



Con sentimientos de consideración y estima.

Adjunto resolución de aprobación de proyecto de tesis

Atentamente,

Firma

Wildy Maxkeith Herrera Díaz

Nombres y apellidos completos

Egresado de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

Cargo

Universidad Nacional De Jaén

Nombre del plantel o institución de educación superior

70850380

Número de DNI

+51 70850380 (WhatsApp)

Teléfono celular

Wildy.herrera@est.unj.edu.pe

Correo electrónico

Figura 24

Respuesta de SENAMHI con la data respectiva de precipitación

 **Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD)** <lgamarra@senamhi.gob.pe>
para mí, Manuel, Jacqueline, Carmen ▾ 📧 lun, 5 feb 2024, 12:14 ☆ ↶ ⋮

TESISTA WILDY MAXKEITH HERRERA DIAZ:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - **SENAMHI**, a fin de remitirle los datos disponibles de las estaciones comprendidas en el expediente N° 0490 escala DIARIA, período (2002 - 2022); cabe indicar que bajo la modalidad de servicio gratuito es por única vez. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS/INVESTIGACIÓN hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Cabe indicar que de acuerdo a los procedimientos establecidos en la Directiva N° 003-2016-**SENAMHI**-SG-OPP-UM, para la atención a estudiantes, tesis y investigadores bajo la modalidad de servicio gratuito, dichos usuarios firman una DECLARACIÓN JURADA, que tiene un [link](#) **INF METEOROLOGICAS AUTOMATICAS - WILDY HERRERA.xlsx**irme compromiso LEGAL de entregar un ejemplar de su tesis para nuestra biblioteca. En ese sentido la Srta. Carmen Sulca (csulca@senamhi.gob.pe), estará atenta al cumplimiento de dicho acuerdo, saludos.

Expediente: 0490



Luis Felipe Gamarra Chavary
DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL
GERENCIA GENERAL
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Cahuide 785, Jesús María - Lima
T:01 6141414 Anexo -
C: -
E: lgamarra@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

Figura 25

Respuesta de INAMHI con la data respectiva de precipitación

DATOS INAMHI Externo Recibidos x ✕ 🖨️ 📧

 **CORREO SERVICIO** <servicio@inamhi.gob.ec>
para mí, COMITE ▾ 📧 mié, 14 ago 2024, 8:58 ☆ ↶ ⋮

Estimado Usuario.
Gracias por Escribir. -
Envío lo indicado en atención a su requerimiento, estaremos en contacto.

Favor dar acuso de recibido.

Saludos

ENCUESTAS

Reciba un cordial y atento saludo de quienes conformamos el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología **INAMHI** ; en busca del mejoramiento continuo y con el fin de optimizar los productos y servicios que brinda la institución a nuestros mandantes, se solicita a usted muy respetuosamente llenar la siguiente encuesta abriendo el siguiente link:

<https://forms.gle/rDSpi6t2B7z1RHXE8>

Dicha información nos servirá para el mejoramiento sustancial en los trámites que ha dispuesto el **INAMHI** para la ciudadanía en general.

Cualquier inquietud con gusto será atendida.

Tnigo. Fredy Mejía

ATENCIÓN AL USUARIO

Es un placer servirle!

Anexo 4: Fotografías

Figura 26

Trabajo de asesoramiento remoto con asesor de la Universidad Nacional de Loja

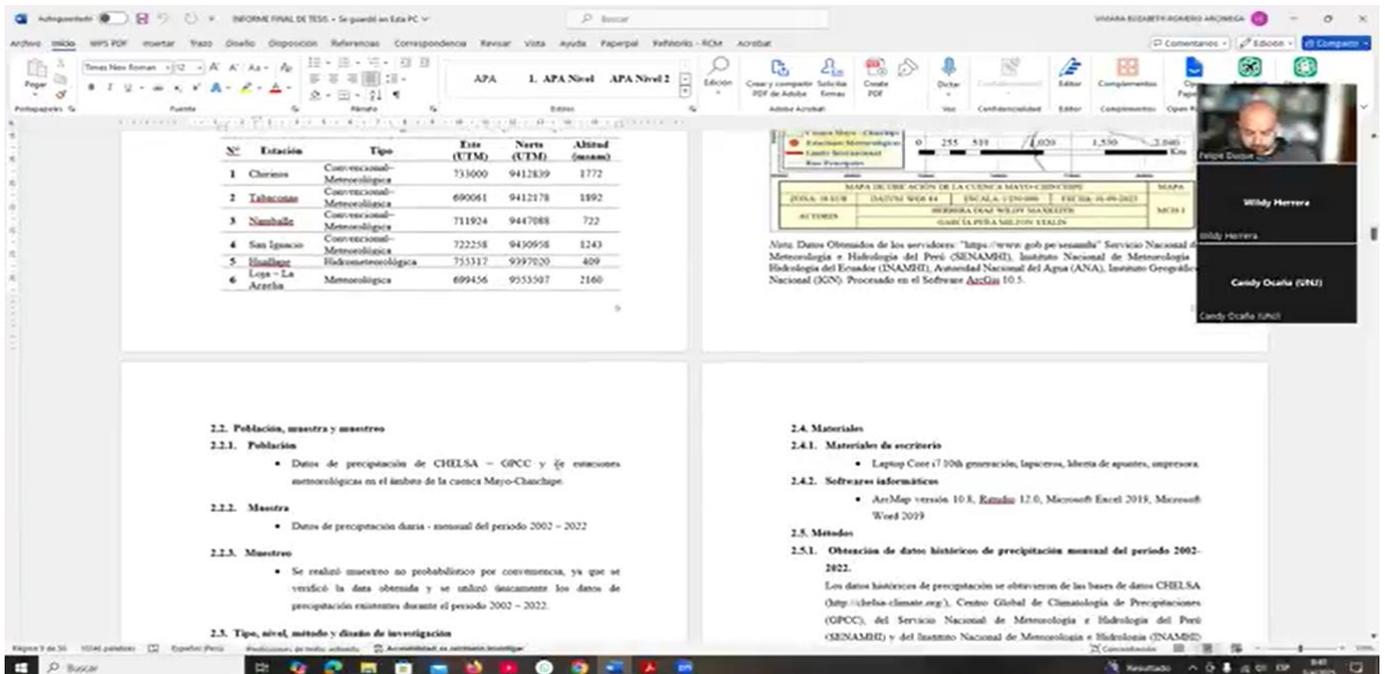


Figura 27

Imagen del entorno de desarrollo de Rstudio (versión 2025.06.0).

